

Analyse de la Contribution des Panneaux à l'Intérieur d'un Véhicule au moyen d'une Antenne Double Couche intégrant un Système de Positionnement

Jørgen Hald¹, Jakob Mørkholt¹, Karim Haddad¹

¹Brüel & Kjær SVM A/S, Skodsborgvej 307, DK-2850 Nærum, Danemark, {Jorgen.Hald, Jakob.Morkholt, Karim.Haddad}@bksv.com

Nous décrivons ici une méthode pour la détermination de la contribution des panneaux au bruit à l'intérieur d'un véhicule. Cette méthode repose sur l'utilisation d'une antenne acoustique : les mesures des fonctions de transfert et les mesures opérationnelles sont toutes deux effectuées au moyen d'une antenne double couche ; le champ sonore sur les différents panneaux est alors calculé au moyen de la technique d'holographie acoustique (méthode SONAH) au niveau local. Pour couvrir la surface complète de mesure, différents positionnements de l'antenne sont effectués. Il est alors possible de déterminer les contributions par intégration surfacique sur le maillage. La localisation des positions de l'antenne et l'alignement sur le maillage géométrique est rendu possible au moyen d'un système intégré de positionnement tridimensionnel. Après une description théorique, la méthode est évaluée au moyen de simulations et de mesures.

1 Introduction

Dans le cas de mesures intérieures, par exemple dans une cabine de voiture, nous considérons le problème d'estimation de la contribution à la pression acoustique pour un point d'écoute, due à une partie de la surface intérieure. Le bruit dans la cabine est lié aux vibrations des surfaces intérieures et à la pénétration de bruits venant de l'extérieur en raison d'ouvertures et de défauts d'étanchéité. Les contributions au champ sonore de surfaces spécifiques sont typiquement estimées selon trois méthodes principalement [1] :

- *Le masquage.*
- *La méthode ASQ* (Air-borne Source Quantification).
- *La méthode TPCA* (Traditional Panel Contribution Analysis).

Ces méthodes et leurs limitations sont abordées rapidement ici. Pour plus d'informations, on peut se référer à [6].

Le principe de la méthode proposée, appelé *APCA* (Array-based Panel Contribution Analysis), est illustrée en figure 1 : nous recherchons la contribution à la pression sonore $p_{oreille}$ dans la cabine, provenant d'un élément de surface $\Delta S_{panneau}$ se trouvant également dans la cabine. L'idée principale est très proche de la technique ASQ, mais cette nouvelle approche est basée sur deux mesures d'une antenne microphonique double couche, à une courte distance de la surface concernée.

Les mesures de pression dans la phase opérationnelle sont similaires à celles des indicateurs dans la méthode ASQ [1,6]. Mais au lieu de résoudre un problème inverse basé sur les mesures de fonctions de transfert pour obtenir la vitesse sur la surface, nous utilisons la technique SONAH [2-3] pour estimer les mêmes données à proximité immédiate du panneau considéré.

Pour obtenir les fonctions de transfert, une source acoustique de type VVS (*Volume Velocity Source* pour source de débit volumique) est placée à la position

d'écoute, et l'acquisition par l'antenne double couche est effectuée pour la même position que pour les mesures en phase opérationnelles. L'algorithme SONAH est alors utilisé pour extrapoler les fonctions de transfert de la position de l'antenne vers la position des données opérationnelles sur le panneau concerné.

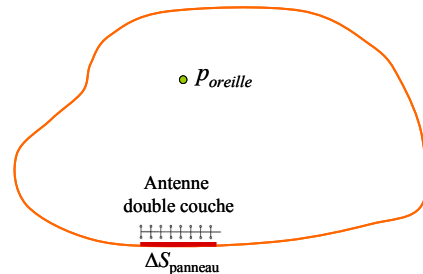


Figure 1 : Illustration de la méthode APCA

La méthode est bien adaptée pour la caractérisation d'une partie seulement de la cabine. Elle n'implique pas de placer des capteurs sur les panneaux de la cabine, et les données mesurées permettent d'afficher de façon naturelle des cartographies des fonctions de transfert et des données opérationnelles sur ou à proximité des surfaces. Puisque les vitesses sont déterminées par des mesures acoustiques, les émissions dues aux vibrations des panneaux et aux fuites acoustiques sont prises en compte.

Une première description de la méthode a été donnée dans [4]. Le présent article ajoute une discussion sur les propriétés de la méthode dans le cas de panneaux à réaction non locale. Et plus important, la méthode est améliorée en effectuant des intégrations de surfaces au moyen d'un maillage décrivant les panneaux, plutôt qu'à partir de pièces rectangulaires de la même taille que l'antenne. Finalement, la méthode est davantage discutée au moyen de mesures simulées et réelles.

2 La technique de mesure APCA

La figure 2 illustre le type de géométrie que nous considérons par la suite. L'intérieur de la cabine est limité par la surface S_{panneau} , et à l'intérieur de la cabine est placé un mannequin acoustique (HATS pour Head And Torso Simulator) de surface S_{HATS} . Les panneaux vibrants, et d'éventuelles ouvertures créent une pression acoustique au niveau de l'oreille gauche (prise fermée) du mannequin.

Nous recherchons une formulation mathématique de la contribution $\Delta p_{\text{oreille}}$ à la pression acoustique p_{oreille} , provenant du panneau $\Delta S_{\text{panneau}}$, partie de la surface S_{panneau} .

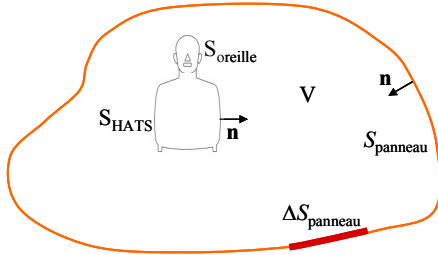


Figure 2. Illustration de la géométrie pour l'expression mathématique de la contribution.

On définit la surface S comme la combinaison des deux surfaces S_{panneau} et S_{HATS} . Ainsi le volume V limité par S décrivant l'intérieur de la cabine est homogène et sans sources acoustiques. Par ailleurs, la surface S_{oreille} est considérée comme faisant partie de la surface S_{HATS} .

Le volume V contenant le point d'écoute ne doit pas contenir de sources acoustiques, mais il est accepté que la masse volumique ρ et que la vitesse du son c évolue spatialement. Si $(p_1, \mathbf{u}_1)$ et $(p_2, \mathbf{u}_2)$ sont les pressions et les vitesses particulières de deux champs sonores, alors la relation de réciprocité suivante est valable [5]:

$$\iint_S \mathbf{u}_2 \cdot \mathbf{n} p_1 dS = \iint_S \mathbf{u}_1 \cdot \mathbf{n} p_2 dS \quad (1)$$

où $\mathbf{n}$ est le vecteur normal à la surface S et pointant à l'intérieur du volume V . Les deux champs sonores doivent avoir le même milieu propagatif dans le volume V , mais à l'extérieur du volume, les conditions peuvent être différentes.

On définit $(p_1, \mathbf{u}_1)$ comme étant le champ sonore $(p, \mathbf{u})$ en phase opérationnelle avec des sources hors de S_{panneau} . Pour ce champ sonore, la surface S_{oreille} est bloquée (rigide) et nous recherchons la pression p_{oreille} au niveau de la surface bloquée. De plus, on définit $(p_2, \mathbf{u}_2)$ comme étant le champ sonore $(p_Q, \mathbf{u}_Q)$ créé par une source à l'intérieur du canal de l'oreille, avec celui-ci cette fois-ci ouvert. Le débit volumique Q au travers de S_{oreille} doit être mesuré dans ce cas. Le terme de gauche de l'égalité (1) peut être décomposé en contributions des surfaces partielles (surfaces des panneaux, du mannequin et de l'oreille). En supposant que la surface du mannequin est rigide et que la pression acoustique $p = p_{\text{oreille}}$ est constante sur la surface bloquée S_{oreille} du canal de l'oreille, nous obtenons :

$$\iint_S \mathbf{u}_2 \cdot \mathbf{n} p_1 dS \approx \iint_{S_{\text{panneau}}} \mathbf{u}_Q \cdot \mathbf{n} p dS + p_{\text{oreille}} Q \quad (2)$$

Pour l'intégrale du côté droit de l'égalité (1), nous obtenons de façon similaire (utilisation de l'hypothèse de surface

rigide pour le mannequin et que $\mathbf{u} \cdot \mathbf{n} = 0$ sur S_{oreille} celle-ci étant bloquée durant la phase opérationnelle) :

$$\iint_S \mathbf{u}_1 \cdot \mathbf{n} p_2 dS = \iint_S \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} p_Q dS \approx \iint_{S_{\text{panneau}}} \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} p_Q dS \quad (3)$$

Insérant les expressions (2) et (3) dans (1) nous obtenons l'expression de la pression en phase opérationnelle au niveau du canal de l'oreille bloquée :

$$p_{\text{oreille}} = \iint_{S_{\text{panneau}}} [H_{Q,p} u_n - H_{Q,u} p] dS \quad (4)$$

où u_n est la composante normale de $\mathbf{u}$, et où $H_{Q,p}$ et $H_{Q,u}$ sont respectivement les deux fonctions de transfert débit volumique à pression et débit volumique à vitesse ($u_{Q,n}$ est la composante normale de $\mathbf{u}_Q$) :

$$H_{Q,p} \equiv \frac{p_Q}{Q} \quad \text{et} \quad H_{Q,u} \equiv \frac{u_{Q,n}}{Q} \quad (5)$$

Nous utilisons maintenant le fait que les mesures durant les deux phases, opérationnelles et pour la détermination des fonctions de transfert, peuvent se dérouler dans des milieux différents à l'extérieur de la surface S . Si la surface S_{panneau} est modifiée de sorte à être considéré comme pratiquement rigide pendant la phase d'estimation des fonctions de transfert $H_{Q,p}$ et $H_{Q,u}$, alors $u_{Q,n} = 0$ et le résultat suivant est obtenu à partir de (4) :

$$p_{\text{oreille}} = \iint_{S_{\text{panneau}}} H_{Q,p} u_n dS \quad (6)$$

Cette expression correspond à celle utilisée pour les techniques précitées ASQ et TPCA. Par l'utilisation de l'expression plus complète (4) au lieu de (6), on peut éviter la nécessité d'avoir des surfaces rigides pendant la phase de mesure des fonctions de transfert. Les surfaces peuvent donc correspondre à des panneaux ayant une impédance de surface, à l'ouverture d'un conduit ou encore à une surface virtuelle ne suivant pas en totalité la surface physique de la cabine.

De sorte à obtenir la contribution $\Delta p_{\text{oreille}}$ à la pression au niveau de l'oreille p_{oreille} provenant d'un segment $\Delta S_{\text{panneau}}$, nous intégrons seulement sur cette partie de la surface totale :

$$\Delta p_{\text{oreille}} = \iint_{\Delta S_{\text{panneau}}} [H_{Q,p} u_n - H_{Q,u} p] dS \quad (7)$$

Les sections suivantes traitent de quelques propriétés issues de l'équation (7).

Par l'utilisation d'une antenne double couche avec l'algorithme SONAH [2,3], les deux champs sonores p et p_Q peuvent être mesurés à une très courte distance de la surface des panneaux et utilisés pour le calcul des données de pression et de vitesse sur les panneaux. Les données du champ sonore calculé sont alors utilisées dans l'équation (7).

Au lieu d'utiliser un mannequin de type HATS incorporant une source de débit volumique (VVS), pendant la phase de mesures des fonctions de transfert, on peut également considérer d'autres types de sources avec un débit volumique connu. Comme cas limite, une source ponctuelle de type monopolaire peut être utilisée pour

l'estimation des contributions à l'emplacement du monopole.

2.1 Contributions dues à des surfaces à réaction locale

On considère une partie d'un panneau, dont on souhaite mesurer la contribution, supposé à réaction parfaitement locale et ayant une impédance Z (dépendant de la position). On suppose également que le panneau est soumis à un champ vibratoire, $u_{S,n}$, durant la phase opérationnelle, indépendamment de la pression acoustique sur la surface. Alors la vitesse particulaire normale à la surface pour les deux phases est :

$$u_n = u_{S,n} + \frac{p}{Z} \quad \text{et} \quad u_{Q,n} = \frac{p_Q}{Z} \quad \text{sur} \quad \Delta S_{\text{panneau}} \quad (8)$$

Utilisant les expressions (8) dans (7), nous obtenons :

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{oreille}} &= \iint_{\Delta S_{\text{panneau}}} [H_{Q,p} u_n - H_{Q,u} p] dS \\ &= \iint_{\Delta S_{\text{panneau}}} \left[\frac{p_Q}{Q} (u_{S,n} + \frac{p}{Z}) - \frac{p_Q}{ZQ} p \right] dS \\ &= \iint_{\Delta S_{\text{panneau}}} \frac{p_Q}{Q} u_{S,n} dS \end{aligned} \quad (9)$$

Par conséquent, l'expression (7) n'apporte aucune contribution due à une surface passive dont l'impédance est à réaction locale, c'est-à-dire quand $u_{S,n} = 0$ dans l'équation (7), quelque soit la taille de la surface. Ces surfaces n'ont donc pas besoin d'être estimées, car leurs contributions est nulle. Dans une cabine avec une unique et petite surface active (par exemple ayant une impédance de surface avec $u_{S,n} \neq 0$), et par ailleurs des surfaces passives à réaction locale, la seule contribution sera due à ce panneau. La formulation simplifiée (6) prédira en général une contribution de surfaces passives, et la contribution de surfaces actives à réaction locale (avec $u_{S,n} \neq 0$) sera entachée d'erreur liée à l'écart $u_{S,n} - u_n$ dans la phase opérationnelle, en raison de la pression acoustique.

En comparaison, la technique de masquage prédirait une contribution à juste titre nulle de surfaces passives, mais en général la prédiction pour les surfaces actives sera aussi entachée d'erreur du fait que l'environnement acoustique dans la cabine est modifié par le masquage.

Souvent le champ de vitesse vibratoire, $u_{S,n}$, couvre plusieurs segments d'un panneau. Pour obtenir la contribution totale à la position d'écoute de ce champ vibratoire, les contributions de l'ensemble des segments de ce panneau doivent être ajoutées pour prendre en compte le couplage.

2.2 Contributions de surfaces à réaction non locale

Si les panneaux passifs à réaction locale peuvent être partiellement inclus, sans affecter l'estimation de la contribution, il en va autrement des panneaux passifs mais à réaction non locale.

Pour étudier le cas de surfaces à réaction non locale, nous supposons que le champ de vitesse vibratoire du

panneau est la somme d'une composante sans charge, et d'une composante avec charge, due à la pression acoustique :

$$\begin{aligned} u_n(\mathbf{r}) &= \iint_{S_{\text{panneau}}} G(\mathbf{r}', \mathbf{r}) p(\mathbf{r}') dS' + u_{S,n}(\mathbf{r}) \\ u_{Q,n}(\mathbf{r}) &= \iint_{S_{\text{panneau}}} G(\mathbf{r}', \mathbf{r}) p_Q(\mathbf{r}') dS' \end{aligned} \quad (10)$$

Où dS' est un élément de surface entourant $\mathbf{r}'$. On suppose le principe de réciprocité valable pour le panneau :

$$G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = G(\mathbf{r}', \mathbf{r}). \quad (11)$$

Insérant l'expression (10) dans (7), nous obtenons :

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{oreille}} &= \iint_{\Delta S_{\text{panneau}}} \frac{p_Q(\mathbf{r})}{Q} u_{S,n}(\mathbf{r}) dS \\ &+ \iint_{\Delta S_{\text{panneau}}} \iint_{S_{\text{panneau}}} \frac{p_Q(\mathbf{r})}{Q} G(\mathbf{r}', \mathbf{r}) p(\mathbf{r}') dS' dS \\ &- \iint_{\Delta S_{\text{panneau}}} \iint_{S_{\text{panneau}}} \frac{p_Q(\mathbf{r}')}{Q} G(\mathbf{r}', \mathbf{r}) p(\mathbf{r}) dS' dS \end{aligned} \quad (12)$$

Une première observation est que la pression totale à l'oreille, obtenu par en intégrant sur toutes les surfaces ($\Delta S_{\text{panneau}} = S_{\text{panneau}}$), peut s'exprimer simplement, au moyen de la relation de réciprocité (11), par :

$$p_{\text{oreille}} = \iint_{S_{\text{panneau}}} \frac{p_Q(\mathbf{r})}{Q} u_{S,n}(\mathbf{r}) dS. \quad (13)$$

Supposons maintenant que la surface du panneau $\Delta S_{\text{panneau}}$ n'ait aucun couplage avec les panneaux environnants :

$$G(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = 0 \quad \text{pour} \quad \mathbf{r} \in \Delta S_{\text{panneau}}, \mathbf{r}' \notin \Delta S_{\text{panneau}}. \quad (14)$$

Alors encore, les deuxième et troisième termes s'annulent mutuellement en raison de (11) :

$$\Delta p_{\text{oreille}} = \iint_{\Delta S_{\text{panneau}}} \frac{p_Q(\mathbf{r})}{Q} u_{S,n}(\mathbf{r}) dS, \quad (15)$$

Cette relation indique que les panneaux environnants n'influence pas l'estimation de la contribution. S'il y a couplage, c'est-à-dire si l'expression (15) ne peut être considérée comme valable, alors en général les champs de vitesse vibratoire $u_{S,n}$ des segments de panneaux voisins interféreront dans l'estimation de la contribution.

Les parties de la surface d'intégration se trouvant dans l'air, sont supposées être des surfaces à réaction non locale.

2.3 Contributions des bouches de conduit

On considère une bouche de conduit débouchant dans une cabine qui, par ailleurs ne comporte que des surfaces passives, à réaction locale et mécaniquement isolé. Cette ouverture peut être considérée comme une surface à réaction non locale. Si on intègre seulement sur la bouche du conduit, et peut-être aussi sur d'autres surfaces à réaction locales, alors nous obtenons la contribution correcte et totale du conduit.

3 Simulation

On considère dans cette partie la simulation d'un petit panneau actif, entouré de surfaces non actives et à réaction locale. Un exemple est donné par la situation d'une plaque vibrante bafflée, ce cas de figure étant aisé à simuler. La figure 3 montre une vue de côté du contexte. La plaque a une distribution de vitesses donnée par :

$$u_n(x, y) = u_0 \sin(\pi x / L_x) \sin(\pi y / L_y) \quad (16)$$

où $L_x = 300$ mm et $L_y = 240$ mm sont les dimensions de la plaque et u_0 est l'amplitude maximale de la vitesse. Le point d'écoute est défini au point de coordonnées $(x, y, z) = (0, 0, 2)$ mètre.

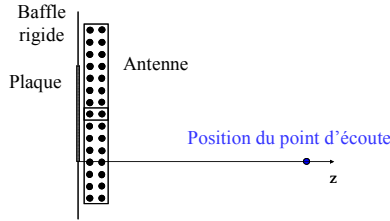


Figure 3 : Simulation de la mesure au moyen d'une antenne double couche du rayonnement d'une plaque bafflée. Dans ce cas, deux positions d'antenne sont indiquées avec un recouvrement d'une rangée de microphones.

Quatre positions d'antenne sont définies devant la plaque bafflée. Les antennes ont deux couches de 8x8 microphones chacune. L'espacement entre microphones est 30 mm dans les deux directions, et la distance entre couches est 31 mm. Ces dimensions correspondent au prototype construit. L'antenne est positionnée à 15 mm du plan de la plaque bafflée et les 4 positions sont telles qu'il existe un microphone de recouvrement dans les deux directions (voir figure 3).

On débute par la description du calcul de la fonction de transfert par la méthode SONAH. En relation avec le modèle précédemment décrit, seul le calcul de la fonction de transfert débit volumique – pression $H_{Q,p}$ est adéquate, pour la raison que la source volumique placée au point d'écoute est supposée ne pas créer de vibrations sur le baffle et sur la plaque. A partir de la pression complexe p du point source de débit volumique Q , placée sur un mur infini et émettant dans un demi-espace sans sources, nous exprimons la fonction de transfert débit volumique – pression entre un point du mur et la position d'écoute :

$$H_{Q,p} = \frac{p_Q}{Q} = \frac{j\omega \rho}{2\pi r_0} e^{-jk r_0}, \quad (17)$$

Avec ω la fréquence angulaire, k le nombre d'onde et ρ la masse volumique du milieu. r_0 est la distance entre le point sur le mur et le point d'écoute. Les données simulées de l'antenne pour l'estimation des fonctions de transfert ont été générées de la façon suivante : un monopole de débit volumique Q a été placé à la position d'écoute, et la pression complexe pour chaque microphone de l'antenne a été calculée. Puisque l'antenne est positionnée devant un baffle rigide et infini, une source miroir est introduite afin d'obtenir la pression totale. SONAH est alors utilisé pour estimer la pression p_Q et la vitesse particulière $u_{Q,n}$ sur la plaque et le baffle, et de là les fonctions $H_{Q,p}$ et $H_{Q,u}$.

Les données synthétiques pour l'estimation de la vitesse sur la plaque ont été générées en faisant appel à une version discrétisée de la formule de Rayleigh. Le panneau a été divisé en 30 x 30 surfaces élémentaires, et la radiation de chacune d'elle a été approximée par un monopole de débit volumique $q = S_s u_s$ où S_s est la surface, et u_s est la vitesse normale au centre de la surface élémentaire. Par cette approche, les pressions acoustiques opérationnelles ont été calculées pour les microphones de l'antenne, en sommant les contributions de tous les monopoles des surfaces élémentaires. De la même manière, on calcule la pression au point d'écoute, causée par la radiation de la plaque.

Dans l'implémentation pratique de la méthode APCA, la surface du panneau est discrétisée par un maillage, contenant des nœuds et des éléments, chaque nœud ayant une surface finie associée. L'expression intégrale (7) peut ainsi s'exprimer comme une sommation finie. SONAH est appliqué localement pour chaque position d'antenne, et la pression surfacique ainsi que la vitesse particulière sur le mur sont alors estimées sur la surface faisant face à l'antenne. Dans le cas où un nœud est concerné par plus d'une position d'antenne, une moyenne est effectuée entre les résultats, en utilisant des pondérations dépendant de la façon dont l'antenne recouvre le nœud concerné.

Les fonctions de transfert estimées sont ainsi combinées avec les vitesses normales estimées pour fournir la pression acoustique au point d'écoute, en utilisant la version discrétisée de l'intégrale (7) avec $H_{Q,u} = 0$.

De sorte à analyser l'influence de la taille d'antenne et du taux de recouvrement d'un même point sur le mur par plusieurs positions d'antenne, les quatre configurations suivantes ont été simulées :

- I. Calculs SONAH effectuées séparément pour chacune des 4 positions de l'antenne 8x8, comme indiqué en figure 3.
- II. Procédure identique à I., seul changement : le recouvrement concerne 2 rangs et colonnes, au lieu de 1 précédemment.
- III. Même procédure que II., mais cette fois-ci on considère une antenne de 14x14 microphones sur chacune des couches.
- IV. Même procédure que III., mais la surface d'intégration est limitée à la plaque vibrante.

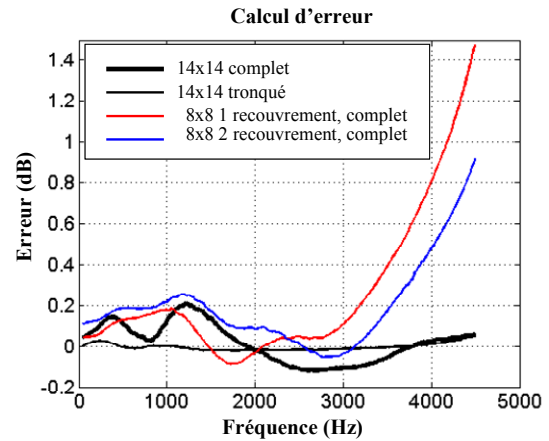


Figure 4 : Erreurs d'estimation de la pression acoustique au point d'écoute pour les 4 configurations I, II, III et IV.

La figure 4 montre l'erreur en décibel. Les erreurs pour toutes les configurations sont généralement faibles, mais

croissantes en hautes fréquences, excepté pour l'antenne 14x14 des configurations III et IV. La majeure part de l'erreur est pratiquement supprimée par troncature de la surface d'intégration. Ceci est attendu dans la mesure où les erreurs de prédictions de SONAH sont plus importantes aux bords de l'antenne 14x14. En opérant cette troncature, nous appliquons au calcul notre connaissance que la vitesse vibratoire est nulle en dehors de la plaque.

4 Mesures

4.1 Le système de mesure

Le système pour l'acquisition est basé sur une antenne double couche de 8x8 microphones (figure 5), avec un espacement de 30 mm entre, et la distance entre couches est 31 mm. En raison de cet espacement, la fréquence haute d'utilisation est d'environ 5 kHz.

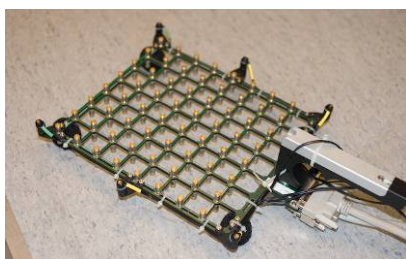


Figure 5 : Antenne double couche avec 6 LEDs infrarouge.

Attachés à l'antenne, des récepteurs infrarouges sont utilisés en relation avec le système de positionnement *3D Creator* permettant de connaître pendant les mesures la position et l'orientation de l'antenne.

La source de débit volumique, appelée *Omnisource* et utilisée à la position d'écoute lors des mesures des fonctions de transfert, est montrée sur la figure 6. A l'orifice de cette source, un système à deux microphones a été monté pour la mesure du débit volumique.



Figure 6 : Source de débit volumique sur le siège passager avant. L'orifice au sommet est montré ici dans le cas bloqué avec une plaque rigide sur laquelle est monté un microphone pour la mesure de la pression à la position d'écoute.

L'ordinateur contrôlant l'ensemble du système permet l'acquisition des données acoustiques et des positions de l'antenne en temps réel, relativement aux panneaux étudiés. L'analyse nécessite en effet un modèle géométrique des surfaces desquelles on souhaite déterminer la contribution au champ acoustique au point d'écoute.

Un tel modèle peut être importé (fichiers CAD) ou digitalisé, préalablement à la mesure, au moyen du système *3D Creator*. L'acquisition de la géométrie ainsi faite se traduit en terme de maillage sur lequel sont calculées les

pressions acoustiques et les vitesses particulières pour les deux phases de la méthode.

Finalement, à partir des deux champs sonores (et de la mesure du débit volumique par la source *Omnisource*), nous pouvons calculer la contribution à la pression au point d'écoute des différents panneaux.

4.2 Procédure des mesures

L'antenne double couches est placée à proximité des surfaces étudiées, de sorte à échantillonner le champ proche de pression acoustique. La position de l'antenne est enregistrée en temps réel, ainsi que les signaux temporels des microphones pour chacune des positions. L'antenne est placée en des positions avec un léger recouvrement entre elles, pour couvrir en totalité les surfaces étudiées morceau par morceau. Le logiciel d'acquisition de données affiche la position courante et les positions passées de l'antenne en vue 3D, permettant de se rendre compte des endroits restant à couvrir.

Pour la phase opérationnelle des mesures, un ensemble de références fixes est utilisé afin de fournir une référence de phase entre les différentes positions d'antenne. Le nombre de références doit être suffisamment grand pour obtenir une cohérence acceptable avec les capteurs de référence pour toutes les positions d'antenne. Pour la phase de mesures des fonctions de transfert, deux microphones seulement dans la source de débit volumique sont utilisées comme référence dans le but d'estimer le spectre du débit volumique.

Un aspect pratique doit être mentionné : l'influence de l'opérateur sur le champ sonore. L'influence pendant la phase opérationnelle n'est pas sévère dans la plupart des cas, en effet l'antenne est proche de la source étudiée. Mais durant la phase de mesure des fonctions de transfert, un biais significatif peut être introduit entre les positions d'antenne, si l'opérateur bouge entre elles.

4.3 Traitement des données

Différents calculs sont menés pour chaque position de l'antenne afin d'estimer le champ acoustique sur un sous-ensemble des nœuds du maillage. Pour les deux phases, opérationnelle et de mesure des fonctions de transfert, les matrices interspectrales entre références seulement d'une part, et entre références et microphones de l'antenne d'autre part sont calculées initialement.

Pour la phase de mesure des fonctions de transfert, celles entre la source acoustique et les microphones de l'antenne sont alors estimées, et finalement SONAH est utilisée pour calculer les fonctions de transfert $H_{Q,p}$ et $H_{Q,u}$ sur les nœuds attachés au panneau.

Pour le cas de la phase opérationnelle, une décomposition en composantes principales est réalisée sur la base des signaux de références. Ainsi pour chaque composante principale, un calcul SONAH de la pression et de la vitesse est effectué au niveau des nœuds du maillage.

Avant le calcul de contribution des panneaux, une aire de surface doit être définie. Ceci peut être effectué en dessinant une courbe fermée sur le maillage, dans le logiciel de traitement. En utilisant une version discrétisée de l'équation (7), nous pouvons alors calculer la contribution complexe pour l'aire définie et pour chaque composante principale. Finalement l'autospectre de la contribution peut être obtenu en sommant les composantes principales.

4.4 Mesures de haut-parleurs dans une cabine

Plusieurs haut-parleurs ont été excités dans une cabine automobile afin de vérifier la précision de la méthode dans un environnement réaliste. Hormis la source acoustique utilisée pour la phase de mesures des fonctions de transfert et décrite plus haut, un haut-parleur plat a été positionné sur la fenêtre avant droite de la cabine, voir figure 7.



Figure 7 : un haut-parleur plat monté sur la fenêtre avant droit de la cabine.

D'autres haut-parleurs ont été utilisés afin de fournir un relativement haut niveau de bruit de fond dans la cabine. On souhaite déterminer la contribution du haut-parleur plat au point d'écoute défini par la figure 6.

La figure 8 montre la pression mesurée et estimée au point d'écoute (orifice de la source de débit volumique), exprimée en 1/3 d'octave. La ligne noire correspond à la pression mesurée par le microphone au point d'écoute, lorsque seulement le haut-parleur plat sur la fenêtre est actif. La ligne noire en pointillée correspond au même de mesure, mais avec tous les haut-parleurs excités. La courbe en bleu (avec des losanges) montre la contribution du haut-parleur sur la fenêtre, estimée à partir des mesures opérationnelles lorsque tous les haut-parleurs sont actifs. L'aire d'intégration était légèrement supérieure à celle du haut-parleur plat. La courbe rouge (avec des cercles) montre la même estimation mais en supposant $H_{Q,u} = 0$ dans l'équation (7), qui est l'approximation usuelle.

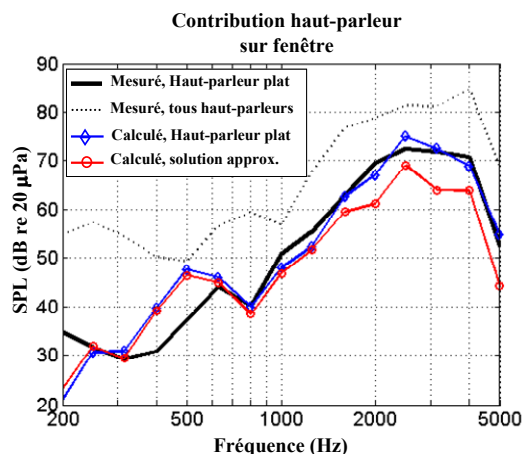


Figure 8 : Niveau de pression acoustique mesuré et estimé au point d'écoute (surface bloquée, se trouvant au niveau de l'orifice de la source de débit volumique).

Clairement cette approximation est faible au-delà de 1500 Hz environ, en raison que l'impédance de la membrane du haut-parleur plat est finie, par conséquent la vitesse surfacique sur la membrane excitée par la source de débit volumique diffère de façon significative de zéro.

L'utilisation des deux termes de l'équation (7) conduit à une estimation de la contribution plus précise, excepté au-dessous de 630 Hz, où le niveau d'émission sonore du haut-parleur plat est très bas. Les écarts sont plus probablement liés à l'opérateur se déplaçant légèrement entre les mesures de fonction de transfert et pendant la mesure de la pression au point d'écoute.

5. Conclusion

La théorie et quelques propriétés de la méthode APCA (Array-Based Panel Contribution Analysis) ont été présentées. La méthode utilise la technique holographique SONAH pour calculer les paramètres de champ nécessaires pour le calcul de contribution. Parmi les avantages de la méthode, on peut citer qu'il n'est pas nécessaire de monter des capteurs sur les panneaux que l'on souhaite analyser. Seulement des mesures par une antenne acoustique au-dessus de la zone d'intérêt sont requises. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de mesurer la totalité de la cabine. La méthode permet de plus de fournir de façon naturelle une cartographie des fonctions de transfert à partir d'un point d'écoute, et également des champs d'intensité acoustique sur les panneaux. Autre avantage est que les fuites acoustiques sont également incluses dans la méthode. Enfin, il n'est pas nécessaire de supposer que les panneaux soient rigides pendant la phase de mesure des fonctions de transfert.

Remerciements

Cette activité de recherche a été menée dans le cadre du projet CREDO, financé par la Commission Européenne dans le cadre du 6^e Framework Programme (Thematic Priority: Aeronautics and Space, AST5-CT-2006-030814).

Références

- [1] *lms.lmsintl.com*, "TRANSFER PATH ANALYSIS, the Qualification and Quantification of Vibro-acoustic Transfer Paths", *LMS International, Application Notes*, 2005.
- [2] J. Hald, "Patch holography in cabin environments using a two-layer handheld array with an extended SONAH algorithm," *Proceedings Euronoise 2006*.
- [3] J. Hald and J. Gomes, "A comparison of two patch NAH methods", *Proceedings of Inter-noise 2006*.
- [4] J. Hald, "Panel Contribution Analysis using a Volume Velocity Source and a Double Layer Array with the SONAH Algorithm", *Proceedings of Inter-noise 2006*.
- [5] A.D. Pierce, "Acoustics, An Introduction to Its Physical Principles and Applications", (equation 4-9.7), Acoustical Society of America, 1989.
- [6] J. Hald and J. Mørkholt, "Panel Contribution Analysis in a vehicle cabin using a dual layer handheld array with integrated position measurement", *Proceedings of SAE Noise and Vibration Conference*, 2009.