

Propagation et contrôle de bruit en écoulement

workshop *final du projet* Contrôle et Métrologie du Bruit en Ecoulement
soutenu par la Fondation de Recherche pour l'Aéronautique et l'Espace
ESIP, Poitiers, vendredi 21 novembre 2008

Résumé des interventions

Mesures optiques et microphoniques en conduit avec écoulement rapide

Aminou Gafare AKANI -LEA aminou.akani@lea.univ-poitiers.fr
Helene BAILLIET - LEA helene.bailliet@lea.univ-poitiers.fr
Jean-Pierre DALMONT - LAUM jean-pierre.dalmont@univ-lemans.fr
Jean-Christophe VALIERE - LEA jean-christophe.valiere@lea.univ-poitiers.fr

La contribution du Laboratoire d'Etudes Aérodynamiques (L.E.A) et du Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine (L.A.U.M) concerne l'étude de l'influence de l'écoulement sur la propagation multimodale (et le contrôle) d'un bruit fort niveau en conduit cylindrique au moyen de techniques de mesure optique et d'antennerie microphonique.

Dans un premier temps, une étude aéraulique de la veine d'essai a été réalisée à partir de mesures Laser Doppler. Les profils de vitesse moyenne et de vitesse RMS de l'écoulement ont été établis et comparés aux profils théoriques pour un écoulement turbulent développé. Puis l'estimation de la vitesse acoustique mesurée par LDV en présence d'écoulement fort a été effectuée. À cet effet, des méthodes de traitement du signal acoustique en présence d'écoulement existantes ont été testées pour des vitesses d'écoulement jusqu'à Mach 0,3. Les profils de vitesse acoustique, les schémas d'onde, et l'évolution de la vitesse acoustique en fonction de la fréquence ont été étudiés.

Par ailleurs un système d'antennerie développé au Mans a été dupliqué et implémenté au LEA. D'une part une estimation de la vitesse acoustique à partir des mesures de pression acoustique a été proposée sur la base de modèle de propagation, et les résultats obtenus comparés aux résultats de mesures Laser. D'autre part, des mesures de pression par réseau d'antennerie ont permis d'estimer la structure modale du champ de pression pour des écoulements forts. Ces mesures ont également permis d'estimer l'impédance de rayonnement du guide ouvert pour le mode plan et les premiers modes hélicoïdaux pour différentes vitesses d'écoulement.

Enfin des mesures par Velocimétrie Laser Doppler ont été réalisées en collaboration avec le Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (L.M.A) de Marseille en vue d'étudier l'effet du contrôle sur les vitesses et pressions acoustiques dans la conduite.

Identification de sources acoustiques dans un conduit : application au bruit de charge périodique d'un ventilateur

Teresa Bravo et Cédric Maury
Université de Technologie de Compiègne, Laboratoire ROBERVAL UMR-CNRS 6253, Secteur Acoustique, Centre de Recherche Royallieu, BP 20529, 60205 Compiègne Cedex.

Cette étude théorique et expérimentale a été développée au sein du projet INDUCT financé par la Commission Européenne (Programme Marie-Curie). Elle adresse les limitations physiques de l'approche IFRF ("Inverse Frequency Response Function") appliquée à l'identification de sources qui rayonnent dans un conduit rigide ou traité en présence d'écoulement. Le problème concerne la

localisation et la reconstruction d'une distribution de sources aéro-acoustiques compactes, éventuellement corrélées, à partir de mesures internes ou pariétales du champ de pression qui se propage dans le conduit. Ces sources représentent, par exemple, le bruit de charge périodique, de nature dipolaire, qui résulte d'une variation locale des efforts aérodynamiques exercés sur les pales d'un ventilateur caréné par un écoulement non-uniforme.

On a montré que la précision sur la reconstruction des efforts s'améliore lorsque l'identification est effectuée sur les harmoniques BPF ("Blade Passing Frequency") d'ordres supérieurs et lorsque la distance de séparation diminue entre la surface d'observation et les sources, de telle sorte qu'en champ proche, la précision de la reconstruction est quasiment indépendante de l'ordre des harmoniques du bruit tonal mesuré. La reconstruction s'appuie sur une méthode de régularisation directe de type Tikhonov – Courbe en L, qui s'est avérée fournir des résultats plus stables par rapport à la méthode Tikhonov – VCG (Validation Croisée Généralisée). Enfin, la résolution dépend de manière cruciale du nombre de modes hélicoïdaux propagatifs qui sont excités efficacement par les sources. Un critère a été formulé sur l'ordre de l'harmonique au-delà de laquelle les sources sont reconstruites avec une résolution inférieure à l'angle de séparation des pales du ventilateur.

Caractérisation d'un absorbant hybride actif/passif en écoulement rapide

Benjamin Betgen, Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique

Le LMFA développe depuis une dizaine d'années des traitements absorbants hybrides combinant absorption passive et contrôle actif, adaptés aux applications en présence d'écoulement. Leur principe est le suivant: Le contrôle actif est utilisé dans le domaine des basses fréquences pour réduire la pression à l'arrière d'un matériau poreux de manière à produire par transfert en face avant, une impédance purement réelle, déterminée par la résistivité du matériau. Dans le domaine des hautes fréquences, le matériau poreux assure une absorption passive. La partie active étant protégée par la couche de matériau poreux, ce système est particulièrement adapté au contrôle en présence d'un écoulement. La mise en œuvre de ces absorbants commence par la détermination par modélisation, de l'impédance optimale, définie comme étant celle qui produit la meilleure réduction de bruit.

Un tronçon contenant quatre cellules hybrides a été caractérisé dans le conduit COMBE. Les cellules forment un anneau, la longueur de l'absorbant (direction axiale du conduit) est de 10cm. L'algorithme feedback utilisé permet de commander chaque cellule indépendamment. Une bonne convergence a été observée sans et avec écoulement. La perte par transmission a été déterminée à différentes fréquences pures entre 800 Hz et 1600 Hz et les résultats expérimentaux confirment les résultats des simulations. Sans écoulement, la perte par transmission dans la gamme entre 800 Hz et 1000 Hz est de 2 à 3 dB en mode passif et de 5 à 6 dB en mode actif. En présence d'un écoulement de Mach 0,3, les performances sont légèrement diminuées, atteignant 1 à 2 dB en passif contre 2 à 5 dB en mode actif. Au delà de 1000 Hz, des mesures ont montré que la taille des cellules s'avère trop importante pour assurer une minimisation homogène de la pression à l'arrière de la couche poreuse.

Les travaux actuels portent sur la réalisation complète (partie réelle et partie imaginaire) de l'impédance optimale, grâce à un montage original comportant une toile résistive et deux microphones pour obtenir la vitesse acoustique. Les premiers essais ont lieu en tube de Kundt et les cellules seront prochainement testées en écoulement rapide.

Contrôle actif adaptatif d'intensité acoustique en présence d'écoulement

Simon F., Marechal R. ONERA Toulouse France

Dans la plupart des études portant sur la réduction de bruit par contrôle actif, les fonctions coût correspondent à une minimisation de la pression acoustique réalisée par des méthodes adaptatives en temps réel. Néanmoins, en présence d'ondes stationnaires, les champs de pression étant complexes, la minimisation de la pression acoustique à l'aide d'un unique microphone peut conduire à la modification du champ sans réelle diminution globale (voire à une augmentation) si la position du microphone n'est pas adéquate. Une façon d'éviter cet écueil est d'augmenter le nombre de microphones et de minimiser, par exemple, la somme des pressions quadratiques mesurées ou de coupler la minimisation à un modèle modal identifié préalablement.

Une autre approche consiste à s'intéresser à la puissance acoustique propagée qui, de fait, ne présente pas de nœud de pression.

L'intensité acoustique active est une quantité vectorielle représentative de l'énergie propagée. A ce titre, si la direction principale de propagation des ondes est identifiée, minimiser localement l'intensité dans cette direction revient généralement à s'assurer d'une réduction de l'énergie propagée à l'aval. De façon pratique, le contrôle porte sur l'intensité acoustique instantanée et nécessite un algorithme de contrôle adaptatif à deux entrées, soit deux signaux de pression (dérivé du FX-LMS feedforward). Le processus de minimisation conduit à une réduction d'amplitude de pression au niveau des deux capteurs et/ou à une réduction du déphasage entre capteurs (selon la proximité entre actionneur et capteurs).

La contribution de l'ONERA dans le cadre du projet CoMBE est d'utiliser l'intensité acoustique instantanée comme fonction coût pour tenter d'atteindre une réduction du bruit plus globale en sortie de veine en présence d'écoulement.

Après une description théorique de l'intensité acoustique et de la fonction coût associée en présence d'écoulement, le principe de contrôle actif est appliqué au banc COMBE (contrôles virtuel et réel).

Il a été constaté que le contrôle d'intensité procure généralement de meilleures réductions de pression à l'aval qu'un contrôle de pression local, sur la gamme de fréquence étudiée, à savoir 800-1300 Hz, que ce soit en présence d'écoulement ou non. Cependant, le contrôle d'intensité est beaucoup plus lourd en temps de calcul ce qui nécessite pour les cas de contrôle en temps réel de réduire le nombre de points dans les réponses impulsionnelles tronquées. La performance du contrôleur est par conséquent affectée. Par ailleurs, en présence d'un écoulement de l'ordre de Mach 0.15, un contrôle actif avec une fonction coût de type "intensité sans écoulement" est préférable à une fonction coût complète car la contribution de l'écoulement dans la formulation d'intensité n'est pas significative. On réduit de ce fait le nombre d'opérations nécessaires.

Bien que les performances limitées du contrôleur réel n'aient pas permis de confirmer ces résultats, on peut estimer avec une relative confiance que le contrôle actif d'intensité offre une réelle piste pour réduire de manière plus globale le bruit en aval du capteur d'erreur et donc la puissance acoustique rayonnée en sortie de veine.

Etude théorique et expérimentale des résonateurs de Herschel-Quincke pour le contrôle du bruit de soufflante

Benjamin Poirier, Cédric Maury et Jean-Michel Ville

Université de Technologie de Compiègne, Laboratoire ROBERVAL UMR-CNRS 6253, Secteur Acoustique, Centre de Recherche Royallieu, BP 20529, 60205 Compiègne Cedex.

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une thèse de doctorat BDI-CNRS en collaboration avec SNECMA. Le calcul analytique tridimensionnel de la matrice de diffusion d'un tronçon cylindrique

comportant un ensemble de dérivations fermées (tubes HQ, dits de "Herschel-Quincke") est développé. Le modèle prend en compte la géométrie de type quadrique bicylindre à l'interface tube-conduit ainsi que la forme coudée des tubes. Ce modèle est validé par une confrontation avec les résultats d'un calcul par éléments finis et par des mesures réalisées sur le banc d'essai DUCAT. Une étude paramétrique sur le nombre de tubes, leur diamètre, l'entraxe et leur position angulaire a permis de mettre en évidence les phénomènes physiques mis en jeu, en particulier les effets de conversion modale, et de pouvoir ainsi dégager des lois utiles à la conception acoustique. Enfin l'intérêt de l'association d'un tronçon HQ avec un tronçon traité est présenté sur un cas de mise en série des deux dispositifs. Les résultats numériques et expérimentaux sont confrontés afin tout d'abord de valider le modèle puis de permettre d'optimiser l'efficacité d'un système HQ.

Contrôle actif multimodal en écoulement : quels problèmes et quelles solutions ?

Emmanuel Friot, CNRS-Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, friot@lma.cnrs-mrs.fr

Le programme CoMBE a permis la mise en oeuvre dans des conditions de laboratoire du contrôle multimodal du bruit propagé dans un conduit parcouru par un écoulement jusqu'à nombre de Mach 0,3. Les premières campagnes de mesures ont montré que le contrôle actif réduisait fortement le bruit rayonné quand la vitesse de l'écoulement et le nombre de modes propagatifs étaient bas (55dB d'atténuation pour 3 modes à 1100Hz et $M=0$) ; en revanche les performances du contrôle se réduisent quand augmentent la vitesse de l'écoulement (20dB d'atténuation à $M=0,3$) et le nombre de modes propagatifs (35dB avec 6 modes à 2450Hz et $M=0$).

Dans un deuxième temps, la mise en oeuvre, en temps réel mais sans écoulement, d'un algorithme de gradient stochastique avec pré-conditionnement a permis d'expliquer la réduction des performances du contrôle avec le nombre de modes par l'évolution du conditionnement de la matrice de transfert secondaire et d'en compenser les effets. Des simulations numériques faites à partir des mesures obtenues sur la veine ont aussi permis d'expliquer la dégradation des performances avec la vitesse de l'écoulement s'explique par la non-stationnarité de la propagation acoustique (fluctuations de célérité longitudinale) plutôt que par sa non-linéarité. La superposition linéaire des excitations acoustiques « bruit » et « anti-bruit » reste donc physiquement possible. Enfin l'installation de la veine d'essai dans la grande chambre sourde du LMA a permis de constater que les atténuations permises par le contrôle actif dans la veine s'accompagnaient d'une bonne atténuation du bruit rayonné à son extrémité.