

# Des obstructions de contrôle pour lutter contre le bruit des ventilateurs axiaux

**Anthony Gérard,**  
**Alain Berry,**  
**Patrice Masson**  
Groupe d'Acoustique  
de l'Université de Sherbrooke  
QUEBEC, J1K 2R1  
Canada  
E-mail : anthony.gerard@USherbrooke.ca

**Yves Gervais**  
Laboratoire d'études aérodynamiques  
40, avenue du Recteur Pineau  
Bat. K  
86022 Poitiers CEDEX  
E-mail : yves.gervais@lea.univ-poitiers.fr

## Résumé

L'homogénéisation passive adaptée de la non-uniformité de l'écoulement traversant le ventilateur est une approche originale de contrôle du bruit de raie qui se distingue des techniques de contrôle passives et actives classiques. L'idée du contrôle passif adapté de l'écoulement est de tirer parti d'un des mécanismes de génération du bruit de raie pour le contrôler. Une obstruction de contrôle peut ainsi être positionnée en amont du rotor de sorte qu'elle provoque un rayonnement secondaire d'égal intensité mais en opposition de phase avec le rayonnement primaire à la fréquence de passage des pales (FPP) ou un de ses harmoniques. Plusieurs obstructions de contrôle peuvent être utilisées pour contrôler plusieurs fréquences. Dans cette étude, des obstructions sinusoïdales et trapézoïdales sont proposées pour contrôler la FPP et son premier harmonique, sans régénération d'harmoniques d'ordres supérieurs. Des résultats expérimentaux en champ libre sur un ventilateur de radiateur d'automobile ont montré que le contrôle est efficace dans tout l'espace à la FPP. Des atténuations de l'ordre de 21 dB et 15 dB ont aussi été obtenues dans un conduit, respectivement à la FPP et à son premier harmonique. Finalement, des mesures d'efficacité de l'ensemble ventilateur/obstruction de contrôle ont montré que la perte d'efficacité aéronautique engendrée par l'ajout d'une obstruction de contrôle est inférieure à 1%, ce qui est négligeable par rapport au gain acoustique.

## Abstract

This paper presents a novel approach for the passive adaptive control of tonal noise radiated from subsonic axial fans. Tonal noise originates from non-uniform flow that causes circumferentially varying blade lift and gives rise to radiated dipolar sound at the blade passage frequency (BPF) and its harmonics. The approach used in this paper is to introduce a flow control obstruction to generate a secondary circumferential unsteady lift mode, of equal amplitude but opposite in phase with the most radiating primary circumferential unsteady lift mode so that the resultant of both the most radiating primary mode and the secondary mode is null. Acoustic pressure attenuation up to 21 dB and 15 dB was obtained respectively at the BPF and at its first harmonic, using two control obstructions. Finally, the aerodynamic performance of the automotive fan used in this study is almost unaffected by the presence of the control obstruction.

**D**eux types de bruits de ventilateur sont à distinguer : le bruit large bande, associé à la turbulence, et de nature fortement aléatoire, et le bruit de raie à la fréquence de passage des pales (FPP) et ses harmoniques, périodique par nature. Des solutions passives, basées sur la géométrie des pales du rotor et sur l'environnement immédiat du ventilateur, ont déjà permis de réduire le bruit rayonné. Il s'agit de mesures préventives. Cependant, lorsque l'écoulement traversant le ventilateur est spatialement non uniforme, cas fréquemment rencontré en pratique, un bruit de raie peut fortement émerger du bruit large bande. Ce bruit est souvent basse fréquence pour les ventilateurs largement subsoniques; dans ce cas, l'ajout de matériaux absorbants est inefficace et les silencieux encombrants et coûteux. De plus, la place disponible pour ces ajouts est souvent limitée, comme dans le cas des ventilateurs de radiateur d'automobile. Il faut alors faire appel à des mesures curatives, comme le contrôle actif acoustique ou le contrôle actif à la source.

En contrôle actif acoustique conventionnel, des haut-parleurs sont utilisés pour générer un bruit en opposition de phase avec le bruit à contrôler. Beaucoup d'applications de contrôle actif du bruit de ventilateur sont orientées vers le contrôle d'ondes planes en conduit [1] et peu en champ libre [2]. D'autres

études ont aussi montré qu'un contrôle actif du bruit de raie à la source est possible, soit en contrôlant les forces sur les pales (génération magnétique [3] ou vibratoire [4]), soit en contrôlant directement l'écoulement à l'origine des forces :

- aspiration de la couche limite ou soufflage au bord de fuite des pales d'un rotor [5],
- injection de fluide au bord de fuite d'aubes de stator pour réduire les sillages lâchés par celles-ci et interceptées par les pales du rotor [6] ou,
- injection d'air par des buses réparties circonférentiellement entre le rotor et un stator [7]. Ces solutions technologiques présentent un grand intérêt pour l'intégration des systèmes de contrôle actif mais sont relativement complexes et dispendieuses.

Dans cet article, nous traitons d'une technique semi-active particulière, qui fait appel ni au contrôle passif ni au contrôle actif conventionnels. Cette technique consiste à créer volontairement une non-uniformité dans l'écoulement à l'aide d'obstructions pour générer des sources aéroacoustiques secondaires en opposition de phase avec les sources primaires. Quelques études ont porté sur l'utilisation de cylindres introduits dans l'écoulement [8-11]. Cependant les

sillages saillants générés par de tels cylindres de contrôle ne permettent pas de contrôler sélectivement une fréquence présente dans le spectre acoustique du ventilateur sans affecter les autres fréquences. Dans cet article, nous nous intéressons donc à la conception d'obstructions capables de contrôler une seule fréquence à la fois, sans affecter les harmoniques d'ordres supérieurs.

Dans la première partie, les mécanismes de génération du bruit de raie sont rappelés, puis le principe du contrôle et la conception d'obstructions harmoniquement sélectives sont exposés. Enfin, des résultats de contrôle d'une raie en champ libre et de deux raies en conduit sont présentés.

## Génération du bruit de raie des ventilateurs

Lorsque l'écoulement traversant un ventilateur est spatialement non uniforme mais stationnaire, les angles d'attaques, et donc les forces de portance, des différentes pales varient périodiquement, constituant ainsi des sources acoustiques efficaces (charge instationnaire).

Un rotor rayonne intensément à la fréquence de passage des pales quand il interagit avec un écoulement non uniforme dont la distribution circumférentielle possède autant de périodes spatiales que le ventilateur a de pales ( $B$ ). Dans ce cas, les portances de toutes les pales fluctuent en phase (mode circumférentiel de portance d'ordre  $B$ ). Cette «coïncidence aéroacoustique» entre le rotor et l'écoulement fait rayonner en phase toutes les sources acoustiques élémentaires situées sur les pales du rotor à la fréquence de passage des pales. Lorsque la périodicité circumférentielle de l'écoulement est doublée, c'est le mode circumférentiel de portance d'ordre  $2 \times B$  qui est généré, les sources acoustiques élémentaires rayonnent alors en phase à la fréquence  $2 \times FPP$ , etc... Dans ces cas de coïncidence entre la périodicité circumférentielle de l'écoulement et un multiple du nombre de pales, le rayonnement acoustique global est quasi dipolaire.

Quand la périodicité circumférentielle de l'écoulement n'est pas égale à un multiple du nombre de pales, les portances sont déphasées de pale en pale (modes de portance d'ordres différents de  $B$ ,  $2B$ ,  $3B$ ...). Il existe donc des interférences destructives entre les différentes sources acoustiques situées sur les différentes pales du rotor ; ainsi, le rayonnement qui est associé à ce type d'interaction est beaucoup moins intense (à tout le moins pour ce qui concerne les ventilateurs subsoniques), et n'est plus dipolaire. Cependant, quand la vitesse de rotation est très élevée, ce type d'interaction peut devenir non-négligeable. Le bruit de charge stationnaire peut aussi devenir prépondérant à grande vitesse de rotation (soufflantes de turboréacteur par exemple).

En général, la non-uniformité de l'écoulement ingéré par le ventilateur est la superposition d'un grand nombre de périodicités circumférentielles de l'écoulement (décomposition en série de Fourier circumférentielle de l'écoulement), ce qui induit un grand nombre de modes de portance circumférentiels (décomposition en série de Fourier circumférentielle de la portance). L'origine de cette non-uniformité peut provenir de divers éléments mécaniques interagissant avec l'écoulement (tels que radiateurs, condenseurs, supports moteur, aubes de stator en amont ou en aval du rotor, coudes dans un conduit,...).

## Principe du contrôle

Pour contrôler la majeure partie du bruit de raie des ventilateurs subsoniques, il suffit de contrôler le mode de portance le plus rayonnant, c'est-à-dire celui engendré par la composante circumférentielle  $nB$ -périodique de l'écoulement.

La méthode de contrôle que nous proposons [12] consiste à tirer profit des mécanismes de génération du bruit de raie que nous venons de décrire en ajoutant volontairement une obstruction  $nB$ -périodique près du rotor (en amont de préférence), placée de manière à ce qu'elle génère un mode de portance secondaire  $nB$  d'égale amplitude mais en opposition de phase par rapport au mode de portance primaire  $nB$ . Une grande partie du rayonnement acoustique secondaire se trouve ainsi en opposition de phase avec le rayonnement acoustique primaire à la fréquence  $n \times FPP$  (Fig. 1).

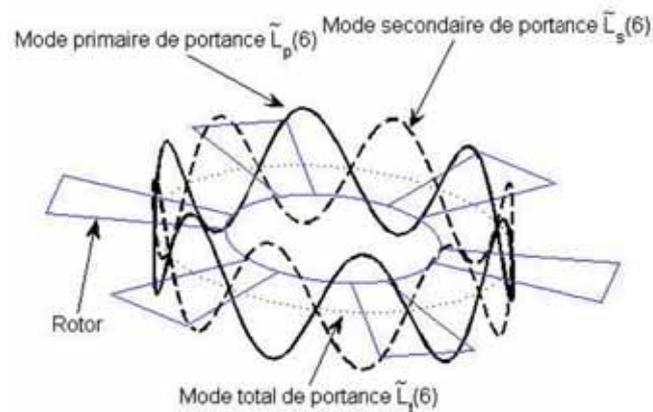


Fig. 1: Principe du contrôle du mode de portance le plus rayonnant à la FPP pour un rotor à 6 pales

Cette méthode est passive au sens où le contrôle d'un son pur généré par le ventilateur ne nécessite pas d'injection d'énergie. Elle s'inspire aussi des méthodes de contrôle actif dans le sens où la position des obstructions doit être adaptée pour générer une onde acoustique en opposition de phase avec l'onde primaire à contrôler. Cette méthode peut aussi être adaptative pour suivre les éventuelles variations temporelles de l'écoulement primaire. Nous parlerons alors de contrôle passif adapté pour contrôler la partie stationnaire de l'écoulement et de contrôle passif adaptatif pour contrôler la partie instationnaire de l'écoulement. Dans toutes les études menées sur le sujet, seule la composante stationnaire de l'écoulement primaire a été contrôlée (contrôle passif adapté). Les études antérieures [8-11] ont aussi montré qu'avec des obstructions cylindriques il est difficile de contrôler une fréquence particulière sans amplification de ses harmoniques. En effet, les sillages saillants derrière les cylindres induisent un écoulement et une distribution de portance secondaire possédant un spectre circumférentiel étendu. Dans cet article, nous nous intéressons donc à la conception d'obstructions capables de contrôler une seule fréquence à la fois, sans affecter les harmoniques d'ordre supérieur, nous parlerons alors d'obstructions harmoniquement sélectives. Il est ainsi possible d'utiliser

des algorithmes de contrôle découplés qui ajustent les positions de plusieurs obstructions de contrôle (ou séries d'obstructions) indépendamment les unes des autres pour contrôler chacune des fréquences générées par le ventilateur. La problématique de la sélectivité harmonique du contrôle se retrouve aussi lorsque des jets d'air sont utilisés pour générer les sources acoustiques secondaires [Lemke, 7].

### Conception des obstructions

Pour la conception d'obstructions harmoniquement sélectives, nous avons développé un modèle analytique d'interaction rotor/obstruction basé sur les fonctions de Sears [13-14] qui fournit les forces fluctuantes sur les pales (les sources de bruit) en fonction des caractéristiques géométriques de l'obstruction et du rotor, en supposant un sillage gaussien derrière les obstructions (en amont du rotor). Nous avons ainsi sélectionné quelques géométries d'obstructions qui présentent de bonnes propriétés de sélectivité harmonique (Fig. 2) : pour les pales trapézoïdales, une obstruction formée d'une série circonférentielle d'«ailerons de requin» et pour les pales très déversées, une série d'obstructions trapézoïdales de largeur approximativement égale à une corde de pale. L'obstruction sinusoidale est une géométrie intermédiaire présentant de bonnes propriétés de pureté harmonique quel que soit le type de pale. Selon les conditions d'utilisation du ventilateur, les obstructions sinusoidales et autres obstructions peuvent être fabriquées en carton, en plexiglas, métal ou autres...

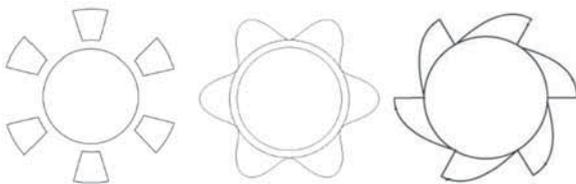


Fig. 2 : Obstructions de contrôle de la FPP pour un ventilateur à 6 pales. À gauche : obstructions trapézoïdales, au milieu : obstruction sinusoidale, à droite : «ailerons de requin»

### Mise en œuvre du contrôle

#### Positionnement des obstructions

Le banc d'essai utilisé pour le positionnement des obstructions est présenté sur la Fig. 3.

L'ajustement de la distance axiale rotor/obstruction permet de trouver une pression acoustique secondaire ( $p_s$ ) de même amplitude que la pression acoustique primaire ( $p_p$ ) et l'ajustement de la position angulaire des obstructions permet de déphaser la pression acoustique secondaire par rapport à la pression acoustique primaire. Pour minimiser la pression acoustique totale ( $p_t = p_p + p_s$ ), diverses stratégies de positionnement des obstructions ont été testées :



Fig. 3 : Système de positionnement des marguerites

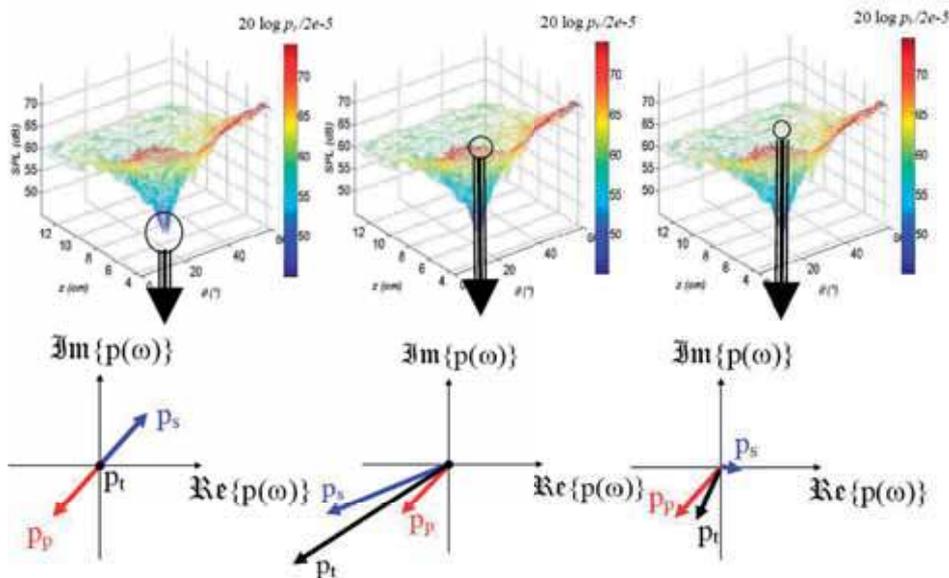


Fig. 4 : En haut : Surface d'erreur mesurée en champ libre au microphone d'erreur situé dans l'axe du ventilateur, en amont. La surface d'erreur représente le niveau de pression acoustique à la fréquence de passage des pales en fonction de la position axiale (z) et de la position angulaire ( $\theta$ ) d'une série d'obstructions trapézoïdale.

En bas : Représentation des vecteurs de pression acoustique primaire  $p_p$  ; secondaire  $p_s$  et totale  $p_t = p_p + p_s$  dans le plan de Nyquist pour quelques positions de obstruction de contrôle.

- à l'oreille,
- en mesurant, à l'aide d'un microphone et d'un analyseur de spectre, la surface d'erreur (haut de la Fig. 4), c'est-à-dire la pression acoustique totale en fonction de la position axiale ( $z$ ) et de la position angulaire ( $\theta$ ) de l'obstruction de contrôle (la position optimale de l'obstruction est alors celle qui minimise l'amplitude de la pression acoustique totale),
- en mesurant, à l'aide d'un tachymètre, un microphone et un analyseur de spectre (ou oscilloscope), la pression acoustique totale dans le plan de Nyquist (bas de la Fig. 4).

Lorsque l'obstruction de contrôle n'est pas présente dans l'écoulement (ou loin du rotor), l'autospectre de la pression acoustique mesurée par le microphone nous fournit une information sur l'amplitude du bruit primaire et l'interspectre entre les signaux issus du microphone et du tachymètre nous fournit une information sur la phase du bruit primaire. Lorsque l'obstruction de contrôle est introduite dans l'écoulement, les amplitudes et les phases mesurées sont celles du bruit total (bruit primaire + bruit secondaire). Si un ruban réfléchissant a été collé sur chaque pale du rotor une rotation de  $2\pi/B$  de l'obstruction fera tourner la phase du bruit secondaire de  $2\pi$ .

La méthode du plan de Nyquist, qui présente beaucoup de similitudes avec l'équilibrage dynamique [15], permet d'analyser vectoriellement (amplitude et phase) la pression acoustique primaire (sans obstruction) et totale (avec obstruction de contrôle). La position optimale de l'obstruction est alors celle qui correspond à un vecteur nul dans le plan de Nyquist, pour lequel  $p_s = -p_p$  (Fig. 4 à gauche). Lorsque l'obstruction est trop proche du rotor, l'amplitude du vecteur secondaire peut être plus grande que l'amplitude du vecteur primaire ; dans ce cas, il y a risque d'amplification du bruit primaire (Fig. 4 au milieu). Lorsque l'obstruction de contrôle est relativement loin du rotor, l'amplitude du bruit secondaire est négligeable ; dans ce cas le bruit total est environ égal au bruit primaire (Fig. 4 à droite). Certains oscilloscopes et analyseurs de spectre permettent la visualisation de signaux dans le plan de Nyquist, ce qui facilite le positionnement des obstructions grâce à l'observation du vecteur de pression acoustique total à la fréquence à contrôler, en temps réel, en fonction de la position de l'obstruction de contrôle.

### Résultats d'atténuation d'une fréquence en champ libre

Les résultats de contrôle en champ libre ont été obtenus à l'oreille pour des ventilateurs de radiateur d'automobile (diamètre 30 cm) à six pales tournant approximativement à 3 000 tours/min. Le contrôle de la FPP (300 Hz) générée par une interaction «primaire» rotor/stator (sans radiateur) a été réalisé par une obstruction sinusoidale (Fig. 5).



Fig. 5 : Photo de l'obstruction sinusoidale en position optimale. À gauche : vue de l'amont dans l'axe, à droite : vue amont  $3/4$

La Fig. 6 présente les niveaux de pression acoustique avec et sans contrôle sur un arc de cercle centré sur le milieu du ventilateur. La réduction sonore est globale dans tout l'espace amont et aval du ventilateur. La puissance acoustique intégrée dans tout l'espace, estimée à partir de pressions acoustiques mesurées en 66 points répartis sur une sphère en champ lointain, a été atténuée de 8.4 dB à la FPP.

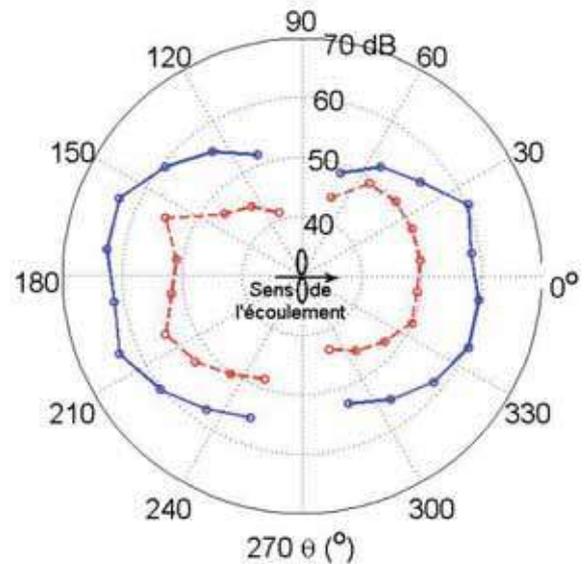


Fig. 6 : Directivité du rayonnement sonore à la fréquence de passage des pales avec contrôle (traits discontinus) et sans contrôle (traits pleins).

### Résultats d'atténuation de deux fréquences en condition de rayonnement mixte

Le contrôle simultané de la FPP (cette fois à 280 Hz), à l'aide d'une série de 6 obstructions trapézoïdales, et de son premier harmonique (560 Hz), à l'aide d'une seconde série de 12 obstructions trapézoïdales, est présenté dans une condition de rayonnement mixte : condition semi-anéchoïque en amont du ventilateur et mixte de propagation en conduit en aval pour une configuration d'interaction rotor/(stator + radiateur).

Les atténuations de pression acoustique de la FPP et de son premier harmonique (Fig. 7 page suivante) sont respectivement de l'ordre de 20 dB et de 10 dB en amont (microphone situé à 1 m dans l'axe) et en aval (microphone situé à 190 cm au centre du conduit). Les amplitudes des harmoniques d'ordres supérieurs ne sont quasiment pas affectées par le contrôle, ce qui confirme la sélectivité harmonique des

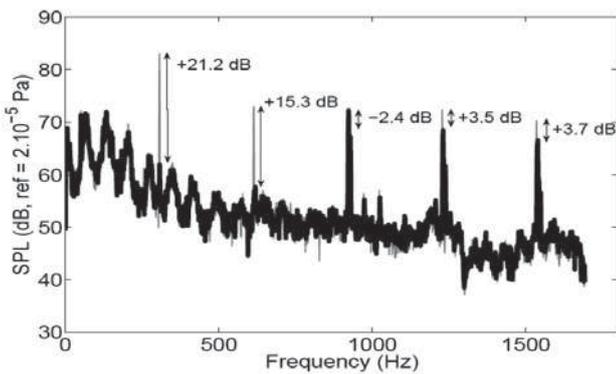
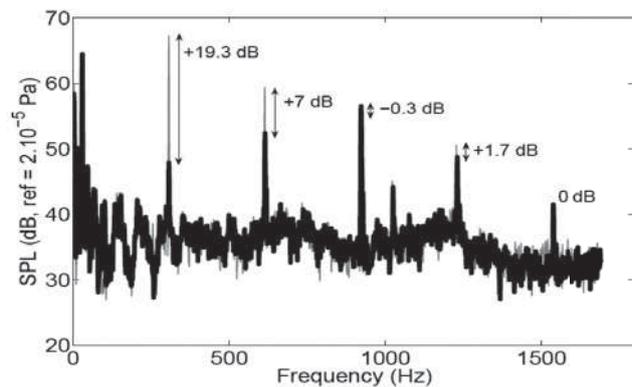


Fig. 7 : Spectres fréquentiels du niveau de pression sonore avec (trait épais) et sans contrôle (trait fin). À gauche : en aval (en conduit)



à droite : en amont (chambre semi-anéchoïque). Une série de 6 obstructions trapézoïdales et une série de 12 obstructions trapézoïdales ont été utilisées simultanément pour le contrôle de la FPP et de  $2 \times$ FPP respectivement.

obstructions de contrôle. Dans le cas du contrôle simultané de deux fréquences, la position de la série de 6 obstructions trapézoïdales utilisée pour contrôler la FPP est indépendante de la position de la série de 12 obstructions trapézoïdales puisque les deux séries d'obstructions sont harmoniquement sélectives.

Quelques expériences (non présentées ici) ont permis de montrer que la position optimale des obstructions n'a pas besoin d'être ajustée quand la vitesse de rotation du ventilateur change. Un léger ajustement peut cependant être nécessaire pour une modification de charge du ventilateur. Si la forme spatiale moyenne de l'écoulement change fortement, il peut être indispensable d'adapter la position de l'obstruction. Un algorithme adaptatif de positionnement optimal a été proposé dans [15].

### Impact des obstructions sur l'efficacité aéraulique du ventilateur

Les performances aérauliques du ventilateur ont été mesurées avec et sans obstructions de contrôle, dans une chambre de mesure répondant aux normes de l'AMCA (Air Movement and Control Association) dans les laboratoires de Siemens VDO, Ontario, Canada. L'effet des obstructions de contrôle sur l'efficacité du ventilateur ( $\text{Pression statique (Pa)} \times \text{Débit (m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) / \text{Puissance électrique d'entrée (W)}$ ) est négligeable dans la plupart des cas ( $< 1\%$ ). L'utilisation d'une grande obstruction ( $196 \text{ cm}^2$ ) située à 3 cm du rotor ( $707 \text{ cm}^2$ ), a fait passer l'efficacité aéraulique de 25,8% à 24,7%, ce qui a été le pire cas mesuré [15].

### Conclusion

À l'aide d'obstructions introduites dans l'écoulement, il est possible de contrôler le mode circonférentiel de l'écoulement ingéré par le ventilateur le plus efficace à rayonner du bruit, pour la FPP et ses harmoniques. Les obstructions sont

positionnées afin de générer une onde acoustique secondaire en opposition de phase avec l'onde acoustique primaire à contrôler. L'amplitude et la phase du bruit secondaire sont respectivement contrôlées par la distance axiale entre le rotor et les obstructions, et la position angulaire des obstructions. Un modèle basé sur les fonctions de Sears a permis la conception d'obstructions capables d'atténuer une fréquence particulière sans affecter le rayonnement à d'autres fréquences. Des séries d'obstructions trapézoïdales optimisées et d'obstructions sinusoidales permettent un contrôle harmoniquement beaucoup plus sélectif que les obstructions cylindriques testées dans la littérature. Les atténuations mesurées en champ libre ont montré que la réduction sonore est globale dans tout l'espace.

En combinant deux séries d'obstructions, nous avons atténué simultanément le niveau de pression acoustique aux microphones d'erreur, situés dans l'axe du ventilateur, d'une vingtaine de dB pour la FPP et une dizaine de dB pour son premier harmonique. Des mesures ont finalement montré que l'impact des obstructions est mineur sur les performances aérauliques du ventilateur.

Les applications de la méthode de contrôle passif adapté de l'écoulement sont nombreuses dans le secteur automobile, de la climatisation et pour les ventilateurs acoustiquement compacts en général, en champ libre ou pour le contrôle des ondes planes en conduit. De plus, cette méthode de contrôle offre une alternative aux techniques de contrôle actif acoustique classique, pour des ventilateurs évoluant dans des conditions inhospitalières (là où l'usage d'un haut-parleur de contrôle est impossible) et lorsque les niveaux acoustiques demandés excèdent les limites de puissance des haut-parleurs.

Les travaux en cours portent sur l'évaluation psychoacoustique du contrôle, le contrôle adaptatif de la position des obstructions pour suivre d'éventuelles variations de l'écoulement primaire, et sur l'optimisation de capteurs qui seraient intégrés dans une solution adaptative.

## Remerciements

Ce travail a été financé par le réseau de centres d'excellences canadien Auto21. Nous tenons à remercier Sylvain Nadeau de Siemens VDO Automotive Inc. pour sa collaboration et Jacky Tartarin de l'Université de Poitiers pour des discussions fructueuses.

## Références bibliographiques

- [1] L.J. Eriksson, M.C. Allie, C.D. Bremigan et J.A. Gilbert, Active Noise Control and Specifications for Fan Noise Problems. Noise Con 88, Purdue University, USA, 1988.
- [2] A. Gérard, A. Berry et P. Masson. Active control of tonal noise from subsonic axial fan. part 2 : Active control simulations and experiments in free field. *Journal of Sound and Vibration*, 288(4-5):1077-1104, 2005.
- [3] G.E. Piper et J.M. Watkins. Active control of axial-flow fan noise using magnetic bearings. *Journal of Vibration and Control*, 11(9):1221-1232, 2005.
- [4] G.C. Lauchle, J.R. MacGillivray et D.C. Swanson. Active control of axial flow fan noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 101(1):341-349, 1997.
- [5] I.A. Waitz, J.M. Brookfield, J. Sell et B.J. Hayden. Preliminary assessment of wake management strategies for reduction of turbomachinery fan noise. *Journal of Propulsion and Power*, 12(5):958-966, 1996.
- [6] N.M. Rao, F. Jinwei, R.A. Burdisso et F.Ng. Wing. Experimental demonstration of active flow control to reduce unsteady stator-rotor interaction. *American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal*, 39(3):458-464, 2001.
- [7] O. Lemke, W. Neise, M. Möser et L. Enghardt. Control of higher-order modes at blade passage frequency harmonics of axial turbomachines by steady air jet actuation, *Fan Noise 2007*, Lyon, France, 2007.
- [8] C. Polacsek et F. Desbois-Lavergne. Fan interaction noise reduction using a wake generator: Experiments and computational aeroacoustics. *Journal of Sound and Vibration*, 265(4):725-743, 2003.
- [9] V. Kota et M.C.M. Wright. Wake generator control of inlet flow to cancel flow distortion noise. *Journal of Sound and Vibration*, 295:94-113, 2006.
- [10] L. Neuhaus. Active control of the aerodynamic performance and tonal noise of axial turbomachines. *Journal of Power and Energy*, 217:375-383, 2003.
- [11] A.O. Andersson. Active Control of Tone Noise in Engine Ducts. Patent No.: PCT/US95/09999 (WO 96/03585), 1996.
- [12] A. Gérard, A. Berry, P. Masson et Y. Gervais. Method and apparatus for controlling tonal noise from subsonic axial fans. US provisional patent, 27 juin 2006, no. 60/805,944.
- [13] A. Gérard, A. Berry, P. Masson et Y. Gervais. Passive adaptive control of tonal noise from subsonic fans using flow control obstructions, *Fan Noise 2007*, Lyon, France, 2007.
- [14] A. Gérard, A. Berry, P. Masson et Y. Gervais. Control of tonal noise from subsonic axial fans using flow control obstructions. part 1 : Interaction between the flow control obstructions and the rotor, soumis au *Journal of Sound and Vibration*, 2007.
- [15] A. Gérard. Bruit de raie des ventilateurs axiaux : Estimation des sources aéroacoustiques par modèles inverses et Méthodes de contrôle. Thèse de doctorat, Université de Sherbrooke (Québec, Canada) et Université de Poitiers (France), 2006. Disponible en ligne à l'adresse [http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/16/22/00/PDF/ThesePoitiers\\_Anthony\\_Gerard.pdf](http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/16/22/00/PDF/ThesePoitiers_Anthony_Gerard.pdf)



[Fan Noise 2007](#) / 17-19 September / Lyon (France)  
**Object: Fan Noise 2007 Proceedings**

**FAN NOISE 2007:** this 3rd symposium had been held in France at Lyon, 17-19 September 2007. It offered a unique opportunity to review the progress that has been achieved over the last 4 years in understanding, predicting and reducing the noise of fans of any type, as well as in integrating them into machines, vehicles and buildings in a more silent way.

Over 250 fan suppliers, integrators and researchers, coming from 27 countries, participated to this event, including [18 exhibitors](#) related to softwares for noise analysis & prediction, and devices for noise measurement and control.



You missed the symposium? You can now purchase the [Fan Noise 2007 Proceedings](#), using the CETIAT's on-line shop.

The technical programme, list of exhibitors and participants can still be found on the conference website [www.fannoise2007.org](http://www.fannoise2007.org).

Best regards.

The Organising Committee of Fan Noise 2007

- Alain Guédel (CETIAT)
- Gilles Allory (CETIM)
- François Bessac (CETIAT)
- Jean Tourret (INCE Europe)