

Le contrôle actif du bruit et des vibrations : Acteurs, réalisations, axes de progrès

R. Bouc

LMA, CNRS, 31, Chemin Joseph Aiguier,

13402 Marseille Cedex

De la connaissance à l'application industrielle

Le contrôle actif du bruit et des vibrations est un thème largement identifié dans la communauté scientifique (128 communications au dernier congrès ACTIVE'95 [3]), et qui fait désormais l'objet de réalisations concrètes spectaculaires. Toutefois, si dans son principe il permet de renforcer considérablement l'éventail et l'efficacité des techniques passives de réduction du bruit et des vibrations, en pratique, il reste pour l'instant confiné à des cas d'application limités.

Les principes en sont connus depuis très longtemps, bien avant les années 1950, mais ce sont les possibilités récentes de l'électronique et de l'informatique en temps réel qui ont permis le passage aux applications. Plus récemment encore, l'amélioration des connaissances et des méthodologies concernant la physique des phénomènes acoustiques et vibratoires (sources, champs et modes de transfert), d'une part, et l'émergence de matériaux utilisables dans la réalisation des capteurs ou d'actionneurs adaptés, d'autre part, permettent d'en élargir considérablement le champ d'application.

Pourtant, ceci est insuffisant pour se transposer naturellement à la réalité industrielle à large échelle. Celle-ci tient compte également des performances économiques des applications, de leur fiabilité à l'utilisation, enfin, il faut également maîtriser l'évolution nécessaire des métiers de conception et des compétences.

Rappel sur le contrôle actif

Le contrôle actif est un moyen efficace pour conférer aux actions purement passives de lutte contre le bruit et les vibrations des performances supérieures et, au besoin, pour les remplacer. Le résultat est obtenu par l'adjonction appropriée et contrôlée de contre-bruits ou (et) de contre-vibrations, ou bien par l'adaptation instantanée de voies de transfert pour filtrer au mieux les sollicitations transmises. Cette technique s'inscrit dans le cadre général du contrôle ou de la commande des processus.

Le contrôle actif du bruit et des vibrations recouvre :

- les contrôles purement acoustiques, purement vibratoires, vibroacoustiques,
- les contrôles purement actifs ou semi-actifs,
- les lois de commande et les algorithmes de traitement

en temps réel,

- les méthodologies de conception et d'architecture de système,
- la technologie des capteurs (détecteurs, senseurs) et des actionneurs (actuateurs),
- les structures adaptatives ou les structures intelligentes ("smart structures").

Les acteurs

Entre la recherche de base et les applications industrialisées du contrôle actif, plusieurs acteurs interviennent, dont l'interaction est schématisée sur la figure 1.

De l'implication et de la coordination entre ces acteurs, scientifiques et techniques mais aussi économiques et industrielles, dépendent le succès ou l'échec de la filière. On peut ainsi identifier les acteurs suivants :

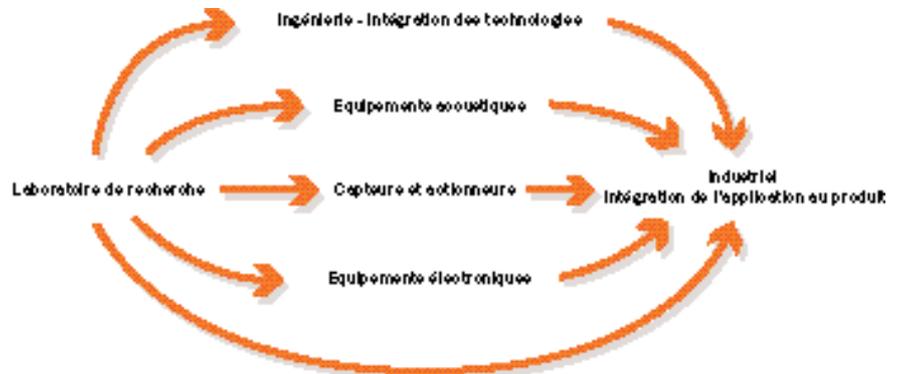


Fig. 1 : Contrôle actif du bruit/des vibrations. Relations entre les différents acteurs.

- Des laboratoires de recherche, couvrant l'ensemble des différents volets méthodologiques et technologiques du contrôle actif. Parmi les laboratoires de recherche ayant une activité soutenue sur ce sujet, on peut citer en France, le Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique et le Laboratoire de Tribologie et de Dynamique des Systèmes de l'Ecole Centrale de Lyon, le Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique du CNRS de Marseille, le Laboratoire d'Etudes Aérodynamiques de l'Université de Poitiers, le Département de Génie Mécanique de l'Université de Technologie de Compiègne, Le Centre d'Etudes Techniques des Industries Mécaniques de Senlis, la Direction des structures de l'ONERA à Châtillon, la Direction de la recherche d'EDF à Clamart, le CSTB de Grenoble, ...
- Des intégrateurs de technologies, de l'ingénierie. Ces compagnies généralement privées assurent l'interface

- entre les laboratoires et les applications concrètes. On peut citer en particulier, les sociétés Bertin et Cie à Plaisir, MATRA-MS2I à Saint Quentin en Yvelines, Metravib à Ecully, Technofirst à Aubagne,
- Des industriels fabriquant des équipements à fonction acoustique, et désirant intégrer la fonction active. Ces équipements ont souvent déjà une fonction passive de réduction du bruit, ou de filtration. Les munir d'une fonction active permet de rendre le composant plus performant, à la limite de le remplacer. Tôt ou tard, les systèmes à fonction acoustique passive pourraient ainsi s'enrichir de la fonction active,
 - Des fabricants de capteurs et d'actionneurs spécifiques : haut-parleurs, vibreurs, moteurs, plots anti-vibratiles pilotables, amortisseurs pilotables, peaux sensibles,
 - Des fabricants d'équipements électroniques,
 - Des industriels intégrant ces technologies dans leur produit pour les rendre plus silencieux.

Le CETIM organise deux journées spéciales sur les applications du contrôle actif à la réduction des bruits et vibrations les 14 et 15 novembre 1995.

Ces journées d'information visent deux objectifs :

- *Présenter l'état de l'art dans le cadre d'une exposition permanente où seront proposés des démonstrations de machines et de véhicules équipés de différentes techniques de contrôle actif ainsi que des composants tels que des capteurs, des actionneurs et des contrôleurs.*
- *Proposer un choix d'exposés et de tables rondes sur les réalisations récentes couvrant les différents domaines d'application concernés et insistant sur les aspects pratiques de la mise en œuvre en isolation active, silencieux actifs, cabines et habitacles, contrôle à la source.*

Si vous souhaitez participer à cette manifestation, vous pouvez contacter Michel Besombes, CETIM, Département acoustique, tél : 44 58 35 59, fax : 44 58 36 17

Pour une application, il faut ainsi de l'équipement acoustique, des capteurs et des actionneurs, de l'équipement électronique. Les laboratoires de recherche valident et fournissent des méthodes, des concepts, apportant des connaissances aux divers interlocuteurs. L'intégration de l'application auprès de l'industriel se fait avec l'aide d'une société d'ingénierie compétente en contrôle actif.

A titre d'exemple, pour améliorer la réduction du bruit d'un véhicule automobile, le constructeur cherchera à équiper le véhicule d'un silencieux d'échappement (équipement acoustique conventionnel) muni de microphones et de haut-parleurs permettant de renforcer son efficacité acoustique en basses fréquences. L'équipement électro-informatique complètera le dispositif.

de haut-parleurs judicieusement répartis, met en œuvre l'algorithme "Least Mean Square" (LMS) avec référence filtrée (par la possibilité d'accéder à un signal ou des signaux fortement corrélés avec le bruit à combattre).

Le domaine des transports constituant un enjeu économique important, il faut s'attendre à voir se développer sur le marché public des réalisations incorporant l'absorption acoustique active. Les conditions et la rapidité de cette émergence restent cependant imprévisibles dans l'état actuel des techniques.

D'autre part, la transposition de ces techniques aux casques anti-bruit actifs est désormais une réalité industrielle.

L'application de ces mêmes techniques à des espaces ouverts est fréquemment citée pour des applications telles que le renforcement ou même le remplacement du capotage acoustique d'une machine, la neutralisation du bruit dans un espace géométrique limité, soumis à du bruit incident, l'amélioration de l'efficacité d'écrans acoustiques routiers, et aussi, le développement de "double vitrages" actifs pour les applications bâtiment, etc.

Il est difficile jusqu'à présent de déterminer clairement la limite entre ce qui est du domaine pré-industriel maîtrisable par des méthodologies et des technologies connues et économiquement viables, et ce qui reste du domaine de la recherche ; les contours de cette limite devraient se préciser progressivement.

Les travaux sur le contrôle actif des vibrations ont fait l'objet de réalisations largement documentées dans le domaine de la filtration des vibrations transmises entre une machine et ses supports. Ce domaine est en plein essor, et ses applications devraient dépasser progressivement le cadre limité actuel (défense, marine, aérospatiale). L'objectif est ici de réduire le niveau des sollicitations injectées par la machine dans la structure à laquelle elle est fixée. Dans d'autres cas, il est possible d'isoler la machine des sollicitations injectées par son support (par exemple, filtration par la suspension d'un véhicule).

Les axes de progrès

Afin d'élargir le champ des applications, un certain nombre de thèmes sont encore à promouvoir. Il s'agit en particulier :

- du contrôle actif des instabilités d'écoulement : pompage et décollement tournant dans les turbo-machines, contrôle actif de la transition et des décollements, applications à la discrétion acoustique,
- du contrôle actif d'impédance et optimisation des performances de matériaux poreux dans les basses fréquences,
- du contrôle acoustique multivoies par rétroaction ("feedback") pour les bruits transitoires, les bruits large bande, ou en absence de signal de référence, ou encore prise en compte de multiréférences (bruit de roulement, ...)
- des méthodes d'optimisation du nombre et de la position des capteurs et des actionneurs, et de la maîtrise

La situation actuelle de la connaissance

Ce sont généralement les possibilités industrielles de l'absorption acoustique active qui ont guidé dans les années 1980 les travaux des chercheurs français et étrangers.

Ce qui est bien maîtrisé désormais concerne l'absorption acoustique active dans des conduits (applications aux gaines de ventilation pour le bâtiment) ou dans des espaces clos, pour des sources de bruit bien identifiées et répétitives (bruits périodiques, éventuellement lentement évolutifs). L'application aux véhicules de transport est largement engagée pour les habitacles de véhicules (avions, véhicules routiers). Le traitement en temps réel multivoies, qui active des ensembles de microphones et

- des chemins de propagation,
- du renforcement des études sur les contrôles semi-actifs (non linéaires multiplicatifs), aux performances moindres, mais qui nécessitent peu d'énergie. Ceci complique le développement, souvent délicat, d'actionneurs spécifiques à l'application, à temps de réponse court,
- de la conception de capteurs et d'actionneurs nouveaux. Par exemple, des haut-parleurs basse fréquence et petites dimensions, ou des actionneurs polyvalents, puissants sur une large bande de fréquence, ou encore utilisables en environnement sévère,
- du contrôle actif des vibrations élasto-acoustiques, de l'anéchoïsme actif, des éléments structuraux actifs et des structures intelligentes, du contrôle distribué.

Il faut rappeler que le succès de ces travaux repose pour une large part sur l'adjonction de disciplines complémentaires qui, outre l'acoustique et la mécanique vibratoire,

concernent l'automatique, le traitement en temps réel du signal, l'informatique, les matériaux, la mécanique des fluides, la mécatronique.

En outre, la recherche continue d'une réduction des coûts d'industrialisation des systèmes est à poursuivre, pour aboutir à des coûts acceptables par le marché. ■

Références bibliographiques

[1] P.A. Nelson et S.J. Elliot, *Active Control of Sound*, Academic Press, 1991

[2] *Le bruit et les vibrations, Rapport de la Commission Mixte SFA/Entreprises/CRIN*, Ed. Clubs CRIN, 1991

[3] *Actes du congrès ACTIVE'95 : The 1995 International Symposium on Active Control of Sound and Vibration*, Newport Beach, Californie, USA, 6/8 juillet 1995, Ed S. Sommerfeld and H. Hamada., Noise Control Foundation, New York. ISBN 0-931784-29-8.