



© PYC ÉDITION

31, rue du Général Delestrain, 75016 Paris  
Tél. 01 53 84 53 53 - Fax 01 53 84 53 51

*Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans la présente publication, faites sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (loi du 11 mars 1957 - art. 40 et 41 du Code Pénal art. 425). Toutefois, des photocopies peuvent être réalisées avec l'autorisation de l'éditeur. Celle-ci pourra être obtenue auprès du Centre Français d'Exploitation du Droit de la Copie, 3, rue Hautefeuille, 75006 Paris, Tél. 01 43 26 95 35, auquel PYC ÉDITION a donné mandat pour le représenter auprès des utilisateurs.*



Rédacteur en chef Bernard Caroff  
Rédacteur en chef adjoint  
Claudie Cabourdin

#### Comité de rédaction

Christian Berthier - Dominique Bienfait - Jean-Yves Bonnel - Michel Bourdier - Roger Casari - Patrick Couplin - Jean Duviquet - Louis Erraud - Jean Hrabovsky - Jean-Bernard Olive - Jacques Quinton - Jean-Christophe Raveau - Jean-Charles Seror.

#### Directeur de la publication

Jean-Christophe Raveau  
Maquette Antoine Arnaud  
Abonnements Sandra Sofer

#### Abonnement (T.T.C)

France (TVA 2,10% incluse)  
un an (10 numéros) : 530 F  
le numéro : 67 F  
DOM TOM (TVA 2,10% incluse)  
un an (10 numéros) : 650 F  
Étranger (sans TVA)  
un an (10 numéros) : 810 F  
le numéro : 80 F

Publicité & Annonces classées Anne Buré Fatima Ayad

#### TECHNIRÉGIE

114, avenue de Suffren, 75015 Paris  
Tél. 01 42 73 16 40  
Fax 01 47 34 29 27

#### REVUES ÉDITÉES PAR PYC ÉDITION

Revue pratique du froid  
et du conditionnement d'air  
Traitement thermique  
Hommes et fonderte  
Technologies et formations

spécimen gratuit sur demande

# SUMMARIES

AIVC 11703

## ACOUSTICS

### 11 • Impact of new European standards on French practices in acoustics, by Jean-Pierre SERVANT

From 1<sup>st</sup> January 2000, European standards are going to generate changes in measuring methods and set up a hybrid system based on three factors: aerial soundproofing, chock noise and equipment noise soundproofing.

### 14 • A review of acoustic solution examples, by Jacques DALIPHARD

Published at the end of 1995, Examples of acoustic solutions have undergone a review carried out by 5 work groups: General principles and remarks - building fabric and other - doubling, floating covering, flooring - joinery, glazing, VMC equipment - light partitioning, plumbing service ducts. Mr. Daliphard presents a synthesis of work-in-progress at the end of March 98.

### 17 • Two examples of corrective soundproofing, by Jean-Marc DAUTIN

Acoustic analysis of noisy equipment makes corrective soundproofing definition possible. Mr. Dautin introduces two examples of soundproofing, first, in a food refrigeration unit in a supermarket and the other, in a chilled water production unit on an office air-conditioning system ; this is supported by soundproofing and financial balances.

### 21 • More efficient and quieter boiler rooms, by Michel MARTIN

Since the end of the sixties, boilers and burners have continuously been improved in terms of technical performances but acoustic performances have sometimes suffered in the process. Mr. Martin reminds which factors have to be taken on board to comply with acoustic regulations.

### 25 • Acoustic characterization of central heating boilers, by Philippe GONZALEZ and Bernard ASFAUX

Product diversity and installation conditions do not make it possible to define a general method of acoustic characterization for central heating boilers. The authors review here existing methods and work-in-progress on individual and collective generators.

### 29 • Some basic rules in acoustics for aerial networks, by Anne-Marie BERNARD

After having described components likely to generate noise in aerial networks, A.M. Bernard introduces classical processing methods (muffler noise dampers, active control systems, absorbing ducts...), and lays emphasis on some particular cases (VMC, spectacle halls, music schools...) and on installation rules and component design, an important factor in acoustic results.

### 35 • Noise in power generators and cogeneration units, by Gérard DU CHESNE and Daniel PALENZUELA

In the absence of specific regulation requirements, the implementation of power generators and cogeneration units remains uneasy; acoustic data supplied by manufacturers is often arcane. The authors show the relationship between acoustic power levels (engine and exhaust noise) and apparent electric power.

### 38 • Active control of noise. J.F. NOUVEL and E. THIBIER are interviewed by the AICVF Acoustic committee

Active noise processing systems are now leaving their research stage to enter industrial development. Active muffler noise dampers have been available on the aerial systems market for about three years and antivibration studs and double windows are now being developed.

### 42 • EDF actions to control acoustics in residential and service sectors

In order to take into account noise factors in the design of air conditioning systems, EDF has developed with Cetiart and MicrodB a paper guide and a software called ClimdB. In parallel, Study and Research management is considering a software development to design silent ventilation systems.

## Le contrôle actif du bruit

**Les systèmes actifs de traitement du bruit sortent de la phase de recherche pour passer au stade du développement industriel. Déjà en aéraulique, les silencieux actifs sont commercialisés depuis environ trois ans, et des développements sont en cours pour des plots antivibratiles ou des doubles fenêtres. Afin de mieux connaître deux de ces systèmes, leurs avantages et leurs limites d'utilisation, le comité acoustique de l'AICVF a interrogé M. J.F. NOUVEL, directeur du Développement de la société Aldes, et M. THIBIER, ingénieur acousticien à l'Ademe.**

*Interview de*  
**Jean-François NOUVEL**  
*directeur du Développement*  
*d'Aldes*

*et de*  
**Emmanuel THIBIER**  
*ingénieur acousticien à*  
*l'Ademe*

*par le comité Acoustique*  
*de l'AICVF*

**Q : M. Nouvel, pouvez-vous nous rappeler le principe de fonctionnement du silencieux à contrôle actif commercialisé par Aldes ?**

R : Le but est de créer une onde acoustique en opposition de phase avec l'onde incidente, afin de neutraliser les bruits véhiculés par la circulation de l'air dans les réseaux aérauliques. Le procédé ACTA associe un silencieux actif développé en collaboration avec Technofirst qui génère une contribution active dans les basses fréquences, et une atténuation passive par un tapissage du bulbe et des parois avec un matériau absorbant pour réduire les fréquences médiums et aiguës.

Le système ACTA est donc un atténuateur acoustique à très large bande, il est par ailleurs auto-adaptatif et cale son efficacité sur le spectre incident.

**Q : Le système actif est donc situé dans le bulbe incorporé dans la veine d'air, quels en sont les avantages ?**

R : Nous livrons un composant d'installation fini, qui associe atténuation active et passive. Le système ACTA est intégré dans un bulbe central ; la perte de charge moyenne engendrée par le système actif est inférieure à 10 Pascals.

**Q : N'y a-t-il pas un problème d'entretien, que se passe-t-il si le bulbe s'encrasse ?**

R : Les microphones de détection ou de contrôle et le haut-parleur sont placés respectivement à une extrémité du bulbe derrière une boule anti-vent en mousse qui peut être changée.

Le système est auto-adaptatif, il évolue et adapte automatiquement la correction active en fonction des conditions d'environnement, dont le taux d'hygrométrie, la température et aussi le degré d'empoussièrement. En effet, la mesure du signal aval permet d'adapter et de corriger le traitement même si le signal amont est perturbé par un encrassement de la mousse anti-vent.

Le microphone de contrôle est également protégé. De plus, les vibrations de la membrane du haut-parleur y limitent le dépôt de poussière.

Nous avons pu montrer par des tests d'encrassement accéléré que la poussière, même très épaisse, ne modifie pas la mesure par le microphone des basses fréquences et ceci, même dans des conditions extrêmes : 2 à 3 cm de poussière sur les protections ce qui avait multiplié le poids par deux !

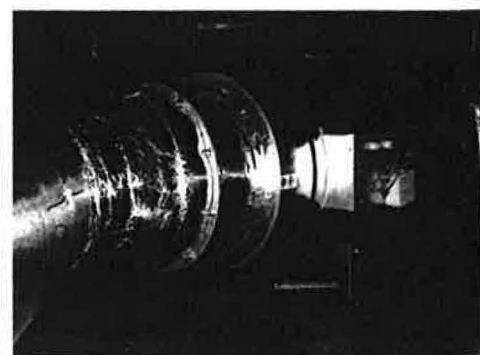
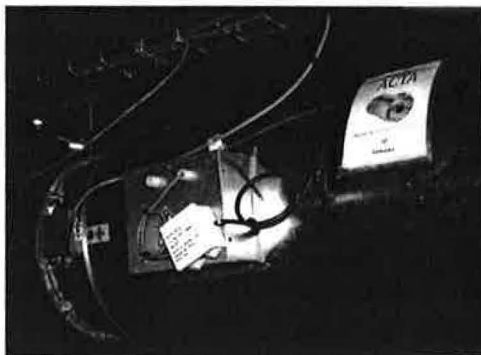
D'ailleurs nous avons une bonne référence au lycée de Cruas, situé à côté d'une cimenterie avec un risque d'encrassement majeur, où le système fonctionne depuis trois années et demi sans problème (voir l'encadré)

De plus, il faut aussi noter un point intéressant : l'aptitude à la "nettoyabilité" de l'ACTA, car, assez paradoxalement, un tel système est très facile à nettoyer en comparaison des systèmes classiques (changement de la boule anti-vent...).

**Q : Quelles sont les conditions optimum d'utilisation d'un tel système ?**

### LE COLLEGE DE CRUAS

Le bâtiment comporte 3 centrales double flux Aldes ADF 2 équipées de 6 ACTA :  
- 1 sur la reprise de chaque centrale  
- 1 sur le soufflage de chaque centrale  
Débit : 6 000 m<sup>3</sup>/h  
Le niveau sonore mesuré dans les classes est de 33 dB(A) - bruit de fond 30 dB (A). Atténuation globale supérieure à 20 dB(A).



## ANTIBRUIT ACTIF

### Le principe

Le contrôle acoustique (ou vibration) actif consiste à atténuer un bruit (ou une vibration) en lui superposant, à l'aide de sources secondaires dites actionneurs un bruit (ou une vibration) de même amplitude mais de phase opposée. Le calcul de la commande se fait par l'intermédiaire d'un critère énergétique sur un ensemble de capteurs d'erreur.

### Les algorithmes

**Le contrôle feedforward** (ou par anticipation) suppose que l'on dispose d'un signal de référence  $r(t)$  corrélé au bruit  $d(t)$  que l'on veut minimiser. Le traitement consiste alors à filtrer ce signal de référence par un filtre numérique adaptatif  $W(f)$  qui produit la commande  $u(t)$  appropriée pour la source secondaire. La minimisation est contrôlée par un capteur d'erreur qui délivre un signal  $e(t)$  permettant l'adaptation en temps réel du filtre correcteur. Le calcul de ce filtre peut se faire dans le domaine fréquentiel, mais le plus souvent il est effectué dans le domaine temporel. Il nécessite la connaissance de la fonction de transfert du trajet secondaire  $H(f)$  reliant la commande  $u(t)$  au contre-bruit  $y(t)$ . L'algorithme feedforward le plus souvent utilisé est l'algorithme LMS avec référence filtrée (filtered-x LMS algorithm).

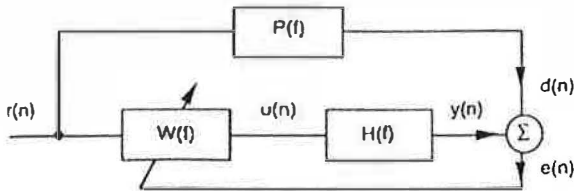


Fig. 1. Schéma de principe d'un algorithme feedforward

**Le contrôle feedback** est utilisé lorsqu'on ne peut disposer de signal de référence. Dans ce type de traitement, la commande des actionneurs se fait uniquement à partir du signal d'erreur par le biais d'un filtre  $C(f)$ . Il est alors nécessaire de se donner un modèle de champs primaire et d'appliquer des techniques de contrôle optimal. Le contrôle feedback est de manière générale plus difficile à mettre en œuvre que le contrôle feedforward. Il est en particulier très sensible aux retards apparaissant dans les trajets secondaires. On l'utilise principalement pour le contrôle des vibrations non périodiques, ou pour le traitement actif du bruit dans les casques.

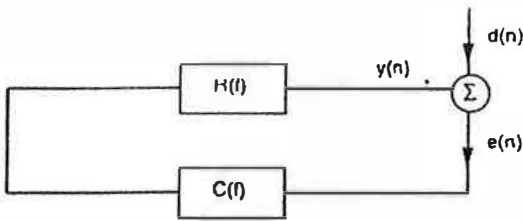


Fig. 2. Schéma de principe d'un algorithme feedback

R : C'est un accessoire de réseau qui possède des composants électroniques de contrôle, les conditions de température sont donc situées entre  $-10^{\circ}\text{C}$  et  $+70^{\circ}\text{C}$ .

Il ne faut pas accoler le système juste derrière un ventilateur hélicoïde mais réserver une distance traditionnelle de trois diamètres ou bien installer un système d'homogénéisation du flux, proposé en option.

Il peut par contre être mis en œuvre juste derrière une centrale de traitement d'air, ou être placé à la frontière d'un local technique.

**Q : Lorsqu'il faut faire attention aux problèmes de diaphonie, est-il utile de mettre deux systèmes actifs en série ?**

R : ACTA n'est pas un système spécifique de traitement de la diaphonie, de plus c'est un système qui a un sens de fonctionnement ; il est possible de mettre deux éléments en série mais ce n'est sûrement pas l'optimum économique.

**Q : Avant de parler des conditions financières, pouvez-vous nous donner quelques valeurs d'atténuation ?**

R : Le problème est de savoir quel est le spectre de bruit incident que l'on envisage pour définir ces valeurs d'atténuation !

Nous avons d'abord qualifié le système par rapport à un bruit blanc et pour une vitesse de 4 m/s nous avons obtenu une amélioration de 10 dB dans la bande d'octave de 125 Hertz, ce qui est déjà sensible ; mais avec un bruit type de ventilateur à action, plus proche du bruit réel rencontré, l'amélioration mesurée à 125 Hertz pour une vitesse de 4 m/s est de 15 dB et de 25 dB à 250 Hz. Vous retrouverez ces résultats dans les exemples de spectres ci-dessous.

L'antibruit actif a une contribution de 100 à 1 000 Hertz. La limite basse est liée à la turbulence. La limite haute est donnée par le diamètre du réseau qui détermine la fréquence de coupure.

Pendant ces limites sont théoriques, et une atténuation est obtenue même un peu au-delà de cette fréquence de coupure. Plus le conduit est petit et plus cette fréquence est élevée : environ 400 Hz sur un diamètre 500 mm et 800 Hz sur un diamètre 250 mm.

**Q : Le système possède-t-il une vitesse limite d'utilisation ou d'efficacité ?**

R : La meilleure réponse consiste à commenter les valeurs des améliorations pour les trois bandes d'octaves de 63, 125 et 250 Hertz qui sont rassemblées dans le tableau suivant.

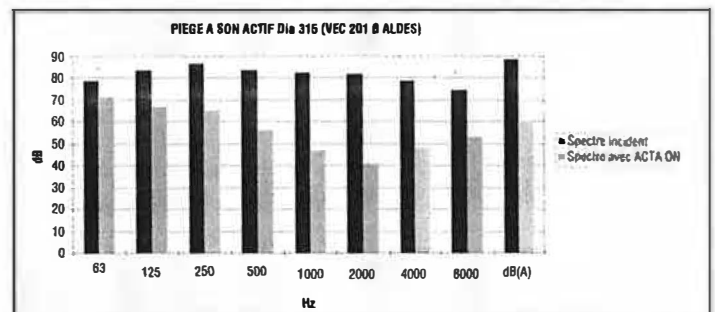
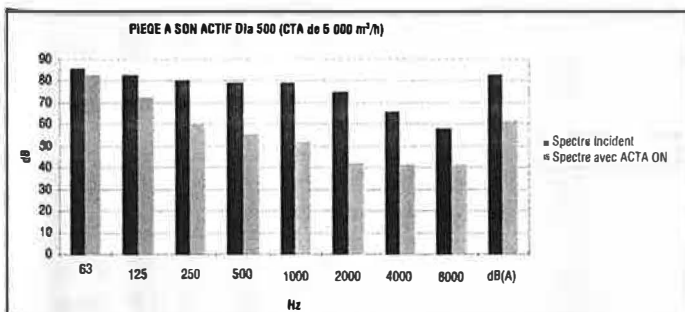
FREQUENCES :	63 Hz	125 Hz	250 Hz
VITESSES :			
0 m/s	8	19	26
10 m/s	6	17	24

Vous voyez, en l'absence de flux d'air ou pour une vitesse élevée, la chute représente un écart de 2 dB dans chaque bande d'octave.

Bien sûr, des résultats supérieurs peuvent être obtenus en cas d'urgence sur une raie.

Mais le système actif ne dispense pas de bien concevoir chaque installation. L'ACTA ne traite que le bruit qui arrive par le conduit.

Comme tout silencieux c'est une solution qui a ses limites, qui ne peut pas être placée n'im-



porte où et n'importe comment, et qui ne dispense pas d'une bonne conception.

**Q : Avez-vous plusieurs produits pour répondre à tous les types d'installation ?**

R : Actuellement seul le système monovoie est commercialisé depuis un an.

Le système multivoie, en fin de développement, consiste à mettre en parallèle plusieurs systèmes monovoie.

En fait, le système monovoie concerne les petits diamètres et peut-être les installations a priori les moins intéressées. Mais il permet de développer un produit modulaire, peu encombrant, et aussi de cerner ses performances dans les basses fréquences pour de faibles pertes de charges.

En résumé, il faut pouvoir traiter les basses fréquences et obtenir un système économiquement acceptable.

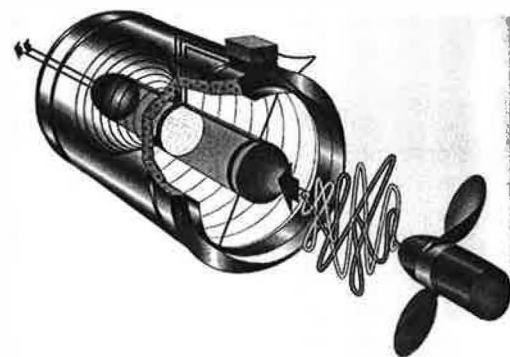
Le système multivoie intéresse les grosses installations de climatisation qui comportent un niveau d'exigence élevé, comme les salles blanches, les auditoriums, les parkings ou les locaux de travail industriel ; c'est ici que se trouve le marché porteur.

Il pourra être constitué soit de plusieurs systèmes ACTA monovoie soit de systèmes intégrés aux parois, en rénovation ou remise à niveau d'installations notamment

**Q : Depuis combien de temps commercialisez-vous le système ACTA ?**

R : La commercialisation du système monovoie a commencé depuis environ deux années et demi, mais elle s'est élargie depuis un an (cf. encadré).

Pour le système multivoie nous sommes en phase de validation sur des chantier tests.



**Q : La pose de ces systèmes est-elle complexe ?**

R : Non, pas du tout. Aujourd'hui, la procédure d'installation prend cinq minutes d'un non-spécialiste qui suit une notice. Demain, l'ACTA s'autocalibrera automatiquement à l'installation.

**Q : Venons-en aux conditions financières, si vous le voulez bien ?**

R : Pour une petite installation, sans exigence particulière en basses fréquences, le système actif sera plus cher qu'une installation passive classique. En revanche, il est souvent utilisé pour améliorer une installation existante.

Pour un système monovoie de diamètre 400 mm, il faut compter environ 4 500 à 5 000 F HT de fourniture en prix public moyen.

Pour un système multivoie, il s'agit de plusieurs systèmes monovoie mais sans l'enveloppe extérieure.

**Q : Quels sont les futurs axes de développement du produit ?**

R : Actuellement, nous cherchons à gagner encore en performance et à faire accepter la technique : ce qui nécessite de baisser les coûts de fabrication par un travail d'industrialisation de la partie active.

Nous travaillons aussi à le rendre encore plus simple à installer.

Puis nous envisageons de décliner des versions notamment pour les salles propres ou pour des applications à haute température.

**Q : Existe-t-il d'autres produits sur le marché ?**

R : ACTA est développé en collaboration avec Technofirst suivant un brevet original français du CNRS. D'autres brevets communs Aldes et Technofirst ont complété la protection industrielle. C'est une technologie qui n'est pas facile à maîtriser.

Aux Etats-Unis, Digisonix a également développé un antibruit actif, mais pour des systèmes de plus grosse taille. Carrier le distribue en Europe.

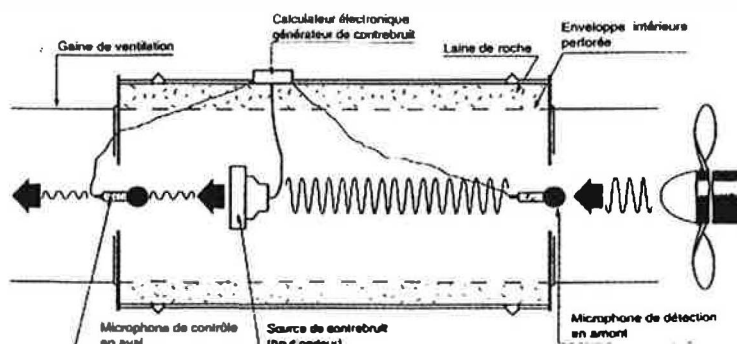
L'antibruit actif ne se limite pas au traitement des bruits de ventilateur dans les réseaux aérodynamiques. D'autres technologies développées ou en cours de développement par Technofirst permettent la réduction des bruits dans l'habitacle des avions (sièges équipés d'antibruit actif) ou la réduction des bruits traversant un double vitrage (avec le CSTB) ou le traitement des

## LE PRODUIT ACTA

La mise en commun de leurs compétences respectives a permis aux sociétés Aldes et Technofirst de présenter les premières réalisations industrielles de série de silencieux actif/passif pour les réseaux de ventilation.

Le produit ACTA est équipé d'un système de contrôle actif du bruit pour les basses fréquences. Ce système utilise un contrôle de type feedforward. La source secondaire est un haut-parleur électrodynamique, les capteurs d'erreur et de références sont des microphones. L'ensemble de ces éléments est inséré dans un obus, placé au centre de la gaine. La partie contrôleur, spécifiquement développée pour cette application, est déportée et fixée à l'extérieur du silencieux.

Cet ensemble électroacoustique a été optimisé de manière à créer une atténuation propagative du son à l'aval du silencieux et ce sur une largeur de bande de fréquence complémentaire avec celle traitée par les absorbants passifs. Les hautes et moyennes fréquences sont en effet traitées par ceux-ci, répartis sur la périphérie de la gaine et sur l'obus.





vibrations avec des plots actifs. On peut aussi avec ces systèmes, travailler à la maîtrise des écoulements. Nous sommes vraisemblablement à l'aube d'un formidable essor industriel de ces technologies...

*Merci, M. NOUVEL, nous allons maintenant passer la parole à M. THIBIER, ingénieur à l'Ademe, membre du comité Acoustique, à propos d'une autre application : les plots antivibratiles actifs.*

**Q : M. Thibier, pouvez-vous brièvement nous présenter le principe ?**

R : Le principe d'un plot actif est de générer une onde vibroacoustique antagoniste afin d'annihiler l'onde perturbatrice. Une machine vibrante est typiquement supportée par quatre pieds classiques auxquels on compte ajouter les plots actifs. Ils seront pilotés de sorte qu'en sortie, il n'y ait aucune vibration sur le support de la machine

**Q : Quel est l'avantage des plots actifs ?**

R : Les fixations que l'on trouve actuellement sont constituées de rondelles en caoutchouc qui permettent un certain débattement statique et qui n'ont aucune efficacité acoustique, notamment en basses fréquences. L'avantage du plot actif réside à la fois dans son faible encombrement (diamètre = 50 mm et hauteur = 20 mm), paramètre important à l'intérieur des machines et dans son domaine d'utilisation car il permet de traiter des fréquences de 20 à 1 000 Hz.

**Q : Quelles sont les perspectives de développement de ces plots ?**

R : Une première étude de faisabilité réalisée par le bureau d'études Techsonic a permis de réaliser un prototype de plot dans un matériau piezo-électrique. Il fait actuellement l'objet de tests sur banc d'essai au Cetim. Il sera à terme inséré dans une machine de production d'eau glacée dont les applications visent le secteur du bâtiment.

**Q : Quelle est l'efficacité attendue ?**

R : Les essais qui sont en cours devront permettre de la mesurer ; disons seulement que le plot a été dimensionné pour pouvoir générer des efforts du même ordre de grandeur que ceux générés par la machine en question. Il restera ensuite à élaborer le système de contrôle avec boucle d'asservissement.

**Q : Quand et sous quelle forme risquent-ils d'arriver sur le marché ?**

R : Des contacts sont établis avec un industriel qui envisage d'intégrer des plots sur ses machines en complément d'autres dispositifs permettant ainsi de réduire encore le bruit de leurs groupes de production d'eau glacée. Tout dépendra bien sûr de leur coût et des résultats des tests sur bancs qui ont lieu jusqu'à la fin de l'année.

*Le comité acoustique remercie M. Jean-François NOUVEL et M. Emmanuel THIBIER d'avoir bien voulu participer à cet entretien.* ■

## LES MEMBRES DU GIE ET L'ACOUSTIQUE

**Les constructeurs de matériel de climatisation travaillent depuis de nombreuses années à diminuer les niveaux sonores de leurs appareils. La circulaire du 27 février 1996 concernant la lutte contre les bruits de volsinage ainsi que la nouvelle réglementation acoustique ont stimulé les recherches. René Chapaton présente ici les principaux points sur lesquels portent les efforts des membres du GIE Climatisation & Développement.**

Les appareils de climatisation se caractérisent par trois familles de bruit : mécaniques, aérodynamiques et hydrauliques. C'est l'addition de ces bruits qui détermine le niveau sonore d'un appareil.

La miniaturisation des composants pour répondre aux attentes des consommateurs en terme de compacité des produits contribue aussi à la complexité de la tâche.

Les constructeurs ont cherché à déterminer la taille et l'emplacement des batteries les plus appropriés pour réduire les bruits générés.

D'autre part un travail important a été réalisé avec les fabricants de moteur pour réduire les bruits mécaniques sur le ventilateur. Ils ont travaillé sur les profils des pales et sur les vitesses, à l'aide de logiciel de simulation qui leur sont propres.

Carrier, qui bénéficie de l'expérience de Pratt & Whitney, a ainsi mis au point un ventilateur à pales multiples à vitesse réduite, avec un faible coefficient de traînée. Le Flying Bird se caractérise par une répartition uniforme des charges sur la pale et une volute tournante solidaire des pales dont l'angle d'attaque est optimisé.

Des études ont porté, toujours par simulation, sur le passage des fluides dans les tuyauteries de façon à déterminer le diamètre, la forme la plus appropriée.

L'utilisation de nouveaux matériaux permettant de mouler certaines pièces, contribue à la diminution des nuisances sonores.

Les recherches portent aussi sur la diminution du bruit généré dans les gaines, selon le principe du contrôle actif du bruit\*. C'est ainsi que Carrier a lancé début 96 le système Motus, qui se compose d'un microphone d'entrée, d'un système d'analyse et de correction, d'un haut parleur et d'un microphone d'erreur. Le signal entrant est traité pour la diffusion par le haut-parleur d'un «contre-bruit». Le microphone d'erreur surveille l'efficacité de la réduction et permet de corriger le bruit résiduel.

Les évolutions des matériels ont largement intégré la composante acoustique. La certification Eurovent impose d'ailleurs à ses adhérents de fournir les niveaux de puissance acoustique de leurs appareils.

Reste que les qualités acoustiques d'un climatiseur in situ dépendent en grande partie du respect des règles de l'art en matière d'installation ainsi que de la qualité de la maintenance.

\* Cf. article p 38.