

TRANSDUCTEURS

# L'acoustique sort de l'empirisme

- Mieux modélisée, l'acoustique se prête à de nouvelles applications comme le refroidissement et la gyrométrie.
- Les transducteurs gagnent en qualité en même temps que leur taille diminue.

PAR JEAN-CHARLES GUÉZEL

L'acoustique est une discipline dans laquelle on a longtemps préféré l'empirisme à la modélisation. Mais ce relatif amateurisme disparaîtra bientôt au passé. Déjà, certaines avancées théoriques pavent le chemin à de nouvelles applications comme la thermo-acoustique ou l'acoustique inertielle (lire nos encadrés). Autrefois confidentiel, l'antibruit se banalise avec la montée en puissance des moyens de calcul. En témoigne la réus-

site exemplaire de Technofirst, une entreprise ayant eu comme première vocation la valorisation des travaux effectués au Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique de Marseille. Elle connaît aujourd'hui une croissance supérieure à 20 % en commercialisant des casques de protection sonore active. Dans le même registre, l'Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis (ISL) a mis au point des bouchons d'oreilles antibruit certainement promis à un grand avenir. À grande échelle, il est même question d'appliquer ces

techniques à la diminution de nuisances sonores aux abords des aéroports. Bref, sans vraiment faire de bruit, les acousticiens savent désormais se faire entendre.

### Des appuis scientifiques

En matière de reproduction sonore, des solutions originales voient également le jour. Là encore, c'est grâce à une meilleure compréhension de phénomènes que les transducteurs (haut-parleurs et microphones) progressent. Il faut dire que depuis son invention, dans les années vingt, le haut-



Ce réfrigérateur thermo-acoustique peut extraire une puissance de 200 W.

## La thermo-acoustique souffle le chaud et le froid

La thermo-acoustique pourrait simplement figurer au rang des applications amusantes de la mécanique. Mais c'est aussi une technique d'un grand intérêt en gestion thermique. « Une machine thermo-acoustique associe un moteur à un réfrigérateur. Le moteur extrait de la chaleur là où il la trouve et la transforme en

énergie acoustique, tandis que le réfrigérateur transforme cette énergie acoustique en gradient de température », explique Michel Bruneau, créateur du groupe

Transducteurs au Laum (Laboratoire d'acoustique de l'université du Maine). L'ensemble constitue une pompe à chaleur et se présente sous la forme d'un résonateur muni d'un empilement de plaques, siège d'un flux de chaleur hydrodynamique.

Aux États-Unis, un système de ce type a déjà été embarqué à bord de satellites pour le refroidissement de composants électroniques.

### Climatisation automobile

Par rapport à des compresseurs traditionnels ou à des modules à effet Peltier, son intérêt est triple : pas de vibrations, pas de problèmes de CEM, pas de consommation électrique. D'ailleurs, les industriels s'y intéressent, notamment les constructeurs automobiles qui y voient un moyen efficace de transformer la chaleur

dégagée par un moteur thermique en fraîcheur pour les occupants d'un véhicule. Mais la puissance thermique à extraire de l'habitacle est encore trop importante pour les capacités des dispositifs réalisés à ce jour. L'utilisation de tubes pressurisés (20 bars et plus) pourrait augmenter la puissance en élevant les écarts de pression. Inversement, des versions miniaturisées, séduiraient l'industrie électronique. Avec le soutien de la DGA, le Laum explore ces deux voies en affinant la modélisation analytique encore balbutiante. ■

leur électrodynamique (à bobine mobile) n'a pas connu de grande révolution : tout au plus des aimants plus puissants, des suspensions plus souples, des membranes plus rigides et plus légères, dans l'objectif d'améliorer la dynamique tout en réduisant la distorsion. Des conceptions vieillottes et approximatives ont ainsi régné dans la haute-fidélité jusque dans les années quatre-vingt. Aujourd'hui, en revanche, des produits de plus en plus nombreux, même pour le grand public, bénéficient d'études approfondies pour lesquelles les industriels n'hésitent plus à faire appel à des appuis scientifiques. « Cette attitude signe la fin de l'ésotérisme qui prévalait en acoustique il y a encore dix ans », estime Gilles Milot, directeur Recherche avancée d'Audax Industries (groupe Harman). Ce fabricant, qui travaille activement avec le département Acoustique et Vibrations du CTTM (Centre de transfert de technologie du Mans), a ainsi appris à placer "scientifiquement" des masselottes sur ses haut-parleurs de façon à atténuer les effets de bords. De même, il étudie les ondes stationnaires qui naissent sur les cônes en céramique équipant ses modèles de haut de gamme. Outre ses effets tangibles sur la qualité sonore, ce retour à la rigueur scientifique accélère le renouvellement des produits et favorise l'apparition de technologies innovantes. C'est le cas pour la gravure de microphones sur silicium, laquelle ne pourrait être envisagée sans le recours à des modèles de cavités très élaborés. Par ailleurs, la disponibilité de circuits intégrés de traitement du signal de plus en plus sophistiqués est sur le point de concrétiser le vieux rêve du haut-parleur numérique. Il s'agit de mettre en œuvre des composants magnétostrictifs, électrostatiques ou autres, constitués d'une multitude de sources microscopiques >>>

## Haut-parleurs : avec ou sans membrane ?



Gilles Milot, directeur Recherche avancée d'Audax Industries : « Le haut-parleur plat pourrait entrer dans l'automobile. »

Le moyen le plus évident de créer une onde sonore est de déplacer une membrane au moyen d'un "moteur". C'est le principe du haut-parleur. Pour reproduire les aiguës, on privilégiera la légèreté de "l'équipage mobile". Chez Audax, on a mis au point un tweeter piézo-électrique à la fois fidèle et capable de monter à 100 kHz, bien au-delà des fréquences audibles. Au lieu de mettre en œuvre une céramique, ce haut-parleur, le HD-3P, possède une membrane "piézo-polymère" réalisée en PVDF (polyfluorure de vinylidène).

### Haut-parleur transparent

Étudié en collaboration avec la start-up Piezotech (Mulhouse) et l'institut franco-allemand de Recherches de Saint-Louis (ISL), le HD-3P ressemble à une sorte de bulle - il est effectivement mis sous pression pour tendre le PVDF - et doit être alimenté sous une tension électrique relativement élevée (jusqu'à 500 V) par l'intermédiaire d'un transformateur. Sa finesse et

son prix le destinent pour l'instant aux enceintes de haut de gamme. Audax expérimente par ailleurs une technologie de haut-parleur plat mise au point par NXT. Il s'agit de mettre en vibration une plaque rigide (du plexiglas transparent par exemple) au moyen d'un excitateur électrodynamique. Inconvénient : le rendement ne dépasse guère 80 dB/W à un mètre pour l'instant. Malgré tout, grâce à son intelligibilité et à sa forte tenue en puissance, ce haut-parleur large bande conviendrait à la sonorisation, à l'automobile et aux

ordinateurs multimédias portables. Mais le fin du fin pour les aiguës sera peut-être, dans un proche avenir, le haut-parleur à plasma froid. Il crée une onde acoustique par l'action de particules chargées sur des particules neutres au sein d'un gaz ionisé, lui-même généré au moyen de décharges électriques provenant d'une pointe. La conversion électrique-acoustique est directe, sans passer par un quelconque intermédiaire mécanique. Cet avantage, significatif pour la qualité sonore, se paie toutefois par la nécessité de manipuler une haute tension, par diverses perturbations électromagnétiques, par une impédance élevée et finalement par des puissances acoustiques limitées. ■

## → L'acoustique sort de l'empirisme *suite de la page 91*

>>> et comparables en cela à des "pixels sonores". L'un des projets les plus avancés semble être celui de la firme britannique I... Limited. Elle a pour l'instant réalisé un démonstrateur constitué de 64 actionneurs de type piézo-électrique. Dotés d'une très légère masse mobile, ces derniers fonctionnent en mode impulsif (tout ou rien) à la manière d'un piston. L'une des clés du système réside évidemment dans le traitement du signal effectué autour d'un convertisseur "binaire-uniaire". Ce système fait non seulement l'économie d'un convertisseur numérique-analogique mais aussi celle d'un amplificateur, remplacé ici par un simple commutateur. De plus, les actionneurs, tous identiques, ne réclament pas de savoir-faire particulier et peuvent être fabriqués à bas coût.

### Haut-parleur plan

I... Limited prévoit de commercialiser dès cette année un

### L'ANTIBRUIT ACTIF AU SECOURS DES AÉROPORTS

● Vivement combattu par les riverains des aéroports, le bruit des avions au décollage et à l'atterrissage est l'un des principaux freins au développement du transport aérien.

Sous le nom de **Ranntac**, un projet européen Brite a été mis sur pied l'année dernière pour réduire ces nuisances sonores de 6 dB. Dans le cadre de ce programme, Bertin Technologies préconise une solution

d'antibruit actif dans les nacelles de réacteurs. L'énormité des niveaux sonores produits réclame des actionneurs à très fort rendement. Mais ces derniers doivent aussi être très résistants à l'hygrométrie et aux écarts de température, si bien qu'aucun transducteur préexistant ne remplit ces conditions. Résultats (provisoires) des courses à la fin de cette année. ■

produit destiné à la sonorisation. Seul le recours à plusieurs centaines ou milliers d'actionneurs par panneau permettra en effet d'obtenir une qualité satisfaisante pour la haute fidélité. À tous les avantages de ce haut-parleur s'ajoute une très faible épaisseur (de l'ordre du cm) liée à l'absence de caisse de résonance. C'est aussi le cas des haut-parleurs d'une autre firme britannique : NXT. Leur principe de fonctionnement est en revanche complètement différent. Il fait appel à un petit

excitateur électrodynamique placé à un endroit bien précis sur un panneau "sandwich" (métal, tissu, polymère...). C'est ce dernier qui fait office de membrane. Avec ce système, parfaitement plat et très peu directif, NXT a déjà séduit des fabricants d'ordinateurs (NEC, Acer...) et de matériel de haute-fidélité (Bang & Olufsen, Jamo, Quad, Wharfedale, Audax...). Toujours dans le but de miniaturiser les transducteurs, la société californienne ATC a quant à elle mis au

point une technologie encore plus originale car basée sur des phénomènes de battements acoustiques. Cette technologie, baptisée HSS (*Hypersonic Sound Technology*), consiste à mélanger un signal acoustique modulé haute fréquence (autour de 200 kHz) à celui d'un oscillateur référence à la même fréquence. L'auditeur perçoit finalement un signal différentiel contenant la modulation basse fréquence initiale. ATC explique que la détection d'enveloppe est obtenue grâce aux non-linéarités de la transmission acoustique jusqu'à l'oreille. Ce procédé réaliserait le tour de force de reproduire l'ensemble du spectre audible tout en ne mettant en œuvre que de simples haut-parleurs piézo-électriques, plus petits et beaucoup moins coûteux que les modèles électrodynamiques. La société n'en est toutefois qu'au stade des démonstrations. ■

## L'acoustique inertielle simplifie la gyrométrie

Indispensables en navigation aérienne, les gyromètres sont des appareils toujours très délicats à réaliser et de ce fait aussi coûteux que fragiles. À cet égard, les gyromètres acoustiques pourraient

constituer une alternative économique aux systèmes mécaniques (toupies). En résumé, ils exploitent l'inertie de rotation d'un champ acoustique pour mesurer des vitesses angulaires. Si les équations s'avèrent complexes (mouvements tourbillonnaires), les réalisations brillent par leur simplicité : une cavité résonante, un haut-parleur et un microphone suffisent.

### Précision : 0,01 %

Des prototypes étudiés au Laum et réalisés par Sextant Avionique affichent une dynamique de  $10^3$  avec une précision supérieure à 0,01 % et un temps de

réponse de l'ordre d'une dizaine de ms. Ces gyromètres mettent en œuvre un haut-parleur piézo-électrique et un microphone "electret" dans une cavité de 1 cm<sup>3</sup> environ. Pour certaines applications, en robotique ou pour le contrôle actif des suspensions de véhicules, ils peuvent être encore miniaturisés grâce au micro-usinage sur silicium. En collaboration avec le Laum, L'Esiee a ainsi réalisé un modèle "sub-miniature" à source électrostatique et

capteur capacitif. L'ensemble fonctionne à 40 kHz. Seule limite à la généralisation de ces gyromètres miniatures : le prix. Bien que déjà 10 à 100 fois moindre que celui des gyromètres utilisés en aéronautique, il dépasse encore le plafond fixé par les équipementiers automobiles. Mais il s'en rapproche sensiblement... ■



Cette cavité réalisée par Sextant est équipée de transducteurs piézo-électriques.



Gyromètre micro-usiné fabriqué à l'Esiee.