

ACOUSTIQUE

CONCEVOIR SILENCIEUX

● Le bruit n'est plus perçu comme un mal inéluctable mais traqué comme une nuisance. Contraints par le poids, le coût et la compacité de leurs produits, les ingénieurs font cependant des prodiges.

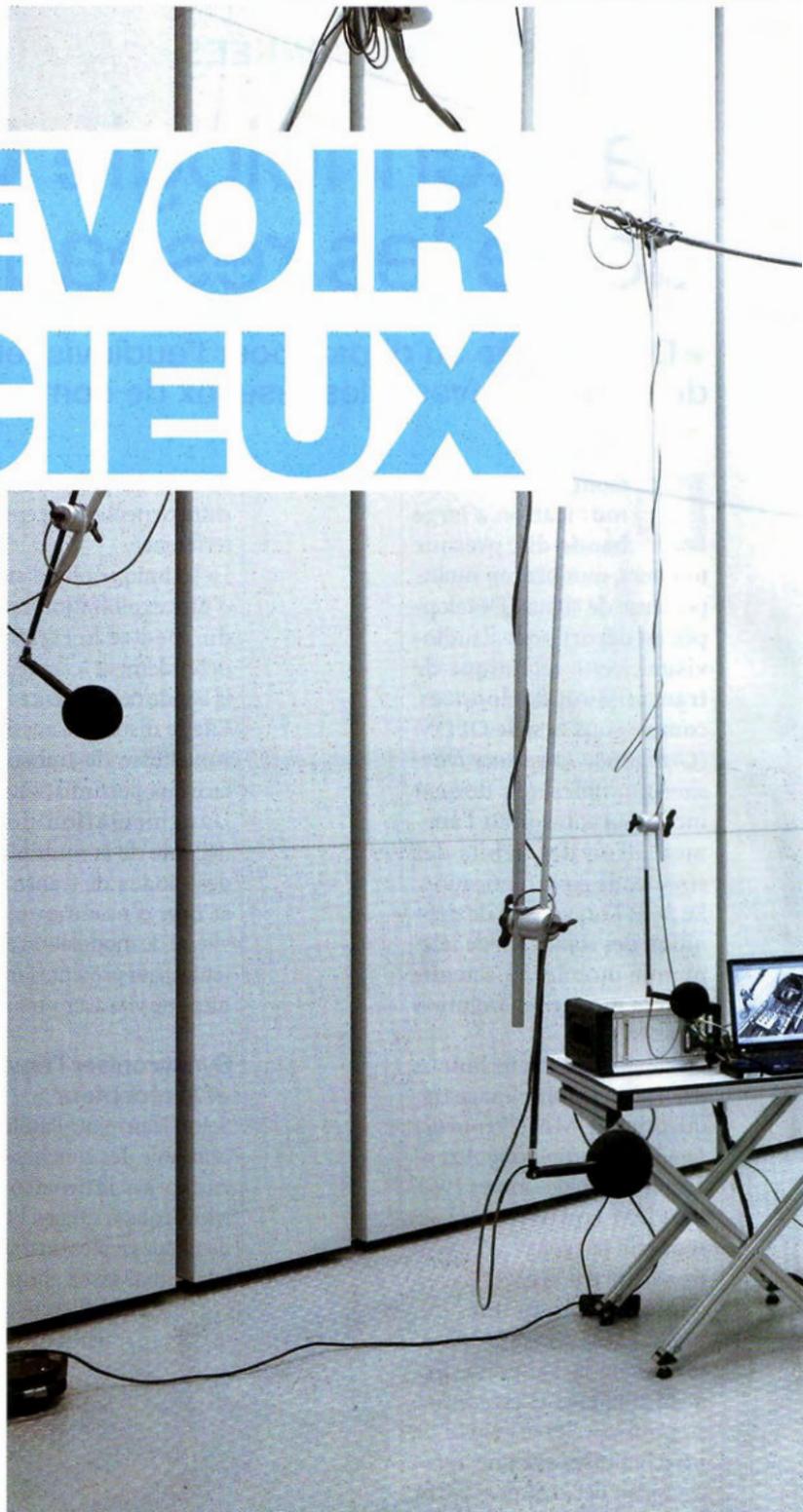
Le bruit est, avec l'odeur, l'une des pollutions les plus intrusives, les plus agressives. Et comme le sens olfactif, l'ouïe s'adresse directement à l'affect, souvent même en court-circuitant la conscience. Pas étonnant que dans l'automobile, les moyens d'essai et de calcul les plus puissants se conjuguent avec des salles d'écoute où l'appréciation humaine prend le pas sur le quantitatif. Les industriels ont mis longtemps à se donner les moyens de "dompter" le bruit. C'est aujourd'hui un volet important de la conception. Avec la volonté, bien sûr, de diminuer le niveau d'énergie rayonnée – qu'on en juge aux progrès considérables réalisés dans l'électroménager ou en informatique – mais aussi, d'en déterminer la "couleur". Puisqu'un aspirateur sera toujours bruyant, autant rendre ce bruit résiduel por-

teur de sens pour l'utilisateur. En lui donnant à penser que son appareil est puissant et efficace.

Le desing sonore, un argument marketing

Ce sont les constructeurs d'automobiles qui ont poussé le plus loin les méthodologies

d'analyse sensorielle (le son, le toucher, etc.) afin d'en tirer un avantage discriminant en matière de perception de la qualité, de la sécurité, du confort. On n'est qu'au tout début du "design sonore" prôné par les constructeurs d'automobiles. Mais très clairement, l'approche "bruit" qui





Mise au point par Festo, cette chambre permet de mesurer l'émission sonore d'un terminal de distribution d'air comprimé.

naguère était surtout traitée sous l'angle curatif, remonte plus avant dans la définition même du véhicule, occupe une place grandissante dans les cahiers des charges. La réduction du bruit n'est pas soumise qu'au diktat du marketing. Elle est aussi dictée par des normes et des règlements.

C'est vrai pour le bruit de passage d'une automobile, la circulation d'un train, un nombre grandissant d'équipements industriels... et même pour les militaires – en temps de paix – qui n'ont plus le droit de passer le mur du son au-dessus des habitations.

SUITE PAGE 50

QU'EST-CE QUE LE "BRUIT" ?

Ou plutôt comment différencier un environnement sonore supportable d'une "pollution"...

À grands traits, le "mauvais" bruit est

- **EXTÉRIEUR À NOTRE SPHÈRE.**
On supporte mieux le babil de notre enfant que celui du bébé d'en face!
- **NON SOLlicitÉ, SUBI.**
Le bruit du moteur ravit le motard et exaspère le piéton.
- **DÉNUÉ DE SENS.**
La sirène des pompiers exaspère moins que la pétarade d'une tondeuse.

SOMMAIRE

AÉRONAUTIQUE

Vers des solutions radicales P. 52

AUTOMOBILE

Le Graal du design acoustique P. 54

MÉCANIQUE

Un casse-tête pour les PME-PMI P. 58

ÉLECTROMÉNAGER

Le champion du transfert de technologies P. 60

SUIITE DE LA PAGE 49



Ventilateur de la soufflerie sonore de l'Onera à Modane (Savoie). Avec ses 15 m de diamètre, il brasse 100t d'air à 210 tr/min. On y teste les programmes d'Airbus.

Enfin, la réduction du bruit est une arme économique. C'est en effet, pour une bonne part, la nuisance sonore des trains qui limite le fret ferroviaire de nuit. Et dans l'aéronautique civile, la limitation du bruit est le nouveau terrain de bataille entre Boeing et Airbus. Les immenses budgets de recherche et les moyens d'essai colossaux que mettent en œuvre ces grandes industries

vont-ils "tirer" vers plus de silence l'ensemble de l'industrie des biens d'équipement, de la maison et des loisirs? Oui. Et non. Oui, parce qu'un certain nombre de méthodologies et d'outils – à commencer par la panoplie de logiciels aujourd'hui disponible – sont désormais "sur étagère". De même, des centres d'essai comme certains Critt (Centres régionaux d'innovation et de trans-

fert de technologie) dédiés à l'acoustique, tous développés pour l'automobile et l'aéronautique, offrent aujourd'hui des plates-formes d'expertise aux PME voisines.

Cette démarche de transfert technologique semble être parfaitement maîtrisée par les industriels de l'électromagnétique. De même, selon SKF, les avancées faites par ce biais au niveau des composants tels que les roulements commencent à profiter aux industries de la mécanique traditionnelle.

Mutualisation des investissements

Reste deux freins puissants : la taille des budgets à investir et la difficulté de mise en œuvre des outils disponibles. Pour la plupart des PME-PMI, ces derniers leur semblent inaccessibles et à mille lieux de leurs besoins. En attendant, quand elles y sont obligées, leur tactique est plutôt de sous-traiter ce type d'études et éventuellement de mutualiser leurs investissements. Franck Fumey, président de Marmonier, spécialiste des solutions acoustiques, qui offre des prestations d'études, constate ainsi la très faible demande des PMI. Et, de fait, un fabricant de chariots élévateurs peut se payer, à peu de frais, un design visuel valorisant. Il n'en va pas de même du design sonore, qui impacte plus profondément la conception des produits et suppose, non pas une expertise ponctuelle mais tout le travail d'accompagnement, en interne, d'un ingénieur acousticien. Le point positif, c'est que les écoles d'ingénieurs ont pris la mesure de cette demande de l'industrie. Ainsi, en parallèle des cursus universitaires type master ou DESS en vibro-acoustique, ou d'options dans les grandes écoles comme

PRATIQUE

POUR VOUS AIDER

LE CETRAM

(Centre européen de technologies et de recherche en acoustique et matériaux) à Angoulême (Poitou-Charentes). Dispose de confortables moyens d'essais, d'outils de simulation numérique et d'un laboratoire chimie et matériaux.

LE CEVAA

(Centre d'essai vibro-acoustique pour l'automobile) est installé sur la Technopole du Madrillet, à côté de Rouen (Normandie). Créé à l'initiative de constructeurs français et d'équipementiers et fournisseurs, le centre a une forte vocation à former les PME.

LE CRITT M2A

(Centre de recherche d'innovation technique en moteurs et acoustique automobile). Dans le Nord-Pas de Calais, il possède une expertise en holographie acoustique et optique.

LE CETIM

(Centre technique des industries mécaniques). Jouit d'une grande expérience dans le domaine acoustique qui va de l'analyse vibro-acoustique jusqu'à la qualité sonore en passant par la certification des matériels.

LE CETIAT

(Centre technique des industries aéronautiques et thermiques). Situé à Villeurbanne (Rhône), il présente également des prestations dans le domaine de l'acoustique.

DES OUTILS NUMÉRIQUES

- Le français **ESI Group**, grand spécialiste du crash-test automobile, édite une famille très complète d'outils numériques dans le domaine acoustique et vibratoire... évidemment très orientée automobile.
- Le logiciel **Actran** du belge Free Field Technologies est un must de la vibro-acoustique
- La gamme de logiciels (Virtual Lab...) de **LMS International**
- Des modules des progiciels Nastran, Ideas, Catia V5, Ansys traitent d'acoustique

Ces logiciels, difficiles à prendre en main, ne sont rien sans l'expertise d'ingénieurs acousticiens.

➤ On ne saurait citer tous les centres de recherche académiques en acoustique...

Mentionnons cependant un laboratoire totalement dédié comme le LMA (Laboratoire de mécanique et d'acoustique, CNRS) de Marseille, le Laboratoire onde et acoustique, rattaché à l'ESPCI, le Laboratoire d'acoustique du Cnam, de l'École centrale, de l'UTC, ou encore le Laboratoire d'énergétique et de mécanique des fluides interne de l'Ensam.



Simulation des instabilités d'un jet supersonique en sortie d'un turboréacteur. (Onera)

AÉRONAUTIQUE

Vers des solutions radicales

● L'augmentation constante du trafic aérien exige une limitation du bruit des avions de ligne. Certaines solutions sont "sur étagère". D'autres exigent de radicales ruptures technologiques et un supplément d'âme théorique.

La question du bruit en aéronautique civile est radicalement différente de celle de l'automobile ! Ici, on s'intéresse assez peu au bruit en cabine – si l'on excepte quelques dispositifs à antibruit actif que Dassault a mis en place sur ses avions d'affaires Falcon. À peine plus au bruit subi par les pilotes dans le cockpit. Le bruit qui hante les ingénieurs, des deux côtés de l'Atlantique, c'est bien évidemment le bruit extérieur, au décollage comme en phase d'approche. Car les deux géants de l'aéronautique mondiale, Boeing et Airbus, se livrent la guerre avec un sonomètre en main au moins autant qu'avec une calculatrice ! Il est vrai que le trafic aérien devrait doubler d'ici à 2020, engendrant la colère croissante des riverains d'aéroports... Rogne qu'utilisent les deux constructeurs. Le premier des deux qui prendra une longueur d'avance significative suscitera une sévérité des normes antibruit édictées par l'OACI (Organisation de l'aviation civile internationale) et raflera des parts de marché.

Or, si le bruit perçu au sol a été spectaculairement réduit dans les années soixante et soixante-dix, on assiste depuis vingt ans à une quasi-stagnation des nuisances sonores. Une mesure de bruit normalisée le situe autour de 90 à 95 EPNdB – pour *Effective*

Perceived Noise Decibel. Le regroupement de l'industrie aéronautique européenne Acare, pour *Advisory Council for Aeronautics Research in Europe*, a pris les devants et avance des objectifs très ambitieux, en matière de pollution et surtout de nuisance acoustique : réduire par deux le bruit perçu !

Rendre plus silencieux les turboréacteurs

Philippe Morice est directeur du département simulation numérique des écoulements et aéroacoustique à l'Onera (Office national d'études et de recherches aérospatiales). Le spécialiste est formel : « Tenir ces engagements exige une rupture technologique vers 2010. Comparable à l'apparition des turboréacteurs à double flux dans les années soixante-dix. » Cette technique a consisté à réinjecter une partie du flux froid de la soufflante (la grande hélice carénée en tête de réacteur)

LA PROBLÉMATIQUE

- La nécessaire réduction du bruit des avions doit rendre supportable l'augmentation du trafic aérien.
- Des décibels sont encore à rogner avec les techniques classiques. Mais les ingénieurs ne pourront pas faire l'économie, d'ici dix ans, de radicales mutations technologiques.
- L'avion silencieux n'aura plus la même configuration que les appareils actuels.

au flux chaud issu de la chambre de combustion, puis de la turbine.

Boeing et Rolls-Royce ont franchi un pas décisif dans cette direction, en ajoutant une découpe en dents de scie sur la tuyère. Ces buses créent des contre-turbulences avec, pour bénéfique, une puissance

sonore divisée par deux. Ce turboréacteur de nouvelle génération débutera sa vie en série avant la fin de la décennie sur le futur Boeing B 7E7. L'Onera étudie des dispositifs similaires mais envisage que les chevrons (la découpe en dents de scie) adoptent une géométrie variable en fonction de la phase de vol. Le vacarme caractéristique des turboréacteurs (mugissement dans les basses fréquences) peut également être réduit par des méthodes plus classiques comme des matériaux absorbants. Philippe Morice avance une autre voie de recherche : « Augmenter toujours plus le taux de dilution des réacteurs [le rapport en débit air froid + air chaud sur débit chaud, dans les réacteurs à double flux]. Aujourd'hui, on se situe à 6, on vise 9 et des projets ambitionnent 11 ou 12. Le problème, c'est que le gain en turbulence est pénalisé par un diamètre considérablement accru du turboréacteur. » D'où des problèmes de traînées et aussi d'interactions entre le jet et la voilure.

Le concept d'aile inversée

Alain Julienne est chef d'unité des bruits d'écoulement à l'Onera. Il explique : « À l'approche, le bruit aérodynamique est du même ordre de grandeur que le bruit des turboréacteurs. C'est dû au



Découpe en dents de scie de la tuyère du futur réacteur de Rolls-Royce qui équipera le B 7E7 (remplaçant des B 757 et B 767). But : augmenter les contre-turbulences du flux d'air froid autour du jet chaud, en sortie de tuyère, assourdissant ainsi le bruit.

L'AILE VOLANTE CHAMPIONNE DU SILENCE

● L'aile volante est un concept développé initialement pour les militaires, à la recherche d'appareils furtifs aux ondes radar. Mais de telles configurations sont séduisantes aussi dans l'optique de la réduction du bruit comme de la consommation.

Dans le cadre du programme européen Vela (*Very Efficient Large Aircraft*) piloté par Airbus, l'Onera teste depuis fin 2004 en soufflerie deux maquettes d'ailes à usage civil.

Une équipe anglo-américaine (Université de Cambridge et le Massachusetts Institute of Technology) travaille à un projet proche.

Mais la suppression des hublots peut être un frein à l'exploitation commerciale. Et ce type d'appareils, qui interdit les toboggans, repose à la base le problème de l'évacuation des passagers.

fait que le train d'atterrissage est sorti, les becs et les volets déployés. » Cette source de bruit est beaucoup plus pénalisante à l'approche qu'au décollage car la trace au sol est bien plus grande: l'angle avec la piste est faible. Ces hypersustentateurs (becs et volets) ont pour but de conserver la portance à basse vitesse, pour que l'avion ne décroche pas. De nombreux travaux tendent à faire en sorte que cette portance supplémentaire n'augmente pas trop le bruit aérodynamique.

Ce sont des optimisations.

Mais les constructeurs travaillent à des solutions beaucoup plus radicales. Comme le concept d'aile inversée: le turboréacteur se retrouverait au-dessus de l'empennage, avec pour effet que le rayonnement sonore "rebondisse" vers le ciel.

C'est une des idées forces du projet Rosas (*Research on Silent Aircraft Concepts*), coordonnée par Airbus et qui s'est achevé en mars dernier. Ce programme a défriché la partie théorique et la simulation numérique de cette configuration radicalement

nouvelle. Rosas se prolonge dans les projets Vital (*Environmentally friendly aero-engine*) et Nacre (*New Aircraft Concept Research*). Ce dernier a été lancé en avril 2005 pour une durée de quatre ans. Il est doté d'un budget de 32 millions d'euros.

De nouvelles procédures de vol

Alain Julienne explique: « Nacre reprend le travail théorique déjà effectué sur l'aile inversée mais avec pour objectif de fournir des codes prédictifs ». À noter que ce programme majeur contient également un important volet écologique.

Comment aller plus loin encore? En reconsidérant à la base la structure même de l'aéronef. C'est l'aile volante (voir encadré), la forme aérodynamique parfaite, qui "noierait" les turboréacteurs dans sa structure. Cet aéronef sans carlingue mais à la forme de raie ne verra le jour, au mieux, avant vingt ans.

Il faut également citer le programme Iroqua (Initiative de recherche pour l'optimisation acoustique aéronautique), qui allie le CNRS, l'Onera, Airbus,

Dassault Aviation, Eurocopter, Snecma. Ce programme comporte un important volet théorique pour la réduction du bruit à la source. Et s'attache aussi à des aspects plus "pragmatiques", proposant de nouvelles procédures de vol et des trajectoires à plus faible bruit.

Deux grandes écoles sont très actives dans la réduction du bruit des turboréacteurs. L'École centrale de Paris s'est fait une réputation dans l'étude de la naissance du bruit: les turbulences à échelle microscopique. Là, prévalent les "effroyables" équations de Navier-Stokes. L'Ensta (École nationale supérieure de techniques avancées, à Paris), quant à elle, travaille avec Airbus sur la propagation de l'écoulement (hydrodynamique) et du rayonnement acoustique dans le réacteur, et sur les échanges d'énergie entre ces deux flux. Éric Luneville, qui est responsable de l'unité de mathématiques appliquées de l'Ensta, promeut une modélisation originale de ces phénomènes, basée sur les équations de Galbrun – et non d'Euler. ● Thierry Mahé

Simuler la naissance du bruit dans le turboréacteur comme sa propagation dans le flux de gaz brûlants est encore un cas d'école, où plusieurs modèles théoriques rivalisent. Ici, calcul du champ de pression d'un jet supersonique en sortie de réacteur par l'Onera.

AUTOMOBILE

Le Graal du **design** acoustique

● Le bruit dans l'habitacle des automobiles baisse jusqu'à 1 dB(A) chaque année. L'objectif ultime des constructeurs reste toutefois la capacité à prédéterminer l'ambiance sonore dès la conception.

Un rêve d'ingénieur serait de créer, ex nihilo, la "couleur" sonore du véhicule, au premier stade du projet. Comme le fait déjà – c'est un peu plus simple ! – l'architecte d'un auditorium. Denis Ragot, directeur du Cetram, confirme : « Aux simples exigences de seuil sonore se surajoutent, dans les cahiers des charges, des notions qualitatives comme la rugosité ou l'acuité. Qui ont une base théorique, mais ne se recourent pas exactement d'un constructeur à l'autre. » On est encore loin du design sonore sur plan, mais dès aujourd'hui, Éric Landel, chef du service prestations acoustiques et vibrations de Renault, affirme : « 80 à 90 % des problèmes sont identifiés dès le stade prototype. »

LA PROBLÉMATIQUE

- Dans l'automobile, la gestion du bruit est à la fois une contrainte réglementaire et un impératif marketing.
- Le problème est rendu encore plus complexe par la multitude de partenaires industriels.
- La réduction du bruit suscite d'énormes investissements en moyens d'essai chez les constructeurs et une sensibilisation des sous-traitants.
- Grâce à ces moyens, les constructeurs éradiquent la plupart des problèmes dès les premiers prototypes.

Et les méthodes pour corriger les défauts s'éloignent à grand pas de l'empirisme, témoin ce brevet (méthode des raccordements acoustiques) co-déposé par PSA et l'école d'ingénieurs Estaca.

Pourquoi le design sonore tarde-t-il à pousser la porte des mondes virtuels et des maquettes numériques ? D'abord parce que l'étude du bruit résiste au "tout calcul" (voir encadré page 55). Et aussi en raison du nombre d'acteurs industriels impliqués dans une auto, du constructeur au simple fournisseur... pas forcément au même stade de sensibilisation à cette nouvelle approche.

Deux grands axes : sources et propagation

Pour aller très vite, il y a trois grandes sources de bruit dans un véhicule. En premier lieu, l'énorme "pot vibrant" que constitue le groupe motopropulseur, auquel on peut associer toute la colonne de gaz qu'il met en branle, du filtre à air jusqu'à l'échappement.

ALLIANCE CONTRE LE BRUIT AÉROACOUSTIQUE

● Avec le Cnam (Conservatoire national des arts et métiers), Renault et PSA, groupés au sein du GIE S2A (Montigny-le-Bretonneux, Yvelines), ont inauguré en 2003 deux souffleries, l'une à échelle 1, l'autre à 2/5. Un investissement de 36 millions d'euros ! Il y va bien sûr de la réduction de la traînée, en vue d'améliorer la consommation, et aussi d'accroître la stabilité sous l'effet de vents latéraux.

Écoulement de l'air et roulement

Mais le but avoué est aussi et surtout de réduire le bruit aérodynamique du véhicule, tant pour les passagers que vis-à-vis de l'extérieur. En effet, les bruits générés par l'écoulement de l'air et le roulement deviennent prédominants sur celui du moteur à partir de 130 km/h. La soufflerie à échelle 1 peut simuler un vent jusqu'à 240 km/h, même sur les monospaces.



Cette soufflerie peut simuler un vent jusqu'à 240 km/h. Les bruits générés par l'écoulement de l'air sont étudiés tant pour les passagers que pour l'extérieur.



Renault a investi 25 millions d'euros dans son centre NVH de Lardy pour améliorer le design acoustique de ses véhicules.

Ensuite le roulement, c'est-à-dire le bruit des pneus sur la chaussée. Enfin, le bruit aérodynamique, celui des écoulements d'air sur la "peau" du véhicule. S'ajoutent une kyrielle d'équipements internes ou externes à l'habitacle, pompes, moteurs électriques et autres éléments de climatisation... Voilà pour les sources, dont on se doute qu'un effort constant tend à les rendre plus silencieuses... sous l'arbitrage du prix.

Mais réduire le bruit, c'est aussi en freiner la propagation. « Cette dernière s'effectuant dans la matière – transmission solidienne, basse fréquence – ou par voie aérienne, avec de constants transferts d'énergie entre les deux », explique Jacques Sarvin, de Vibratec.

Dans le premier cas se rangent toutes les techniques d'analyse modale (étude des fréquences propres) et les remèdes qui consistent, par exemple, à raidir (apport de matière) certains points de la caisse. Et, bien sûr, par des

dispositifs de suspension du moteur, lesquels font même parfois intervenir des éléments semi-actifs (Paulstra). Pour bloquer la transmission aérienne du bruit, deux maîtres mots: absorber ou refléter l'onde sonore, dans une approche globale qui joue sur les deux. C'est ici qu'interviennent les mousses plaquées sur le tablier (particulièrement au niveau des traversées entre compartiment moteur et habitacle) et d'épaisses moquettes au plancher. En lien avec des équipementiers comme Faurecia,

les constructeurs utilisent même la structure des sièges pour absorber le bruit. Les constructeurs se font aussi accordeurs de grandes orgues dans tout ce que le véhicule comporte de tubulures. En particulier au niveau de l'admission d'air où certaines fréquences sont "tuées" par des dispositifs comme des "quarts d'onde". Ou à l'échappement où pénètrent progressivement des techniques temps réel de contrôle actif. Et l'antibrui? Cette méthode consisterait à mettre à profit les haut-parleurs de l'habi-

tacle. Ils permettraient de transmettre une onde tueuse de bruit, car en opposition de phase. « Très compliqué, pronostique Éric Landel, de Renault. Et on ne saurait le faire que dans une zone spatiale bien déterminée. »

Des investissements importants

Les constructeurs se sont dotés, au cours des toutes dernières années, de moyens énormes en matière de design acoustique. Renault a, par exemple, investi 25 millions d'euros en 2005 dans son centre NVH (Noise Vibration and Harshness, 80 personnes) de Lardy (Essonne). Les efforts sont payants, puis-

qu'une voiture d'entrée de gamme comme la Clio III (sortie en 2005, sept ans après la Clio II) a vu son bruit habitacle diminuer de moitié – 3 dB(A) à 130 km/h. Et le constructeur se flatte de placer ses véhicules à 71 dB(A) de bruit de passage (extérieur), c'est-à-dire

SUITE PAGE 56

CLIO III

**-3 dB(A)
+17 kg**

La réduction significative du niveau sonore de la Clio III par rapport à la version II se chiffre par un surpoids important.



SUIITE DE LA PAGE 55

très en dessous de la norme. En revanche, ce gain en décibels se traduit inévitablement en kilos en plus! On estime chez Renault que le silence de la Clio III justifie un surpoids de 17 kg. « Cette masse se retrouve dans des matières absorbantes, mais surtout dans des ajouts de matière sur la caisse », souligne Éric Landel.

Il faut ajouter que le travail des concepteurs se complique du fait qu'une voiture vieillit et voit changer son comportement acoustique. À cause de l'usure des matériaux très sollicités (supports moteurs élastiques) ou d'infimes modifications géométriques de la caisse. L'extraordinaire précision dimensionnelle qu'on apporte au ferrage des caisses est en partie justifiée par la réduction du bruit.

On pourrait imaginer qu'un moteur plus propre et d'un meilleur rendement génère moins de bruit. Tout faux! En gros, la course au *downsizing* (cylindrée moindre à puissance égale, afin de limiter les pertes de frottement) et l'allègement constant ont fait des moteurs actuels de petites bombes sonores! La forte diésélisation du marché français n'a rien arrangé sous cet angle. Mais elle est tempérée par les

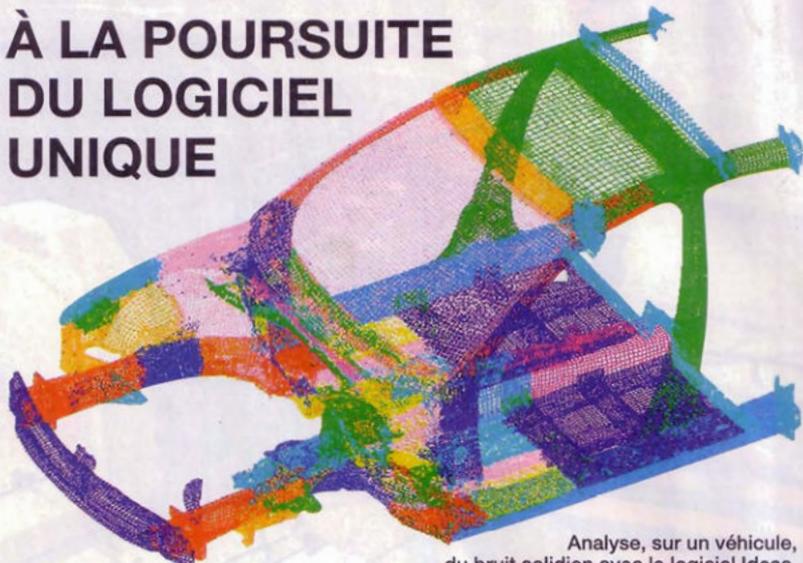
nouvelles techniques d'injection, qui rallongent la combustion et lissent les à-coups. En fait, beaucoup de progrès sont préjudiciables au silence. Comme la sécurité : des capots, moins agressifs pour le piéton, sont aussi moins rigides et plus bruyants. Ou la recyclabilité, qui voudrait qu'on restreigne le spectre des matériaux, au grand dam de l'acousticien.

Des moyens d'essai hors normes

Cette éradication du bruit suscite des investissements tellement énormes que les constructeurs sont amenés à les mutualiser (voir encadré page 54). Mais cela implique également que toute l'infrastructure industrielle de l'automobile se mette au diapason des constructeurs. Les grands équipementiers ont leurs propres moyens d'essai et partagent ceux des constructeurs.

Mais ces ensembles utilisent aussi des structures comme celles qu'offrent les Critt (Centres régionaux d'innovation et de transfert de technologie) spécialisés dans la vibro-acoustique, afin d'harmoniser leur travail avec celui de leurs propres fournisseurs. Les moyens d'essai d'acous-

À LA POURSUITE DU LOGICIEL UNIQUE



Analyse, sur un véhicule, du bruit solide avec le logiciel Ideas. (Source Vibratec)

Il existe trois grandes familles de modèles numériques pour l'acoustique automobile.

La première touche aux vibrations basse fréquence (inférieures à 300 Hz) et met à profit les éléments finis.

Une autre régit les hautes fréquences (dans l'automobile, au-delà de 2 kHz). D'autres modèles couvrent les fréquences intermédiaires.

Pas de panacée numérique? Si, en fait. Les équations hypergénérales de Navier-Stokes. Qu'on ne sait résoudre exactement que sur des volumes de quelques centimètres, et encore, souvent en 2D!

tique mettent en œuvre des équipements "classiques" comme des chambres réverbérantes, ou semi-anéchoïdes – le plancher tient le rôle réfléchissant de la route –, des bancs d'analyse modale, etc. Mais aussi des "moutons à cinq pattes". Tel le banc d'acyclisme de Renault, une première en Europe, qui simule exactement à l'aide d'un moteur électrique les irrégularités d'un moteur thermique comme les claquements de combustion. Ou encore au Cetram (Angoulême, Charente), ce banc à quatre rouleaux d'un diamètre de 1,60 m, indépendants les uns des autres et dont on peut modifier la granulosité. « La structure des monospaces nous conduit en effet à accorder autant d'attention au train arrière qu'au train avant », souligne Denis Ragot, son directeur. Cela prendra fin avec le véhi-

cule électrique, n'est-ce pas? Faux encore! Ce dernier est en fait un casse-tête pour les constructeurs. De l'extérieur, son silence met en défaut la prudence du piéton, qui se fie plus à son oreille qu'à ses yeux. Et, de l'intérieur, le silence du moteur fait loupe grossissante à tous les petits défauts sonores de l'habitacle, comme le moteur de la direction assistée! Pas mieux avec les motorisations hybrides. Comme le moteur thermique le dispute en permanence au moteur électrique, on assiste en fait à des à-coups de puissance, générateurs de hautes fréquences. Denis Ragot ajoute: « C'est d'autant plus déroutant pour le conducteur que le bruit est ici décorrélé de ses décisions de conduite, puisque la gestion énergétique du véhicule se fait à son insu. » Acousticien de l'automobile: un métier d'avenir. ●

Thierry Mahé



Au Cetram d'Angoulême, ce banc à quatre rouleaux permet aux équipementiers d'adapter les trains avant et arrière en fonction de différentes granulosités.

MÉCANIQUE

Un casse-tête pour les PME-PMI

● Les industriels de la mécanique avancent timidement sur la voie de la prédiction acoustique. Mais les outils sont encore trop chers et trop complexes.

Plus que par la demande du marché, les efforts faits en matière de réduction du bruit dans le secteur de la mécanique sont largement poussés par des contraintes réglementaires. La directive européenne qui limite l'exposition des salariés au bruit durant leur activité professionnelle, tout comme celle relative aux émissions sonores des matériels destinés à être utilisés à l'extérieur des bâtiments viennent d'être renforcées.

Sensibilisés au bruit, les industriels de la mécanique le sont, mais intégrer ce facteur dès la conception d'un produit est loin d'être simple.

Au-delà de simples mesures effectuées en bout de chaîne de production, l'investissement se révèle plus conséquent tant en coût matériel qu'intellectuellement, car l'acoustique se complexifie très vite et demande de s'entourer de spécialistes. « Il est essentiel

LA PROBLÉMATIQUE

- La mécanique est l'objet d'une **réglementation** de plus en plus sévère
- Les entreprises possèdent en général un minimum d'**équipements de contrôle**
- Pour des études approfondies, l'**investissement** est généralement trop élevé et les outils trop complexes
- La solution peut se trouver dans la **sous-traitance des études** à l'extérieur et/ou la mutualisation des ressources

d'étudier la machine dans son ensemble ainsi que ses composants dans leur environnement car l'acoustique repose beaucoup sur des phénomènes d'interactions et de résonances. Un tour de vis peut parfois tout changer ! Il est très difficile de formaliser voire de modéliser ces problématiques », explique Xavier Carniel responsable actions

collectives au sein de l'entité ingénierie bruits et vibrations du Cetim (Centre technique des industries mécaniques).

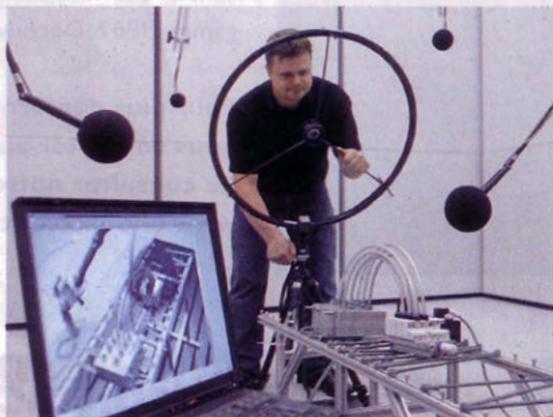
Un compromis entre prix et performances

Aussi, tant qu'ils passent facilement en dessous des normes, la plupart des industriels se contentent de choisir les composants les moins bruyants possible et de faire du curatif, c'est-à-dire principalement d'ajouter des silencieux et de capoter les machines. Seulement ces solutions finissent par coûter cher, alourdissent l'équipement et augmentent son encombrement. L'idéal est tout de même de réduire le bruit à sa source. Or la source la plus nuisible n'est pas forcément celle que l'on croit et l'intérêt de focaliser ses efforts à bon escient est d'autant plus important que la dimension coût est primordiale. « Il faut trouver

un compromis entre prix et performances, car le but final reste de vendre ! » s'exclame Marcel Briand, responsable du bureau d'études des produits standards de SDMO.

Tout comme Leroy-Somer, le fabricant brestois de groupes électrogènes a investi dans des moyens pour cartographier et caractériser les sources. « Nous avons mis en place des moyens de mesure par intensimétrie », explique le responsable. L'entreprise, qui a été initiée à cette technologie, il y a quelques années par le Cetim, a formé un ingénieur sur chaque niveau de gamme. « Nous réalisons les analyses acoustiques et travaillons en collaboration avec nos fournisseurs. En parallèle, nous corrélons les résultats de l'intensimétrie avec nos modèles CAO et utilisons des outils de calcul développés en interne », poursuit Marcel Briand. Tout en abaissant les

Festo fournit à ses clients le niveau sonore émis par ses produits. Ici, mesure du terminal de distribution VTUB.



Afin de minimiser les effets sonores de ses ventilateurs, Solyvent a étudié les profils des pâles et breveté les améliorations portées.



CETIM UNE DÉMARCHÉ POUR LES ENTREPRISES

● Pour aider les entreprises à concevoir silencieux, le Cetim s'appuie sur la méthode NST, *Noise Synthesis Technology*, issue du projet européen Nabucco. Elle est mise en œuvre notamment sur une étude complète des émissions sonores des tondeuses à gazon réunissant douze industriels du secteur. Cette démarche structurante se déroule en plusieurs étapes. Tout d'abord,

il s'agit de réaliser le schéma acoustique du système. Cette étape nécessite souvent l'expérience d'un acousticien.

Simuler les modifications

Ensuite, chaque source est caractérisée et hiérarchisée afin de définir sur quelle source il est intéressant d'agir en priorité. Enfin, l'ensemble des différentes sources et connexions est modélisé à l'aide du

logiciel Prons (*Product Noise Synthesizer*), ce qui permet de faire du prototypage virtuel et de simuler la modification de l'un ou l'autre des composants. Cette méthode mixe des mesures expérimentales et des données calculées (résultats de simulation). Elle peut aussi intégrer le calcul de critères psychoacoustiques dans les phases de conception et de prototypage.



La méthode du Cetim est mise en œuvre sur une étude complète des émissions sonores des tondeuses.

niveaux sonores, ce travail d'intégration du facteur bruit en amont dans la conception a permis à SDMO de remporter d'importants marchés à l'export, et de réduire de 15 à 20 % la longueur de ses groupes standards.

La démarche est similaire chez Leroy-Somer où, rien que sur le site de Beaucourt (CEB Belfort), cinq personnes à temps plein travaillent sur le thème de la discrétion acoustique. Elles ont à leur disposition des moyens de caractérisation des sources couplés à des outils de dimensionnement des moteurs. Les sources principales du bruit sont dues au

ventilateur qui refroidit le moteur ainsi qu'aux vibrations des pièces mécaniques. Si les systèmes de silencieux ne suffisent pas à atteindre le niveau sonore requis, le constructeur de moteurs électriques installe un refroidissement par eau. Cette solution permet de diviser, dans certains cas, par huit les émissions sonores! « Avant d'en arriver là, nous travaillons bien sûr en étroite collaboration avec nos fournisseurs afin d'intégrer des composants les plus silencieux possible; ensuite tout est une question de compromis entre les performances et le coût. 10 % des demandes qui nous sont faites exigent des niveaux sonores très en dessous de la norme. Ce qui nous impose de réaliser des études approfondies », explique Duong Hai, directeur technique du CEB.

Atlas Copco, qui dispose depuis les années 1970 d'un laboratoire dédié aux bruits et vibrations, semble être l'un des rares à être passé à la vitesse supérieure, c'est-à-dire à faire de la prédiction acoustique. « La tendance est d'aller le plus loin possible dans l'analyse du

comportement vibratoire des machines avant de fabriquer le premier prototype. Pour ce faire, le recours à des modèles théoriques complexes, tels que la méthode des éléments finis, est indispensable, précise Wim Bouwen, responsable du laboratoire bruit et vibration de la division Airtec. L'insonorisation d'un compresseur est un véritable défi. La tendance à concevoir des produits toujours plus légers, et à des prix de revient toujours plus serrés complique grandement le problème », poursuit l'ingénieur d'Atlas Copco où l'équipe de neuf spécialistes travaille avec des systèmes de la société LMS (éditeur du logiciel SysNoise).

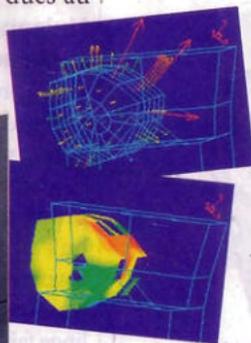
L'union fait la force...

Tenté par ce saut technologique, le fabricant de composants d'automatismes Festo développe actuellement des outils de simulation et étudie les possibilités de partenariat, notamment auprès des instituts de recherche et des universités allemandes.

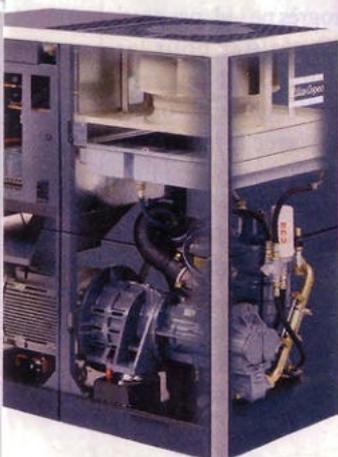
Quel salut alors pour les PME-PMI? Sous-traiter les études et mutualiser leur besoin. « Il

devrait se passer encore environ cinq ans de développement pour que ces outils nous soient plus accessibles, estime Jean-Marc Alloncle, responsable R&D du fabricant de ventilateurs Solyvent (groupe Fläkt Woods). Quand cela est nécessaire, nous n'hésitons pas à faire appel à des prestataires privés ou à des organismes comme le Cetim ou le Cetiat. Nous avons également la possibilité de faire appel aux autres divisions du groupe pour accéder à des moyens de développement plus importants », précise le fabricant de ventilateurs.

Pour leur part, les douze industriels du projet Lamont ont adopté l'adage « l'union fait la force ». Ils ont ainsi investi 1,4 million d'euros dans un projet de trente mois conduit par le Cetim afin de réaliser une étude complète des émissions sonores des tondeuses à gazon. Le Centre, qui développe son expertise acoustique depuis de nombreuses années, se pose comme le meilleur relais des PME-PMI du secteur dans ce domaine. ● Nadège Aumond



Atlas Copco s'appuie sur la simulation pour prédire et réduire le bruit de ses compresseurs.



ÉLECTROMÉNAGER

Le champion du transfert de technologies

● Confrontés à une forte demande des consommateurs, les fabricants d'électroménager adaptent les technologies issues des autres industries.

Rendez-vous sur le site de Darty et recherchez un lave-vaisselle. Le premier critère de choix proposé, avant même l'efficacité du lavage, concerne la réduction du bruit! Sur les cinquante modèles disponibles, vingt-six correspondent à un "modèle vraiment silencieux".

Avec les économies d'eau et d'énergie, la réduction du bruit fait aujourd'hui partie des trois critères incontournables inscrits dans le cahier des charges de tout nouvel appareil ménager. Les raisons de cette tendance, observée depuis une quinzaine d'années, sont multiples. Selon Émilie Bout, responsable coordination technique et envi-

LA PROBLÉMATIQUE

- **Très forte exigence** de la part des consommateurs
- **Ressources en R&D** réduites
- **Observation des autres secteurs** industriels et transfert des technologies mûres
- **S'appuie sur ses fournisseurs** pour adapter les technologies

ronnement chez Bosch Électroménager, « la tendance aux cuisines américaines ouvertes sur la salle à manger a conduit à réduire le bruit, de façon généralisée, de tous les produits ». Depuis la hotte jusqu'au réfrigérateur en passant par le bruit de l'électro-

nique des tables à induction! Par ailleurs, des enquêtes sur les besoins des consommateurs reflètent une évolution des modes de vie en pleine mutation: « Le ménage, la vaisselle ou le traitement du linge doivent pouvoir se faire à n'importe quelle heure du jour comme de la nuit », affirme Finn Lofnes, chef de produits Europe d'Electrolux. Le meilleur exemple de réduction du bruit dans l'électroménager est le lave-vaisselle: « En 1998, 3,8% des lave-vaisselle généraient moins de 49 dB(A); en 2003, ils étaient 25 % et, en 2005, 70 % ! » souligne Stéphanie Botte, responsable de la communication d'Electrolux. Ces améliorations sont passées par une isolation drastique grâce à des matériaux comme le bitume ou le feutre, et une meilleure conception et orientation des jets d'eau.

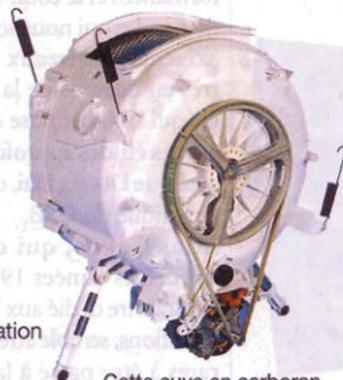
Nuisance ou efficacité: le paradoxe

Un tel progrès ne sera pas aussi évident à réaliser pour les autres produits. « Nous rencontrons beaucoup plus de problèmes avec le lave-linge ou l'aspirateur, explique Éric Savouret, chef du groupe électroménager de Miele. Le lave-linge fait intervenir des phénomènes mécaniques de grande amplitude qui créent d'importantes vibrations, notamment lors de l'essorage; avec l'aspi-

POUR LE LAVE-LINGE UN COMBAT CONTRE LES VIBRATIONS



- Des moteurs de type asynchrone à aimants permanents ont permis de gagner 3 dB(A) lors de l'essorage, soit 50 % de bruit en moins.
- Cuve en carboran, matériau composé de polymères, de fibres minérales et d'additifs développé par Electrolux, qui associe résistance mécanique, thermique et acoustique.
- Système antibalourd qui analyse la répartition du linge dans le tambour et réalise une séquence d'homogénéisation pour réduire les vibrations lors de l'essorage.
- Isolation phonique renforcée par l'ajout de feuilles ou plaques d'isolant sur la cuve et/ou la façade intérieure de l'habillage et le socle.



Cette cuve en carboran, développée par Electrolux, offre une bonne résistance mécanique, thermique et acoustique.

POUR LE LAVE-VAISSELLE L'EXEMPLE À SUIVRE

ENCEINTE

- Issu du bâtiment, le bitume est utilisé en couches de quelques millimètres d'épaisseur sur le plafond, les côtés et le fond de la cuve. Il absorbe les vibrations grâce à ses propriétés viscoélastiques.
- Matière fibreuse non tissée issue du recyclage du textile, le feutre est appliqué sur le dessus et les côtés de l'appareil. Il absorbe notamment les vibrations du moteur.
- Une couche d'asphalte appliquée sur la face arrière de la cuve réduit le bruit généré par les jets d'eau.
- De nombreuses suspensions et amortisseurs ainsi qu'une structure en tôle plus lourde absorbent et réduisent les vibrations.

BRAS ROTATIFS

- Conception aérodynamique des bras du tourniquet d'arrosage, forme des gicleurs repensée, orientation des jets modifiée pour réduire le bruit de l'impact de l'eau.

GROUPE MOTOPOMPE

- Moteur asynchrone peu bruyant; liaisons moteur/structure de la machine repensées pour réduire la transmission des vibrations (conduites d'eau, suspensions...).

Ce lave-vaisselle de Siemens, présenté comme supersilencieux, bénéficie d'une isolation renforcée qui réduit son bruit à 40 dB(A).



rateur, on est confronté à des problèmes thermiques et à des impératifs de taille qui limitent la possibilité d'isolation.» Cependant, même avec ces limites, des améliorations sensibles ont d'ores et déjà été réalisées pour ces produits.

En réalité, les efforts pour réduire le bruit dans le domaine de l'électroménager sont confrontés à un paradoxe surprenant: s'il est avant tout une nuisance, le bruit est aussi le reflet de l'efficacité! « Il est très difficile d'appréhender le niveau de réduction sonore à ne pas dépasser, explique Stéphanie Botte. Au-dessous d'une certaine valeur, les consommateurs ont l'impression que le produit ne fonctionne pas ou mal! » Des retours produits ont déjà été observés pour cette raison,

notamment pour des aspirateurs! Pour certains appareils comme le lave-vaisselle, il a été nécessaire d'adjoindre des voyants lumineux et autres astuces pour témoigner de la bonne marche de l'appareil. Autre point sur lequel les consommateurs sont ambigus, le prix. S'ils sont très demandeurs de produits moins bruyants, ils ne sont, en revanche, par forcément prêts à payer pour ce confort! De l'avis de Vincent Rouiller, directeur innovation de Fagor-Brandt, « la réduction du bruit

dans l'électroménager n'est pas un problème technique. Pour tous les produits ou presque, il existe des solutions. La question est plutôt de savoir si les consommateurs sont prêts à payer pour cela. Et je pense que non. L'ajout de technologies se fait souvent au détriment de notre marge».

Des équipes pluridisciplinaires

Sauf pour quelques produits haut de gamme, les prix de l'électroménager ne peuvent pas s'envoler. Ils doivent être accessibles à tous et rester contrôlés. En outre, les ressources en R&D ne sont pas les mêmes que celles déployées dans l'aéronautique ou l'automobile... Voilà pourquoi, l'axe fort de ce secteur repose sur le transfert des technolo-

gies. « Sur le plan des technologies, l'électroménager est une industrie suiveuse. Nous regardons avec attention ce qui se passe dans les autres secteurs. Une fois qu'une technologie est passée de l'avion au bus puis à la voiture, elle est suffisamment mûre pour passer à l'électroménager. Nous ne faisons pas de la recherche mais de l'innovation », assure Vincent Rouiller.

Voilà pourquoi le service innovation de Fagor-Brandt s'appuie sur une équipe pluridisciplinaire dont les membres proviennent de différents secteurs comme l'automobile, les systèmes bancaires ou le domaine des travaux publics. Lecteurs MP3, systèmes pneumatiques de l'automobile, matériaux absorbants de

LAVE-VAISSELLE

15 dB(A)
en moins en 15 ans.

SUITE PAGE 62

SUITE DE LA PAGE 61

l'aéronautique, tout est surveillé. Tout comme le milieu industriel lui-même, très riche en idées. «Les usines sont soumises à des normes très strictes en termes de nuisances sonores, notamment sur les postes de travail. Les industriels font donc preuve d'une grande créativité à ce niveau. Des pompes à eau utilisées dans certains process peuvent se révéler intéressantes pour nos produits», souligne Vincent Rouiller.

Une fois les technologies repérées, un travail important d'adaptation doit ensuite être réalisé. «L'objectif est d'être prêt quand la technologie est mûre pour être les premiers à l'adapter sur nos produits. Cette intégration passe essentiellement

par nos fournisseurs qui sont, pour nous, de vrais leviers de l'innovation», affirme le directeur innovation de Fagor-Brandt.

Ce transfert de technologie n'est pas toujours évident. Le bitume, par exemple, utilisé dans le bâtiment pour absorber les vibrations, a été transféré dans les lave-vaisselle. Ce matériau a permis de réduire le bruit de l'appareil à moins de 40 dB(A). Cependant, l'aspect réglementaire n'est pas le même dans le bâtiment et dans l'électroménager ! Le matériau ne doit évidemment pas se déposer sur la vaisselle ! Il faut souvent plusieurs mois, voire années, pour adapter le produit à la fois en termes réglementaire, financier et d'utilisation en production (thermoformage, adhésion aux parois, etc.).

Autre problématique propre aux produits électroménagers: ils mettent en œuvre des températures et des produits lessiviels agressifs avec lesquels les matériaux doivent être compatibles.

Ainsi, ce sont surtout des matériaux isolants relativement simples qui sont transférés d'un secteur à un autre. Dans les lave-vaisselle, on voit couramment des matériaux sandwichs tricoche associant une couche métallique mince, une couche de matière plastique du genre PE et une lame d'acier qui représente la structure de l'appareil. Cet assemblage réduit les vibrations de structure alors que la feuille de plastique joue le rôle d'isolant. Dans les aspirateurs, c'est le feutre, matière fibreuse non tissée issue du recyclage du textile, qui domine. Les réfrigérateurs de leur côté s'habillent souvent de mousse polyuréthane à cellules fermées. Mais en réalité, c'est souvent une

ASPIRATEUR ULTRA SILENCER

Le bruit attaqué à sa source

Tous les éléments, depuis la conception des hélices de la turbine jusqu'aux roues, en passant par le suceur, ont été repensés pour mettre au point l'Ultra Silencer d'Electrolux.

Les nuisances sonores ont été attaquées à la source, grâce à l'utilisation de capteurs placés dans l'appareil. Objectif: réduire les fréquences aiguës qui sont les plus gênantes. Résultat: cet aspirateur modèle passe, ce qui est rare, sous la barre des 70 dB(A).

LE MOTEUR

Des travaux ont été réalisés sur la conception des hélices de la turbine, notamment avec ABB. Le moteur est enveloppé de plusieurs couches de matériau absorbant et de coques rigides en plastique. Des suspensions souples ont été ajoutées pour réduire les vibrations.

LE SUCEUR

Une fois le bruit généré par le moteur réduit au plus bas, c'est le suceur que l'on entend. Travail sur la forme des guides d'air des suceurs, la largeur des tuyaux et des entrées d'air pour réduire les turbulences du flux d'air.

L'ÉTANCHÉITÉ

Entre tous les différents éléments de l'appareil, des joints ont été ajoutés pour réduire au minimum les fuites et maintenir des niveaux de débit d'air et de dépression élevés.

LE CORPS DE L'ASPIRATEUR

Il est conçu de manière aérodynamique pour diriger l'air vers le moteur, optimiser sa circulation, le laisser s'échapper librement. Des guides d'air larges et aérodynamiques minimisent les turbulences de l'air.

LE CONTACT AU SOL

Le bruit généré par le produit lors du contact du sol est atténué avec le choix de roues souples.



L'Ultra Silencer d'Electrolux.

association de tous ces éléments que l'on retrouve dans chacun des produits.

Si les solutions déployées ne proviennent généralement pas de longues années de R&D ou d'outils de simulation sophistiqués, il peut arriver cependant qu'un fabricant décide de "mettre le paquet" sur un produit. Juste pour montrer ce qu'il peut faire.

Accumuler des connaissances

Ainsi, des développements en interne réalisés chez Fagor-Brandt ont abouti à une hotte bénéficiant d'une électronique spécifique pour mieux piloter le moteur. Cette fonction représente un surcoût en production de 20 ou 30 euros. Cette stratégie a également été

choisie par Electrolux pour l'Ultra Silencer. Des années de recherche ont été nécessaires pour mettre au point cet aspirateur dont tous les aspects ont été étudiés: depuis le bruit que font les roues sur le sol jusqu'à la conception des guides d'air du suceur. «Ce travail nous a permis d'accumuler des connaissances techniques qui nous serviront pour de prochains produits», souligne Finn Lofnes, chef de produits Europe d'Electrolux.

Coincés entre des consommateurs exigeants et des moyens relativement modestes, les fabricants de l'électroménager doivent donc faire preuve d'astuces pour parvenir à leurs fins. Un pari pour l'instant bien réussi. ●

Stéphanie Dité