

# Les enjeux et les axes de progrès dans la maîtrise des performances vibro-acoustiques des véhicules automobiles

**Jean-Pierre Bardon, Bernard Favre,**  
Renault VI,  
1, avenue Henri Germain,  
69800 SAINT PRIEST,  
tél : 04 72 96 45 84,  
fax : 04 72 96 61 89

**Etienne Parizet,**  
Renault,  
9/11, avenue du 18 juin 1940,  
92500 RUEIL MALMAISON,  
tél : 01 41 96 17 97

**L**es contraintes de conception et d'industrialisation de l'industrie automobile ont pour moteurs déterminants l'amélioration de la qualité, la réduction des délais de développement et des coûts (coûts de développement et prix de revient de fabrication).

La maîtrise de l'acoustique automobile est un élément majeur et très dimensionnant pour l'industriel au niveau des cahiers des charges de prestations et des conséquences techniques. Les risques sont de traiter trop tard, par du coût et de la masse additionnels.

Les enjeux concernent la réduction des bruits intérieur et extérieur, et de plus en plus, l'amélioration de la qualité perçue.

L'évolution de la connaissance et des outils utilisables par l'industrie est constante et spectaculaire, mais à mettre en regard de deux nécessités :

- poursuivre les recherches pour traiter de nouveaux aspects, ou approfondir les travaux en cours,
- assurer un transfert réussi vers les utilisateurs et les applications, en traitant les aspects économiques et culturels notamment.

## Perception

La perception est la clé du travail en acoustique. Dans ce domaine, on assiste à une évolution culturelle forte pour ce qui est de la manière d'appréhender la performance du véhicule automobile. Les aspects psychologiques, multi-sensoriels, et aussi économiques interviennent dans la définition de critères de qualité perçue.

La connaissance précise des attentes des clients est, pour l'acoustique comme pour les autres prestations du véhicule, indispensable. Cette attente n'est pas le silence ; on sait que certains bruits sont porteurs d'une information sur le fonctionnement de la voiture (moteur ou commande de clignotant par exemple) et que d'autres participent à l'image que le client aura de son véhicule (claquement de portière, moteur...).

Depuis quelques années, on assiste à un important transfert dans l'industrie automobile des méthodes et modèles utilisés par les psycho-acousticiens [1] :

- méthodes d'enregistrement binaural et procédures de tests perceptifs permettant de fiabiliser les jugements portés sur les bruits ;
- modèles décrivant certains paramètres sonores (sonie, acuité, rugosité notamment).

Ceci a permis de comprendre la perception de phénomènes bien isolés (par exemple bruit de moteur [2], de roulement [3], de ventilation [4]).

Cependant, l'appréciation par un client de son véhicule est un phénomène multi-sensoriel ; il est évident que le design (extérieur ou intérieur) participe fortement à l'image du produit et que son comportement dynamique gouverne l'impression de puissance donnée par le moteur. Certains de ces aspects multi-sensoriels ont déjà fait l'objet d'études, surtout ceux reliant l'audition à la vision [5], [6]. En revanche, d'autres sont encore inexplorés, en raison sans doute de la complexité des procédures de tests ; la connaissance des interactions entre bruits et vibrations serait très utile à un constructeur automobile.

Par ailleurs, tout le domaine des basses fréquences, prédominant dans un bruit intérieur de véhicule, est encore peu maîtrisé. Les modèles de sonie paraissent perfectibles pour les sons très graves, là où la perception n'est plus seulement auditive, mais aussi physique. Ainsi, une étude portant sur les bruits de roulement a montré que l'aspect "Grave" est essentiel pour la perception de ces sons. Mais deux voitures peuvent être ressenties très différentes selon cet aspect et présenter des diagrammes de sonie spécifique très proches, comme sur la figure 1, dans laquelle la voiture A est jugée beaucoup plus grave que la voiture B.

Enfin, les modèles existants nécessitent des améliorations pour bien décrire la perception de phénomènes très variables dans le temps, comme un bruit de moteur diesel. La présence d'impulsions, parfois irrégulières en niveau et en temps d'arrivée, l'existence de nombreux flux

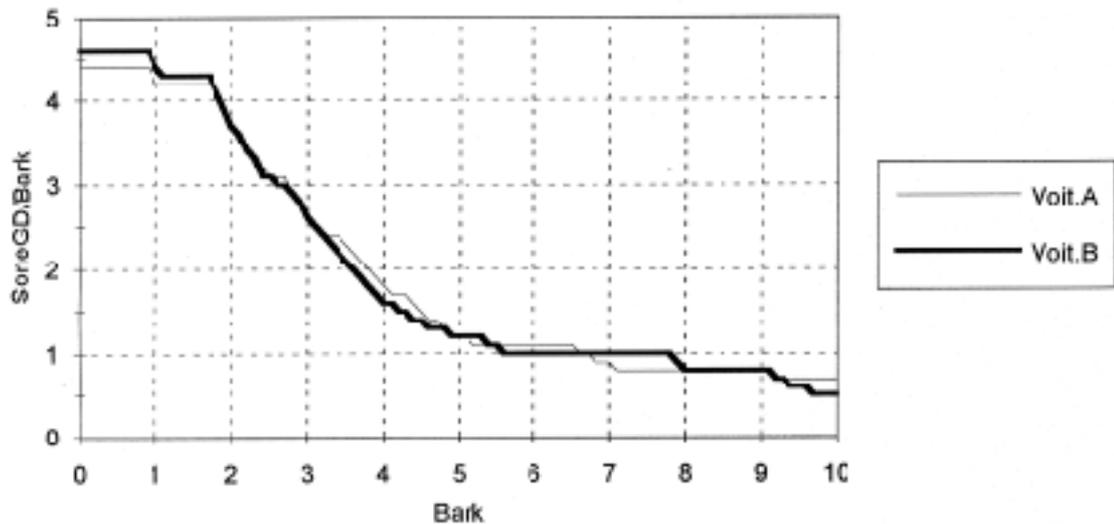


Fig. 1 : diagrammes de sonie spécifiques de deux bruits de roulement.

d'évènements sonores rendent l'évaluation de tels bruits très complexe. Les modèles psycho-acoustiques (rugosité ou force de fluctuation) ou physiques (basés sur des critères statistiques) sont ici insuffisants.

### Fonctionnement vibro-acoustique des sources

La réduction progressive du bruit des véhicules, qu'il soit perçu de l'intérieur par ses occupants ou de l'extérieur par les riverains des voies routières, conduit à l'apparition de nouvelles sources sonores, ou à des nouvelles contributions de sources déjà connues.

La connaissance du comportement vibro-acoustique des différents composants des véhicules doit, en ce sens, devenir de plus en plus fine. Elle exige de développer des outils expérimentaux de qualification plus performants, s'appuyant toujours sur une analyse des mécanismes physiques élémentaires (jeux, chocs, frottements, caractéristiques des matériaux...). Ces approches calculo-expérimentales ont pour objectif de mettre rapidement en évidence les mécanismes d'émission et de transfert de l'énergie des sources génératrices de bruit et ainsi de pouvoir agir efficacement sur celles-ci.

De nombreux exemples sont largement connus.

Les recherches faites sur la génération du bruit des engrenages dans les boîtes de vitesses se poursuivent sous l'aspect propagation (rôle des arbres, des paliers, des roulements, des carters...). A noter que les bruits d'engrènement perçus à l'intérieur des véhicules ne sont plus l'apanage des seules boîtes de vitesses. On les retrouve comme sources émergentes dans les moteurs (distribution par exemple) ou dans les nombreux réducteurs (assistances électriques des mécanismes de carrosserie).

L'introduction massive de l'électronique dans les moteurs laisse entrevoir des possibilités importantes pour la réduction du bruit en garantissant une meilleure maîtrise des

paramètres influants, encore faut-il bien les appréhender (paramètres d'injection, combustion, conditions d'utilisation des véhicules...). Le développement des écrans acoustiques autour des moteurs implique une connaissance approfondie des propriétés acoustiques des matériaux dans des champs confinés.

D'autres exemples doivent faire l'objet d'études plus poussées.

Les bruits aérodynamiques, les bruits de roulement ou les bruits de freins deviennent aussi prioritaires à traiter que les bruits d'origine mécanique.

Ainsi, il est nécessaire de travailler sur l'aérodynamique externe pour définir les détails de dessins de carrosserie les plus influants sur les bruits aérodynamiques. Des sources à faible niveau d'énergie, très ponctuelles et très différentes comme le bruit des essuie-vitres ou le bruit rayonné par une transmission sont aussi importantes à maîtriser, c'est-à-dire à caractériser et analyser.

Enfin, une bonne maîtrise de l'acoustique repose sur une connaissance des paramètres dispersifs les plus influants pour les mettre sous contrôle lors de la fabrication (assemblage de structure, maîtrise des jeux...).

### Modélisation

Un souhait constant des constructeurs est de faire intervenir la modélisation vibro-acoustique le plus tôt possible dans la phase d'étude, afin de réduire la durée de cette phase et le nombre de prototypes de validation, toujours très chers. Cette modélisation débute dans le moteur (phénomènes d'explosion du mélange gazeux, efforts liés au basculement de piston et exercés sur ses paliers par le vilebrequin), décrit la propagation vibratoire dans le moteur et dans la caisse, puis le rayonnement ou le couplage fluide-structure dans l'habitacle.

Les résultats obtenus peuvent être très satisfaisants. Par exemple, la figure 2 montre le champ de pression obtenu, pour une fréquence donnée, sur une surface

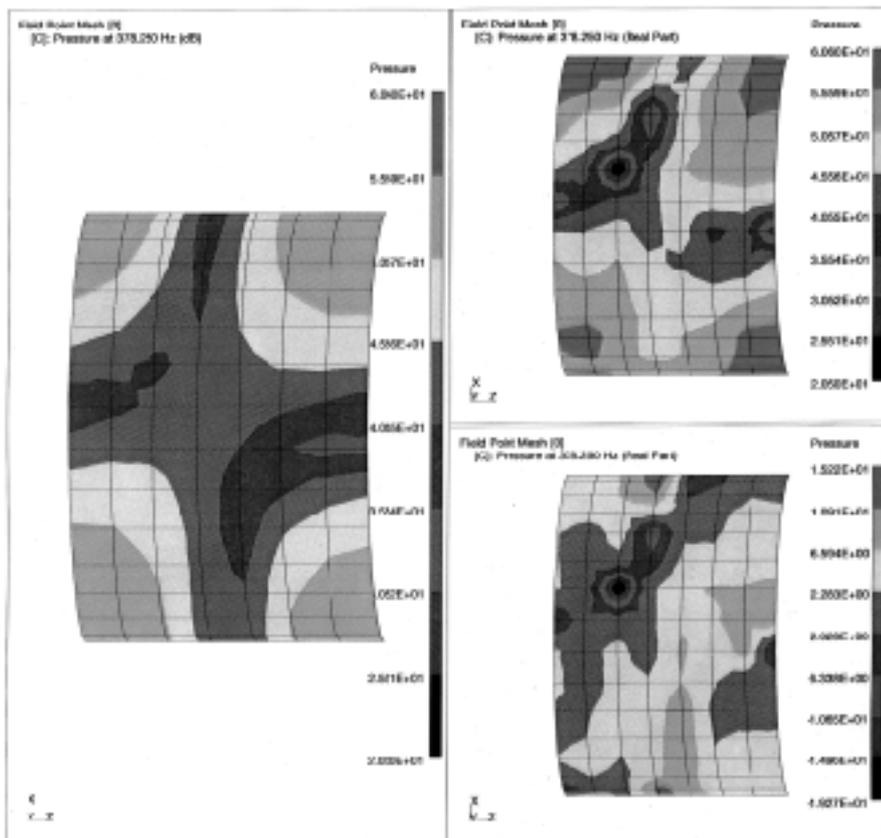


Fig. 2 : Champ de pression autour du couvre-cylindres, en présence d'isolants et d'absorbants.  
 À gauche : calcul ; à droite : mesure (en haut), différence entre mesure et calcul (en bas).

demi-cylindrique autour d'un couvre-cylindres de moteur diesel, au-dessus duquel sont placés des matériaux absorbants et isolants. Le calcul (par éléments finis de frontière et de volume pour les matériaux) est confronté à la mesure équivalente : les écarts sont, en valeur absolue, inférieurs à 2 dB et la directivité du champ est bien représentée.

Il ne faut cependant pas oublier que, pour obtenir des résultats aussi satisfaisants dans un cas complet (par exemple, rayonnement de l'ensemble du moteur), un très gros effort numérique et de nombreuses mesures de recalage seraient nécessaires. Il est parfois très difficile de concilier de tels calculs avec la nécessaire réduction des temps de développement, car les concepteurs ont besoin d'indications rapides leur permettant de choisir entre les différentes options envisageables.

Il y a donc place pour des techniques plus légères, ne visant pas nécessairement une aussi grande précision des résultats, mais pouvant être mises en œuvre par des non-spécialistes de l'analyse numérique cherchant, dès le stade des avant-projets, des indications sur les solutions à retenir. Elles peuvent s'appuyer sur des méthodes variées (systèmes experts basés sur l'expérience des ingénieurs ou représentation de sous-ensembles particulièrement complexes par des modèles bâtis à partir de méthodes d'identification).

Enfin, n'oublions pas que l'automobile est un bien produit à grande cadence. Les dispersions de fabrication sont inévitables [7], mais ne doivent pas pénaliser un client.

Les aspects statistiques sont donc très appréciables dans toute modélisation, et toute solution proposée doit être jugée également en fonction de sa robustesse. Il reste à réaliser un important travail qui permettrait d'évaluer un bruit sous forme de valeurs moyennes et d'écart-type, à partir de données directement reliées au processus de fabrication (erreurs minimales d'assemblage, variation des couples, de serrage des vis, de la composition des mastics...).

### Nouvelles technologies acoustiques

Les recherches sur le contrôle actif du bruit et des vibrations ont fortement progressé en 10 ans sur les diverses applications envisageables dans l'automobile [8]. Les travaux concernant la maîtrise des champs acoustiques et vibratoires par de l'absorption active ou par des fonctions de transfert adaptatives à réponse rapide ont essentiellement porté sur la réduction du bruit intérieur des habitacles de véhicule, et sur l'amélioration du confort vibratoire.

Certaines solutions sont désormais techniquement viables, et connues en performances et en coût. On peut citer notamment, l'absorption acoustique active du bourdonnement (bruit d'habitacle de basse fréquence, à bandes étroites liées au régime du moteur), utilisant des haut-parleurs pour créer le champ de contre-réaction. On peut également citer l'absorption vibratoire active au niveau des supports de fixation des moteurs. On dispose

aujourd'hui de la panoplie des outils de dimensionnement et des technologies pour élaborer de telles solutions, mais dans le contexte actuel elles restent pour l'essentiel "sur étagère", car elles ne parviennent pas, pour le moment, à franchir l'épreuve du marché en termes de rapport entre le coût de ces solutions, et leur efficacité perçue.

Cet échec relatif, et vraisemblablement provisoire, ne doit pas conduire à relâcher l'effort, là où des progrès réels sont escomptés. La nécessité de véhicules plus économes en carburant, conduira le constructeur à recourir à des solutions permettant de combiner réduction de poids et maintien des prestations, et l'optimisation de l'acoustique automobile doit passer par le recours accru aux nouvelles technologies. Le contrôle du rayonnement des organes mécaniques, le contrôle du bruit d'échappement en optimisant la respiration moteur, la réduction du bruit émis par les trains roulants sont autant de domaines où le croisement des méthodologies de conception et des technologies de contrôle actif, permettront de progresser.

D'autres efforts sont à produire pour des problèmes plus traditionnels où des solutions optimales sont à rechercher, en améliorant le compromis acoustique/thermique. Le dimensionnement des encapsulages de moteurs, de découplage vibratoire des lignes d'échappement posent ainsi des problèmes de matériaux (en absorption acoustique, en amortissement vibratoire, en tenue en fatigue et en thermique) qui restent d'actualité, même si la question est ancienne [9].

## Conclusion

La recherche en acoustique a fourni et continuera à fournir des résultats essentiels à l'évolution du produit automobile. Leur mise en œuvre nécessite cependant des évolutions parallèles des modes de transfert et de dissémination dans les équipes de conception. Le recours à des outils de plus en plus sophistiqués (et pas toujours encore bien positionnés), l'interaction forte entre définition et industrialisation du produit d'une part, performance acoustique d'autre part, ont des conséquences sur le niveau de formation des personnels et le mode d'organisation des entreprises. Elles doivent également s'accompagner d'une évolution parallèle des acteurs de la recherche, afin d'améliorer le fonctionnement et la productivité de l'interface entre recherche et entreprise.

## Références bibliographiques

- [1] Parizet E., Evaluation perceptive du bruit dans un véhicule routier. Acoustique et Techniques, 1996
- [2] Takanami K., Iwahara M., Saito H., Sakata M., Improving interior noise produced during acceleration, SAE paper n° 911078, 1991
- [3] Parizet E., Deumier S., Milland E., Car road noise annoyance : significant timbre parameters and inter-individual variability. Proc. Forum Acousticum 96, 1996.
- [4] Parizet E., Subjective evaluation of the quality of ventilation system in motor cars. Proc. InterNoise 1993.
- [5] Kuwano S., Namba S., Hakawa Y., Psychological evaluation of noise in passenger cars using the continuous judgement by category - Effect of visual monitoring", Proc. InterNoise 1993, pp. 915-918.
- [6] Nathanaël S., Lavandier C., Polack J.-D., Etude de l'influence de la perception visuelle sur la perception auditive. Conséquences sur la caractérisation percep-

tive et objective des salles. Proc. 4ème CFA, 1997.

[7] Bernhardt R.J., The limits of predictability due to manufacturing and environmentally induced uncertainty, Proc. InterNoise 1996, pp. 2867-2870

[8] Favre B., Perspectives industrielles de l'atténuation acoustique active. Cas de l'automobile". Journées SFA sur le contrôle actif en acoustique, 16 octobre 1990.

[9] Favre B., Lambert J. "Perspectives de réduction du bruit des véhicules routiers pour 1985 et 2000, compte tenu des possibilités techniques, de la consommation énergétique et du coût". Rapport EUR 8575, FR de la Commission des Communautés Européennes, 1983. ■



**Ingénierie Technique & Recherche en ACoustique**

### Etudes d'ingénierie en vibroacoustique

- Expertise dans les domaines de l'environnement vibroacoustique, bruit de machines, de véhicules
- Construction de modèles prévisionnels de véhicules industriels
- Optimisation du bruit et des vibrations

**Distribution de logiciels vibroacoustiques basés sur l'Analyse Statistique Energétique :**

### SEA AutoSEA & AutoSEA-eXperimental

- Développement
- Commercialisation

TEL 05 61 09 47 45-FAX 05 61 74 62 22  
E-MAIL [interac@dialup.francenet.fr](mailto:interac@dialup.francenet.fr)