

Les matériaux polymères dans le traitement acoustique des véhicules automobiles

A. FIT,
Renault, Direction de l'ingénierie des matériaux,
Service 60-154, API : CTR B15,
67, rue des Bons Raisins, 92500 Rueil Malmaison

D. NESA,
Renault, Direction de la recherche,
Service 0076 API : J 18 911 510,
9/11, avenue du 18 juin 1940, 92500 Rueil Malmaison

X. DUTEURTRE,
Renault, Direction de l'ingénierie des matériaux,
Service 60-154, API : CTR B15,
67, rue des Bons Raisins, 92500 Rueil Malmaison

Le confort acoustique des véhicules est aujourd'hui un élément important de leur perception par la clientèle. Après un rappel succinct des mécanismes de génération du bruit dans un véhicule, les différentes possibilités de traitement acoustique à l'aide de matériaux polymères sont présentées ainsi que la situation des matériaux dans le véhicule, leurs applications et leurs évolutions. Une place particulière est accordée à la présentation de moyens d'essais de laboratoire permettant de caractériser et de choisir des matériaux jouant des rôles différents (amortissement, absorption, isolation acoustique).

Bruit et confort, ces deux notions apparemment antinomiques ne sont pas vraiment contradictoires quand elles sont bien comprises et bien traitées.

La mesure et le traitement du bruit sont l'affaire des acousticiens qui disposent, entre autres, des matériaux polymères pour éliminer, atténuer ou améliorer les sources de bruits intervenant dans le confort de l'habitacle d'un véhicule automobile.

Le confort acoustique dans les véhicules prend en compte la réduction de la fatigue lors des longs trajets, l'amélioration de la communication entre passagers, la facilité d'écoute dans une ambiance sonore de bas niveau...

Les matériaux polymères présents dans l'habitacle concourent à ce confort acoustique.

Les sources de bruit

Le mécanisme de génération de bruit (Fig. 1) se décompose habituellement en trois phases :

- excitation
- transmission
- émission

Le véhicule est soumis à des excitations de deux origines :
externe :

L'air est une source de bruit aérodynamique.

La route est une source de bruit de roulement et occasionne des projections d'eau ou de gravillons.

interne :

Il s'agit des vibrations mécaniques dues au groupe moto-propulseur et à l'écoulement de fluides (admission, échappement, ventilation).

La transmission du bruit s'effectue simultanément par :

- la voie solide :

Les excitations dues aux vibrations mécaniques sont transmises à la caisse.

SOURCES DE BRUIT



Fig.1

- la voie aérienne :

Les défauts d'étanchéité, l'excitation d'un panneau de caisse propagent des ondes acoustiques dans l'air avoisinant qui réémettent dans l'habitacle.

Le bruit perçu dans l'habitacle est dû à la vibration des différents éléments de l'habitacle et constitue l'émission sonore. Il s'agit de la vibration des panneaux, du rayonnement des ébénisteries et quelquefois des leviers de commande.

Les vibrations de toutes les surfaces intérieures du véhicule excitent les particules d'air avoisinantes, lesquelles émettent des ondes de pression acoustique dans l'air de l'habitacle.

Quels matériaux pour réduire le bruit ?

Les matériaux insonorisants interviennent sur les deux phases de génération de bruit que sont la transmission et l'émission.

Le classement qui est adopté prend en compte leur principe de fonctionnement et la voie de transmission considérée. La dénomination des matériaux insonorisants est reportée dans le tableau et illustrée sur le schéma (Fig.2).

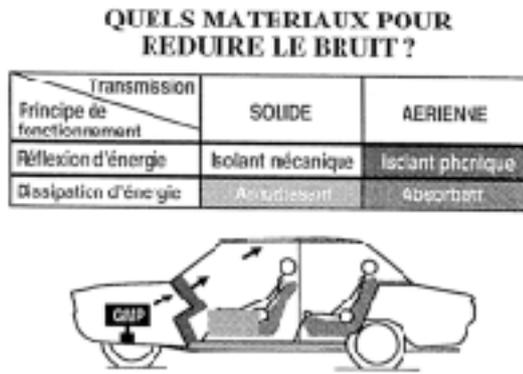


Fig.2

Les amortisseurs

Situation dans le véhicule

Les amortisseurs sont disposés dans l'habitacle des véhicules aux emplacements suivants : plancher, tunnel, caissons de porte et pavillon.

Composition physico-chimique

Ces matériaux se composent de mélanges de bitumes, éventuellement alliés à des résines thermoplastiques. Des charges de type carbonate de calcium, sulfate de baryum sont introduites pour donner de meilleures performances mécaniques. Des charges particulières, de type lamellaire, telles que le mica, contribuent à l'efficacité d'amortissement du matériau ; dans des cas particuliers, de la limaille de fer est incorporée pour obtenir des matériaux magnétisés à placer en zone verticale.

Caractérisation et utilisation. Types de revêtements amortisseurs

Si l'on suppose que l'amortissement des vibrations d'une structure dépend principalement des dissipations d'énergie interne au sein des matériaux qui la composent (comportement viscoélastique), et non de frottements aux interfaces, on a tout intérêt à déterminer les caractéristiques mécaniques intrinsèques de ces matériaux. Enumérer tous les moyens de caractérisation disponibles à cet effet serait long et fastidieux. Tout au plus peut-on renvoyer aux travaux de Nashif, Read et Dean [1, 2], et à la référence 3 pour avoir un bon aperçu des méthodes utilisées chez Renault.

Bien caractériser ces matériaux est indispensable pour un choix correct et la prévision ultérieure de leur comportement. L'utilisation d'un module complexe d'élasticité (au sens mathématique du terme) pour cela semble aujourd'hui la manière "industrielle" la plus répandue. La partie réelle du module complexe d'élasticité est liée à la "raideur" du matériau, sa partie imaginaire aux pertes d'énergie au sein de celui-ci et à son pouvoir amortissant des vibrations (facteur de perte du matériau).

Si la mesure de la partie réelle du module peut sembler plutôt triviale, il ne faut pas perdre de vue que celle du facteur de perte est souvent plus délicate à cause, par exemple, des erreurs expérimentales dues aux conditions aux limites ou bien au domaine de validité des modèles théoriques utilisés pour le dépouillement de ces mesures.

Le module complexe d'élasticité des matériaux viscoélastiques amortissants de vibrations est presque toujours très fortement dépendant de la température que voient ces matériaux en service et, souvent dans une moindre mesure, des fréquences auxquelles ils sont employés.

Un autre paramètre ne doit pas être perdu de vue lors de la caractérisation, même si son effet est souvent négligeable lors de l'utilisation des matériaux amortissants sur véhicule. Il s'agit de la déformation sous laquelle sont réalisés les essais de caractérisation. Son influence est comparable à celle de la température et il faut opérer à des valeurs bien déterminées pour l'obtention d'un module complexe d'élasticité véritablement intrinsèque au matériau. C'est notamment le cas lors de l'utilisation d'instruments de caractérisation comme le visco-analyseur Metravib. Les essais de type Oberst directement réalisés sur des tôles d'épaisseur comparable ou identique à celles rencontrées sur véhicules sont également un moyen.

Revêtements amortissants de vibrations

Les différents matériaux conventionnels appliqués dans l'automobile sont appelés :

- matériaux à revêtement libre, typiquement représentés par les IFF (Insonorisant Fusible en Feuille)
- matériaux à revêtement contraint, déclinés notamment dans l'automobile en tôles sandwich ou configurations sandwich : c'est le cas des IFF renforcés par un feuillard métallique suffisamment rigide ou une couche de contrainte en plastique renforcé.

Ces revêtements sont constitués de matériaux viscoélastiques amortissants de vibrations liés à une structure de base. Leurs principaux traits caractéristiques sont rappelés ci-dessous.

Revêtements libres

Le matériau amortissant est collé sur la pièce ou structure dont on veut amortir les vibrations. La surface extérieure de ce matériau reste donc libre. Les vibrations de flexion de la structure de base produisent des déformations au sein du matériau amortissant, ce qui provoque un amortissement des vibrations par dissipation d'énergie. Le matériau amortissant joue aussi par sa masse et le surcroît de raideur qu'il peut apporter à la structure de base.

H. Oberst a donné une modélisation théorique analytique de cet effet dans le cas de poutres revêtues [4].

Il faut retenir principalement deux choses de cette approche :

- le facteur de perte de la poutre totalement revêtue est directement indépendant de ses conditions aux limites
- le facteur de perte de la structure revêtue est non seulement inférieur au facteur de perte intrinsèque du matériau amortissant mais aussi, à même épaisseur d'un matériau amortissant donné, il diminue quand la raideur en flexion de la structure de base augmente.

Revêtements à couche contrainte (ou contraints)

Le matériau amortissant est collé sur la pièce ou structure dont on veut amortir les vibrations mais aussi à une couche de contrainte, plus raide que lui-même qui le prend en sandwich. Les vibrations de flexion de la structure de base produisent des déformations cycliques de cisaillement dans la couche de matériau amortissant et donc une dissipation d'énergie vibratoire.

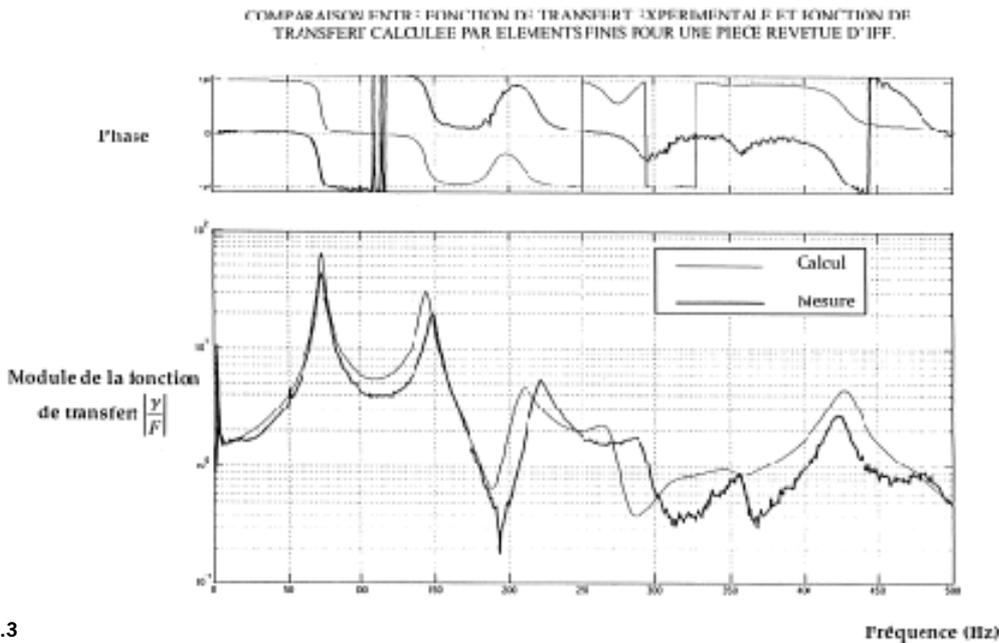


Fig.3

Ross, Kervin et Ungar [5] ont donné un modèle théorique analytique de cette configuration dans le cas d'une poutre totalement revêtue (modèle R.K.U.). A la différence du revêtement libre, et même dans le cas du revêtement total de la structure de base, le facteur de perte de la structure revêtue est directement dépendant de ses conditions aux limites.

Applications et évolutions

Une caractérisation effective des propriétés intrinsèques des IFF, par visco-élasticimétrie par exemple, couplée à des méthodes de calcul par éléments finis permet de prévoir d'une manière satisfaisante le comportement vibratoire d'une pièce complexe revêtue, comme illustré dans la figure 3. Les différentes étapes de cette démarche sont présentées plus longuement dans la référence 6.

Pour sa part, l'évolution des revêtements amortissants doit prendre en compte l'amélioration du comportement en température de l'amortissant et la réduction de son poids. La réalisation de ces objectifs conduit les fournisseurs à améliorer ces matériaux en proposant :

- des compositions bitumineuses allégées et/ou mélangées à des polymères thermoplastiques,
- des tôles sandwich,
- des matériaux en structure multicouches,
- des matériaux amortissants pulvérisés.

Un autre exemple d'application de matériau sandwich dans l'automobile est constitué par le pare-brise feuilleté (verre-polymère-verre). Même si sa vocation première n'est pas acoustique, son comportement, notamment en température, n'est pas sans influence sur l'acoustique interne du véhicule.

Les phono-isolants

Situation dans le véhicule

Les phono-isolants sont disposés dans l'habitacle des véhicules aux emplacements suivants : tablier, plancher, tunnel.

Composition physico-chimique

Les matériaux phono-isolants sont constitués de 2 couches :

- un septum ou "masse lourde" dont la composition se situe parmi les matériaux tels que :
 - PVC : Chlorure de polyvinyle
 - EVA : Copolymère éthylène-acétate de vinyle
 - EPDM : Terpolymère d'éthylène de propylène et d'un diène.
- un matériau poreux au contact du panneau à isoler.

Les mousses de polyuréthanes se trouvent présentes sous différentes formes dans le cas des matériaux cellulaires :

- mousse injectée (type mousse froide)
- mousse refendue (découpée dans des blocs)
- mousse agglomérée (déchets de mousse).

Les fibres textiles agglomérées (exemple Taca) représentent un autre type de matériaux poreux.

Principe de fonctionnement

Dans un système sandwich tôle-mousse-septum, le septum est excité par deux voies différentes qui agissent simultanément :

- excitation par voie solide à travers le squelette du matériau poreux,
- excitation par voie aérienne à travers l'air contenu dans la couche poreuse.

Le système sandwich est assimilé à un système du type masse-ressort avec amortissement pour l'excitation par voie solide. L'isolation aérienne prend en compte la pression de l'onde réfléchie et celle partiellement transmise sur l'autre face.

L'efficacité des phono-isolants est obtenue en prenant en compte les caractéristiques suivantes pour l'excitation par voie aérienne :

- le module dynamique en compression de la mousse,
- le facteur de perte du matériau poreux,
- la résistance au passage de l'air du matériau poreux,
- la masse surfacique du septum,
- l'épaisseur du matériau poreux.

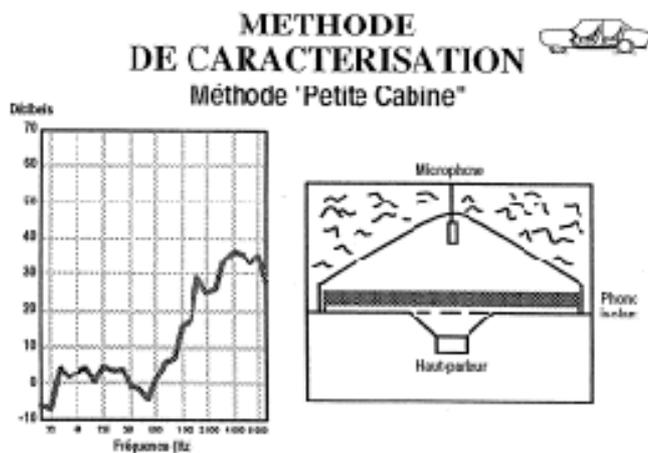


Fig.4

Méthodes de caractérisation

Les performances acoustiques des matériaux phono-isolants sont mesurées à l'aide de méthodes d'essai mettant en œuvre soit une excitation solidienne, soit une excitation aérienne. Celles-ci sont présentées avec plus de détails dans la référence 3.

La détermination de l'isolation acoustique selon le mode d'excitation aérienne, par exemple, est réalisée par la méthode dite de la Petite Cabine (Fig. 4).

La Petite Cabine se compose de :

- une chambre d'émission dans laquelle sont placés des haut-parleurs reliés à une chaîne d'excitation,
 - une chambre de réception recouverte de matériaux absorbants pour isoler des bruits extérieurs et de dièdres pour éviter la formation d'ondes stationnaires ; elle est destinée à mesurer la pression acoustique transmise.
- Le système phono-isolant repose sur une tôle d'acier, une parfaite étanchéité doit être assurée entre les deux enceintes.

La courbe d'isolation acoustique est obtenue par différence entre le spectre de la tôle nue et celui réalisé en présence du phono-isolant posé sur la tôle.

Les résultats sont exploitables entre 100 et 5 000 Hz avec un enregistrement par tiers d'octave.

Evolutions

L'application de ces matériaux dans l'automobile a suivi une courbe de progrès continu ; des systèmes performants sont proposés aujourd'hui, ils prennent en compte :

- la réduction de masse à niveau acoustique équivalent,
- l'amélioration des caractéristiques du matériau poreux en intervenant sur :
 - la composition des résines de base ou sur le procédé de mise en œuvre des mousses de polyuréthane,
 - la nature du matériau fibreux et son mode de fabrication.

Ces matériaux sont souvent utilisés pour des tapis de sols dans l'habitacle et on voit apparaître aujourd'hui dans certains cas une intégration de fonction qui conduit par exemple à une coloration et à un grainage du septum pour lui donner cette apparence.

Absorbants

Situation dans le véhicule

Les absorbants sont présents partout dans le véhicule. En particulier les pièces telles que les garnitures de pavillons, les sièges, la tablette arrière, les moquettes, les panneaux de portes, contribuent à la fonction absorbante dans l'habitacle.

D'autres absorbants apparaissent également sous le capot moteur pour réduire le bruit extérieur des véhicules. Ils peuvent être de composition analogue à celle des matériaux utilisés dans l'habitacle mais aussi présenter un mode de fonctionnement différent, comme pour les absorbants à cassette (Fig. 5).

Composition physico-chimique

Les absorbants représentent aujourd'hui très souvent les matériaux visibles situés dans l'habitacle ; en plus de leur fonction acoustique, il leur est demandé une fonction esthétique.

On peut résumer leur composition à :

- un revêtement de garnissage participant à l'harmonie de l'habitacle,
- une structure sous-jacente plus ou moins complexe faisant appel à :
 - des matériaux composites multicouches,
 - des matériaux fibreux ou poreux,
 - des matériaux à base de polyuréthane renforcé de fibres de verre.

Principe de fonctionnement

L'absorption acoustique transmise par voie aérienne consiste à transformer l'énergie acoustique en chaleur.

Le coefficient d'absorption représente le rapport de l'énergie dissipée au sein du matériau et transmise sur l'énergie incidente.

Les caractéristiques physiques particulièrement influentes, notamment pour les absorbants d'habitacle, sont :

- le module de cisaillement,
- la porosité,
- l'épaisseur,
- la résistance au passage de l'air.

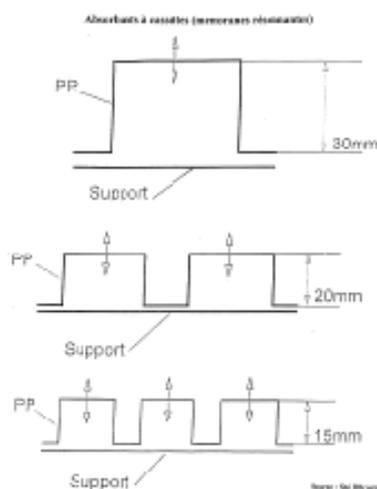


Fig.5

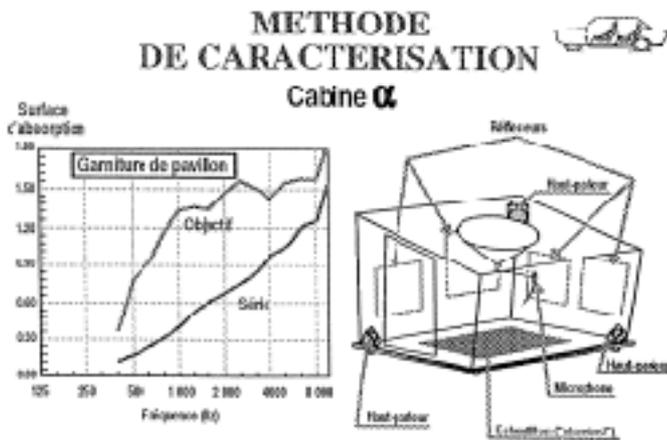


Fig.6

La méthode Chung et Blaser (Fig. 7) qui utilise un système avec deux microphones, est une amélioration de la méthode du tube de Kundt; elle fait appel à la perturbation d'ondes stationnaires dans un tube lorsqu'un échantillon de matériau absorbant y est introduit.

Cette méthode ne permet de tester que des échantillons de taille réduite (diamètre inférieur à 10 cm) en situation d'incidence toujours normale.

La société Bruel et Kjaer a développé un instrument spécifique pour cette application.

Evolutions

Les pièces d'habillage intérieur font appel à de nombreux matériaux et types de revêtements, ce qui permet une grande possibilité d'amélioration du niveau d'absorption.

Méthode d'essai

La caractérisation de l'absorption peut être réalisée par deux méthodes faisant appel à des émissions acoustiques différentes :

- énergie sonore émise en champ diffus,
- ondes stationnaires émises dans un tube.

La Cabine α , développée par la société Keller, est un modèle réduit à l'échelle, d'une chambre réverbérante (Fig. 6).

La méthode repose sur la mesure de la durée de la réverbération moyenne dans la cabine avant et après introduction de l'échantillon. La durée de réverbération est le temps au bout duquel le niveau sonore a diminué de 60 dB après arrêt de la source sonore. Les mesures sont effectuées par bande d'octave ou de tiers d'octave.

Les résultats sont interprétés selon la théorie de Sabine.

Un des avantages de cette méthode est de permettre la mesure d'un coefficient d'absorption sur des échantillons de matériaux (1,2 m²) aussi bien que l'absorption équivalente d'une pièce.

Les éléments d'habillage intérieur participant pour une part importante à cette absorption sont les sièges, le pavillon, les panneaux de porte, les tablettes.

Une attention particulière doit être portée à l'absorption phonique de ces éléments qui est loin d'être sans incidence sur l'acoustique interne du véhicule. Ainsi, le revêtement des sièges, plus ou moins absorbant car offrant une faible ou une forte résistance au passage de l'air, est loin d'être sans influence sur l'acoustique interne du véhicule et la réponse acoustique de l'habitacle, comme le montre la figure 8.

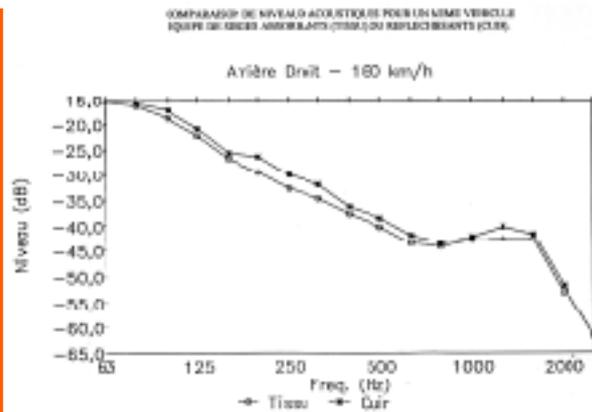


Fig.8

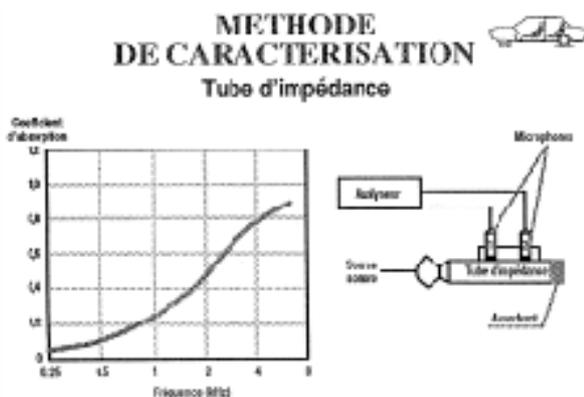


Fig.7

Conclusion

En complément de leur fonction principale, la plupart des pièces de l'habitacle joue un rôle déterminant dans le traitement acoustique du véhicule.

Ces pièces sont constituées de matériaux polymères possédant une fonction acoustique d'amortissement, d'isolation ou d'absorption; le constructeur doit être capable d'en mesurer l'efficacité. Celle-ci s'explique toujours par les propriétés intrinsèques de ces matériaux (module, facteur de perte, perméabilité...), par leur structure physique et par leur composition chimique.

Les méthodes d'essai associées à la mesure des propriétés acoustiques des matériaux et des pièces font aujourd'hui, l'objet d'un consensus entre Renault et ses fournisseurs.

Le développement de nouveaux produits et de nouveaux concepts, indispensable à l'amélioration des prestations "produit", se situent dans une démarche de progrès continu. Des sauts technologiques seront sans doute nécessaires à la réalisation d'un objectif tel que l'allègement des véhicules.

L'amélioration des propriétés acoustiques des matériaux d'habitacle doit se faire dans le respect des autres propriétés exigées de ces matériaux, (aspect, tenue thermique, résistance à l'usure, à la rayure, limitation du fogging...). Il s'agit donc de trouver un équilibre qui sera le fruit d'un compromis entre les différentes exigences du cahier des charges.

La mesure de nos progrès se fera au travers des méthodes d'essai existantes et d'autres méthodes d'évaluation. Leur définition doit se poursuivre dans le cadre d'une large collaboration entre les différents partenaires : Bureaux d'étude, spécialistes de l'acoustique et des matériaux chez Renault, fournisseurs de matières premières et équipementiers. ■

Références bibliographiques

- [1] A.D. Nashif et al., *Vibration damping*, Wiley Interscience 1985
- [2] B.E. Read, G.D. Dean., *The determination of dynamic properties of polymers and composites*, Adam Hilger Ltd Bristol 1978
- [3] A. Fit, X. Duteurtre, *Matériaux d'habitacle à fonction acoustique, Matériaux pour l'isolation acoustique des machines et des véhicules*, p. 17-23, CETIM 1995
- [4] H. Oberst, K. Frankenfeld, *Über die Dämpfung der Biegeschwingungen dünner Bleche durch fest haftende Beläge*, *Akustische Beihefte*, Heft 4, 1952, p. AB181-AB194
- [5] D. Ross, E.E. Ungar, E.M. Kerwin, *Damping of plate flexural vibrations by means of viscoelastic laminae*, *Structural damping*, Sec. 3, A.S.M.E. 1959
- [6] D. Nesa, *De la mesure des propriétés de matériaux amortissants au comportement vibratoire d'une pièce réelle : comparaison d'approches prédictives et d'expériences*, *Matériaux pour l'isolation acoustique des machines et des véhicules*, p. 209-220, CETIM 1995