Le siège automobile, source de bruit ?

Patrick van Effenterre,
Directeur recherche produit,
Thierry Blaise,
Ingénieur recherche produit,
Faurecia,
route d'Etampes,
BP 89,
91152 Étampes CEDEX,
tél : 01 69 92 34 47,
fax 01 69 92 34 50

L'accroissement des exigences du client en terme de confort des automobiles conduit les constructeurs à proposer des équipements et des prestations d'un niveau toujours plus élevé. À ce titre, la réduction des émissions sonores est à n'en pas douter un facteur qui contribue fortement à l'amélioration du bien être des passagers.
À l'instar des groupes motopropulseurs et l'aérodynamique, les acousticiens se sont intéressés à la bruyance des équipements intérieurs. C'est ainsi que nous pouvons disposer aujourd'hui d'habitacles feutrés, dans lesquels il est possible de discuter, d'écouter de la musique ou de se reposer pour les passagers. Le siège d'automobile n'échappe pas à cette traque systématique. Ainsi, le crissement des matelassures, le claquement ou le grincement des structures, la qualité acoustique des mécanismes électriques doivent être traités. Il est nécessaire pour cela de développer des méthodologies d'analyse ainsi que de moyens performants pour mettre au point et optimiser les nouvelles solutions techniques.

Le siège d'automobile est un produit complexe que l'on peut décomposer en quatre parties principales :

- Une structure, en général métallique,
- Des mécanismes de réglage,
- Des matelassures en mousse de polyuréthanne,
- Des coiffes en tissu ou en cuir.

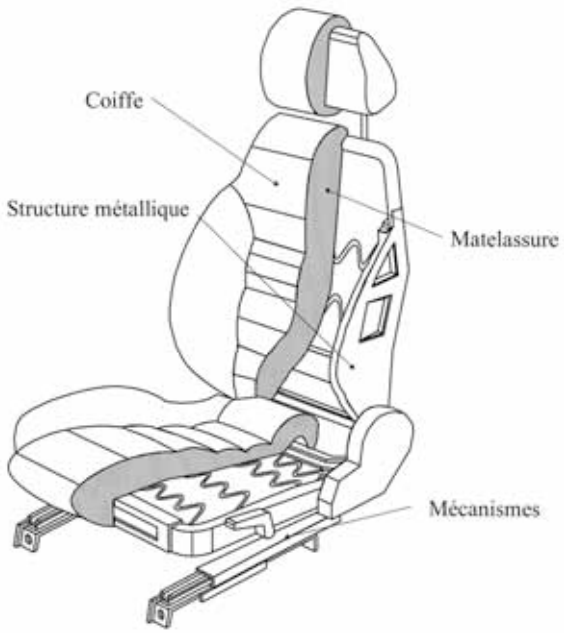

Fig. 1 : Éléments constitutifs d'un siège d'automobile

Ces éléments qui sont nécessaires pour le réglage de la position, le confort et la sécurité de l'occupant peuvent dans certaines conditions émettre des bruits plus ou moins agréables. Ce sont par exemple des crissements aux interfaces entre la structure et la matelassure, des grincements ou des claquements entre les pièces mobiles des mécanismes manuels ou bien encore des bruits parasites dans les mécanismes électriques.
Une première analyse nous amène à une décomposition des différents types de bruyance en trois familles :

- Les bruits statiques lorsque l'on entre ou sort du véhicule,
- Les bruits dynamiques en situation de roulage, siège vide ou chargé,
- Les bruits de fonctionnement des mécanismes manuels ou électriques.

Comme dans les autres aspects du confort, ces trois domaines du confort acoustique sont pris en compte suivant une méthodologie présentée lors du dernier salon Équip'Auto [1] :

- Évaluation subjective pour l'analyse des sensations,
- Recherche de critères de mesure corrélés au subjectif,
- Évaluation de l'influence du siège et de ses composants sur le confort,
- Aide à la conception.

Après une description rapide des méthodes d'essai utilisées dans les domaines des bruits statiques et dynamiques, nous illustrerons, dans le cadre des bruits de fonctionnement des mécanismes électriques, les deux premiers points de la méthodologie en présentant les travaux qui ont conduit à l'établissement de critères de mesures corrélés aux sensations subjectives.

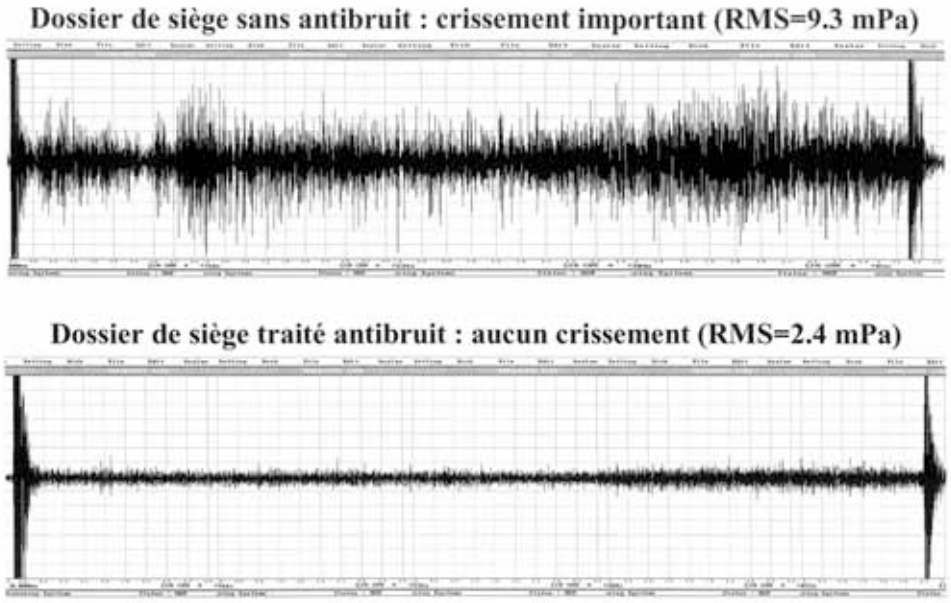

Figure 2 : Exemple de relevés acoustiques de bruits de soft

Les bruits « statiques »

Ces bruits sont dits « statiques » car ils se perçoivent alors que le véhicule est arrêté. Lors de l'accès à l'habitacle, la pression qu'exerce le corps sur le siège peut faire apparaître, aux interfaces entre les pièces, des crissements, des grincements ou autres claquements. Ces bruits sont très sensibles aux conditions d'expérimentation, et leur analyse nécessite la maîtrise de plusieurs paramètres :

- La zone d'application et la direction de la sollicitation,
- L'effort et la vitesse de la sollicitation,
- La température et l'humidité ambiantes.

Il existe deux méthodes de test répondant à des besoins différents.
- La première, objective, est utilisée dans le cadre de la recherche pour la réalisation de plans d'expérience ou la comparaison de solutions ou concepts. Elle nécessite une chambre semi-anéchoïque, ainsi qu'un moyen spécifique. Ce dispositif, qui balaye la totalité de l'assise ou du dossier, ne génère pas plus de bruit que celui étudié, ce qui a rendu sa mise au point difficile. La bruyance est mesurée grâce à un microphone et analysée en temporel. Un crissement ou un grincement est produit par un phénomène de « stick-slip » bien connu en tribologie. Il se caractérise par des raies. L'écart entre chacune d'entre elles traduit la sonorité grave ou aiguë du son. Le contenu énergétique de ce signal est évalué par calcul de valeur RMS.
De cette façon, on dispose d'un relevé permettant de localiser la zone où le bruit est excité, ainsi que son niveau acoustique.

- La deuxième, subjective, est utilisée dans les laboratoires d'essais pour le suivi des produits en développement, et dans les sites de garnissage pour les contrôles de démérite. Elle nécessite un support de fixation du siège et un caisson insonorisé. Les opérateurs suivent une formation au cours de laquelle ils apprennent à « palper » le siège, à reconnaître et nommer les différents types de bruits, et à en analyser les causes. Ils peuvent alors, en suivant une procédure définissant avec précision les conditions d'essais et les zones à solliciter, évaluer avec une certaine objectivité la conformité des sièges aux exigences acoustiques.

Les bruits « dynamiques »

Ces bruits apparaissent sous les sollicitations vibratoires du véhicule lorsqu'il roule sur une route plus ou moins dégradée. Ils sont essentiellement mécaniques, c'est-à-dire liés à des frottements ou à des chocs entre différentes pièces. Ils se traduisent par des « cliquetis », des « claquements », ou des « couinements » qui sont, à la longue, gênants.
Comme il est difficile pour un équipementier de disposer tôt dans la conception d'un prototype roulant et des pistes des constructeurs, il est nécessaire de faire de la simulation routière au moyen d'un banc vibrant, reproduisant très fidèlement les vibrations d'un véhicule en mouvement. Le banc hydraulique installé chez Faurecia est doté de 4 degrés de liberté permettant de solliciter les sièges suivant les trois axes de translation (X, Y et Z) et suivant un axe de rotation (X ou Y).

Le contenu énergétique des vibrations au plancher du véhicule est pour ce qui nous intéresse concentré en dessous des 100 Hz. Il est fonction du type de piste, du véhicule et de la vitesse.
Le principe de pilotage du banc est classique : les consignes temporelles mesurées sur piste au moyen d'accéléromètres et d'un enregistreur DAT sont acquises dans la station de travail. Après plusieurs phases d'identification du système et d'itération, la reproduction du signal devient très fidèle et l'analyse des bruyances est alors possible.
Elle est réalisée subjectivement dans un premier temps puis affinée au moyen d'accéléromètres permettant de quantifier les vibrations des pièces en mouvement et de déceler l'apparition de bruits.

Le balayage sinusoïdal axe par axe permet par ailleurs d'isoler chacune des bruyances et de les traiter.
Dans ce domaine sont également utilisées des techniques d'analyse modale des structures afin de déceler les modes de résonance susceptibles d'injecter de l'énergie propice à la génération de bruits parasites.

Les bruits de fonctionnement des mécanismes électriques

Ce type de réglage de siège se généralise en Europe sur les véhicules de haute et moyenne gammes. Un mécanisme électrique comporte une chaîne cinématique en général constituée d'un moteur à courant continu, d'un arbre flexible d'entraînement, d'un réducteur avec renvoi d'angle et d'un organe d'entraînement (vis sans fin ou pignon et secteur denté). Des solutions équipées de motovérins font également leur apparition.
Ces mécanismes dont le régime moteur est compris entre 2 000 et 5 000 tr/mn, émettent des bruyances qui se propagent à travers le siège et la caisse du véhicule par voies aériennes et solidiennes. Leur qualité sonore ainsi que leur régularité de fonctionnement les rendent plus ou moins agréables à l'oreille.

La méthodologie mise en œuvre s'articule autour de trois parties que nous décrivons dans la suite :

- L'analyse de données issues d'une enquête subjective,
- La recherche de critères de mesure corrélés au subjectif,
- La prise en compte de l'interaction entre le siège et la caisse du véhicule.

Ces travaux conduisent à la rédaction d'une spécification d'essai utilisée aujourd'hui dans la mise au point des prototypes et la validation des produits.

Analyse de données issues d'une enquête subjective

Cette enquête a été réalisée à partir d'un panel de 26 essayeurs et d'un échantillon de 6 véhicules équipés de sièges présentant des caractéristiques techniques et de bruyance très diverses.
Dans cette expérimentation, chaque personne essaie à tour de rôle chacun des sièges et répond à un questionnaire d'évaluation subjective pour chaque mécanisme : glissières, site (inclinaison de l'assise), rehausse, et dossier. L'ordre de passage, qui est aléatoire, gomme l'influence que peuvent avoir les véhicules les uns sur les autres, et permet aussi de ne pas tester toujours le même véhicule en premier.
Chacun des sièges, chargé au moyen d'un mannequin, est ensuite mesuré en cellule semi-anéchoïque.

Les questionnaires, validés auparavant sur des premiers échantillons de personnes, comprennent :
- Une note qualitative d'agrément,
- Une note quantitative de niveau de bruit,
- Des questions à choix multiples sur :
  - la régularité du fonctionnement et du bruit,
  - la composition sonore du bruit,
  - la qualité perçue du mécanisme.
- Une question à propos des défauts considérés comme majeurs

L'objectif de l'analyse est de trouver, parmi la liste de termes proposés, ceux qui caractérisent au mieux les bruits des différents mécanismes. Dans un deuxième temps, il faut chercher parmi ces descripteurs, ceux qui ont une influence significative sur l'agrément ou la qualité perçue.
Ils serviront alors de base pour la recherche de corrélations avec des mesures objectives.

Analyse des descripteurs

La pré-liste retenue était la suivante :

1	plusieurs sons	14	martèle
2	grave	15	granuleux
3	aigu	16	ronronne
4	médium	17	caverneux
5	sourd	18	grogne
6	*harmonieux*	19	métallique
7	*non harmonieux*	20	siffle
8	strident	21	froid
9	rond	22	chaud
10	doux	23	plein
11	feutré	24	suave
12	lisse	25	couine
13	accroche	26	grince

Les descripteurs en orange n'ont pas été conservés car leur effectif était trop faible. Les descripteurs harmonieux et non harmonieux ont été sortis de la liste car considérés comme « à expliquer » plutôt qu'explicatifs.

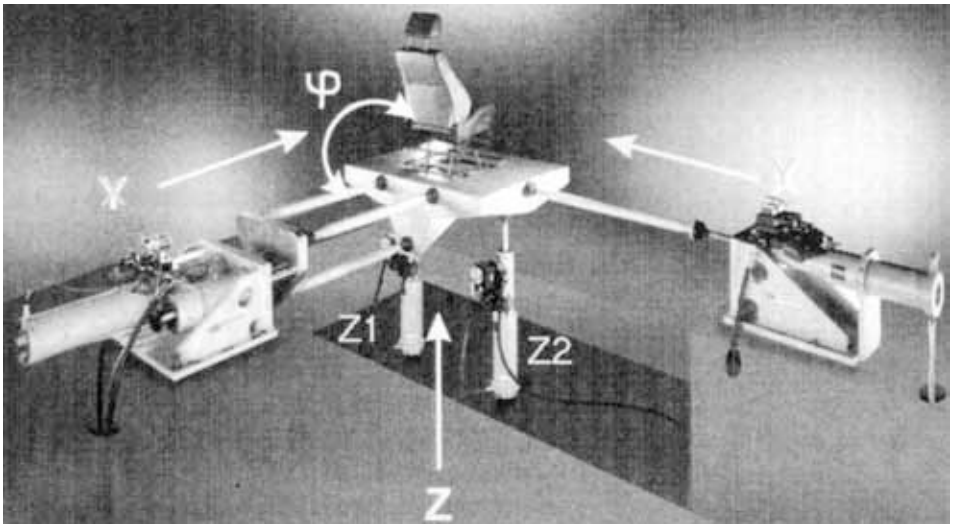

Fig. 3 : Banc vibrant hydraulique 4 DDL

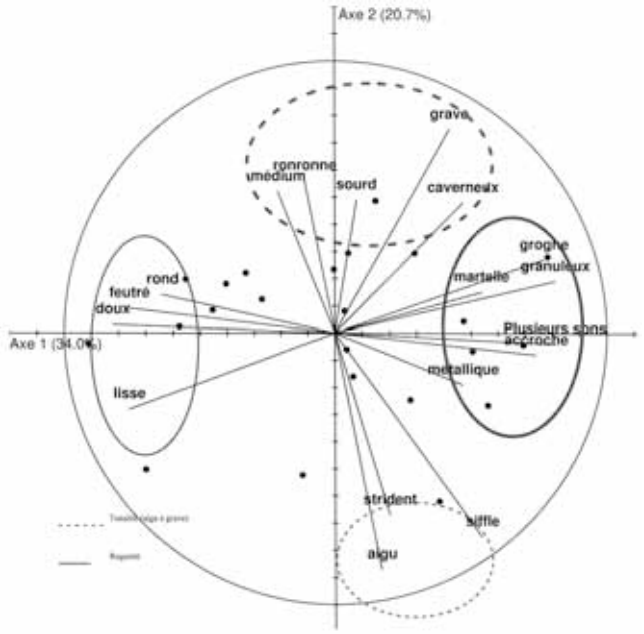

Fig. 4 : Analyse en composantes principales sur les descripteurs de la composition sonore

Nous choisissons la méthode d'analyse en composantes principales (ACP) car elle est bien adaptée à la description de données à caractère multidimensionnel [2]. Afin de n'avoir que des variables continues, on réduit le tableau de données en calculant pour chaque descripteur le nombre de fois qu'il est cité pour les 26 essayeurs et les 2 sens de fonctionnement (notons que les sens aller et retour sont très corrélés au niveau des sensations). On en déduit une valeur moyenne en divisant par le nombre total d'échantillon (52). Le tableau final associe à chaque critère 23 observations (4 mécanismes x 6 véhicules - 1 dossier manuel sur un véhicule).
Le graphe ci-dessus représente l'ACP sur les descripteurs. Les lignes représentent la projection des descripteurs, les points noirs les mécanismes de siège.

Cette première analyse permet de dégager deux axes qui expliquent à eux seuls plus de 50 % de la variance du nuage de points.
Le premier est essentiellement composé de termes inspirant l'aspect « granuleux » ou « lisse » du bruit. Nous créons donc une variable pour cet axe appelée « rugosité », qui va du moins au plus rugueux
Le second est plutôt porté sur les sonorités « graves » ou « aiguës ». Nous créons donc une variable pour cet axe appelée « Tonalité », qui va du plus aigu au plus grave.

Analyse du lien descripteurs/agrément

Les coordonnées des individus suivant les deux nouvelles variables sont calculées puis injectées de même que les variables à expliquer dans une seconde ACP :

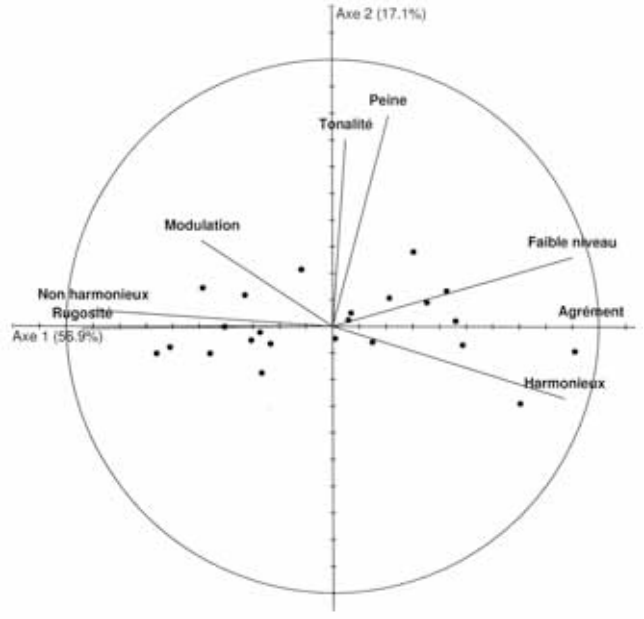

Fig. 5 : Analyse en composantes sur les critères globaux qualitatifs et quantitatifs

Dans cette seconde analyse, le pourcentage de variance expliqué par les deux premiers axes est assez important puisqu'il est de l'ordre de 70 %. Ce graphe permet de constater que les sons « harmonieux » sont plutôt liés à l'absence de rugosité c'est-à-dire aux bruits « feutrés », « doux » et « lisses » par opposition aux sons « non harmonieux » qui sont rugueux, c'est-à-dire qui sont « composés de plusieurs sons », qui sont « granuleux », qui « grognent » et qui « accrochent ».
On distingue nettement la corrélation qui lie l'agrément au faible niveau de bruit et aux sons harmonieux.

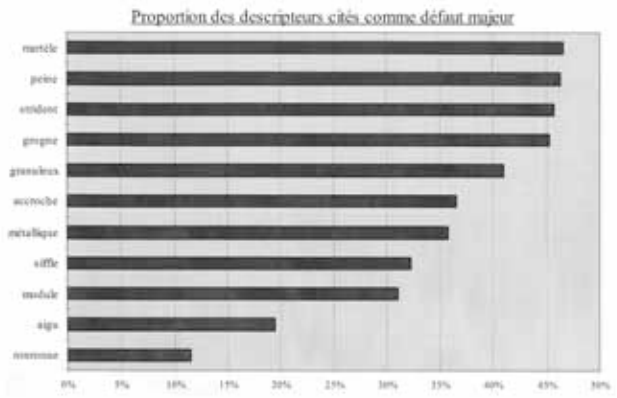

Fig. 6 : Graphe récapitulatif des défauts majeurs

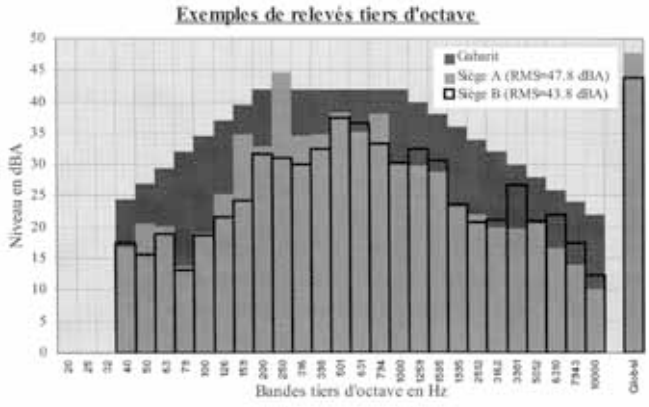

Fig. 7 : Graphe 1/3 octave de mécanismes de dossier

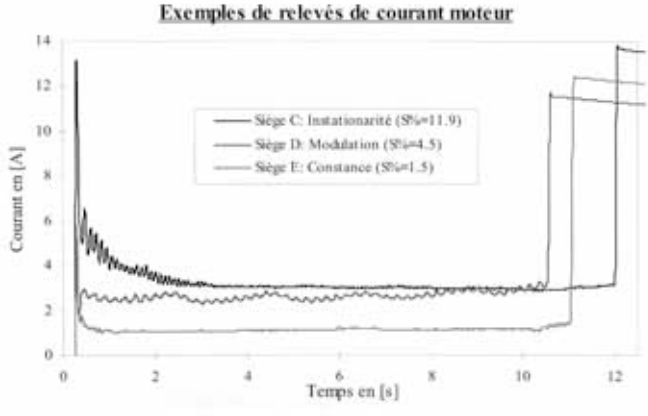

Fig. 8 : Relevés de courant de mécanismes de glissière

La variable « tonalité » est totalement indépendante de l'agrément.
L'aspect « grave » ou « aigu » n'influe pas de façon significative sur l'agrément global. Il est néanmoins bien corrélé à la sensation de « peine » qui augmente lorsque le bruit est grave. Cela correspond probablement à des mécanismes de réglage sous dimensionnés ou freinés par des efforts parasites. En effet, leur vitesse de fonctionnement lente rend leur sonorité grave.
Enfin, la « modulation » bien qu'opposée à l'agrément, contribue peu à la variance globale.

Pour compléter ces conclusions, on analyse les défauts jugés comme majeurs pour chaque mécanisme.
Pour l'ensemble de tous les sièges, mécanismes et essayeurs, on compte le nombre de citations que l'on ramène au nombre total d'échantillons soit 598. On obtient donc en pourcentage une répartition classée par ordre croissant (figure 6).

On observe que les défauts « module » et « peine » dont l'influence sur l'agrément n'était pas évidente, ont été souvent cités comme majeurs et sont par conséquent gênants.
On retrouve « martèle », « grogne » et « granuleux » qui font partie de la variable que nous avons nommée « rugosité » et dont la contribution sur l'agrément a déjà été montrée.
Enfin, parmi les sons de tonalité aiguë, ceux qui sont « stridents » font l'objet de critique.
En conclusion, nous trouvons plusieurs catégories de descripteurs qui traduisent une gêne ou un désagrément tels que niveau, modulation, peine et rugueux (synthèse de grogne, granuleux, accroche).
Ces critères ne sont certes pas exhaustifs mais constituent un point de départ pour la recherche de corrélations et l'établissement d'un cahier des charges.
Notons que la « tonalité » variable de synthèse des descripteurs grave, strident, aigu, explique une bonne proportion de la variance globale mais est totalement indépendante de l'agrément. Son lien avec « peine » elle-même souvent considérée comme défaut majeur nous conduit à ne pas la négliger.

Recherche de critères de mesure corrélés au subjectif

Les mesures dont nos disposons sont le signal acoustique pondéré A [2] que nous analysons en temporel, en spectre fin ou en nième d'octave [3], ainsi que le courant consommé par les moteurs que nous traitons en temporel.
Les figures 7 et 8 montrent quelques exemples de ces relevés.

A partir de ces mesures ont été extraits de nombreux critères. Le tableau ci-après liste ceux qui ont donné les corrélations les plus robustes :

	Critère
Acoustique Spectre 1/3 octave	Niveau moyen en dBA
	Ecart type des bandes 1/3 d'octave en mPa entre 50 et 8000 Hz
	Nombre de dépassements par rapport au gabarit sur spectre 1/3 d'octave
Courant moteur I=f(t)	Stationnarité en % sur tout le transfert sauf transitoires $\frac{Vmax - Vmin}{Vmax + Vmin}$ mesuré sur I=f(t)

Ainsi le niveau en dB (A) est très corrélé au niveau perçu subjectivement ainsi qu'à l'agrément (fig. 9).

L'écart type sur les bandes 1/3 d'octave est corrélé à l'agrément (r = 0,71) et traduit une préférence des utilisateurs pour des bruits dont le spectre est « lisse » ou homogène, c'est-à-dire qui présentent peu d'émergences. Le gabarit présenté en figure 7 permet de limiter les émergences du spectre, et de vérifier que le niveau en basse fréquence reste modéré (en vue d'écarter les mécanismes dont la sonorité grave pourrait générer une sensation de peine).

Enfin la stationnarité mesurée sur la courbe de courant consommé par les moteurs traduit la modulation fréquentielle mais aussi la peine liée à un ralentissement du mécanisme comme le montre le graphe de la figure 10. Dans ce graphe, les mécanismes dont la vitesse de fonctionnement augmente globalement dans le temps et qui ne font donc pas partie de l'effectif « peine », sont exclus de la corrélation.

Nous obtenons ainsi une liste de critères susceptibles de faire l'objet d'un cahier des charges.

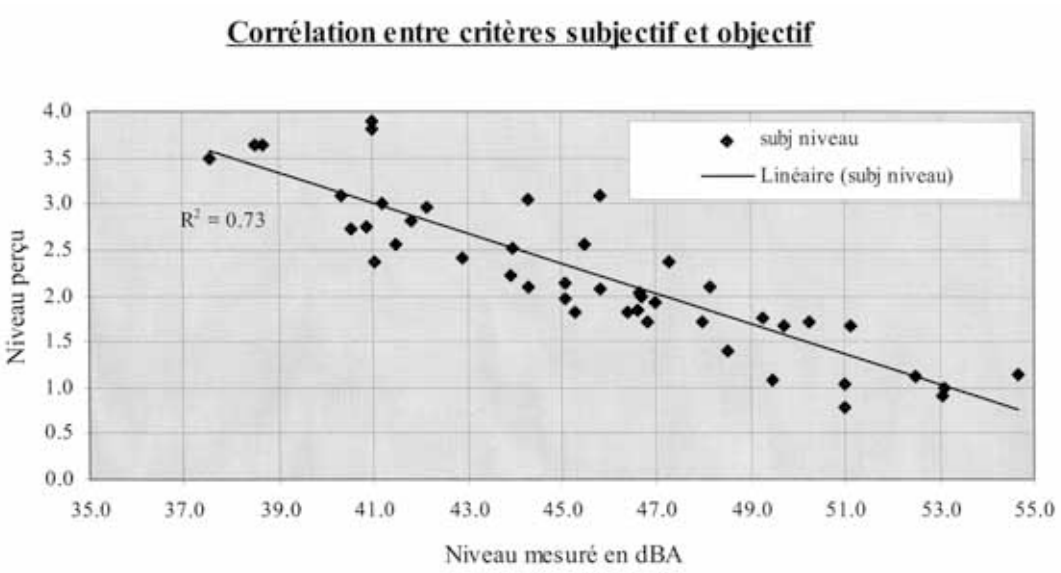

Figure 9 : Corrélation entre la sensation de niveau et la mesure de niveau global en dB (A)

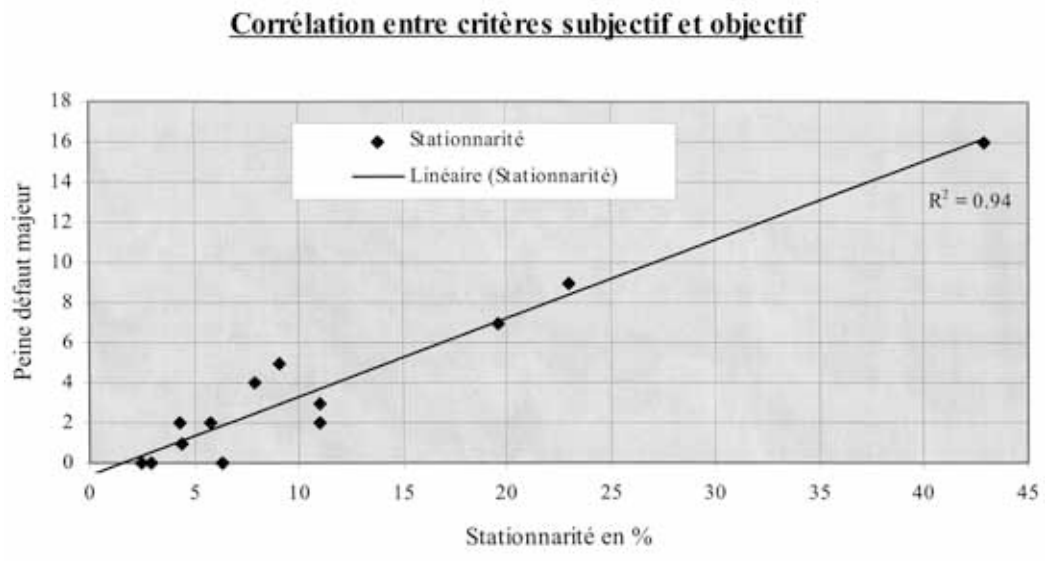

Fig. 10 : Corrélation entre effectif peine défaut majeur et la mesure de stationnarité

Dans l'étape suivante une nouvelle campagne est organisée. Un panel de 8 sièges, comportant des mécanismes de bonne qualité ainsi que d'autres présentant des défauts, est utilisé. Les essais subjectifs réalisés en véhicule ainsi que les mesures effectuées en cellule, dans les conditions et avec les critères issus de l'étude décrite précédemment ont permis de confirmer les corrélations et d'établir également des seuils de satisfaction.
Cette campagne a également permis de mettre en évidence le phénomène d'amplification acoustique due au véhicule. En effet on peut observer en global une différence de l'ordre de 3 à 5 dB(A) entre les niveaux mesurés en cellule et ceux mesurés en véhicule. Cet écart dû au transfert solidien du siège vers la caisse est intégré dans les seuils de satisfaction puisque ceux-ci sont établis à partir de jugements recueillis en véhicule. Cependant, pour chaque nouveau véhicule, la vérification de la validité de ces seuils est nécessaire, étant donné que cette amplification peut être différente d'une voiture à l'autre.

Une méthode complémentaire consiste à prévoir à partir de la mesure acoustique en cellule ce que l'on aurait en véhicule et d'appliquer les critères à ces mesures corrigées. L'étude décrite dans la suite valide la faisabilité de cette technique de prédiction.

Évaluation du transfert solidien siège/caisse

Approche théorique

Le champ acoustique rayonné à l'intérieur de l'habitacle est constitué de deux composantes :
- Le champ acoustique direct rayonné par la source de bruit, comme si elle était située dans un champ libre. C'est le rayonnement de la source isolée.
- Le champ acoustique indirect rayonné par les voies de transfert solidiennes (excitation vibratoire et rayonnement du plancher et de la structure du véhicule) et celui réverbéré par la cavité constituant l'habitacle. C'est le rayonnement caractéristique de l'environnement du véhicule.
Une grandeur telle que l'impédance ponctuelle aux points d'ancrage P/γ tient compte du rayonnement dû à la structure du véhicule, et du phénomène de réverbération dû au confinement.
Cette caractéristique est parfaitement adaptée pour le traitement des phénomènes continus, stationnaires, dont le transfert solidien n'est pas négligeable et qui nécessitent une correction véhicule/cellule.
Expérimentalement, on mesure quatre grandeurs physiques :
- PVac (= champ direct + champ indirect) champ acoustique en véhicule
- PCac champ acoustique en cellule
- γv accélérations aux points d'ancrage du siège
- P/γ impédances ponctuelles aux points de fixation du siège dans le véhicule

On cherche à établir entre ces quatre grandeurs un modèle du type :

$$PVac = \alpha . PCac^2 + \sum_{i=1}^{i=4} \beta_i . \left(\left(\frac{P}{\gamma} \right)_i \gamma_i \right)^2 + Cte$$

Les pressions sont exprimées en énergie (mPa2), i est le nombre de points d'ancrages (4 par siège).
Les coefficients α, β et la Cte sont déterminés en établissant par type de mécanisme la meilleure corrélation multiple entre n points de mesure.

Méthode expérimentale

Les corrélations multiples comportent 5 variables indépendantes. Cela signifie qu'il faudra par type de mécanisme au moins 6 observations (un mécanisme de siège représente 4 observations : à vide et en charge dans les deux sens de fonctionnement).
Nous choisissons 4 sièges que nous testons à vide, en charge, dans un sens puis dans l'autre, soit pour chaque mécanisme 16 observations.

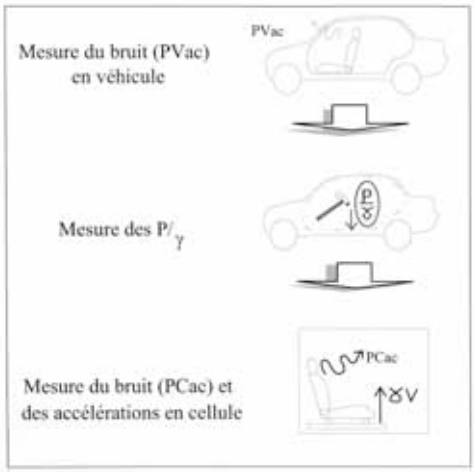

Figure 11 : Protocole expérimental

Chaque siège est mesuré en véhicule puis en cellule, dans des conditions identiques, mais en rajoutant des accéléromètres aux points d'ancrage.
Les mesures de P/γ sont effectuées dans la caisse aux 4 points de fixation du siège.

Mesure des P/γ

Cette mesure s'effectue au moyen d'un marteau de choc, d'un capteur accélérométrique et d'un microphone.
L'accéléromètre est placé au plus près du point d'impact, et le micro est à hauteur d'oreille dans la même position que celle retenue pour le cahier des charges.

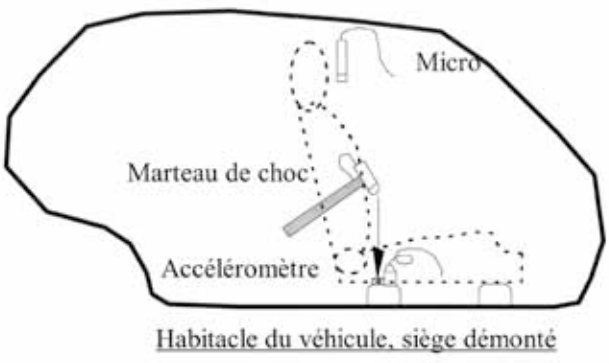

Fig. 12 : Protocole de mesure des P/γ

On calcule la fonction de transfert P/γ à l'aide de la fonction FRF d'un analyseur, en prenant la voie accélérométrique comme voie de référence. On extrait alors la valeur RMS en dB sur une bande passante où la cohérence devra au moins être égale à 0,9.

Résultats des expérimentations

Les analyses ont été faites tout d'abord en niveau global puis par bande tiers d'octave en appliquant la régression linéaire multiple à chacune des bandes. La deuxième méthode donne de meilleurs résultats de corrélation et renseigne de surcroît sur le contenu spectral.

Le tableau qui suit synthétise les résultats obtenus par mécanisme pour la méthode par bande :

	Glissière	Site	Réhausse	Dossier
Coefficient r des niveaux globaux	0,86	0,73	0,93	0,97
Coefficient r moyen des bandes 1/3 oct	0,72	0,69	0,81	0,76
Ecart moyen mesures cellule/véhicule en dBA	5,33	4,33	5,12	3,70
Ecart moyen mesures estimées/véhicule en dBA	0,75	0,61	0,75	0,60
Ecart type résiduel en dB	1.06	0.77	0.99	0.67

Les corrélations sont significatives et permettent d'obtenir des écarts entre valeurs réelles et estimées inférieurs au dB(A) ce qui est faible par rapport à la différence observée sans correction des niveaux en cellule.

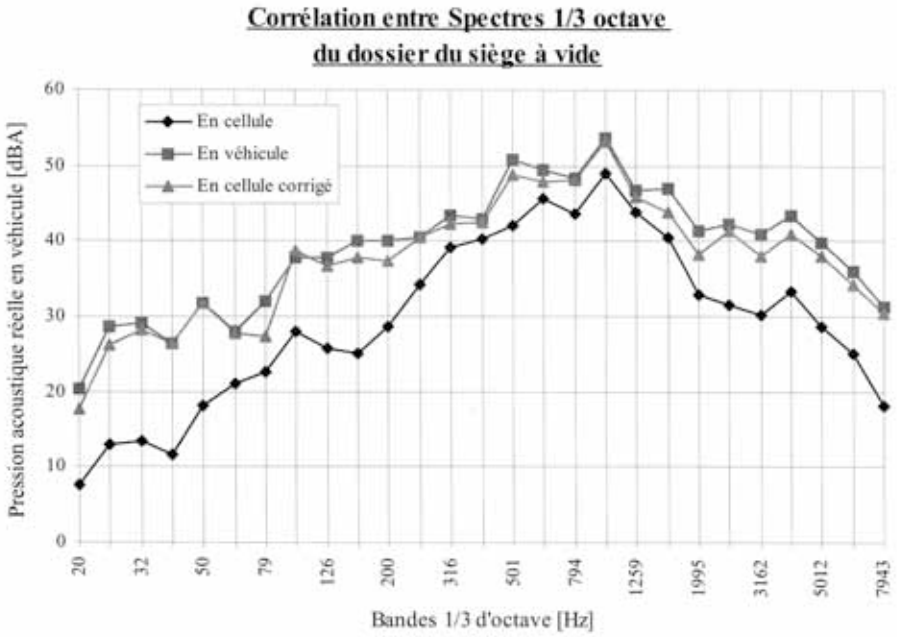

Fig. 13 : Exemple de spectres tiers d'octave réels et corrigés

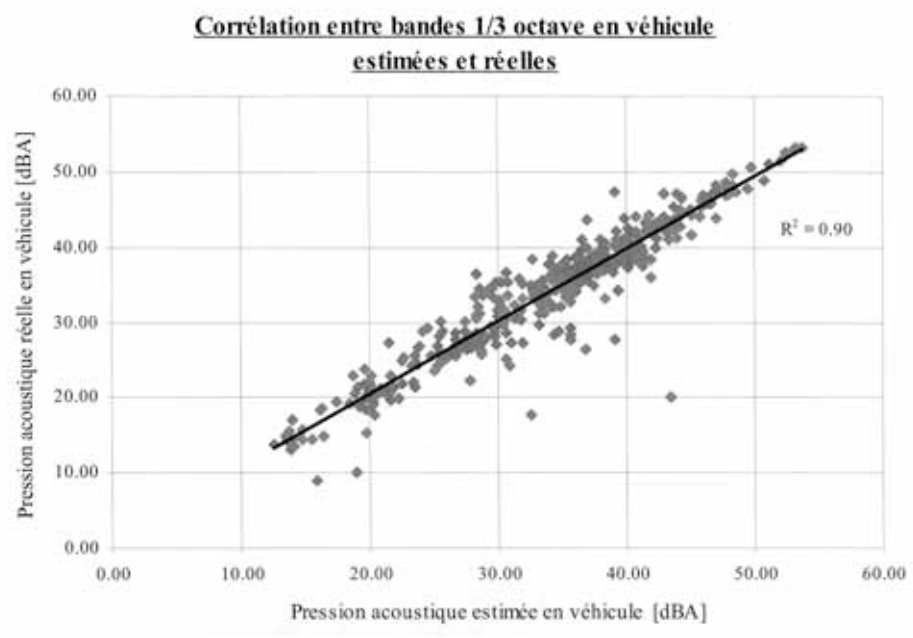

Fig. 14 : Corrélation entre les bandes tiers d'octave réelles et estimées

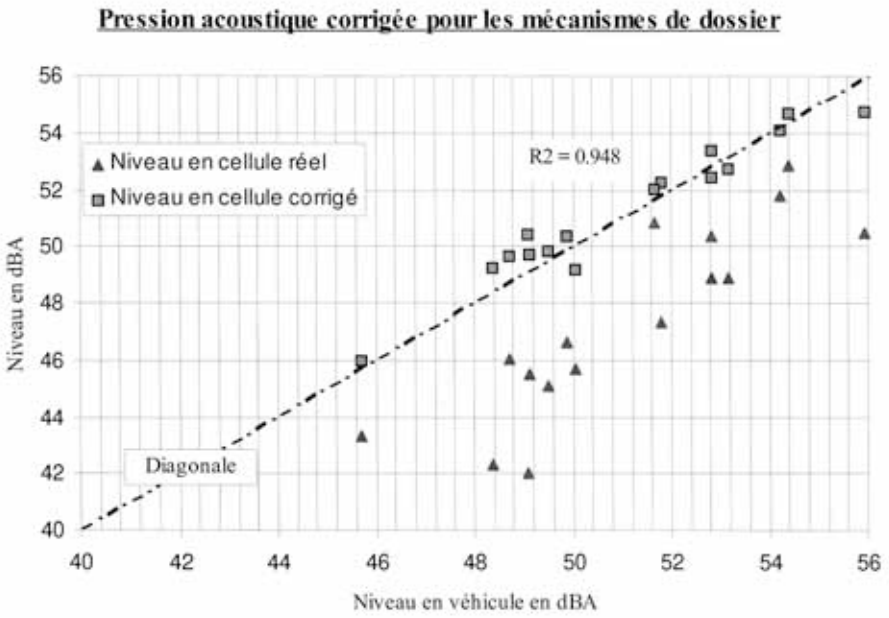

Fig. 15 : Corrélations entre les niveaux globaux en cellule réels et corrigés et les niveaux en véhicule

Les résultats semblent meilleurs pour les mécanismes dont le rapport signal sur bruit est plus grand. C'est notamment le cas du dossier (précision de l'estimation à 5 % de risque de ±1,4 dB), dont nous illustrons quelques résultats (fig. 13, 14 et 15).

Ces calculs ne sont valables que pour un type de mécanisme et de véhicule et sont à refaire pour chaque nouveau produit. Les expérimentations et dépouillements sont assez lourds, mais ils permettent ensuite à tout moment d'estimer le niveau acoustique qu'un mécanisme aurait s'il était monté dans son véhicule.

Conclusion

Cet article montre une approche assez globale du problème de la bruyance dans les sièges d'automobile. L'investissement consenti dans la recherche de critères de mesure traduit la volonté d'instaurer un langage précis et objectif entre l'équipementier et les constructeurs. Nous remercions d'ailleurs tous ceux qui, par leur collaboration, nous ont aidés à progresser dans ces travaux.

L'étude sur l'acoustique des mécanismes électriques a permis de mieux cerner la perception de la qualité associée aux bruits générés par le fonctionnement de ce type de réglages.
Il apparaît que le niveau global est un facteur important comme on le supposait auparavant.

La régularité du bruit caractérisée par la « modulation » et la « peine » peuvent également être facteurs de non qualité.

Enfin, la composition sonore a révélé deux composantes importantes que sont la « tonalité » et la « rugosité ».
Les critères de mesure obtenus sur l'acoustique et sur le courant consommé par les moteurs permettent d'objectiver une partie de ces sensations auditives. Des recherches sont encore nécessaires pour aboutir à la caractérisation de critères tels que la modulation d'amplitude lorsqu'elle est indépendante de la modulation fréquentielle, ou de certains descripteurs de la composition sonore.

La modélisation du transfert solidien siège véhicule dont la faisabilité a été démontrée dans cette étude est une technique complémentaire à la mesure des bruits en chambre sourde. Elle permet de prédire à partir des mesures acoustiques et vibratoires, et à partir des données d'inertance d'une caisse conforme à la définition, les niveaux que l'on aurait si le siège était monté dans le véhicule. Elle offre par ailleurs de nouvelles pistes pour l'objectivation des critères de rugosité. En effet, les accéléromètres placés aux points d'ancrages peuvent renseigner sur des facteurs de sensation vibratoire contributeurs aussi de la perception auditive.

En conclusion, l'approche méthodologique pour l'analyse des sensations subjectives et la recherche de critères de mesures permet de mettre au point des moyens pour tester et quantifier les différents types de bruyance.
Validés, ces moyens sont utilisés pour évaluer l'influence du siège et de ces composants sur le bruit et enrichir ainsi notre expérience et nos préconisations.
Mises en forme, ces préconisations et ces méthodes d'essais s'intègrent aux outils d'aide à la conception pour une meilleure et systématique prise en compte du bruit dans les développements.

Références bibliographiques

[1] T. Blaise, G. Millet, Texte de conférence Équip'Auto 1997 : Le confort

[2] G. Saporta, Probabilités Analyse des données et statistique,

[3] Norme Internationale CEI 651 amendement 1 1993-09, Sonomètres

[4] Commission électrotechnique internationale norme de la CEI, Publication 225 1982, Filtres de bandes d'octave, de demi-octave et de tiers d'octave destinés à l'analyse des bruits et des vibrations