

PALIERES HYBRIDES INNOVANTES SILENCIEUX POUR MOTEURS ELECTRIQUES

Sylvain POGGI, Carlos RIBEIRO

Société ALCTRA, 60 Boulevard Henri Barbusse, 93100 Montreuil/Bois

Tél. : 01 42 87 04 69 - Fax : 01 48 57 44 99

Emails : sylvain.poggi@alctra.fr, carlos.ribeiro@alctra.fr

Philippe MEROT

DU PONT DE NEMOURS S.A., 137 rue de l'Université, 75334 Paris cedex 07

Tél. : 01 34 10 62 88 - Fax : 01 39 82 79 37

Email : Philippe.Merot-2@FRA.dupont.com

Jean-Luc NOGUE

LE JOINT FRANÇAIS, 5 rue Ampère BP 513, 22005 Saint-Brieuc cedex 1

Tél. : 02 96 62 77 64 - Fax : 02 96 62 77 58

Email : j.l.nogue.ljf@hutchinson.fr

Introduction

Le secteur automobile fait aujourd'hui de plus en plus appel aux moteurs électriques pour assurer des fonctions de sécurité telle que l'essuyage mais aussi de confort telles que le lavage des vitres, le positionnement des sièges, etc. Par ailleurs, le critère de confort acoustique devient pour le client un facteur décisif dans le choix du véhicule. Ce contexte explique l'intérêt de développer des paliers permettant d'améliorer les performances vibratoires et acoustiques des moteurs électriques.

Cette communication présente les résultats de l'étude de l'incidence de paliers « hybrides » innovants, associant une bague en Vespel® (*Du Pont de Nemours*) à une bague en élastomère (*Le Joint Français*), sur le comportement vibroacoustique des moteurs électriques. Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'étude exhaustive des propriétés et performances des paliers Vespel® [1,2].

Afin de mettre en évidence les améliorations apportées par ces paliers Vespel® en termes de réduction de bruit et de vibrations, les moteurs testés sont étudiés selon deux configurations : tout d'abord sans charge, puis équipés de leur charge mécanique (ici la charge est un ventilateur).



Figure 1 : Paliers hybrides Vespel® - élastomère.

I. Configuration sans charge

Deux moteurs sont testés : le premier (noté T1) est équipé de paliers Vespel®, le second (noté T2) est équipé de paliers d'origine (paliers classiques en fer fritté). L'inversion des paliers supérieurs des moteurs (coté opposé au collecteur) permet de considérer deux configurations supplémentaires (notées T1B et T2B).

I.1. Méthodologie de l'étude sans charge

Dans le souci d'étudier le comportement vibratoire du moteur seul (non couplé à un support), les moteurs sont suspendus à l'horizontale, comme l'illustre la figure 2. Ils sont alimentés par une tension continue de 7.2 V (+/- 0.1 V), ce qui correspond à un régime moteur d'environ 3000 tr/min.

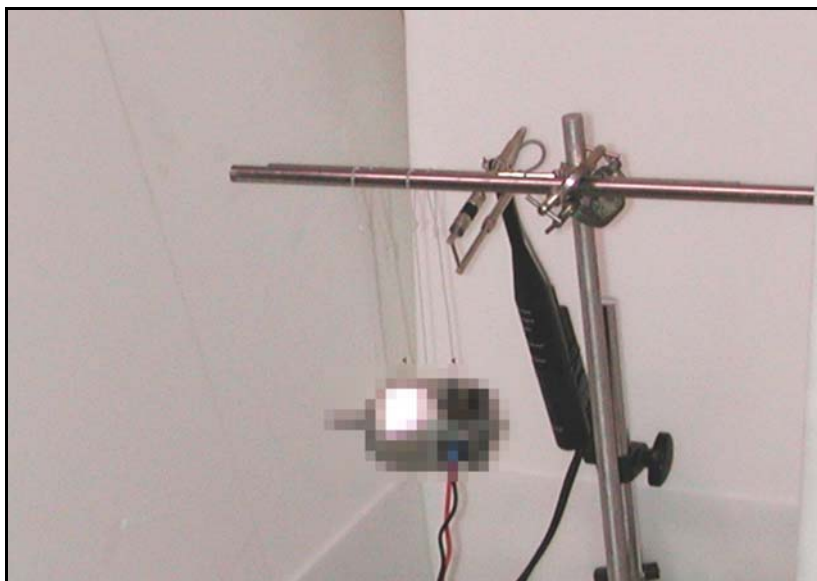


Figure 2 : Configuration moteur sans charge.

Les mesures vibratoires sont réalisées au moyen d'un vibromètre laser en deux points du moteur : sur la carcasse métallique du stator, et sur le flasque au niveau du palier. Le microphone de mesure de pression acoustique est positionné en un point fixe à 20 cm du moteur testé. Le voisinage immédiat des moteurs est composé de matériaux à fort coefficient d'absorption acoustique afin de s'affranchir de la participation de l'environnement dans l'établissement du champ sonore au voisinage des moteurs.

I.2. Résultats des études vibratoires et acoustiques

I.2.a. Etude vibratoire

Les figures 3a et 3b présentent les spectres vibratoires associés aux moteurs T1 et T2, équipés respectivement de paliers Vespel® et de paliers d'origine, au niveau de la carcasse moteur.

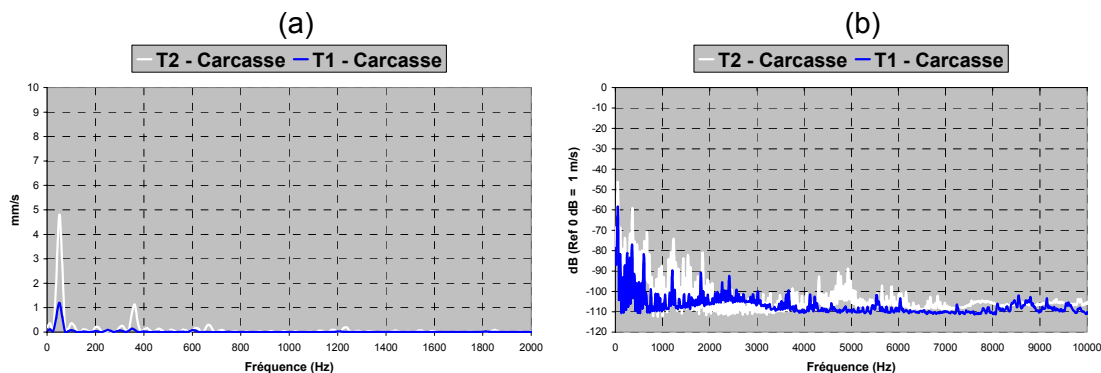


Figure 3 : Spectres vibratoires associés aux moteurs T1 et T2.

La fréquence de vibration prédominante se situe autour de 50 Hz (raie notée H1), ce qui correspond à la vitesse de rotation des moteurs (environ 3000 tr/min). On observe que les niveaux vibratoires associés au moteur T1 équipé de paliers Vespel® sont inférieurs à ceux associés au moteur T2 équipé de paliers d'origine, et ce sur presque toute la bande de fréquences (0 - 10 kHz), y compris pour le H1.

L'appréciation en termes de niveaux globaux de vibrations permet de quantifier l'amélioration apportée par l'installation de paliers Vespel®. La figure 4 propose une comparaison des niveaux globaux de vibrations, exprimés en dB(A), de quatre moteurs : les moteurs T1 et T2 considérés précédemment, ainsi que les moteurs T1B et T2B. Le moteur T1B est obtenu à partir du moteur T1 en remplaçant un des deux paliers Vespel® par un palier d'origine ; le moteur T2B est obtenu à partir du moteur T2 en remplaçant un des deux paliers d'origine par un palier Vespel®.

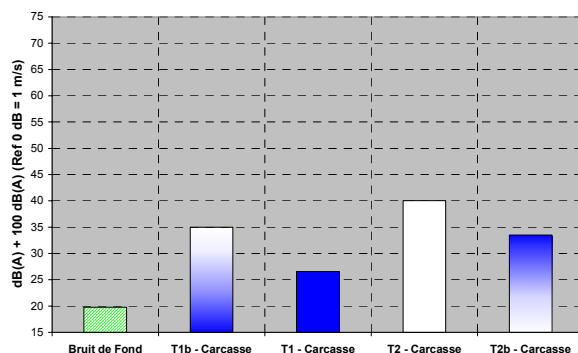


Figure 4 : Niveau global vibratoire exprimé en dB(A), selon le moteur considéré.

L'analyse des résultats synthétisés par la figure 4 montre que :

- ✓ le niveau vibratoire global le plus faible est celui associé au moteur T1 équipé de paliers Vespel®,
- ✓ le niveau vibratoire global le plus important est celui associé au moteur T2 équipé de paliers d'origine,
- ✓ le fait de remplacer un palier Vespel® par un palier d'origine sur le moteur T1 conduit à une augmentation du niveau vibratoire global,

- ✓ le fait de remplacer un palier d'origine par un palier Vespel® sur le moteur T2 conduit à une diminution du niveau vibratoire global,
- ✓ la différence en terme de niveau vibratoire global en faveur de la solution Vespel® est d'environ 13 dB(A) (et de 12 dB(Lin)).

En outre, les analyses comparatives menées entre les moteurs T1 et T1B ainsi que T2 et T2B permettent d'attribuer l'amélioration du comportement vibratoire du moteur à l'installation du palier Vespel® et non à une différence de qualité intrinsèque entre les moteurs T1 et T2.

I.2.b. Etude acoustique

Au point de mesure acoustique (défini au §I.1), les niveaux sonores associés au fonctionnement des moteurs émergent du bruit de fond à partir de 1500 Hz environ. Ceci s'explique par le faible niveau de bruit engendré par les moteurs en absence de charge mécanique, et par un bruit de fond caractérisé par des niveaux normalement prédominants aux basses fréquences. L'analyse comparative des moteurs doit prendre en compte cet aspect. Pour cela, exprimer les niveaux de pression acoustique en dB(A) apparaît plus approprié (la pondération A diminue le niveau en décibel sur les basses fréquences) et en outre plus représentatif de la perception humaine.

La figure 5 synthétise les niveaux de pression acoustique globaux mesurés pour les différents moteurs. Il en résulte que :

- ✓ le niveau acoustique global le plus faible est celui associé au moteur T1 équipé de paliers Vespel®,
- ✓ le niveau acoustique global le plus élevé est celui associé au moteur T2 équipé de paliers d'origine,
- ✓ le fait de remplacer un palier Vespel® par un palier d'origine sur le moteur T1 conduit à une augmentation des émissions sonores sur presque toute la bande de fréquences émergeant du bruit de fond (1500Hz-10000Hz),
- ✓ le fait de remplacer un palier d'origine par un palier Vespel® sur le moteur T2 conduit à une diminution des émissions sonores sur presque toute la bande de fréquences émergeant du bruit de fond (1500Hz-10000Hz),
- ✓ la différence en terme de niveau acoustique global en faveur de la solution Vespel® est d'environ 4 dB(Lin) et 10 dB(A).

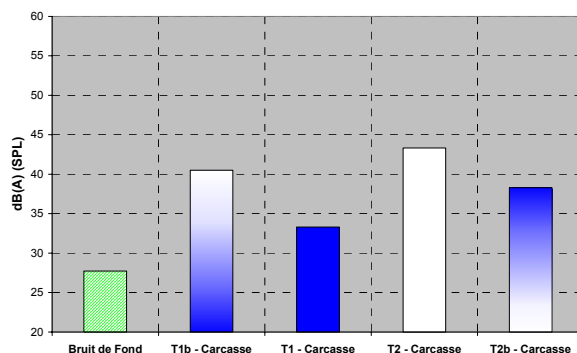


Figure 5 : Niveau acoustique global, en dB(A), selon le moteur considéré.

I.2.c. Analyse de corrélations vibrations / acoustique

La figure 6a met en évidence la très bonne corrélation (coefficient de corrélation d'environ 96%) existant entre le niveau vibratoire global et le niveau de pression acoustique global engendré par les moteurs. Ceci signifie simplement que les niveaux vibratoire et acoustique globaux dépendent quasi-linéairement l'un de l'autre.

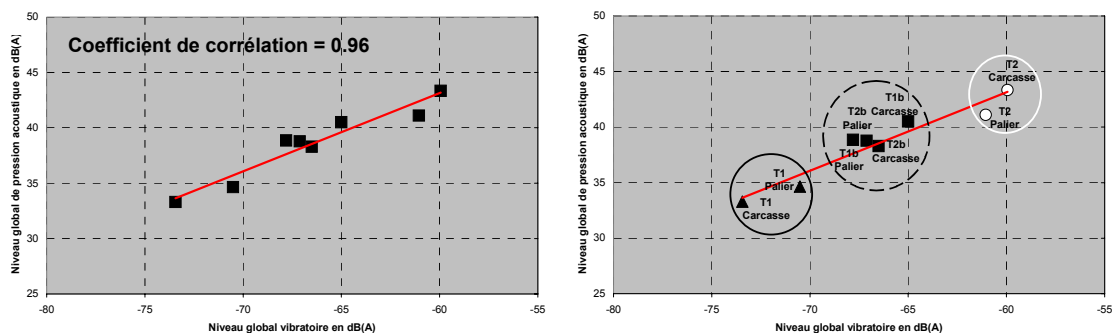


Figure 6 : (a) Corrélation et linéarité entre les niveaux globaux acoustique et vibratoire.
(b) Idem mais chaque point étant légendé.

L'identification de chaque point de la figure 6a conduit à la figure 6b. Trois groupes distincts sont mis en évidence :

- en trait plein noir : groupe correspondant au moteur caractérisé par les plus faibles niveaux globaux acoustiques et vibratoires (moteur T1 équipé de paliers Vespel®),
- en trait plein blanc : groupe correspondant au moteur caractérisé par les plus forts niveaux globaux acoustiques et vibratoires (moteur T2 équipé de paliers d'origine),
- en trait pointillé noir : groupe correspondant aux moteurs caractérisés par des niveaux globaux acoustiques et vibratoires compris entre les niveaux associés aux moteurs T1 et T2 (moteurs T1B et T2B équipés de d'un palier d'origine et d'un palier hybride).

Ces différentes observations conduisent à conclure qu'en absence de charge mécanique :

- ✓ l'introduction de paliers Vespel® dans les moteurs électriques s'accompagne d'une nette amélioration des performances vibratoires et acoustiques (amélioration d'environ 13 dB(A) sur le niveau vibratoire global et d'environ 10 dB(A) sur le niveau global de pression acoustique),
- ✓ une forte dépendance existe entre le comportement vibratoire et acoustique des moteurs, ainsi une réduction des vibrations du moteur a pour conséquence une diminution de ses émissions sonores.

II. Configuration avec charge

Dix moteurs électriques de ventilation, parmi lesquels une moitié est équipée de paliers d'origine et l'autre moitié de paliers Vespel® ont été mis à disposition.

II.1. Méthodologie de l'étude avec charge

Il est important de préciser que les moteurs ne bénéficient pas de la même qualité de montage :

- les moteurs équipés de paliers d'origine ont été assemblés et sertis par le fabricant, ils ont fait l'objet de manipulations limitées,
- les moteurs équipés de paliers Vespel® ont été démontés et assemblés par collage, et les manipulations sur la charge mécanique ont pu (du fait des montages et démontages successifs), dans certains cas, altérer le fonctionnement des moteurs.

De ce fait, on peut considérer que les moteurs équipés de paliers Vespel® sont testés avec un handicap supplémentaire par rapport aux moteurs équipés de paliers d'origine. L'analyse des mesures devra tenir compte de cet élément. En effet, on peut penser que dans ces conditions non optimales, les résultats des mesures auront tendance à pénaliser les performances des moteurs équipés de paliers Vespel®.

Afin d'isoler les émissions sonores du moteur de celles liées au bruit aérodynamique du ventilateur, ce dernier est placé dans une cabine acoustique. Ceci est réalisé en pratique en surélevant le ventilateur de quelques centimètres par rapport au moteur, au moyen d'une pièce d'adaptation qui prolonge l'arbre moteur. Le dispositif expérimental est illustré sur la figure 7.



Figure 7 : Photographies du dispositif expérimental. (a) Partie « moteur » et microphone fixe placé sur la droite. (b) Ventilateur déporté dans la cabine acoustique.

Les relevés de pression acoustique sont effectués en un point fixe, situé à environ 10 cm du moteur électrique (cf. figure 7a). Et de façon analogue à la configuration sans charge, les mesures vibratoires sont réalisées au moyen du vibromètre laser en deux points du moteur : sur la carcasse métallique du stator, et sur le flasque au niveau du palier.

II.2. Résultats des études vibratoires et acoustiques

Les moteurs sont testés pour trois valeurs de tension d'alimentation imposées : 3.0 V, 6.0 V et 8.8 V correspondant respectivement à trois régimes usuels de fonctionnement du moteur : 1000 tr/min, 2000 tr/min, et 3000 tr/min.

II.2.a. Etude vibratoire

Les figures 8a et 8b présentent, à titre d'exemple, le spectre vibratoire au niveau du palier d'un moteur équipé de paliers Vespel® pour un régime moteur d'environ 3000 tr/min.

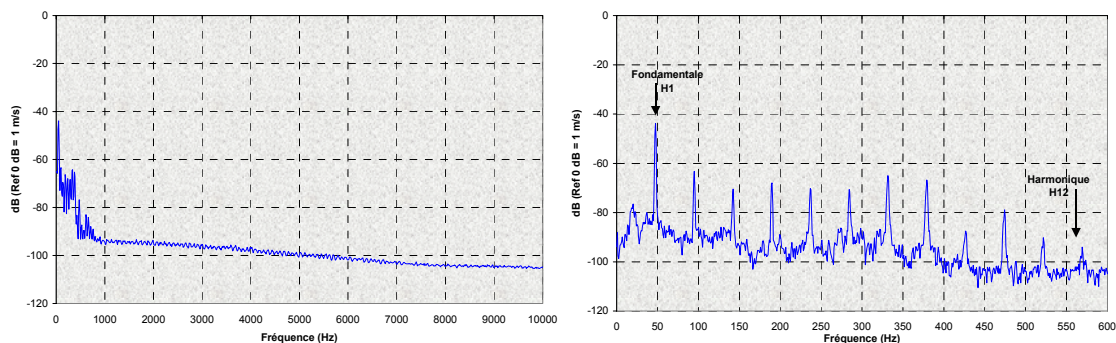


Figure 8 : (a) Spectre vibratoire d'un moteur équipé de paliers Vespel®, mesuré au niveau du palier. Régime moteur : 3000 tr/min. (b) Idem mais focalisé sur les basses fréquences.

Les figures 9a et 9b présentent les valeurs moyennes en dB(lin) des niveaux globaux de vibrations pour les trois régimes moteur considérés et pour chacune des deux « catégories » de moteurs électriques (équipés de paliers d'origine ou de paliers Vespel®).

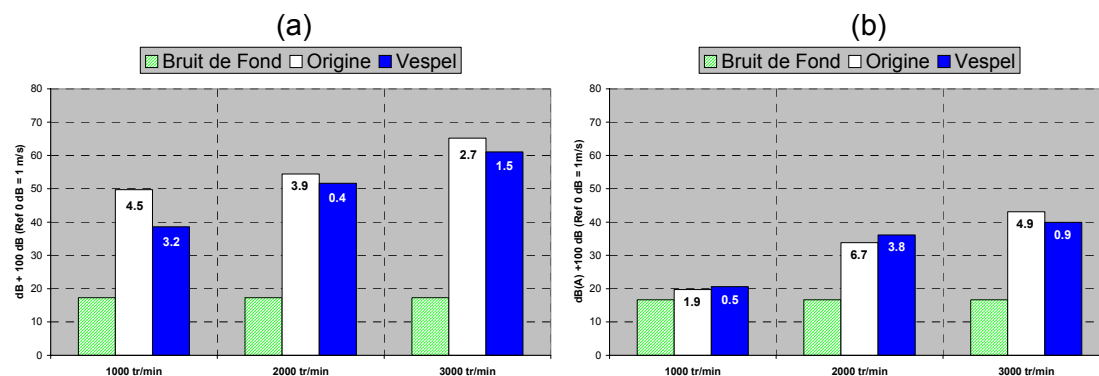


Figure 9 : Niveaux globaux de vibrations mesurés au niveau du palier moyennés par catégorie de moteurs (« origine » ou « Vespel® »). L'écart moyen par rapport à la valeur moyenne est indiqué en haut de chaque histogramme. (a) en dB(Lin) ; (b) en dB(A).

On observe que :

- ✓ les moteurs équipés de paliers Vespel® présentent un niveau de vibrations en dB(Lin) à basse vitesse (environ 1000 tr/min) inférieur à celui des moteurs équipés de paliers d'origine. A vitesse plus élevée (2000 tr/min et 3000 tr/min), les performances mesurées sont sensiblement équivalentes.
- ✓ Les moteurs équipés de paliers Vespel® présentent un niveau de vibrations en dB(A) sensiblement équivalent à celui des moteurs équipés de paliers d'origine.

Ces deux remarques laissent supposer qu'en présence de charge mécanique l'amélioration apportée par les paliers Vespel® vaut essentiellement en basses fréquences. Elle est observée en exprimant les niveaux vibratoires en dB(Lin) et masquée dès lors que la pondération A est utilisée.

Les figures 10a et 10b proposent une comparaison des valeurs moyennes associées à chaque catégorie de moteurs (« origine » et « Vespel® ») du niveau vibratoire à la fréquence fondamentale (H1) et à sa douzième harmonique (H12 : harmonique associée au frottement des balais sur les 12 lamelles de cuivre constituant le collecteur).

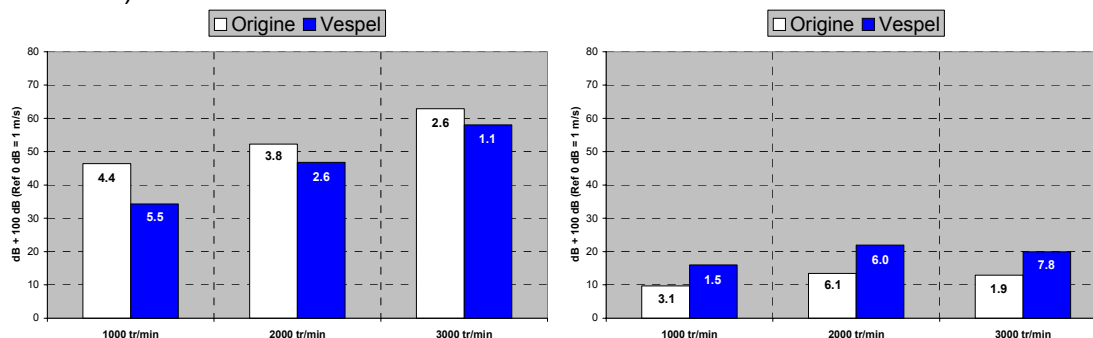


Figure 10 : Niveau vibratoire au niveau du palier exprimé en dB(Lin) pour chacune des deux catégories de moteurs (origine et Vespel®). (a) A la fréquence H1. (b) A la fréquence H12.

Le meilleur comportement vibratoire des moteurs équipés de paliers Vespel® apparaît distinctement sur la fréquence fondamentale de vibrations (H1). L'amélioration semble d'autant plus importante que le régime moteur est bas.

Concernant l'harmonique H12, les niveaux vibratoires mesurés sont sensiblement équivalents, avec une tendance plutôt en faveur des moteurs équipés de paliers d'origine.

II.2.b. Etude acoustique

La figure 11 présente les niveaux globaux acoustiques moyens obtenus au point de relevé microphonique (défini au §II.1), exprimés en dB(Lin). Ces résultats montrent que, lorsque le moteur est équipé de sa charge mécanique (ventilateur), le rayonnement acoustique du moteur électrique ne semble pas significativement modifié selon que les paliers sont d'origine ou Vespel®.

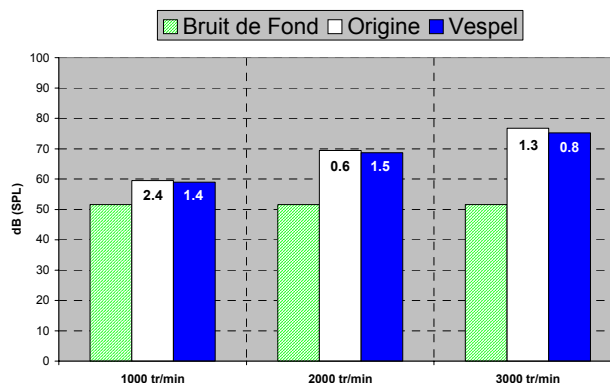


Figure 11 : Niveaux acoustiques globaux selon la catégorie du moteur (origine ou Vespel®) et le régime moteur, exprimés en dB(Lin).

II.2.c. Analyse de corrélations vibrations / acoustique

La figure 12 fait apparaître la fréquence fondamentale et ses harmoniques pour un moteur (ici équipé de paliers Vespel®) muni de sa charge mécanique. Les harmoniques sont identifiables aussi bien en vibrations qu'en acoustique.

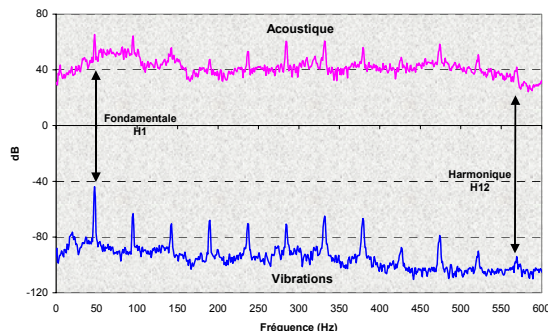


Figure 12 : Spectres vibratoire et acoustique d'un moteur équipé de paliers Vespel®, vitesse 3000 tr/min. Vibrations mesurées au niveau du palier.

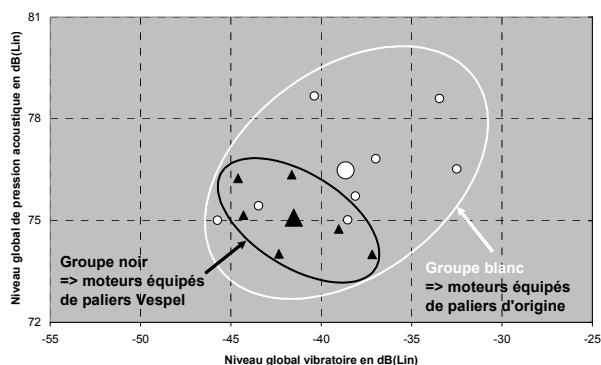
Sur la figure 13 on observe la faible corrélation entre les niveaux globaux acoustique et vibratoire des moteurs équipés de leur charge mécanique. Toutefois, en identifiant les points de mesure selon leur appartenance à la catégorie des moteurs équipés ou non de paliers Vespel®, on extrait une information importante relative à la dispersion des performances vibroacoustiques des moteurs équipés des deux types de paliers. En effet, deux ensembles de points correspondant aux deux catégories sont mis en évidence par deux ellipses dont les axes principaux ont pour centre la moyenne des points de chaque ensemble.

Les moteurs équipés de paliers d'origine présentent des comportements vibratoires très différents, contrairement aux moteurs équipés de paliers Vespel® (dispersion moindre sur les valeurs des performances vibroacoustiques). De plus, l'ensemble associé aux moteurs équipés de paliers Vespel® est situé dans une zone à faibles niveaux vibratoire et acoustique. Cette observation semble d'autant plus intéressante que les moteurs équipés de paliers Vespel® souffrent *a priori* d'un handicap relatif à leurs montages et démontages successifs.

Figure 13 : Mise en évidence des deux catégories de moteurs.

Δ : moteurs équipés de paliers Vespel® .
 O : moteurs équipés de paliers d'origine.

Les valeurs moyennes sont repérées par les symboles de grande taille.



Conclusion

Les résultats présentés sont extraits d'une étude plus complète de l'incidence de l'installation de paliers hybrides innovants Vespel®-élastomère sur le comportement vibroacoustique de moteurs électriques [2]. Afin de mettre en évidence les améliorations apportées par ces nouveaux paliers en termes de réduction de bruit et de vibrations, les moteurs testés sont étudiés selon deux configurations : avec et sans charge mécanique (ici la charge est un ventilateur).

En l'absence de charge mécanique, les différentes analyses comparatives effectuées montrent une amélioration des performances vibroacoustiques pour les moteurs équipés de paliers Vespel® (amélioration d'environ 13 dB(A) sur le niveau vibratoire global et d'environ 10 dB(A) sur le niveau global de pression acoustique), et ce essentiellement aux basses et moyennes fréquences (300 Hz à 2kHz).

Les essais effectués sur des moteurs en présence de leur charge montrent, après analyse des résultats sur l'ensemble des moteurs, une amélioration du comportement vibroacoustique en faveur de la solution Vespel®, particulièrement aux basses fréquences. En outre, les moteurs équipés des paliers Vespel® présentent une dispersion sur les valeurs de performances vibratoires et acoustiques inférieure à celle relative aux moteurs équipés de paliers classiques. Ces gains de performance résultent des actions conjointes du Vespel® et de l'élastomère qui améliorent le guidage de l'axe, procurent un coefficient de frottement faible et constant, et introduisent un amortissement au niveau du palier.

Ainsi, moyennant une modification mineure (remplacement des paliers d'origine par des paliers Vespel®) d'un moteur électrique, il est possible d'améliorer significativement les performances vibroacoustiques de ce dernier, et ainsi de contribuer à l'amélioration du confort acoustique au sein de l'habitacle automobile.

Références

[1] J.-L. BOZET, P. POYSAT, P. MEROT, *Theoretical and experimental characterization of polyimide dry bushings*, ImechE 2000.

[2] C. RIBEIRO, S. POGGI, *Etude de l'incidence de paliers hybrides sur le comportement vibroacoustique de moteurs électriques*, Rapport Technique (Réf. CR 02085A), ALCTRA, 2002.