

# Evaluation prévisionnelle du comportement acoustique de composants automobiles Etude expérimentale Analyse prévisionnelle par réseaux de neurones formels

C. RIBEIRO                      I. BERECHET                      G. ALCURI  
ALCTRA - 60 Bvd Henri Barbusse - 93100 Montreuil sous Bois.

**Résumé :** Ce papier présente les résultats d'un travail expérimental et prédictif des conséquences acoustiques aériennes du comportement vibratoire d'un ensemble mécanique installé dans le compartiment moteur de véhicules. Un banc d'essais a été développé pour l'obtention de paramètres vibratoires dans des conditions représentatives. Un procédé de calcul conduit à l'estimation de l'environnement acoustique dans l'habitacle à partir des données issues du banc. Une méthode d'analyse neuronale permet l'extension prédictive des conséquences des paramètres perturbateurs.

## INTRODUCTION

L'objectif de cette recherche est l'élaboration d'une méthode de caractérisation vibro-acoustique d'un composant automobile particulier. Cette méthode permet, à partir de la caractérisation du comportement vibratoire de l'élément, de prédire le comportement acoustique de ce dernier dans l'habitacle du véhicule.

Un outil né de cette recherche est d'ores et déjà opérationnel dans les centres d'essais de composants automobiles.

Un traitement par réseaux de neurones apporte aux prédictions un caractère exhaustif (zones non accessibles expérimentalement, validation par des critères numériques et qualitatifs...).

## I ETUDE EXPERIMENTALE

Les résultats de l'étude vibro-acoustique préliminaire effectuée ont permis de déterminer les voies de propagations prédominantes du bruit de l'élément étudié. Les conclusions suivantes sont sorties de cette étude : le bruit mesuré dans le véhicule est fortement lié aux vibrations du moteur, il est transmis exclusivement par voie vibratoire, la géométrie et la structure de transmission ont peu d'influence.

Ces conclusions ont permis d'envisager la conception et la construction d'un banc d'essai « prototype ». Ce banc permet de mesurer le niveau vibratoire et de déterminer ensuite la signature spectrale du composant (figure 1). Le spectre du signal vibratoire permet de prédire le niveau sonore dans l'habitacle à partir de la fonction de transfert caractérisant chaque véhicule.

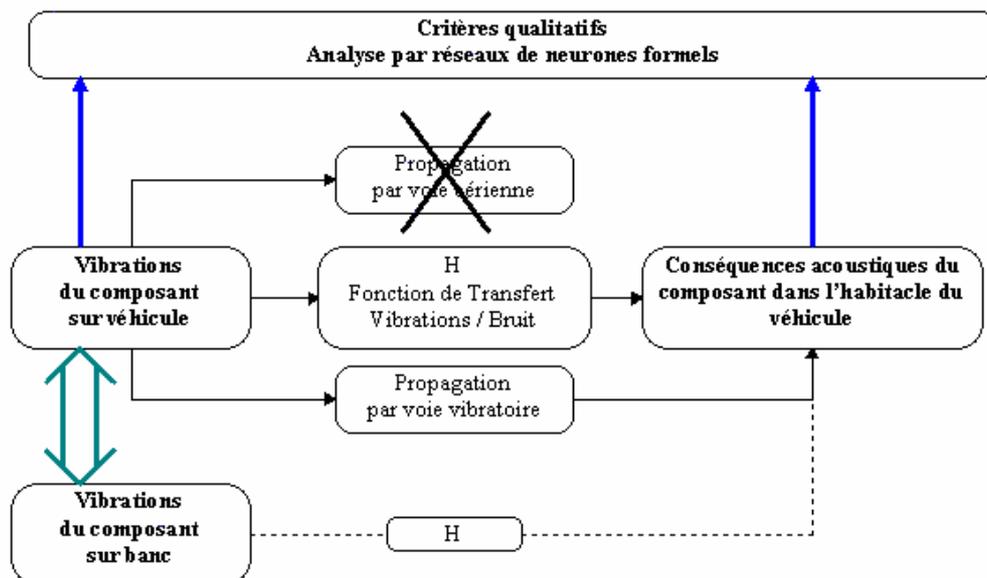
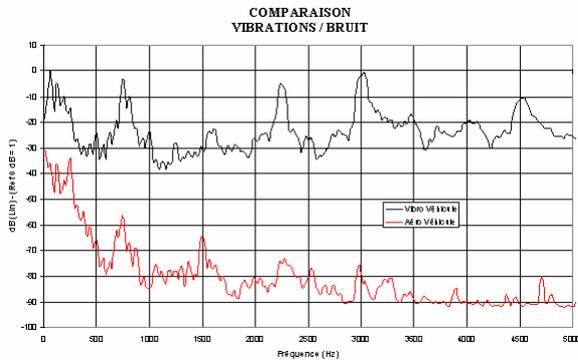


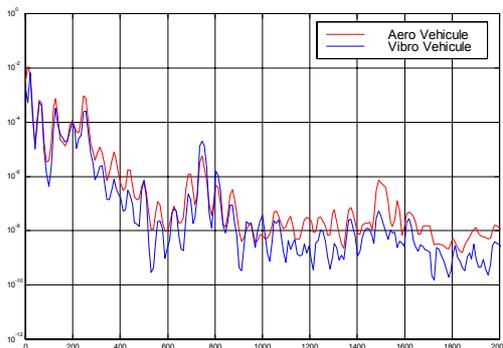
Figure 1  
Procédure expérimentale

Les résultats obtenus sur le banc ont été validés par comparaison avec les niveaux des vibrations relevés sur le véhicule. Il est apparu que le contenu spectral des signaux vibratoires présente une bonne corrélation avec les spectres de bruit dans l'habitacle jusqu'à environ 2000 Hz (figure 2).



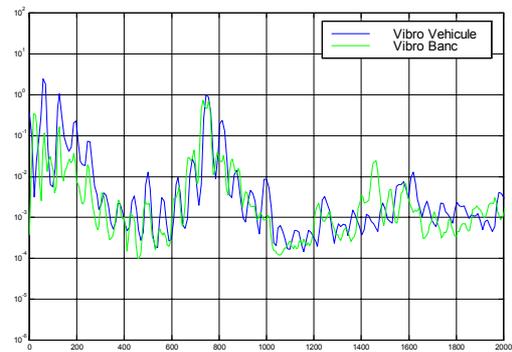
**Figure 2**  
**Comparaison des Autospectres**  
**(Vibrations du composant / Bruit dans l'habitacle)**

Cette bonne corrélation des signaux permet d'envisager l'existence d'une fonction de transfert vibrations / bruit associée au véhicule et indépendante du composant étudié. Cette fonction de transfert a été calculée pour 6 échantillons différents. Il apparaît que la fonction de transfert vibrations / bruit est quasiment identique dans les 6 cas de figure. Nous avons donc calculé la fonction de transfert moyenne. Cette fonction est caractéristique de chaque véhicule, elle permet d'évaluer la qualité du véhicule du point de vue des conséquences acoustiques du composant étudié. La figure 3 présente l'autospectre du bruit mesuré dans l'habitacle et son équivalent obtenu par calcul à partir des niveaux vibratoires et de la fonction de transfert moyenne associée au véhicule.



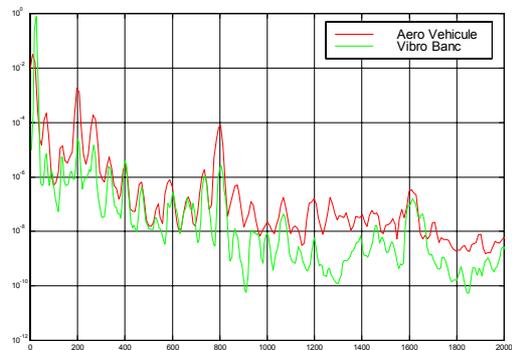
**Figure 3**  
**Autospectre**  
**« Bruit dans le véhicule »**

Le banc permet d'obtenir des mesures aussi fidèles que possible aux mesures équivalentes réalisées sur véhicule. Ce souci d'obtenir des signaux vibratoires donnant une image fidèle du comportement vibratoire du moteur sur véhicule, a abouti à un important travail d'optimisation. La figure 4 présente les résultats obtenus avec le banc d'essai (comparaison des autospectres de vibrations sur le banc et sur le véhicule).



**Figure 4**  
**Autospectres « Vibrations du composant »**

La figure 5 présente les prévisions obtenues à partir du banc d'essai prototype et les mesures des niveaux sonores dans l'habitacle.



**Figure 5**  
**Autospectres « Bruit dans le véhicule »**

Afin d'obtenir un classement représentatif de la gêne acoustique induite par le composant étudié sur le conducteur, un premier critère qualitatif a été mis en place. Prochainement un nouveau critère tenant compte de paramètres psycho-acoustiques est envisagé. L'opération de classement qualitatif pilotée par « réseaux de neurones » permet, quelque soit le critère choisi, d'obtenir un classement identique à celui réalisé sur véhicule.

## II ANALYSE PREVISIONNELLE PAR RESEAUX DE NEURONES FORMELS

Le comportement non linéaire du composant étudié, principalement en hautes fréquences, nous a orienté vers une analyse complémentaire des données expérimentales, par réseaux de neurones formels :

- évaluation prévisionnelle,
- évaluation qualitative.

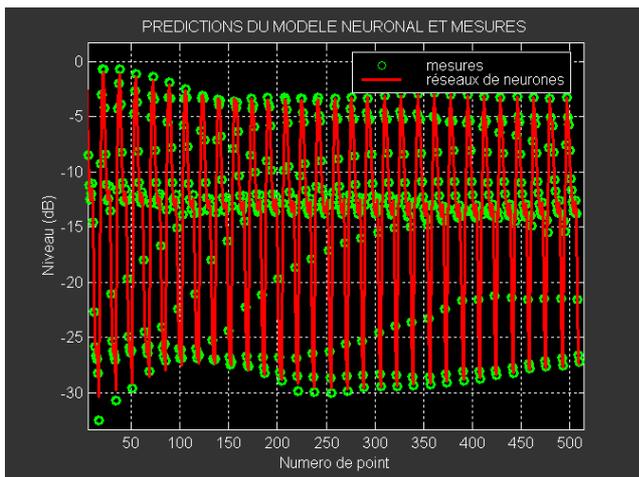
Les techniques neuronales utilisées ont été directement intégrées au processus d'estimation prédictive du comportement acoustique du module fonctionnel étudié.

Une approche par réseaux de neurones autorise une optimisation des fonctions multivariées sous certaines contraintes, mais également une modélisation de comportements physiques non linéaires.

### II - 1 Optimisation des fonctions multivariées sous contraintes

Dans le cas de fonctions multivariées sous contraintes, le travail d'optimisation effectué par réseaux de neurones formels s'appuie sur :

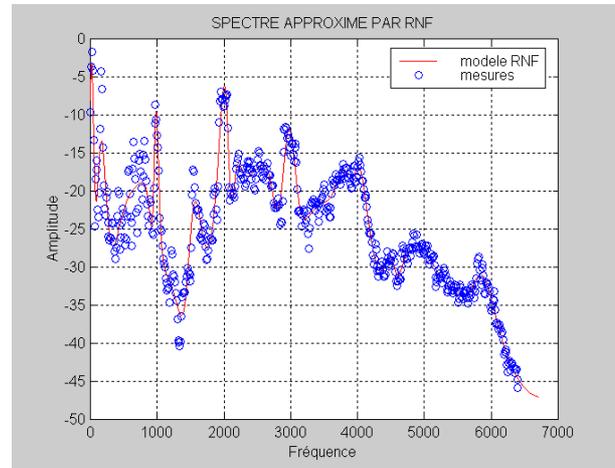
- une intégration dynamique des contraintes,
- des cartographies des variables et leurs corrélations,
- une localisation des discontinuités,
- des critères de stabilité et de robustesse .



**Figure 6**  
*Approximation du signal temporel*

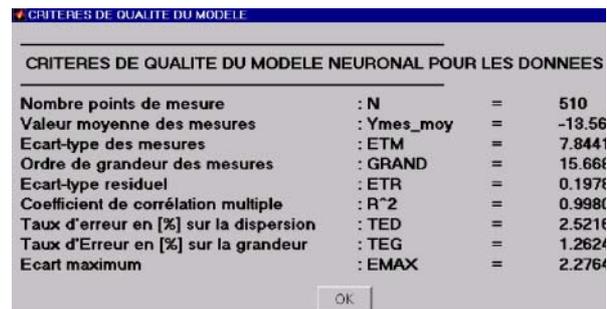
La figure 6 présente l'approximation obtenue par réseaux de neurones du signal temporel associé au comportement vibratoire du composant étudié.

La figure 7 présente l'approximation obtenue par réseaux de neurones du spectre associé au comportement vibratoire du composant étudié.



**Figure 7**  
*Approximation spectrale*

La figure 8 présente le critère permettant une appréciation qualitative du modèle neuronal utilisé dans notre application.

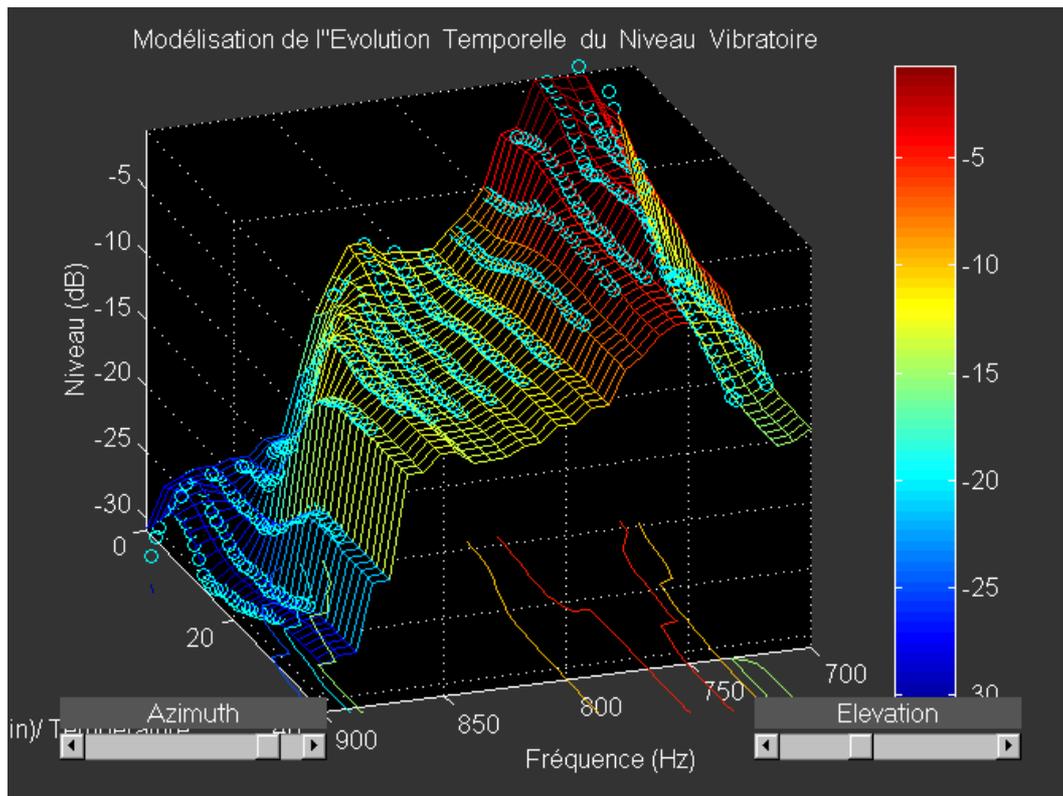


**Figure 8**  
*Critères de stabilité et de robustesse*

### II - 2 Modélisation de comportements physiques non linéaires

La modélisation de comportements physiques non linéaires repose sur une intégration des connaissances expérimentales et/ou empiriques (figure 9). Elle permet :

- une modélisation dans des « zones » non accessibles expérimentalement, mais présentant un intérêt pratique,
- une intégration dans l'algorithme d'apprentissage et de validation des « souhaits dans le comportement du modèle » non explicites mathématiquement,
- une validation des résultats N - dimensionnels par « coupes 3D successives » des courbes de niveaux superposés avec les points expérimentaux.



**Figure 9**  
*Prévision de l'évolution spectrale du composant étudié en fonction du temps à partir des connaissances expérimentales*

## CONCLUSIONS

**A** - Le banc d'essai permet de retrouver les niveaux vibratoires du composant sur véhicule.

**B** - Les mesures sur le banc permettent de prédire le comportement acoustique du moteur dans l'habitacle.

**C** - Le banc d'essai autorise la sélection du point de vue du comportement acoustique de l'ensemble composant / véhicule dans la phase de conception d'un nouveau véhicule.

**D** - La définition des critères qualitatifs permettent aux différents fournisseurs de concevoir des produits répondant aux nouvelles exigences fixées par ces critères.

**E** - Une approche par « réseaux de neurones » est intéressante sachant que :

- leur réponse est robuste par rapport aux erreurs de mesure et les perturbations extérieures ;

- leur connaissance est évolutive avec l'enrichissement de la base de données (des essais à effectuer avec différents échantillons et différents véhicules ont été effectués) ;

- leur temps de réponse est réduit ;

- ils sont facilement intégrables dans le logiciel de calcul lié à l'acquisition des données.

Dans un second temps, la connaissance de la fonction de transfert vibrations / bruit associée au véhicule permettra de choisir de façon optimale le composant adéquat. Une recherche des paramètres influents dans la propagation des vibrations permettrait à terme une modélisation de la fonction de transfert et l'optimisation du comportement vibro-acoustique du véhicule dès la phase d'avant projet.

## Références bibliographiques

ALCURI, G., BERECHET, I., "Réseaux de neurones formels dans les applications en biologie marine" Actes du 4<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique, Vol 2, 1153-1156, (1997)