

Design de l'ambiance sonore d'un véhicule automobile

Méthode et outil pour le contrôle de la coloration moteur

Florent Richard,
Vincent Roussarie
 PSA Peugeot Citroën,
 2 route de Gisy,
 78 943 Vélizy – Villacoublay,
 France
 florent.richard@mpsa.com,
 vincent.roussarie@mpsa.com

Cet article montre comment PSA Peugeot Citroën a développé son propre outil de design sonore, en collaboration avec l'IRCAM, et comment cet outil permet d'analyser et de concevoir le typage sonore d'un véhicule en intégrant les contraintes de faisabilité technique.

Introduction – contexte

L'identité d'un véhicule se fonde sur la cohérence de différents éléments tels que le style extérieur, les couleurs et matières, le comportement dynamique ou encore l'ambiance sonore dans l'habitacle. En situation de conduite, le conducteur et les passagers reçoivent – souvent inconsciemment – de nombreuses informations via le retour acoustique : état du moteur (rapport de boîte de vitesse, régime...), environnement extérieur (vent, trafic, surface de la route...), état du véhicule (bruit de dysfonctionnement...), ou encore puissance du véhicule (potentiel d'accélération...). Les sources acoustiques d'un véhicule doivent donc être contrôlées de façon à assurer le confort des passagers et à faire en sorte que les informations sonores pertinentes soient reçues par le conducteur, dans un « style » cohérent avec le typage global du véhicule. Ceci est particulièrement important pour les voitures sportives ou pour les puissantes berlines haut de gamme, dans la mesure où le son peut influencer la perception du comportement dynamique du véhicule[1]. Plus généralement, la maîtrise de l'identité et du typage sonore d'un véhicule est une façon d'améliorer la cohérence sensorielle et la qualité perçue, et donc d'assurer la satisfaction du client. C'est la raison pour laquelle les constructeurs automobiles étudient la qualité sonore de leurs produits au même titre que l'esthétique ou l'ergonomie.

PSA Peugeot Citroën étudie notamment le typage sonore de ses véhicules 4 cylindres essence pour améliorer la spécification de leur identité sonore. L'équipe Perception et Facteurs Humains contribue à ces travaux à différents niveaux de la démarche de design sonore :

- 1- compréhension de la perception du son des véhicules par les clients, et identification des paramètres du signal prépondérants [2],
- 2- positionnement des véhicules du groupe par rapport à la concurrence « benchmark acoustique », et identification de typages sonores,
- 3- identification des attributs sonores et des paramètres du signal correspondant aux typages sonores identifiés,
- 4- définition de sons cibles en intégrant les contraintes techniques liées à l'acoustique véhicule.



Le premier point a été en partie présenté au Journées du Design Sonore 2002 [2]. Des outils spécifiques devaient encore être développés pour mener à bien les points 2, 3 et 4 de la démarche de design sonore.

En se fondant sur l'exemple d'une étude complète de typage sonore, cet article montre comment nous avons développé HARTIS (HARmonics Real Time Synthesis), notre propre outil de design sonore en collaboration avec l'IRCAM, et comment il nous permet d'analyser et de « designer » le typage sonore d'un véhicule en intégrant des contraintes de faisabilité technique.

Dans la première partie, nous verrons comment mesurer et analyser le bruit d'un véhicule. Dans la seconde partie, nous présentons la première version de HARTIS. La section suivante montre comment nous pouvons réaliser un « morphing » entre 2 sons pour identifier les harmoniques moteur prédominantes. Finalement, nous verrons comment HARTIS/PLD nous permet de simuler et de modifier l'ambiance sonore d'un véhicule dans n'importe quelle situation de vie à l'aide d'un patch de contrôle dynamique.

Mesure et analyse : déconstruction du signal original

La première étape de la démarche de design sonore consiste à comprendre la composition du son mesuré dans l'habitacle en roulage. Dans un premier temps, on enregistre le bruit habitacle dans différentes situations de vie à l'aide d'une tête artificielle. Une représentation temps – fréquence nous permet de poser l'hypothèse que la partie harmonique du signal (les harmoniques moteur) jouent un rôle important dans la perception du bruit véhicule.

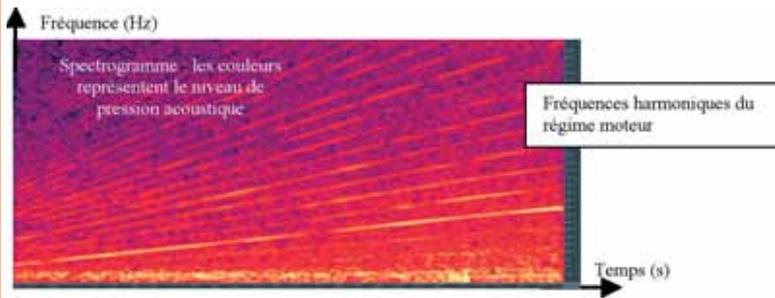


Fig. 1 : Représentation temps – fréquence (voie gauche) d'un signal par un un algorithme FFT glissant. Le signal a été mesuré dans une voiture en accélération avec un mannequin acoustique en position passager avant. On observe que les fréquences des harmoniques augmentent avec le régime moteur.

Pour analyser finement les contributions des harmoniques moteur au typage sonore, il est nécessaire de décomposer le son de façon à en isoler la partie harmonique. Nous utilisons pour cela le programme ADDITIVE développé par l'IRCAM qui extrait les caractéristiques des harmoniques (fréquence, amplitude et phase) en fonction du régime moteur. ADDITIVE extrait également un "bruit résiduel" correspondant au signal original auquel on a soustrait les composantes harmoniques détectées. Cette analyse est détaillée à la Fig. 2.

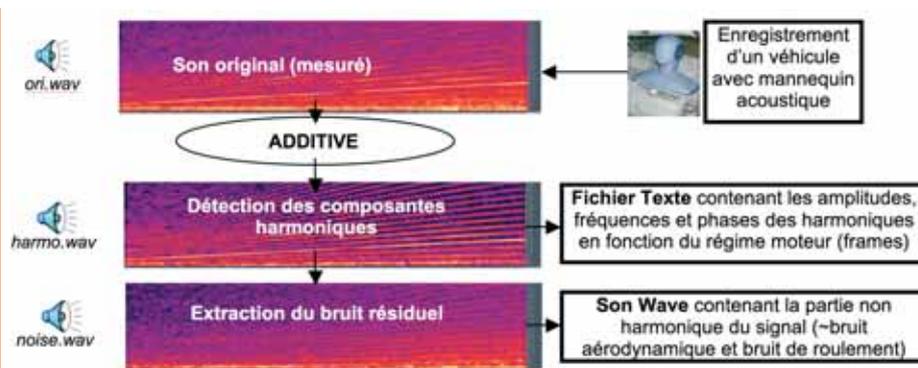


Fig. 2 : Analyse. Le son enregistré est décomposé en une partie harmonique (son wav et fichier texte) et une partie bruitée (son wav) avec le programme ADDITIVE. Ces deux parties sont utilisées pour resynthétiser le bruit du véhicule.

Une fois le son décomposé, l'étape suivante consiste le rejouer et à contrôler en temps réel ses principaux paramètres.

Resynthèse – Etape 1 : rejeu paramétrique d'un son enregistré

Principe

Nous souhaitons construire un outil qui rejoue le son enregistré et permet le contrôle en temps réel de paramètres tels que le niveau des harmoniques moteur, le niveau de bruit ou encore des filtrage simples. Pour cela, la plateforme JMAX de l'IRCAM (environnement de programmation modulaire pour traitement du signal audio en temps réel) nous apporte une solution idéale. Ainsi, nous avons construit HARTIS (HARmonic Real Time Synthesis) qui permet de resynthétiser n'importe quel son préalablement analysé.

La resynthèse de la partie harmonique est réalisée par synthèse additive (algorithme FMO de JMAX) [3]. Pour la partie bruitée, on utilise l'algorithme Smooth Overlap Granular Synthesis [4]. Avec HARTIS nous pouvons simuler différents profils harmoniques et différents équilibrages de sources (Fig. 3).

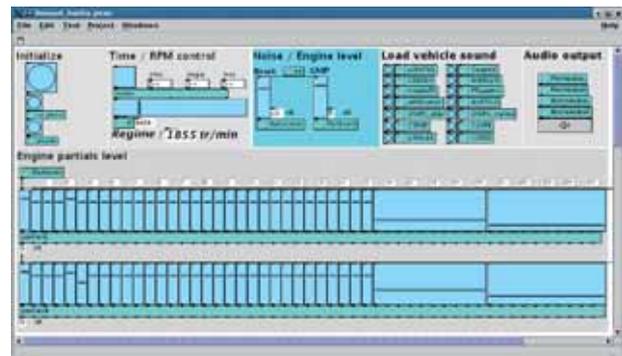


Fig. 3 : Interface utilisateur de HARTIS. Après initialisation, plusieurs véhicules peuvent être chargés et rejoués automatiquement ou manuellement. Le niveau global du moteur et du bruit (aérodynamique + roulement) peuvent être contrôlés indépendamment

Application

L'intérêt de HARTIS est de pouvoir étudier l'influence de paramètres du signal sur la perception de l'identité sonore. Des bases de sons entièrement paramétrées peuvent être construites pour la mise en place de tests perceptifs sur un attribut auditif particulier. [Exemple] Dans une approche purement signal (en s'affranchissant des contraintes techniques), on peut atténuer très fortement l'harmonique 2 du régime moteur (due au processus de combustion) et amplifier les harmoniques d'ordre plus élevé

pour transformer un son "lisse" et "bourdonnant" en un son plus "métallique" et "rugueux" correspondant à un typage sportif identifié dans les études précédentes [1] (Fig. 4).

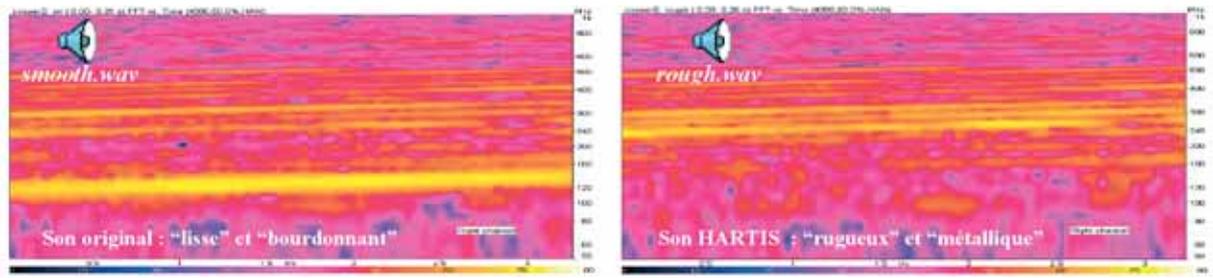


Fig. 4 : Le spectrogramme de gauche représente un son d'accélération mesuré en véhicule. Le spectrogramme de droite représente le même son resynthésisé avec HARTIS en supprimant l'harmonique 2 (en partie responsable du bourdonnement) et en amplifiant les harmoniques 3.5, 4 et 4.5 (en partie responsable de la sensation de rugosité).

Resynthèse – étape 2 : morphing sonore

Principe

Afin de pouvoir comparer finement le profil harmonique de deux sons, nous avons développé un patch de morphing sonore qui interpole continûment entre les fréquences et les amplitudes des harmoniques des deux sons, à l'aide d'un curseur (Fig. 5).

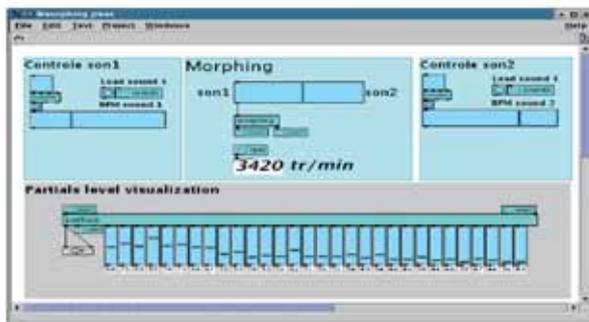


Fig. 5 : interface utilisateur du patch de morphing. Le slider central contrôle l'interpolation entre 2 sons. Les sliders et les afficheurs en bas de l'écran représentent le niveau des harmoniques moteur et permettent l'identification visuelle des harmoniques dominantes.

Application

Ce patch nous est utile pour comprendre le rôle des différentes harmoniques moteur dans le typage sonore et pour identifier les harmoniques les plus importantes à contrôler dans la démarche de design sonore avec HARTIS.

[Exemple] Identification auditive des profils d'harmoniques entre un son "feutré" et un son "sportif" (Fig. 6).

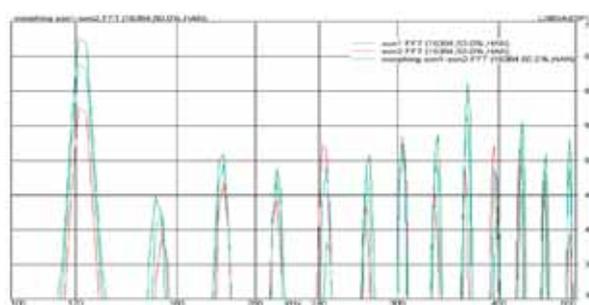


Fig. 6 : spectre d'un son "sportif" (en vert) d'un son "feutré" (en rouge) et d'un son intermédiaire (en bleu). On observe que le son « sportif » présente globalement des niveaux sonores plus importants d'harmoniques moteur et qu'il possède des harmoniques consécutives d'ordre élevé contribuant à la sensation de rugosité.

Resynthèse – étape 3 : simulation de conduite à l'aide d'un patch de contrôle dynamique

Principe

Jusqu'à cette étape, HARTIS était capable de resynthésiser le son d'un véhicule uniquement dans quelques situations de vie préalablement mesurées. Nous avons besoin d'un outil plus générique nous permettant de recréer n'importe quelle situation de vie, sans perdre de temps à mesurer des centaines de scénarii de conduite. Ainsi nous avons développé un patch qui calcule la dynamique véhicule (PLD) à partir l'équation fondamentale de la dynamique. Ce patch de contrôle dynamique calcule en temps réel le régime moteur et la vitesse du véhicule en fonction de l'enfoncement de la pédale d'accélérateur (charge) et du rapport de boîte de vitesse engagé. Les données mécaniques (poids, rapports de transmission, coefficients aérodynamiques, couple moteur vs. régime...) de n'importe quel véhicule peuvent être incluses au modèle. A partir de l'enregistrement d'un maximum de cinq charges différentes (0 %, 25 %, 50 %, 75 % and 100 %), le son du véhicule peut être resynthésisé dans n'importe quelle situation de vie grâce à une double interpolation entre la charge et le régime moteur (Fig. 7 page suivante). A l'aide d'une interface MIDI on contrôle l'accélération, le freinage et la boîte de vitesse de façon très réaliste.

L'outil ne serait pas complet s'il ne prenait en compte les énormes contraintes techniques qui limitent les modifications acoustiques dans l'industrie automobile. Ainsi, à l'aide de modèles empiriques construits sur des mesures de PSA ou de ses fournisseurs, nous pouvons nous approcher de la simulation des conséquences acoustiques de modifications du moteur, du système d'admission ou de la ligne d'échappement. Cela nous permet de travailler sur l'ambiance sonore de nos véhicules en restant dans un domaine réaliste.

Application

HARTIS/PLD est utilisé pour différents objectifs :

- comparaison entre des tests perceptifs in situ et en laboratoire,
- création de scénarii de conduite pour tester de nouveaux sons électroniques ou des bruits d'équipements (clignotants, warnings, alertes...),
- simulation des "conséquences acoustiques" de modifications techniques pour tester leur influence sur le jugement du son,
- design sonore et définition de cibles pour les nouveaux véhicules.

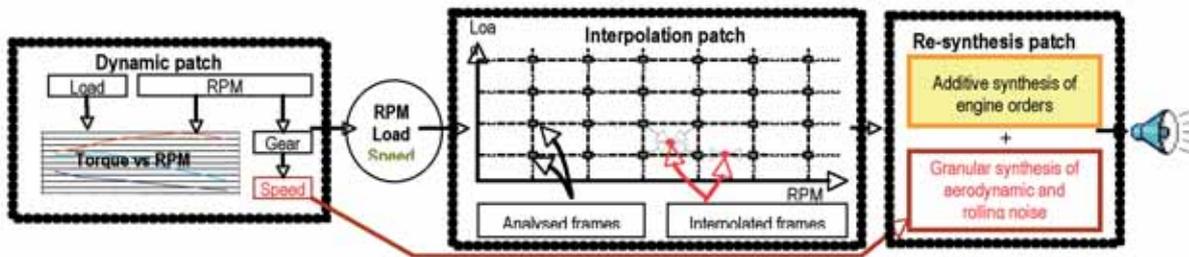


Fig. 7 : Principe de HARTIS/PLD. A partir des informations mécaniques du véhicule, le patch de contrôle dynamique calcule en temps réel le régime moteur et la vitesse véhicule à partir du rapport de boîte de vitesse, de l'enfoncement pédale et du régime moteur initial. A partir de situations de charge et de régime préalablement enregistrées et analysées, le patch d'interpolation calcule les paramètres des harmoniques moteur (frames contenant les fréquences, amplitudes et phases) pour n'importe quel point [charge, régime] donné par le patch de contrôle dynamique. Le patch de resynthèse calcule les harmoniques moteur, à partir des frames interpolés, et le bruit aérodynamique et de roulement à partir de la vitesse véhicule donnée par le patch de contrôle dynamique.

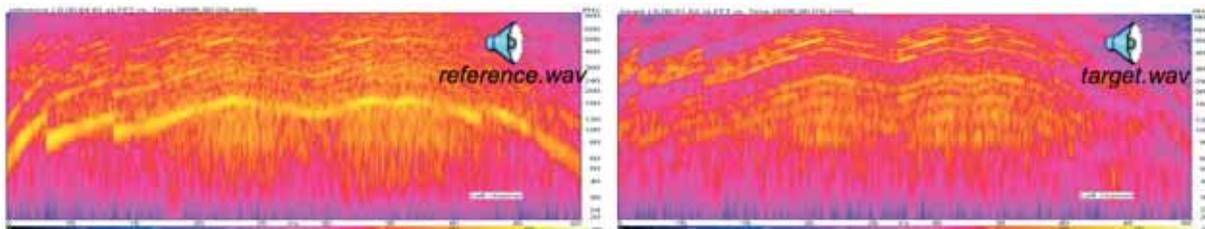


Fig. 8 : spectrogrammes du son original resynthétisé avec HARTIS/PLD (à gauche) et du son modifié pour atteindre le typage sonore spécifié (à droite)

Exemple

Définition d'un son cible. Dans un but d'exploration d'identité sonore sportive pour une Marque, nous avons construit une cible avec HARTIS/PLD à partir d'un véhicule existant. Elle correspond à l'identité sonore que la Marque pourrait chercher à atteindre pour des applications sportives. Les modifications concernent essentiellement le niveau du bruit aérodynamique, le bourdonnement et la coloration moteur dans les médium.

Conclusion

HARTIS/PLD est un outil de resynthèse sonore complet qui peut être utilisé dans de nombreuses étapes de la démarche de design sonore d'un véhicule. Dans le domaine de la recherche (études perceptives en amont), HARTIS/PLD nous permet d'identifier les attributs sonores saillants de typages donnés, et leur corrélation avec des paramètres du signal. Dans le domaine du "marketing" et de la définition du produit, HARTIS/PLD permet de définir des cibles correspondant à l'identité sonore recherchée pour une marque ou un modèle.

Dans une optique industrielle, nous cherchons à faire évoluer HARTIS/PLD vers l'intégration de paramètres de conception véhicule, afin de prendre en compte plus finement les contraintes techniques de l'acoustique véhicule dans le processus de design sonore.

A l'avenir, HARTIS/PLD pourrait également être utilisé pour "designer" le son de nouveaux types de véhicules comme les voitures hybrides ou électriques.

Références bibliographiques

- [1] Perceptive qualification of engine sound character; validation of auditory attributes using analysis-synthesis method. V. Roussarie, F. Richard, M.C. Bezat, CFA/DAGA'04 Proceedings.
- [2] Engine coloration and vehicle sound character; perceptible and sensory qualification of the "sport character". V. Roussarie, Journées du Design Sonore 2002.
- [3] Spectral envelopes and inverse FFT synthesis. X. Rodet, P. Depalle, AS 1992, San Francisco.
- [4] Granular synthesis: an introduction. L. Zadorin, Queensland University of Technology, 1997.