

## **Analyse de la propagation des vibrations dans les carrosseries par l'intensité structurale**

### **Summary**

Car Body vibration propagation analysis using structural intensity

The understanding of vibration propagation in complex structures such as car bodies remains a limiting issue in car body design regarding NVH performance. Current analysis is limited to the low frequency range where modal concepts are dominant. Higher frequencies, between 200 and 1000 Hz, will become critical with the rise of electrification. EVs annoying sounds are mostly whines created by either gears or e-motors between 300 Hz and a 2 kHz. Structural intensity analysis was experienced internally few years ago on a current finite element model. The application was promising but limited by the fact that the propagating 3D intensity vector field is masked by a rotational intensity field. This rotational field can be filtered using a differential operator. The expression of this operator in the framework of finite element modeling is not yet known. The aim of the proposed work is to implement this operator in our current dynamic solver (NASTRAN) and develop the expected methodology for the mid-frequency structural analysis of electrified vehicles.

### **Contexte**

La compréhension de la propagation des vibrations dans des structures complexes ayant de fortes densités modales telles que les carrosseries automobiles reste une préoccupation quotidienne des équipes de développements. Des travaux récents dans le cadre d'un stage bac+5 (mémoire CNAM 2014) ont permis de montrer que nos outils de simulation et de post-traitement étaient à même de calculer et visualiser les champs d'intensité structurale dans les carrosseries. Néanmoins, ces champs présentent des composantes rotationnelles importantes qui masquent les flux d'énergie active, rendant inexploitable les calculs effectués.

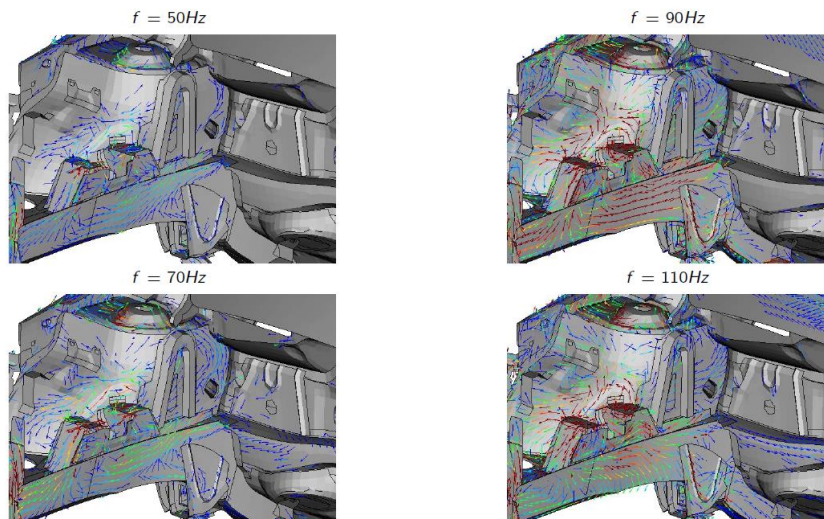
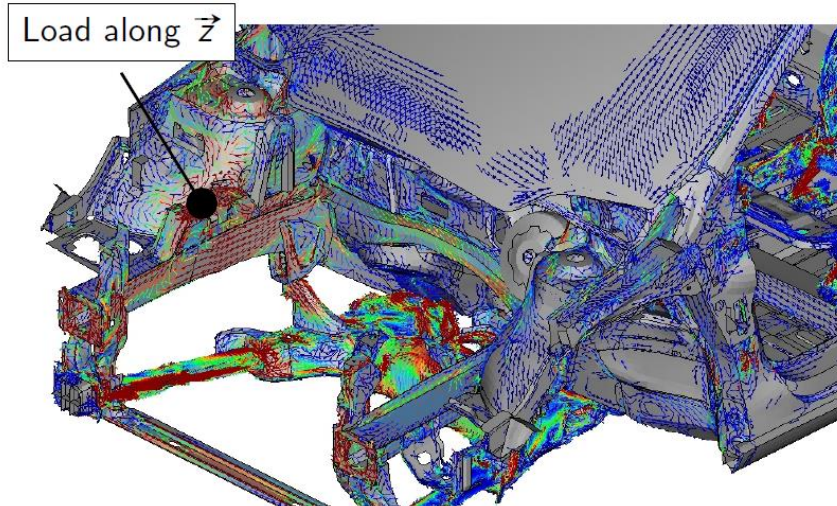
L'arrivée de modèles éléments finis finement maillés rend possible les calculs vibratoires à des fréquences élevées où la pertinence d'une description énergétique de la propagation des vibrations est couramment admise dans la communauté scientifique.

D'un autre côté, les chaînes de traction électrifiées conduisent à une prépondérance à la propagation solidienne en moyennes et hautes fréquences. Si les éléments finis sont à même de simuler les vibrations, il n'existe pas actuellement de techniques d'analyse permettant d'agir efficacement sur les propagations solidiennes.

.....

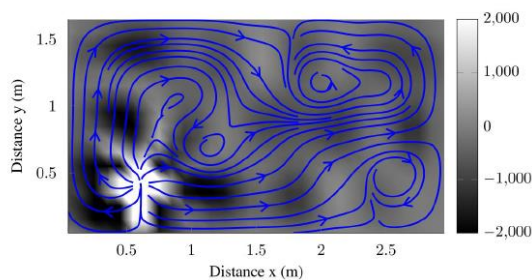
### **Objectif**

Les travaux menés en 2012-2013 dans le cadre du mémoire de diplôme CNAM de Benoit Lamarsaude ont permis de tracer des champs d'intensité structurale (grandeur réelle positive) dans une carrosserie en utilisant les outils métiers standard (NASTRAN, MetaPost) cf figures ci-dessous.

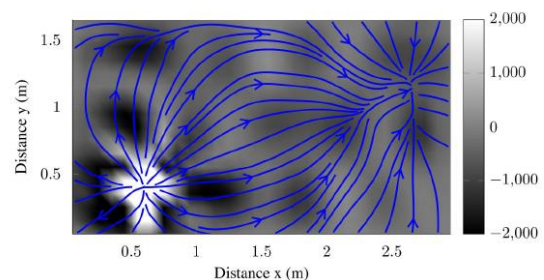


Néanmoins l'exploitation de ces champs s'est avérée extrêmement complexe. La seconde partie du stage a consisté à expliquer cette difficulté. En s'appuyant sur des publications des années 90, portant sur des structures académiques, on a pu (re-)mettre en évidence le rôle perturbateur de la composante rotationnelle du champ d'intensité dans le cas d'une plaque plane comme cela est montré sur les 2 figures suivantes.

Complete active intensity field (streamlines) and divergence (grayscale)



Irrotational active intensity field (streamlines) and divergence (grayscale)



La conclusion de ces travaux était qu'en l'absence de filtrage des composantes rotationnelles, relativement aisée sur une plaque plane, cette technique n'apporte pas les éléments de

compréhension qu'on pourrait en attendre. Ces travaux ont été présentés à la conférence ISMA 2014 à Leuven.

Cette problématique a été soumise en 2015 au Laboratoire de Mathématiques de Besançon, rattaché à l'Université de Franche-Comté, où un groupe de doctorant a pu écrire l'opérateur différentiel à utiliser dans le cadre d'un problème tridimensionnel afin de filtrer la composante irrotationnelle et tracer les lignes de courant associées, montrant ainsi que le problème pouvait être traité par la méthode des éléments finis, conduisant ainsi à la détermination explicite de la composante active.

L'objectif de la thèse est donc de développer les opérateurs de filtrage des composantes rotationnelles du champ d'intensité afin de faire apparaître les lignes de courants qui portent la propagation de l'énergie active, dessinant ainsi les chemins de propagation de l'énergie vibratoire dans une structure quelconque, modélisée par des éléments finis. La connaissance de ces chemins de propagation, leur évolution en fonction de la bande de fréquence considérée, constitue un moyen d'améliorer notre compréhension de la propagation vibratoire dans des structures complexes et hétérogènes telles que la carrosserie qui sera l'objet centrale de l'étude. Le cadre des travaux est la modélisation par élément finis avec le logiciel NASTRAN afin de pouvoir appliquer les résultats de la thèse dans nos projets véhicule.

Le support d'étude choisi est un véhicule électrique. En comparant les résultats obtenus sur caisse en blanc à ceux de la caisse habillée, il sera alors possible de mesurer l'impact des habillages (insonos, amortissants, composants couplés) ou autres solutions potentielles (profilés aluminium, tôles viscoélastiques ...) qui restent aujourd'hui le sujet de nombreuses discussions.

Les travaux menés s'appliqueront potentiellement à tous types de structure modélisée par éléments finis ; ils seront donc transposables aux GMP.

### **Organisation des travaux de recherche**

Après s'être approprié les outils de simulations PSA, et compris les enjeux du sujet du point de vue scientifique et de l'ingénierie (6 mois), le doctorant pourra développer le formalisme mathématique nécessaire à la résolution du problème à l'aide de NASTRAN (6 mois). Avec l'aide du laboratoire, les DMAP correspondants seront développés et validés dans des cas académiques ainsi que les outils de visualisation adaptés (script python dans métapost) (12 mois).

Il pourra ensuite appliquer la technique proposée sur le véhicule support de l'étude dans différentes bandes de fréquences, et différentes configurations d'habillage (12 mois).

### **Intérêt de la thèse**

La recherche a pour objectif de faciliter la compréhension de la propagation des vibrations dans les structures complexes et donc de faciliter la recherche de solutions nouvelles répondant à nos contraintes de coût et de masse, en particulier pour les structures de véhicules électriques qui présentent de nombreuses spécificités. Les travaux effectués seront applicables (et appliqués) directement sur les projets en développement, sans que les performances numériques ne soient cependant optimisées.

Les compétences clés requises pour accompagner un tel travail n'existent pas chez PSA (formulation mathématique, développement DMAP). Le résultat en revanche devra pouvoir être appliqué via le solveur NASTRAN et le post-traitement Metapost qui sont nos outils métiers et seront naturellement mis à disposition du doctorant.

## Bibliographie

Chen, Y. H., Jin, G. Y. and Liu, Z. G. "Vibrational energy flow analysis of coupled cylindrical shell-plate structure with general boundary and coupling conditions." Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science 229.10 (2015)

Gavrić, L., and Pavić, G. "A finite element method for computation of structural intensity by the normal mode approach." Journal of sound and vibration 164.1 (1993)

Lamarsaude, B., Bousseau, Y. and Jund, A. "Structural intensity analysis for car body design: going beyond interpretation issues through vector field processing." ISMA Conference on Advanced Acoustics and Vibration Engineering, Leuven, Belgium (2014)

Liu, Z. S., Lee, H. P. and Lu, C. "Passive and active interior noise control of box structures using the structural intensity method." Applied Acoustics 67.2 (2006)

Dae-Seung Cho, Kyung-Soo Kim and Byung-Hwa Kim, "Structural intensity analysis of a large container carrier under harmonic excitations of propulsion system" Inter J Nav Archit Oc Engng (2010) 2:87~95 DOI 10.3744/JNAOE.2010.2.2.087

Mace, B. R., and Shorter, P. J. "Energy flow models from finite element analysis." Journal of sound and vibration 233.3 (2000)

Pavić, G. "The role of damping on energy and power in vibrating systems." Journal of Sound and Vibration 281.1 (2005)

Petrone, G., D'Alessandro, V., Franco, F., and De Rosa, S. "Numerical and experimental investigations on structural intensity in plates." Composite Structures 140 (2016)

Roozen, B., Guyader, J. L., Glorieux, C., & Muellner, H. "Using the irrotational part of the structural intensity to visualize vibrational energy sources." 23rd International Congress on Sound and Vibration. Academic Press (2016)

Silva, O. M., Neves, M. M., Jordan, R. and Lenzi, A. "An FEM-based method to evaluate and optimize vibration power flow through a beam-to-plate connection." Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 39.2 (2017)

Stoewer, T., Johannes E., and Tobias M. "Opportunities and Limitations of Structural Intensity Calculation Regarding Uncertainties in the NVH Design of Complex Vehicle Body Structures." Applied Mechanics and Materials. Vol. 807. Trans Tech Publications (2015)

Condition de nationalité : le recrutement en thèse dans le dispositif CIFRE France-Maroc est réservé aux candidats de nationalité marocaine

Contact :

Morvan OUISSE - morvan.ouisse@femto-st.fr