

Vérification & validation de modèles en vibroacoustique




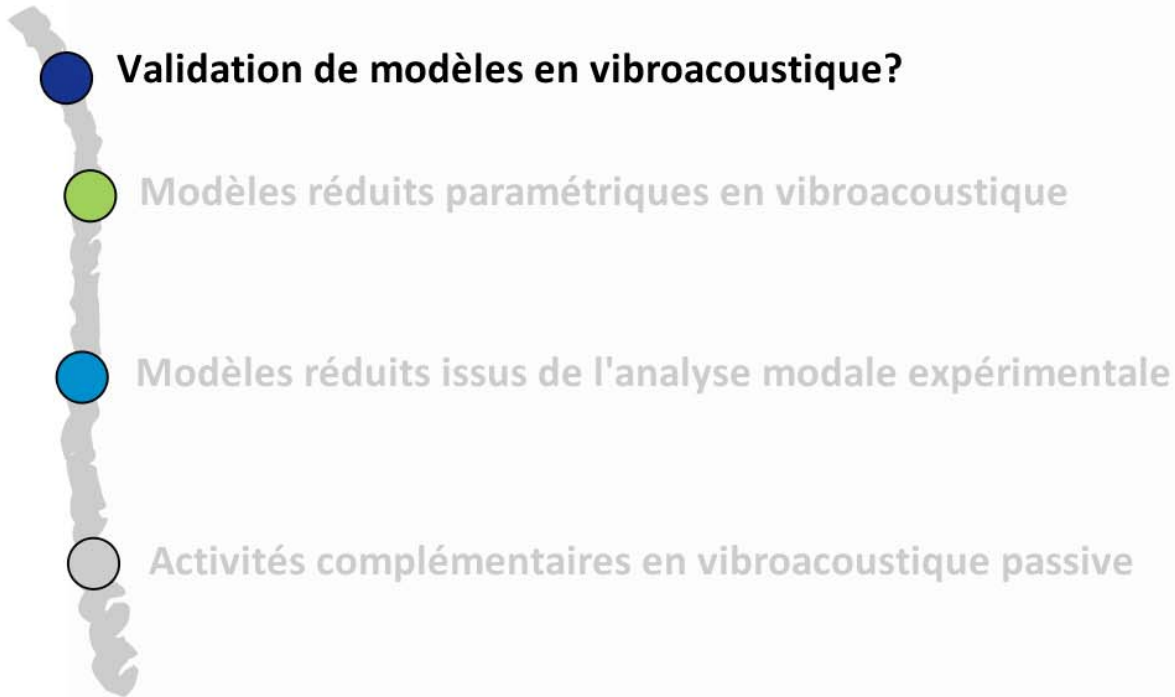
25/26 novembre 2010

ESAV, Toulouse

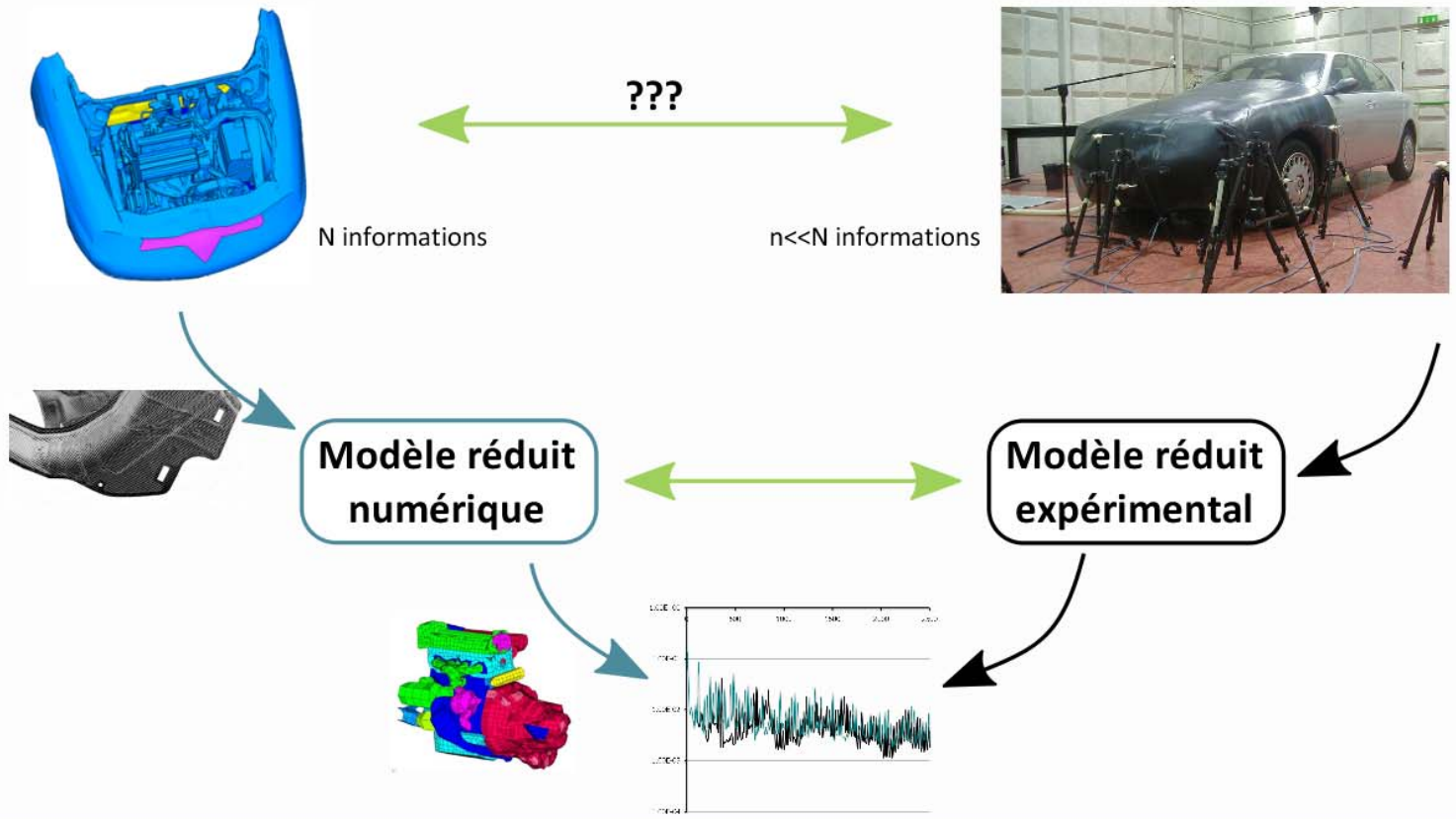


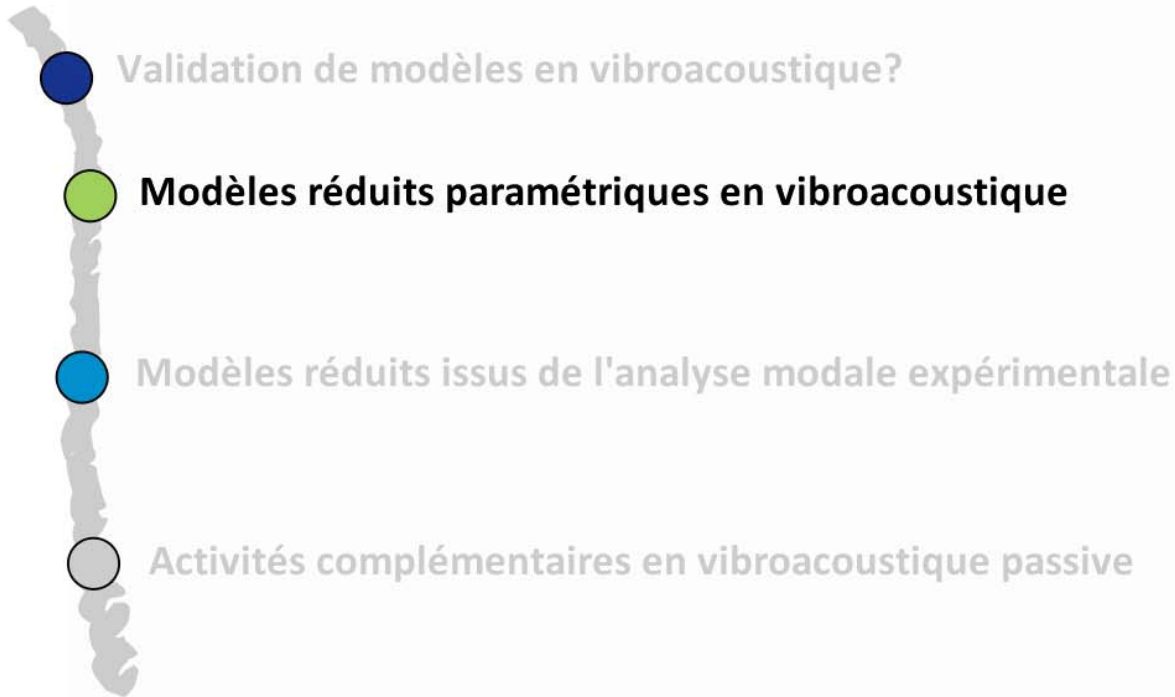
Morvan OUISSE - FEMTO-ST

- 
- **Validation de modèles en vibroacoustique?**
 - **Modèles réduits paramétriques en vibroacoustique**
 - **Modèles réduits issus de l'analyse modale expérimentale**
 - **Activités complémentaires en vibroacoustique passive**

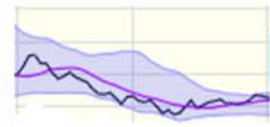
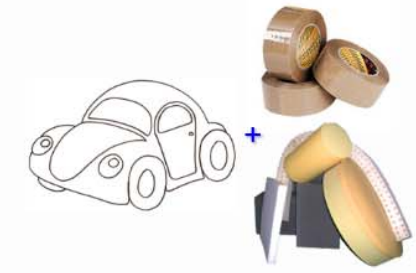


- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
 - Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
 - Activités connexes en vibroacoustique

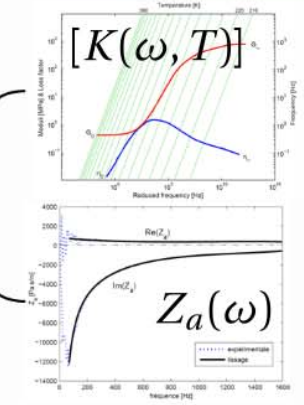




- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique



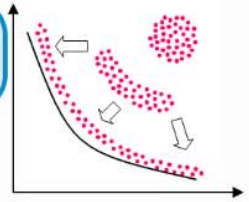
Modèle de grande taille, complexe



Propagation d'incertitudes

Coûteux

Optimisation multi-objectifs



Réduction de modèle

Réduction robuste

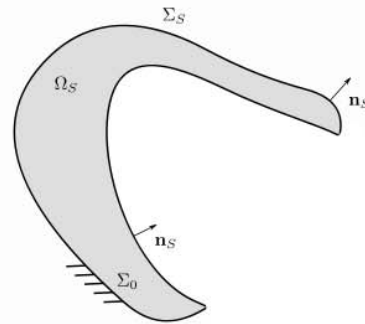
Thèse Q.H. Tran, 2009

- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques**
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique

$$\left(\begin{bmatrix} K_S & -L \\ 0 & K_F \end{bmatrix} - \omega^2 \begin{bmatrix} M_S & 0 \\ L^T & M_F \end{bmatrix} + \frac{i\omega}{Z_a(\omega)} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & A_F \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} U \\ P \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_S \\ 0 \end{Bmatrix}$$

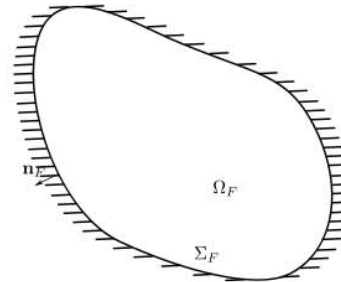
$$[Z(\omega)]\{q\} = \{f\} \Rightarrow [T^T Z(\omega) T]\{q_r\} = \{T^T f\}$$

Modes de structure
in vacuo

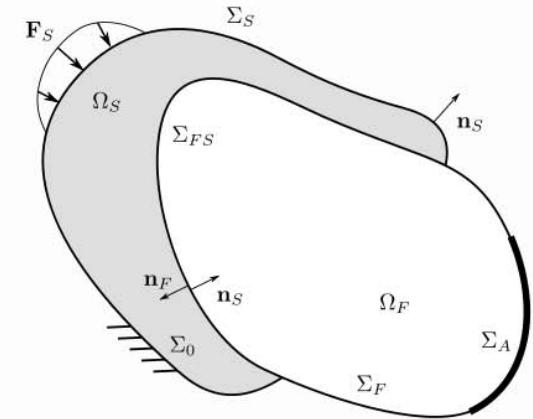


$$[K_S - \omega_\alpha^2 M_S]\{U_\alpha\} = 0$$

Modes de cavité
parois rigides



$$[K_F - \omega_\beta^2 M_F]\{P_\beta\} = 0$$



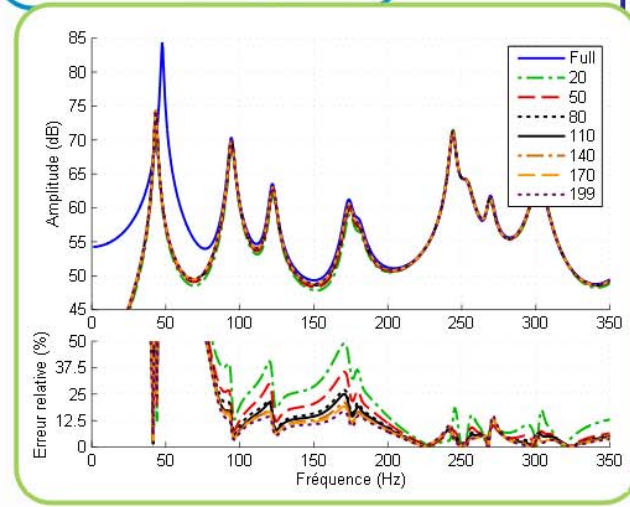
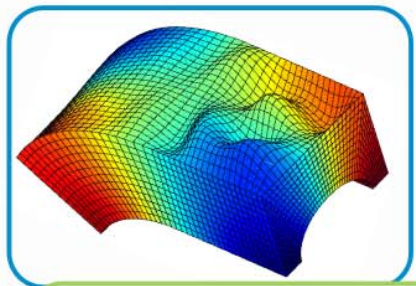
Contrainte : unicité statique

$$p = p^S + \tilde{p}$$

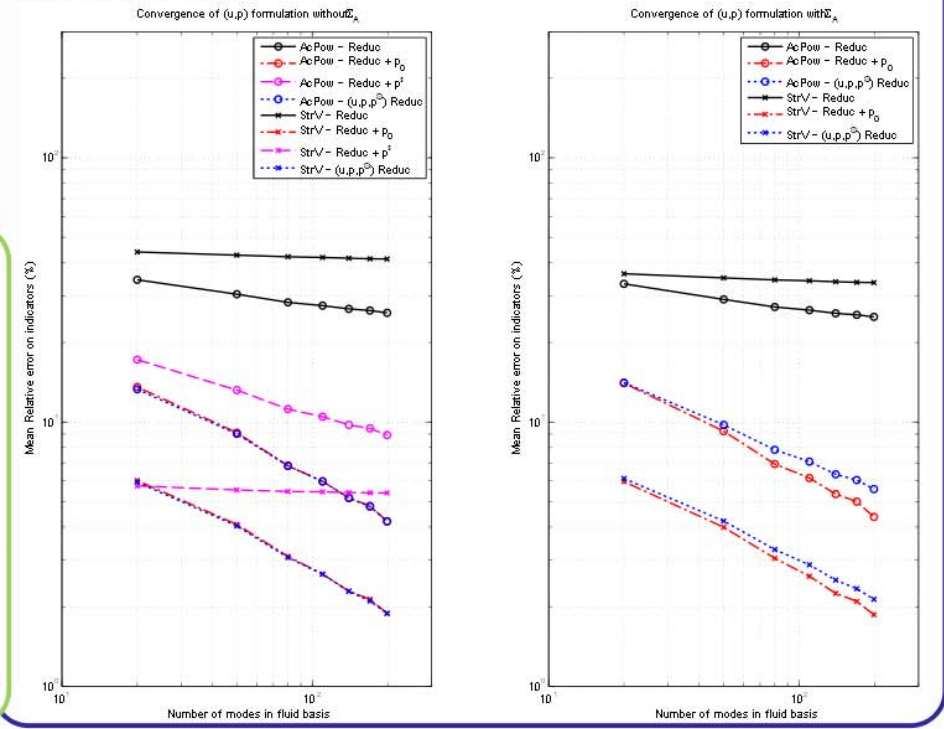
$$\int_{\Omega_F} \tilde{p} d\Omega = 0 \Rightarrow [C]^T \{\tilde{P}\} = 0$$

$$p^S = -\rho_F \frac{c^2}{V_F} \int_{\Sigma_{FS} \cup \Sigma_A} \mathbf{u}^F \cdot \mathbf{n}_F d\Sigma$$

- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique



Convergence de la réponse forcée en fonction du nombre de modes dans la base fluide



[CI4] M. OUISSÉ et E. SADOULET-REBOUL : On the comparison of formulations for model reduction of harmonic frequency-dependent damped fluid-structure problems. In ECCM2010, Paris, France, 16-21 mai 2010.

- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique

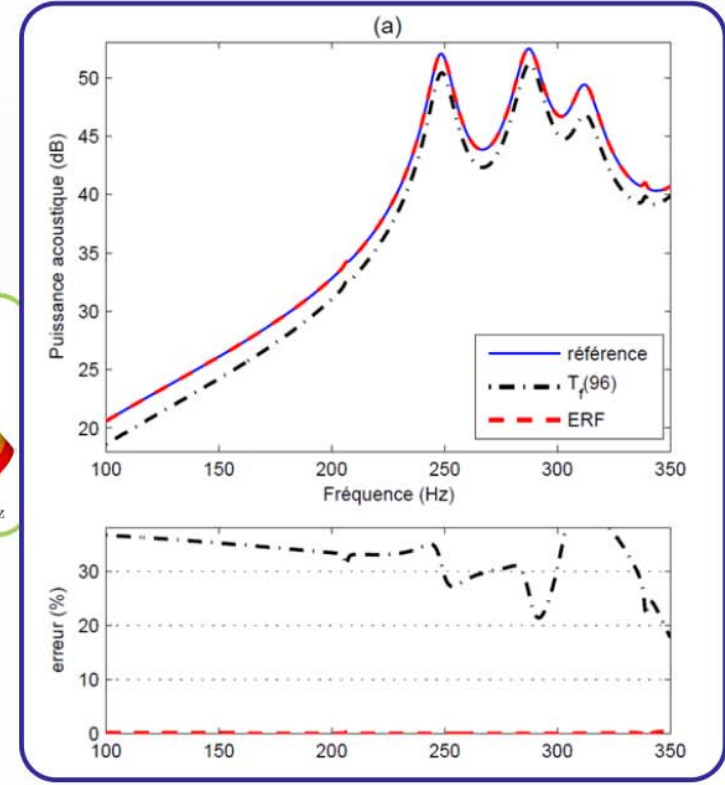
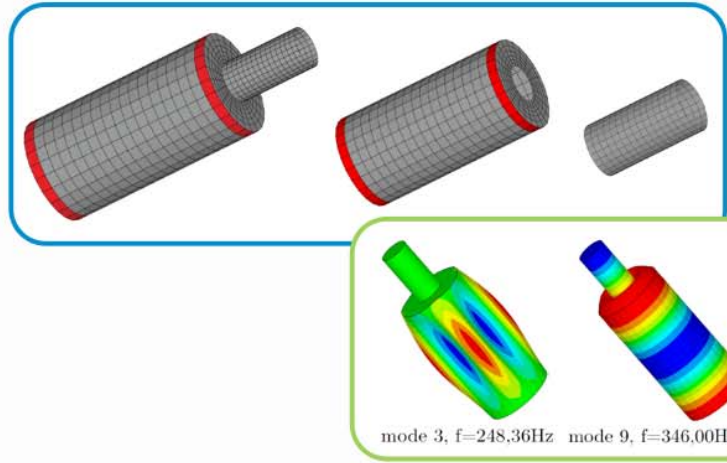
$$[K_S - \omega^2 M_S] \{U\} = \{F_S\} + [L] \{P\}$$

$$[K_F - \omega^2 M_F] \{P\} = \omega^2 [L]^T \{U\} + \frac{i\omega}{Z_a(\omega)} [A_F] \{P\}$$

$$[T] = \begin{bmatrix} [T_S \quad K_S^{-1} L T_F]^{\perp} & 0 \\ 0 & [T_F \quad [K_F - \omega_c^2 M_F]^{-1} [L^T T_S \quad A_F T_F]]^{\perp} \end{bmatrix}$$

[IC15] Q.-H. TRAN, M. OUISE et N. BOUHADDI : Comparison of robust component mode synthesis methods for damped vibro-acoustic problems. In ISMA 2008, Leuven, Belgique, 15-17 septembre 2008.

- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique



[IC14] Q.-H. TRAN, M. OUISE et N. BOUHADDI : A robust component mode synthesis method for stochastic vibroacoustic problems. In CST'08, Athènes, Grèce, 2-5 septembre 2008.

- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique

Modifications structurales (paramétriques ou non)

$$[K_S - \omega^2 M_S]\{U\} + [L]\{P\} = \{F_S\} - [\Delta K_S]\{U\} + \omega^2 [\Delta M_S]\{U\}$$

$$\left[K_F - \omega^2 M_F + \frac{i\omega}{Z_a(\omega)} A_F \right] \{P\} - \omega^2 [L]^T \{U\} = \omega^2 f_1(c, \Delta c) [M_F]\{P\} - i\omega f_2(Z_a, \Delta Z_a) [A_F]\{P\}$$

Construction des bases robustes

$$[\Delta T_S] = [K_S^{-1}][\Delta K_S T_S \quad \Delta M_S T_S]$$

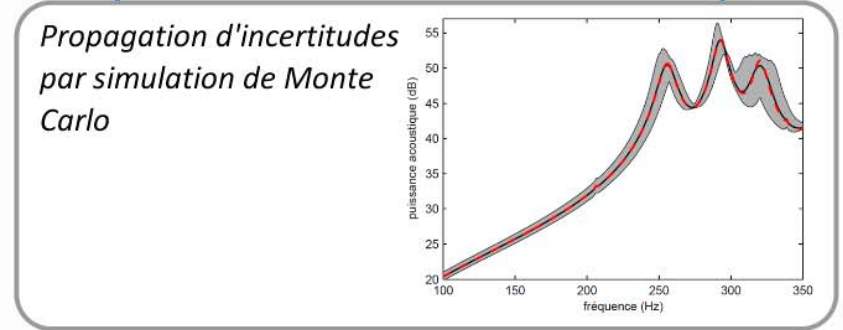
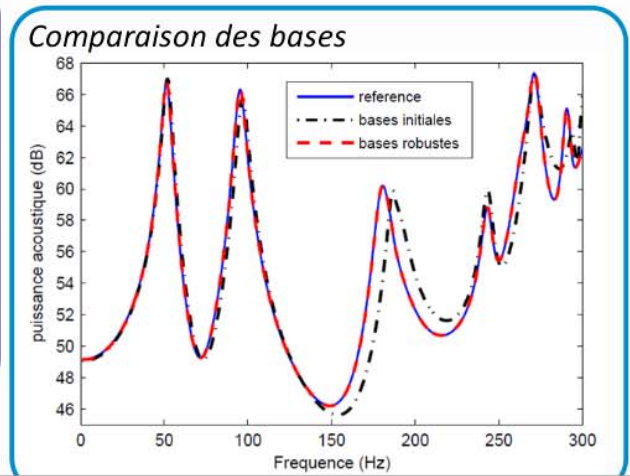
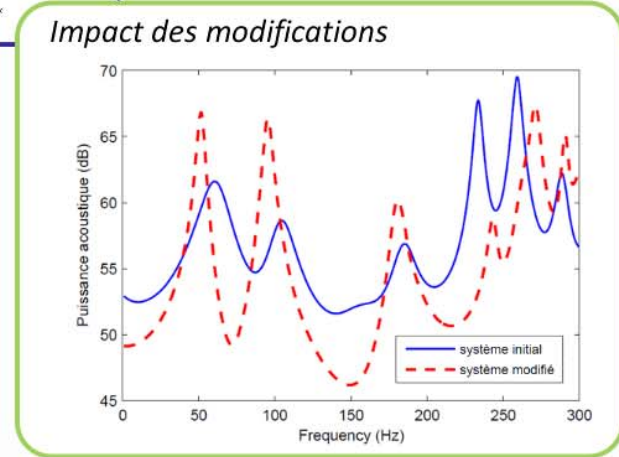
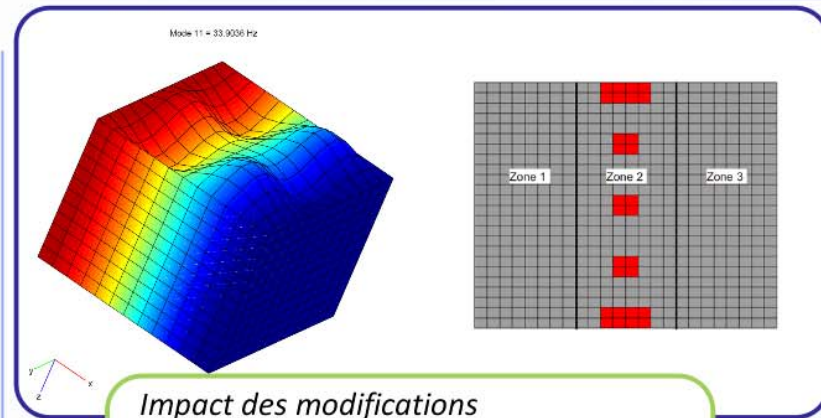
$$[\Delta T_F] = [K_F - \omega_c^2 M_F]^{-1} [M_F T_F \quad A_F T_F \quad L^T \Delta T_S]$$

Modèle réduit paramétrique : bases robustes constantes

$$[\Delta K_S] = \sum_j g_j(\theta) [\tilde{K}_j] \quad [\Delta T_S] = [K_S^{-1}][\tilde{K}_j T_S \quad \tilde{M}_j T_S]$$

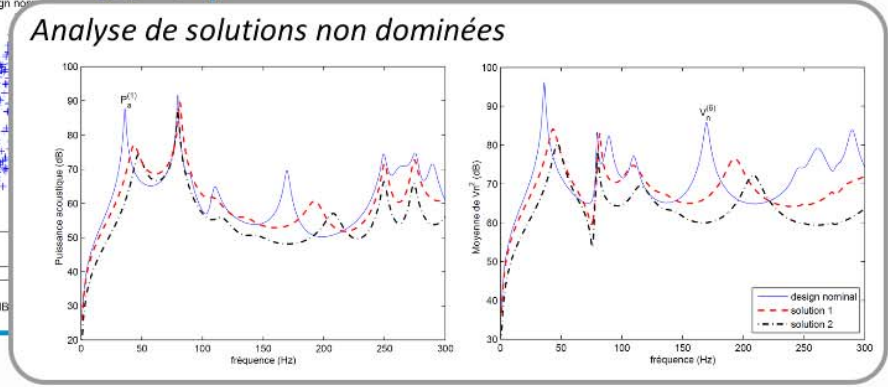
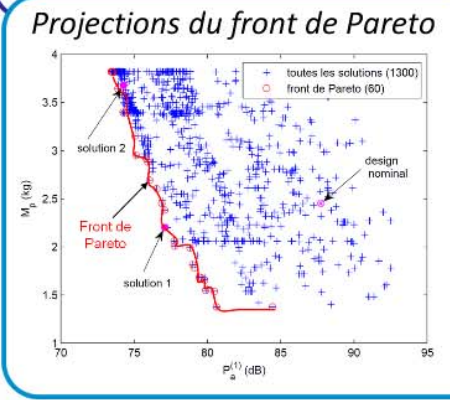
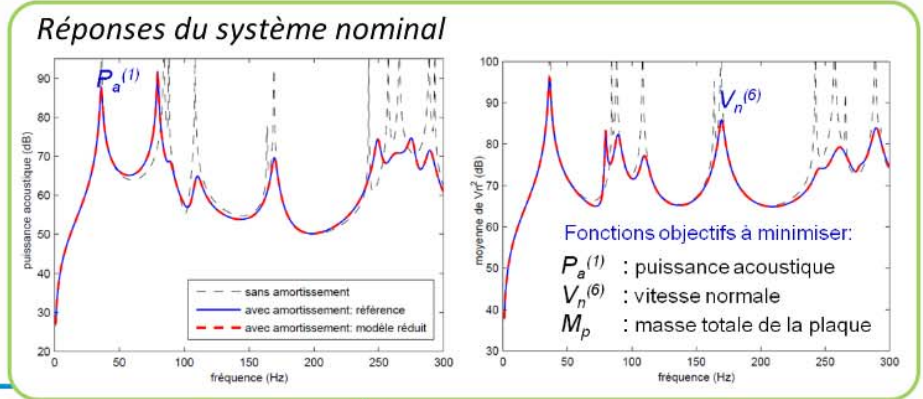
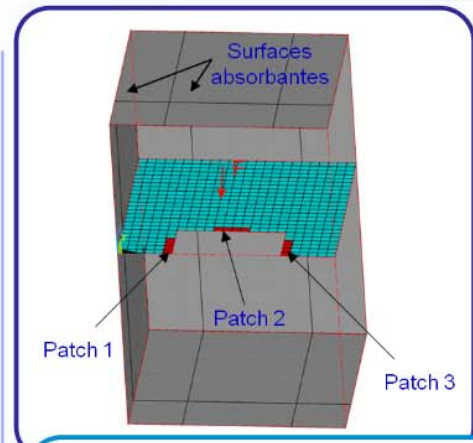
[IC14] Q.-H. TRAN, M. OUISSSE et N. BOUHADDI : A robust component mode synthesis method for stochastic vibroacoustic problems. In CST'08, Athènes, Grèce, 2-5 septembre 2008.

- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique

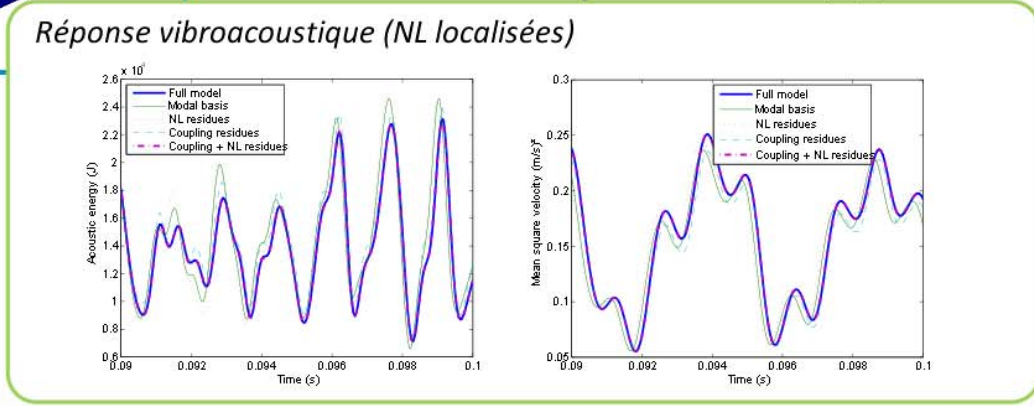
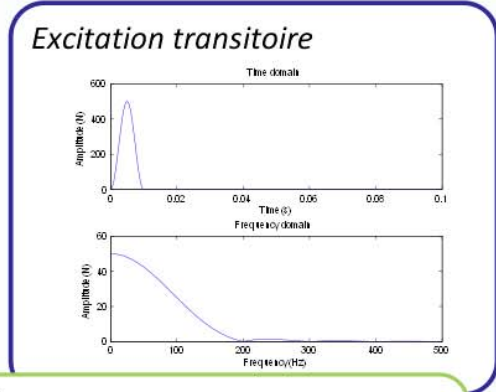
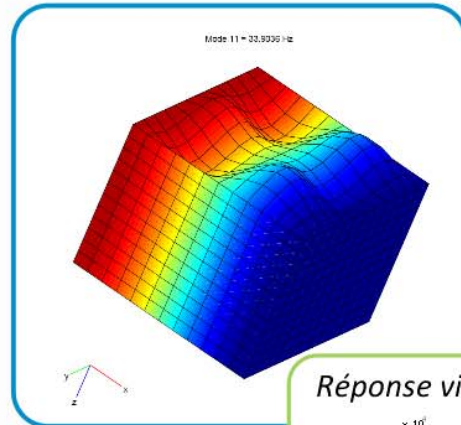


[IJ6] Q.H. TRAN, M. OUISSSE et N. BOUHADDI : A robust component mode synthesis method for stochastic damped vibroacoustics. Mechanical Systems and Signal Processing, 24, 18 pages, 2010.

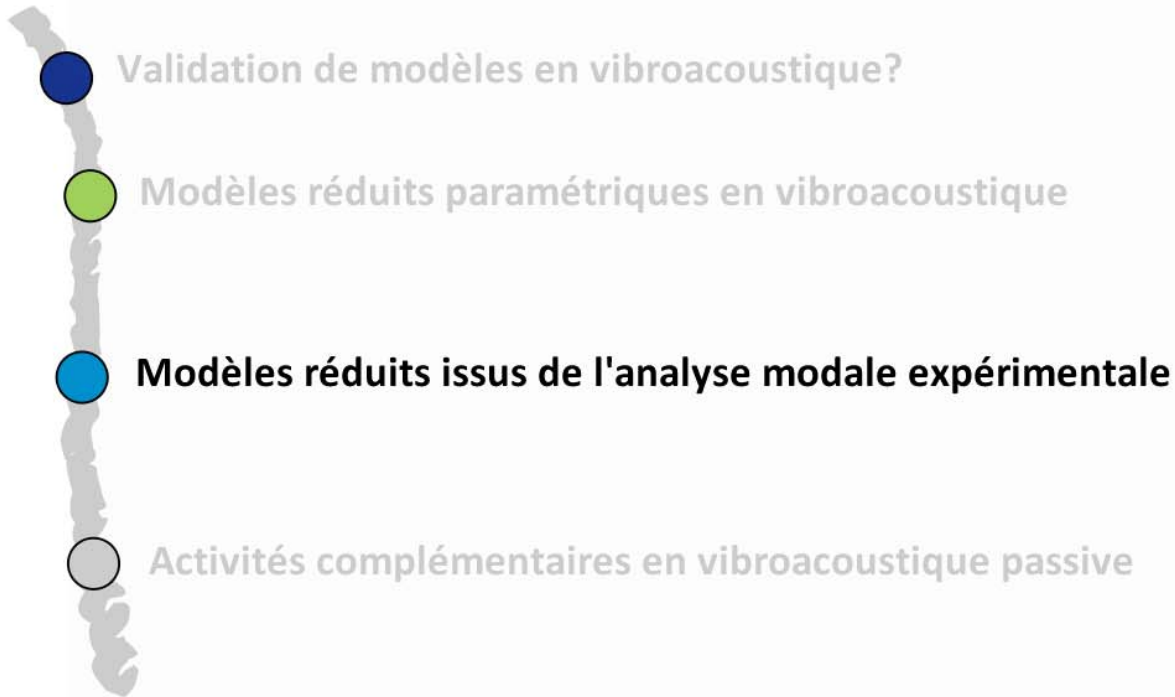
- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique

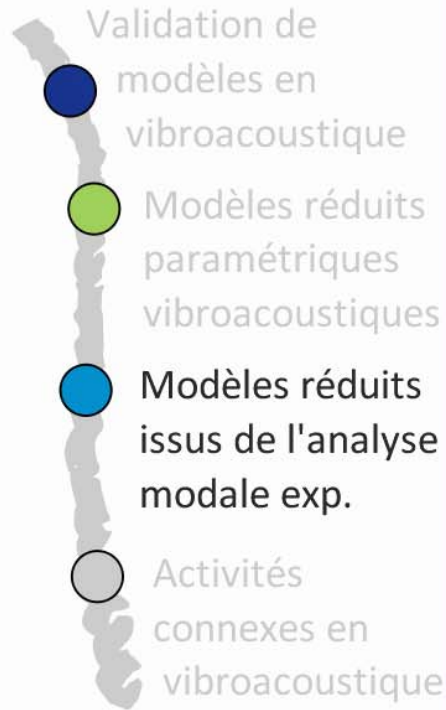


- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique



[IJ9] Y. GERGES, E. SADOULET-REBOUL, M. OUISSSE et N. BOUHADDI : Extension of modal reduction methods to non-linear coupled structure-acoustic problems. European Journal of Computational Mechanics, 2010. Accepté avec révisions mineures le 18 septembre 2010





Analyse

- Compréhension
- Curatif
- Modifications structurales

Conception

- Corrélation calculs-essais
- Identification de l'amortissement
- Modèles hybrides

Données entrée / sortie

- FRFs
- Modes réels
- Modes complexes
- M et/ou K
- C et/ou M, K

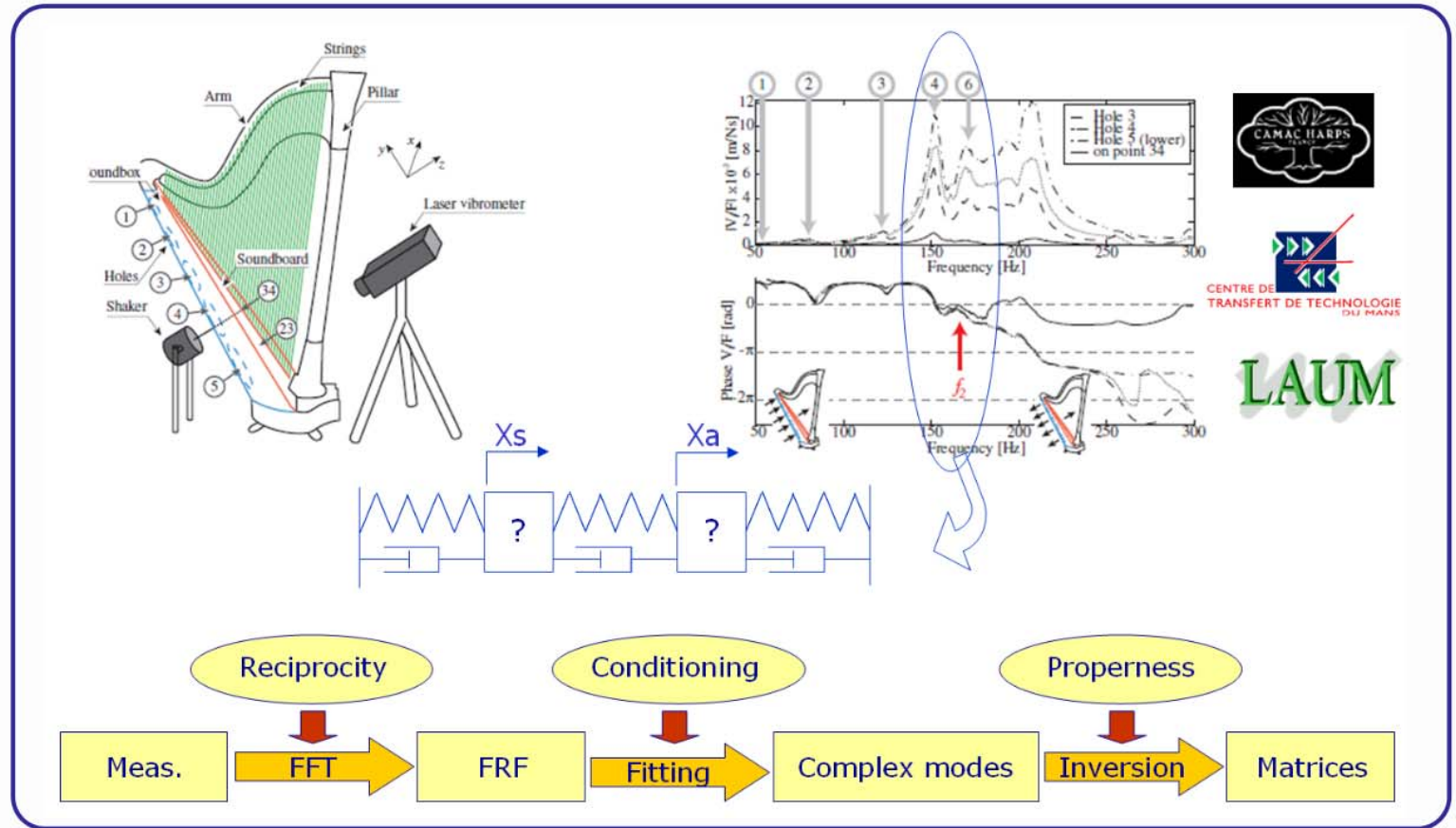
Problématiques

- Complétude de la base d'entrée
- Répartition spatiale de l'information
- Nature de l'amortissement
- Pertinence de l'analyse modale

Spécificités de la vibroacoustique

- Mesures multiphysiques
- Phénomènes dissipatifs complexes
- Milieux ouverts
- Pertinence de l'analyse modale

- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique



- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique

$$\left(\begin{bmatrix} K_S & -L \\ 0 & K_F \end{bmatrix} + i\omega \begin{bmatrix} C_S & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} - \omega^2 \begin{bmatrix} M_S & 0 \\ L^T & M_F \end{bmatrix} + \frac{i\omega}{Z_a(\omega)} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & A_F \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} U \\ P \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_S \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\left(\begin{bmatrix} K_S & -L \\ 0 & K_F \end{bmatrix} + i\omega \begin{bmatrix} C_S & 0 \\ 0 & C_F? \end{bmatrix} - \omega^2 \begin{bmatrix} M_S & 0 \\ L^T & M_F \end{bmatrix} \right) \begin{Bmatrix} U \\ P \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_S \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Matrice d'amortissement bloc-diagonale

$$[\phi_R] = \begin{bmatrix} X \\ P \end{bmatrix} \Rightarrow [\phi_L] = \begin{bmatrix} X \\ -P\Lambda^{-2} \end{bmatrix}$$

Identification du modèle réduit : procédure inverse

$$\begin{bmatrix} C & M \\ M & 0 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & M^{-1} \\ M^{-1} & -M^{-1}CM^{-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_R\phi_L^T & \phi_R\Lambda\phi_L^T \\ \phi_R\Lambda\phi_L^T & \phi_R\Lambda^2\phi_L^T \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -K & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} -K^{-1} & 0 \\ 0 & M^{-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_R\Lambda^{-1}\phi_L^T & \phi_R\phi_L^T \\ \phi_R\phi_L^T & \phi_R\Lambda\phi_L^T \end{bmatrix}$$

[C13] E. FOLTÊTE et M. OUISSÉ : On the properness condition for the complex modes in vibroacoustic modal analysis. In ICA'07, Madrid, Espagne, 2-7 septembre 2007. Invited paper

- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique

Condition de "**propreté**" des modes complexes

$$[\phi_R \phi_L^T] = 0 \Leftrightarrow \begin{bmatrix} UU^T & -U\Lambda^{-2}P^T \\ PU^T & -P\Lambda^{-2}P^T \end{bmatrix} = 0$$

Base "propre" = base **complète** d'un système physique du **second ordre**

Procédure inverse **mal conditionnée**

Correction optimale des modes complexes

Régularisation physique

Find \tilde{U} and \tilde{P} minimizing $\|\tilde{U} - U\|$ and $\|\tilde{P} - P\|$

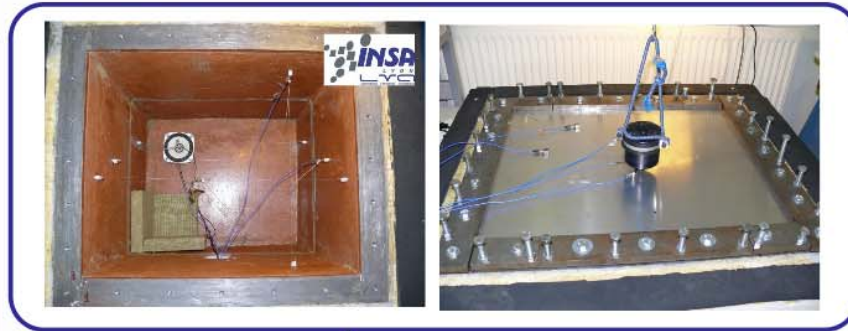
$$\text{while } \begin{cases} \tilde{U}\tilde{U}^T = 0 \\ \tilde{X}\tilde{P}^T = 0 \\ \tilde{U}\Lambda^{-2}\tilde{P}^T = 0 \\ \tilde{P}\Lambda^{-2}\tilde{P}^T = 0 \end{cases}$$

Procédure

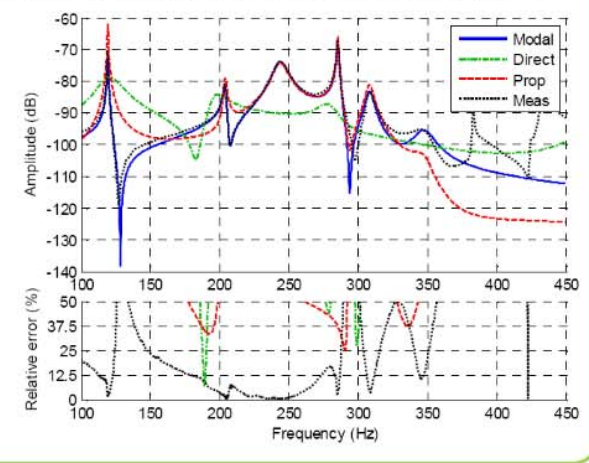
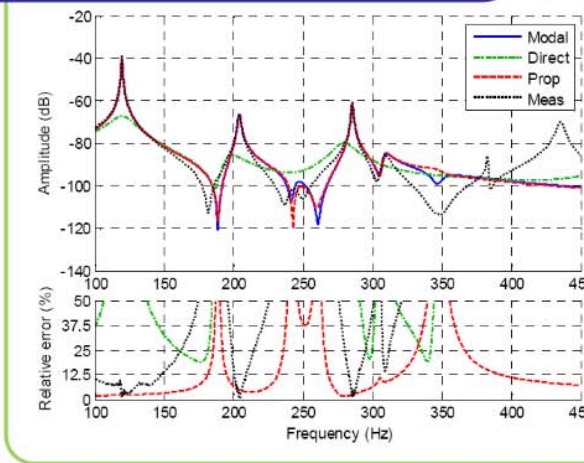
- Mesure des FRFs (u,p)
- LSCF, modes complexes
- Identification du modèle réduit
- Synthèse des FRFs

[CI3] E. FOLTÊTE et M. OUISSÉ : On the properness condition for the complex modes in vibroacoustic modal analysis. In ICA'07, Madrid, Espagne, 2-7 septembre 2007. Invited paper

- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique

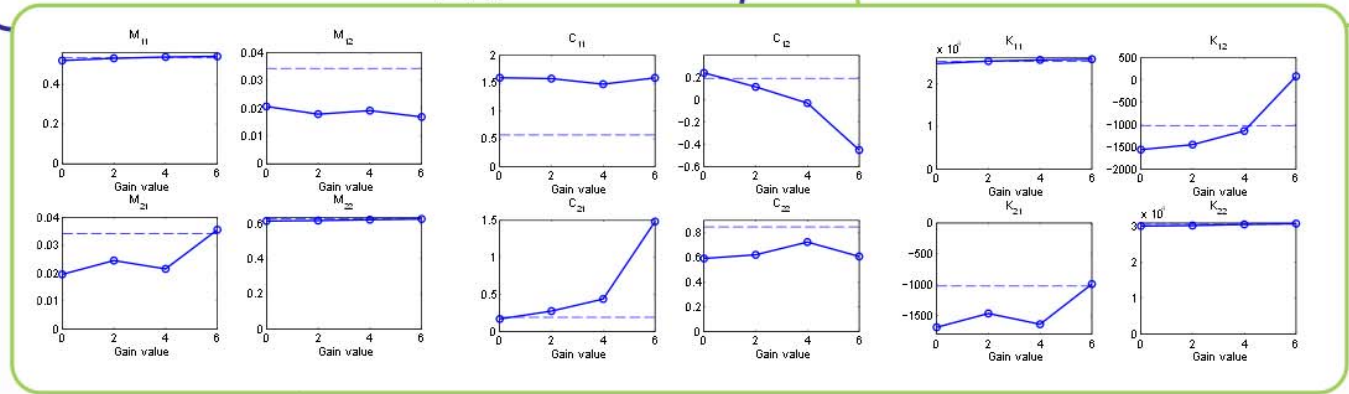
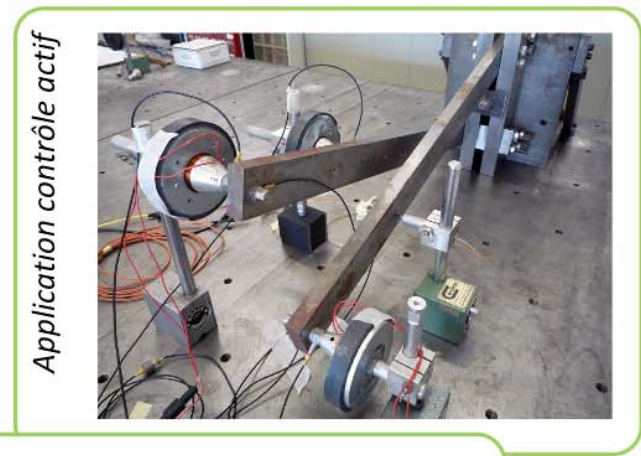
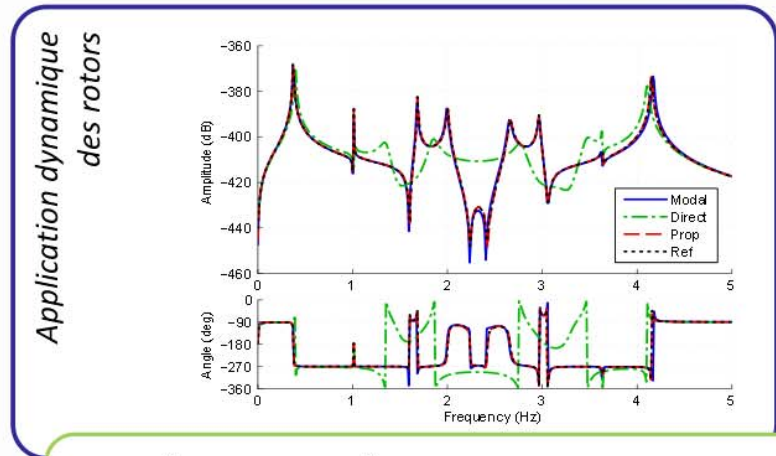


Efficacité de la reconstruction vibro-acoustique



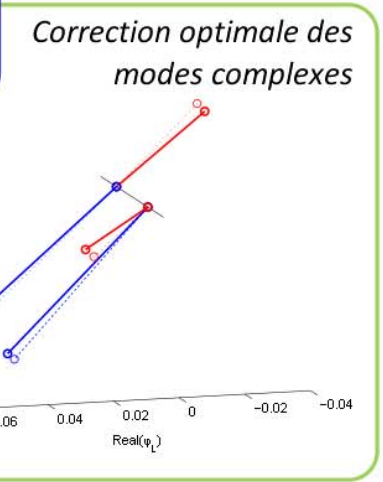
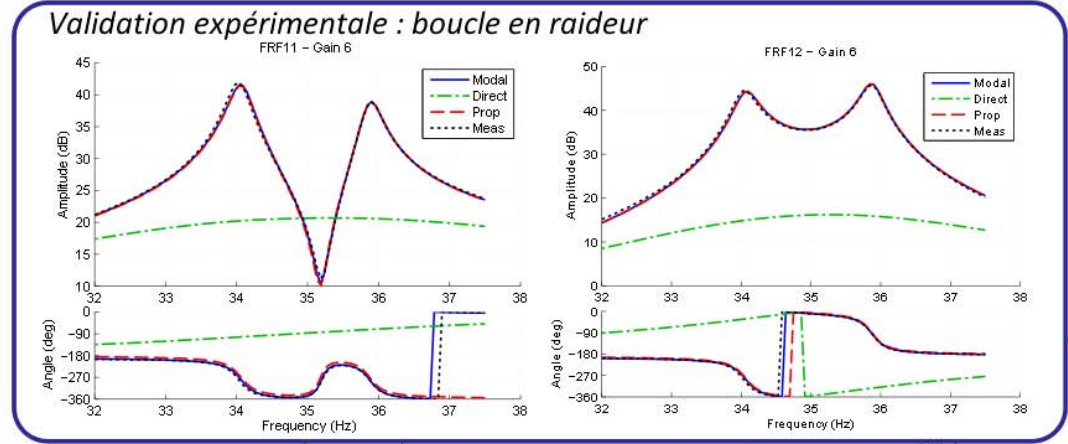
[CI5] O. CISSÉ, M. OUISSÉ, M. COLLET et E. FOLTÊTE : On the use of reciprocity measurements to improve identification of vibroacoustical reduced models. In EAA Euroregio, Ljubljana, Slovenia, 15-18 septembre 2010.

- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique

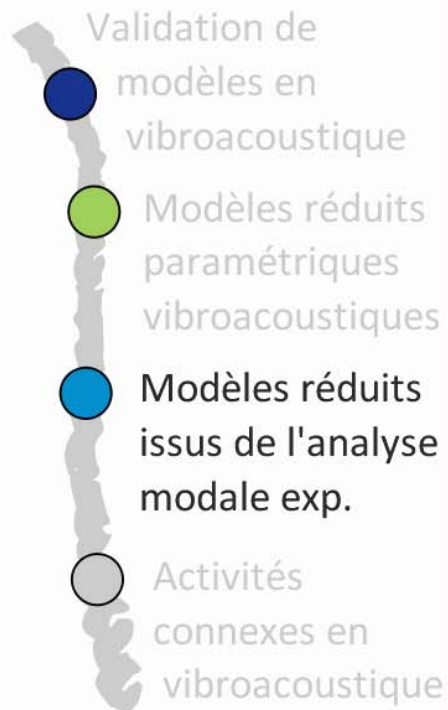


[IC25] M. OUISSÉ et E. FOLTÊTE : Reduced models identification from experimental modal analysis of non-self adjoint systems - rotordynamics, active control and vibroacoustics applications. In ISMA 2010, Leuven, Belgique, 2010.

- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique



[IJ8] M. OUISE et E. FOLTÊTE : On the properness condition for modal analysis of non symmetric second order systems. Mechanical Systems and Signal Processing, 20 pages, 2010, *In press*.



Conception de structures en vibroacoustique

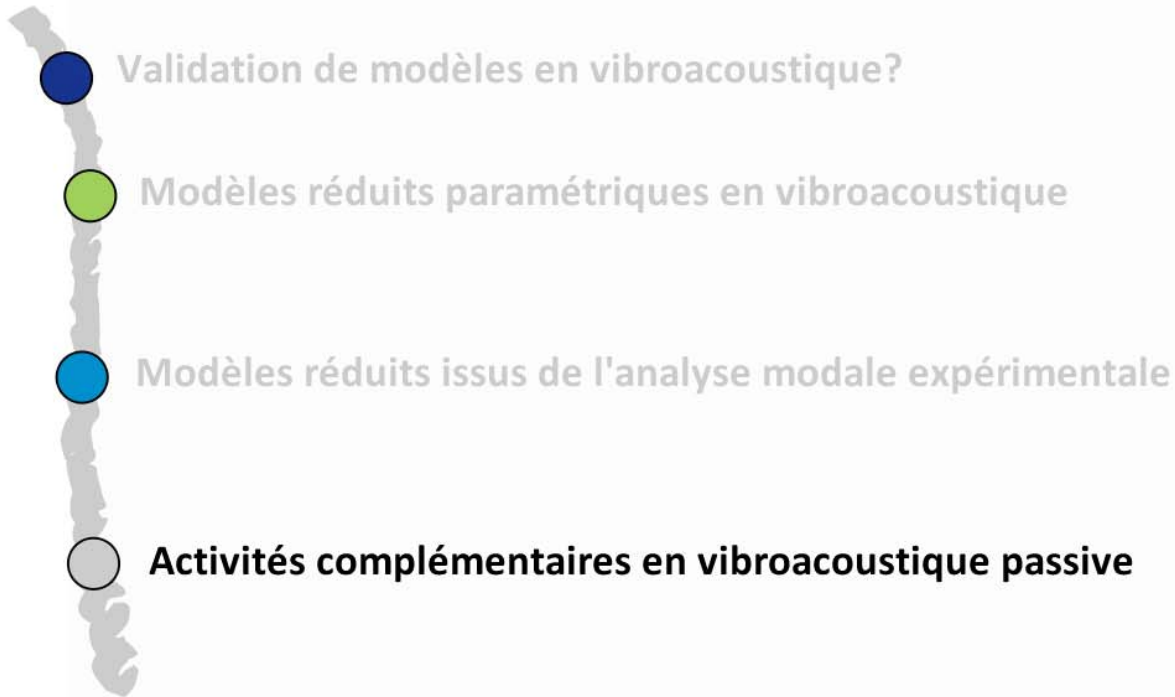
- Sous-structuration, réduction de modèle
- Incertitudes
- Phénomènes dissipatifs complexes
- Corrélation calculs-essais
- Validation de modèles

Outils

- ÆSOP : capitalisation des développements
- OpenFEM
- Nastran / Ansys / Comsol Multiphysics

Challenges

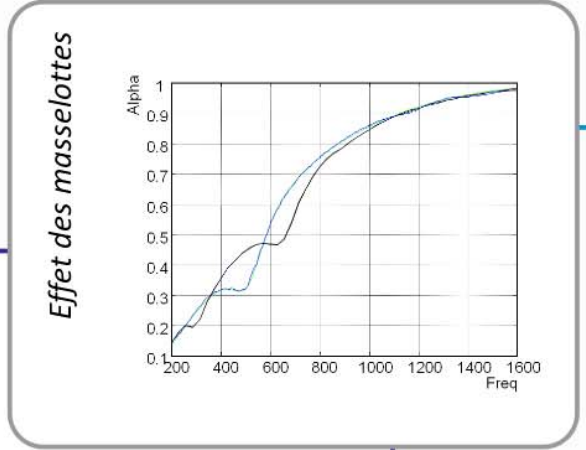
- Moyennes fréquences (BF->MF plutôt que HF->MF)
- Méthodes hybrides (multi-échelles, multi-comportements, symbolique/numérique, etc.)



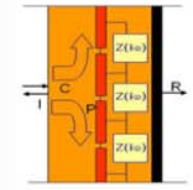
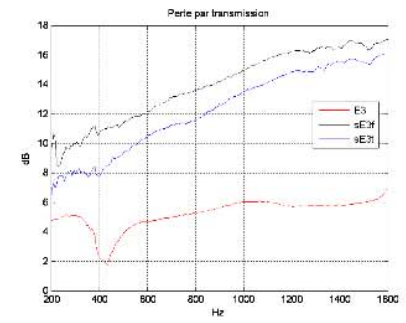
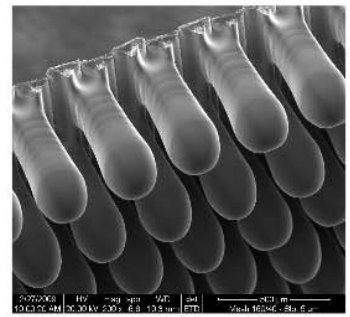
- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique

Amélioration efficacité BF

Modèle EF poroélastique validé
Inclusions masselottes
Couplage structure NL
Couplage contrôle actif

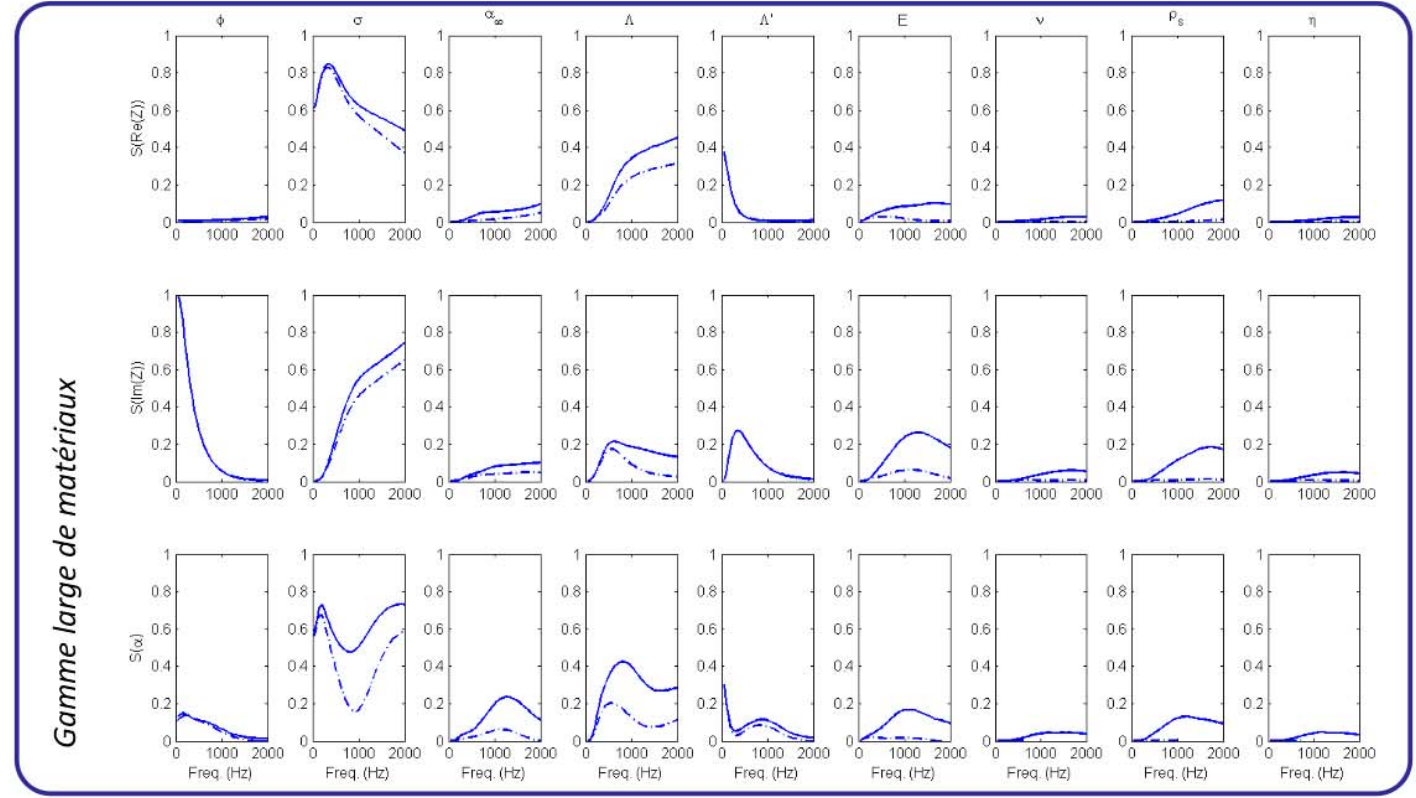


Couplage poreux / structure périodique microstructurée



Thèse M. GRAVADE

- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique

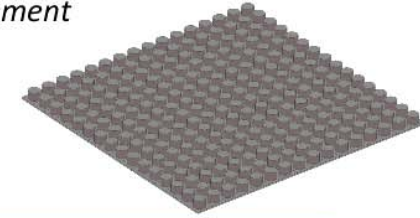
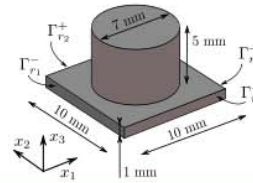


[FC6] S. CHEDLY, M. ICHCHOU, M. OUISSSE et M. COLLET : Hiérarchisation paramétrique pour les matériaux poreux en vibroacoustique. In CFA 2010, Lyon, France, 12-16 avril 2010.

- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique



WFE avec prise en compte de l'amortissement

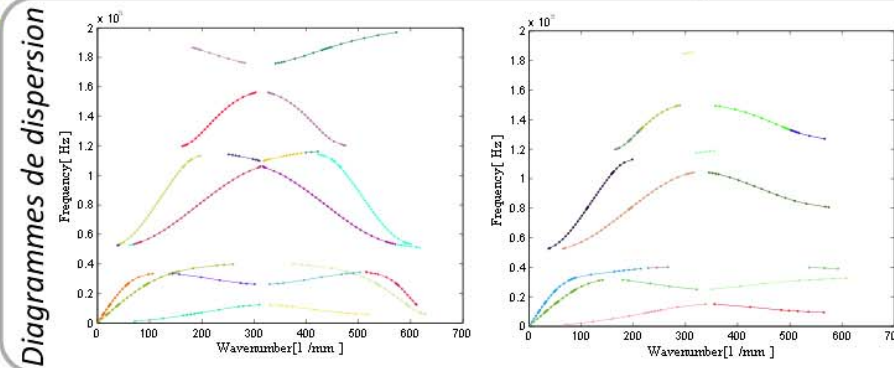


$$(K + ikL(\Phi) + k^2H(\Phi) - \omega_n^2(k, \Phi)M) w_n(k, \Phi) = 0$$

$$(K - \omega^2 M + ik_n(\omega, \Phi)L(\Phi) + k_n^2(\omega, \Phi)H(\Phi)) w_n(k, \Phi) = 0$$

$$(k, \Phi) \Rightarrow (\omega_n, w_n)$$

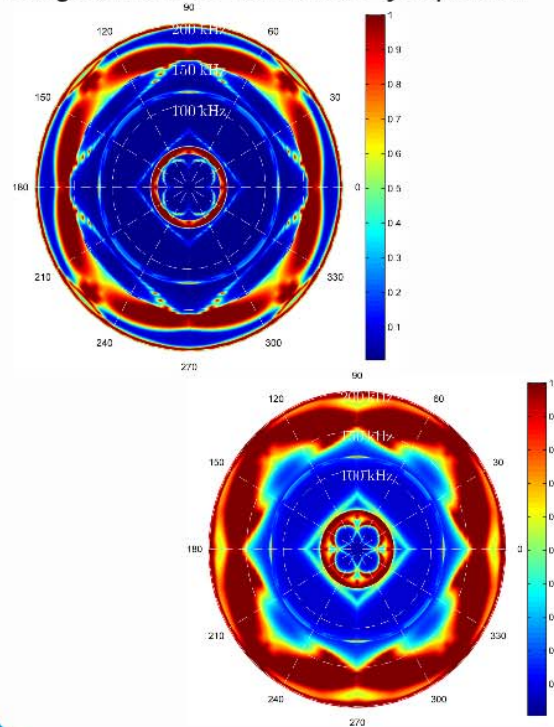
$$(\omega, \Phi) \Rightarrow (k_n, w_n)$$



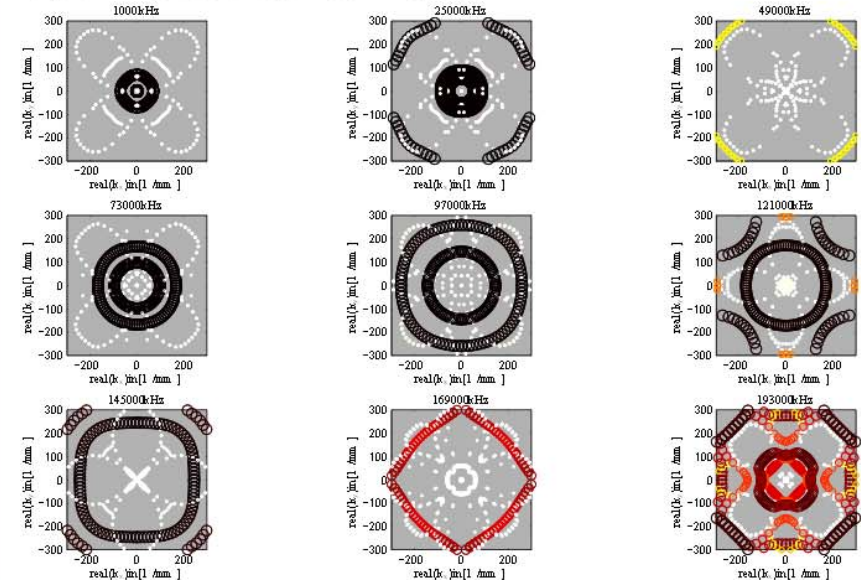
[IC26] M. COLLET, M. OUISE, M. RUZZENE et M. ICHCHOU : A floquet-bloch decomposition of the elastodynamical equations for the computation of wave's dispersion in damped mechanical systems. In ISMA 2010, Leuven, Belgique

- Validation de modèles en vibroacoustique
- Modèles réduits paramétriques vibroacoustiques
- Modèles réduits issus de l'analyse modale exp.
- Activités connexes en vibroacoustique

Diagrammes de directivité - fréquence



Diagrammes de directivité - k-space



[IC27] M. COLLET, M. OUISE et M. ICHCHOU : Semi-active optimization of 2D wave's dispersion into mechanical systems. In ASME Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems, Philadelphia, USA, 28 septembre - 1 octobre 2010.