



Book of Abstract

The maximally-coherent reference technique : a solution to deal with large sets of references

Albezzawy Muhammad Nabil (1)

1 - Laboratoire Vibrations Acoustique (France)

Source separation, using a number of references that largely exceeds the number of sources, is hindered by the ill-condition of the cross-spectral matrix of the references. This has been solved in literature by reducing the dimension of the reference set, for instance by a truncated eigenvalue decomposition or Gram- Schmidt orthogonalization. The main drawback of these techniques is that the resultant virtual references are not necessarily maximally correlated with the sources. This paper exclusively introduces an original solution for this problem, coined “Maximally-Coherent Reference Technique”, based on finding a set of virtual references so that they are maximally correlated with the sources. The number of sources is estimated using parametric bootstrap, which is advantageous over the asymptotic likelihood ratio test. The method is tested experimentally using numerical and real data, and is proved to solve the source separation problem while avoiding the shortcomings of the existing reference-based techniques.

Contrôle actif de champ acoustique synthétisé dans une salle de restitution

Alexandre Loïc (1)

1 - Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique (France)

Cette thèse s'inscrit dans un projet rassemblant le GRAME-CNCM, le CITI Lab (INSA Lyon) et le Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique (LMFA). Un des objectifs principaux est de mettre en oeuvre un système embarqué utilisant le langage de programmation Faust et une carte FPGA (Field Programmable Gate Arrays), pour des applications d'acoustique virtuelle adaptative. Ces systèmes présentent l'avantage de pouvoir gérer de nombreuses voies avec une très faible latence. Dans ce contexte, des méthodes robustes de contrôle actif sont utilisées pour reproduire une acoustique de salle virtuelle dans une salle de restitution en minimisant ses effets propres. Pour ce faire, la méthode choisie est l'ambisonie, utilisant la décomposition du champ acoustique sur la base des harmoniques sphériques. En pratique, la salle de restitution est équipée d'un réseau de haut-parleurs permettant de synthétiser un champ acoustique cible sur une zone donnée. L'introduction d'un réseau de microphones permet la mise en oeuvre d'un système de contrôle actif temps réel pour réaliser le champ acoustique cible tout en minimisant les effets propres de la salle. Des premières simulations visant à reproduire un champ cible nul utilisent une configuration à quatre voies pour une décomposition jusqu'au premier ordre ambisonique. Une atténuation jusqu'à 30 dB est obtenue dans une sphère de 0.06 m à 0.5 m de rayon en fonction de la fréquence. Les premières implémentations ont été réalisées avec succès sur la carte FPGA en monovoie et seront prochainement étendues à une configuration semblable à la simulation. Cette thèse est supportée par le Labex CeLyA, l'IRP Centre Acoustique Jacques Cartier et le projet ANR FAST (Fast Audio Signal-processing Technologies on FPGA).

Caractérisation dynamique de matériaux multicouches aux interfaces imparfaites à l'aide d'un modèle équivalent

Auquier Nicolas (1) (2) (3), Ege Kerem (4), Gourdon Emmanuel (5)

1 - centre Lyonnais d'Acoustique (France), 2 - Laboratoire Vibrations Acoustique (France), 3 - Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (France), 4 - Laboratoire Vibrations Acoustique (Bâtiment St. Exupéry, INSA Lyon, 25 bis, avenue Jean Capelle 69621 VILLEURBANNE CEDEX France), 5 - Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (3, Rue Maurice Audin, 69518 Vaulx en Velin (CEDEX) France)

Le but de ce travail est de caractériser le comportement dynamique d'une structure multicouche aux interfaces imparfaites à l'aide d'un modèle équivalent. Un modèle équivalent permet de décrire le comportement en statique et en dynamique d'une structure multicouche. Les interfaces imparfaites quant à elles, vont permettre de décrire les effets d'un couplage imparfait entre les couches successives. Ces effets sont décrits à l'aide d'une raideur d'interface : une raideur élevée symbolise un bon couplage, à l'inverse, une raideur faible implique un mauvais couplage entre les couches. Le modèle ainsi obtenu est utilisé dans ce travail afin de caractériser des échantillons expérimentaux. La modélisation des interfaces imparfaites est implémentée dans le modèle équivalent en faisant l'hypothèse d'une discontinuité du champ de déplacement aux interfaces entre les couches du matériau. Les échantillons expérimentaux sont composés de peaux rigides (de verre ou d'aluminium) et d'un coeur plus souple (un polymère époxyde). Ils ont été fabriqués dans le but d'obtenir un couplage dégressif d'un échantillon à l'autre, afin d'obtenir un nuancier d'interfaces imparfaites et ainsi appliquer le modèle sur une large gamme d'imperfection. La méthode de Résolution Inverse Corrigée (RIC) ou Corrected Force Analysis Technique (CFAT) a été utilisée afin d'obtenir la rigidité de flexion apparente des échantillons à partir de la mesure des vitesses effectuée à l'aide d'un Vibromètre Laser à effet Doppler (LDV).

Adaptation du dispositif Herschel-Quincke aux ondes de flexion dans les structures de poutres

Avetisov Stepan (1), Pelat Adrien (1), Gautier François (1), Sorokin Sergey (2)

1 - Le Mans Université (France), 2 - Aalborg University (Danemark)

Dans ce travail, nous étudions l'application du principe de Herschel-Quincke (HQ) au cas des ondes de flexion dans une structure de poutre. Ce type de dispositif est bien connu dans les tubes acoustiques où un filtre HQ consiste en la bifurcation d'un tube primaire en deux tubes de longueurs différentes placés en parallèle. Le déphasage qui en résulte crée une interférence destructive et donc une transmission nulle aux fréquences sélectionnées. Pour adapter ce principe aux vibrations de flexion, un faisceau solide homogène est divisé en deux brins différents d'épaisseurs différentes et de même longueur, de sorte que le déphasage créé entre ces deux brins de célérités d'onde différentes conduit également aux mêmes effets interférentiels. Un modèle d'onde de Timoshenko est dérivé pour analyser les propriétés de diffusion d'un tel filtre HQ pour les ondes de flexion. Notamment, les baisses du coefficient de transmission sont liées aux modes complexes piégés à l'intérieur du filtre HQ. Les résultats sont bien confirmés avec des simulations par éléments finis de référence ainsi que des mesures effectuées sur un démonstrateur de faisceau expérimental.

Digital twin for energy prediction of industrial production sites

Baldassarre Antonio (1), Dion Jean-Luc (1), Peyret Nicolas (1), Renaud Franck (1)

1 - Laboratoire Quartz (France)

The following work aims to develop an identification and prediction tool for forecasting energy consumption in industrial sites. The proposed method is based on the design of digital twins : virtual replicas of the physical systems (components, machines or processes). These twins consist of virtual models (analytical state models) combined with Kalman filters in a learning process. The connection between the digital twin and the real twin is realised exclusively by means of non-intrusive sensors, whose installation does not require excessive modifications on the machine. The state models present unknown parameters which refer to specific properties of the real system. The training phase allows to identify the unknowns and estimate the dynamic behaviour of the system. After the identification, the virtual models are disconnected from the Kalman filters and used to run simulations enabling the energy consumption prediction of the machine in different working conditions. This forecasting offers significant potential to optimize energy consumption and improve the energy efficiency of industrial systems. The methodology is detailed and validated with reference to an academic use case, i.e. an automatic coffee machine, which provides an actual test environment with similarities to industrial machines in terms of components and operating principle. Since the objective concerns the prediction of electrical energy consumption, the coffee machine and its main components are modelled from the electromechanical point of view through equivalent electrical circuits. Only the subsystems that account for the majority of the energy demand are taken into consideration : the heater, the electrical motor of the grinder, the pump and the electrical motor that positions the infuser. The virtual models are trained by Kalman filters through measurements acquired by means of two sensors : the first measures the voltage of the power grid and the second measures the total current absorbed by the machine.

Développements de méthodes numériques pour les systèmes dynamiques non-linéaires industriels

Pau Becerra Zuniga^{a,b}, Sébastien Baguet^b, Benoit Prabel^a, Clément Grenat^c and Régis Dufour^b

^a Université Paris-Saclay, CEA, Service d'Études Mécaniques et Thermiques, 91191, Gif-sur-Yvette, France

^b Univ Lyon, INSA Lyon, CNRS, LaMCoS, UMR5259, 69621 Villeurbanne, France

^c Framatome, 92400 Courbevoie, France

Abstract. Cet article présente deux objectifs principaux, le premier étant la vérification de l'applicabilité de la méthode d'équilibrage harmonique (HBM) combinée à une méthode de continuation (PAC) aux problématiques industrielles d'usures générées par des vibrations sous écoulements. Le deuxième objectif vise à approfondir la compréhension des vibrations sous écoulements et en présence d'impacts dans les composants du parc nucléaire soumis à des écoulements fluides comme les tubes de Générateurs de Vapeur (GV).

Introduction

Les vibrations jouent un rôle particulièrement important dans le monde industriel. Si celles-ci ne sont pas correctement maîtrisées, elles peuvent générer des conséquences néfastes voire fatales pour la structure (fatigue, usure, rupture, etc.). Typiquement, les systèmes industriels réels présentent des non-linéarités telles que le frottement, les contacts, l'interaction fluide-structure, etc. Pour répondre à ce besoin, des développements ont été amorcés, au sein d'une thèse précédente [1], afin d'intégrer les méthodes HBM + PAC dans le code éléments finis industriel du CEA appelé Cast3M [2]. Ce travail se situe dans la suite de ces travaux.

Résultats

Dans ce contexte, les travaux menés ont consisté à développer le suivi de bifurcations de réponses non linéaires calculées dans le code Cast3M et une base de cas test pour vérifier les modifications faites au code. Parmi ces cas tests, citons l'oscillateur de Duffing, le rotor de Jeffcott (Fig. 1) [4] ou un absorbeur de vibrations non-linéaire (NLTVA) [3].

Par ailleurs, pour valider le code implémenté dans Cast3M et approfondir la compréhension des réponses non linéaires induites par la présence de chocs, le banc expérimental illustré dans la Fig. 2 a été développé. Il est constitué d'un tube bi-encasté avec un point d'impact à jeu annulaire et représente une version simplifiée, mais représentative par sa géométrie et sa configuration, des tubes intérieurs des Générateurs de Vapeur.

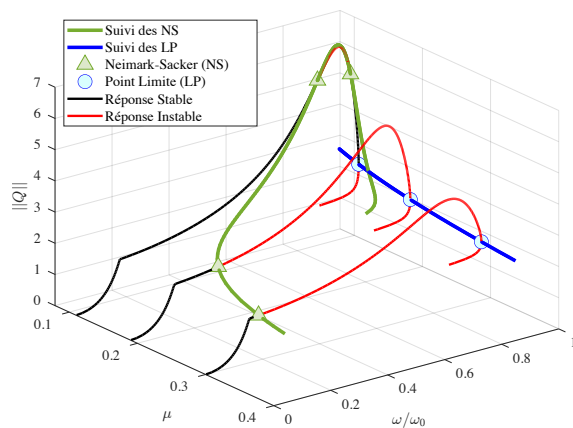


Figure 1: Suivi de bifurcations du rotor Jeffcott.

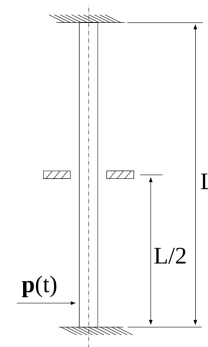
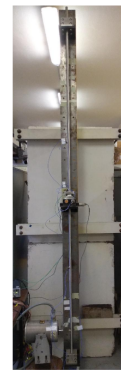


Figure 2: Expérience tube bi-encasté avec un point de choc à jeu ($L = 2.6\text{m}$).

References

- [1] Alcorta Galvan, Roberto. (2021) Prediction of non-linear responses and bifurcations of impacting systems : Contribution to the understanding of steam generator vibrations. PhD thesis, Université de Lyon. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03406785/>
- [2] Cast3M, website <http://www-cast3m.cea.fr/>.
- [3] Grenat C. (2019) A multi-parametric recursive continuation method for nonlinear dynamical systems. *Mechanical Systems and Signal Processing, Elsevier* **127**:276-289. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02067415>.
- [4] Xie L. et al (2015) Parametric analysis of the nonlinear behavior of rotating structures. *ASME IDETC/CIE 2015 Conference, International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Aug 2015, Boston, Massachusetts, United States*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01192860>.

Réduction du bruit d'origine électromagnétique dans les bobines industrielles

Benamar Mohamed Amine (1)

1 - Université de Technologie de Compiègne (France)

En raison des normes environnementales, il est nécessaire de trouver des solutions de réduction de bruit pour les dispositifs à haute tension. L'objectif de cette étude est de prédire la réponse vibroacoustique d'une bobine à noyau d'air monocouche à partir de son alimentation électrique. L'excitation prise en compte est la force de Laplace. Ce champ est créé par la bobine grâce au courant appliqué à son entrée. Le modèle multiphysique présenté est le résultat d'un chaînage de différents logiciels numériques pour le calcul électromagnétique, mécanique et vibroacoustique. Le modèle électromagnétique permet de calculer la distribution et les amplitudes des forces de Laplace appliquées sur la structure mécanique de la bobine. Le modèle mécanique permet de déterminer la base modale de la bobine sur laquelle les forces de Laplace sont appliquées. Enfin, la réponse vibroacoustique modale est calculée sur la base des résultats précédents. Des ajournements sont par la suite introduits dans la géométrie de la bobine permettant de réduire considérablement le bruit de cette dernière. Ce travail a fait l'objet d'un dépôt de brevet.

Propagation des ondes dans un panneau sandwich en nid d'abeille d'épaisseur variable : modèle et caractérisation de l'effet acoustique du trou noir

Besse Alex (1), O'donoghue Patrick (1), Aklouche Omar (2), Ablitzer Frédéric (1), Pelat Adrien (1), Gautier François (1)

1 - Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, CNRS UMR 6613, Le Mans, France (France), 2 - Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs du Mans (ENSIM) (France)

Début de thèse : 03/10/2022 Un Trou Noir Acoustique (ABH) est un diffuseur, intégré dans un panneau, permettant un contrôle passif des vibrations sans ajout de masse. En pratique, il est réalisé au moyen d'une réduction locale de l'épaisseur (disque axisymétrique à profil parabolique) et de l'ajout d'un mince revêtement viscoélastique dans une région centrale d'épaisseur uniforme. L'absorption des vibrations induites par l'ABH, permet de concevoir des panneaux rigides, légers et non résonnants. Dans cette communication, nous proposons d'étudier cet effet pour un panneau sandwich à trois couches (peau en fibre de verre/âme en nid d'abeille/peau en fibre de verre), qui donne lieu à des effets de flexion et de cisaillement. Les équations du mouvement du panneau sandwich épais, symétrique et à caractéristiques variables sont obtenues dans le cadre de la théorie zig-zag en appliquant le principe de Hamilton. Ces équations conduisent à un modèle analytique d'ordre 6, permettant d'obtenir les courbes de dispersion, puis à un modèle analytique du diffuseur inséré dans un panneau infini. Des tests expérimentaux, basés sur des cartes vibratoires obtenues par vibrométrie, sont utilisés pour discuter et valider les prédictions.

Caractérisation de l'amortissement des structures complexes par la fonction de Green

Bin Fazail Muhammad Najib (1), Chazot Jean-Daniel (2), Lefebvre Gautier (3), Atalla Nouredine (4)

1 - BIN FAZAIL (France), 2 - CHAZOT (France), 3 - LEFEBVRE (France), 4 - ATALLA (Canada)

Un nouveau modèle de corrélation basé sur la fonction de Green permettant d'estimer les paramètres élastiques équivalents des structures complexes en fonction de l'angle de propagation est développé. Contrairement à la méthode Inhomogeneous Wave Corrélation (IWC), le champ de déplacement mesuré est désormais corrélé avec un modèle basé sur la fonction de Green. Cette dernière est plus adaptée pour décrire le champ proche du point d'excitation et offre plus de stabilité sur l'estimation de l'amortissement comparée aux méthodes précédentes. Plusieurs résultats, avec des données simulées et mesurées, sont comparés au modèle analytique et montrent la précision de cette technique pour estimer précisément l'amortissement des structures complexes en fonction de la fréquence et de l'angle de propagation des ondes.

Modélisation tridimensionnelle des bâtiments type poteau poutre

Brisson Apolline, Guigou Catherine-Carter (1), Jean Philippe (2), Chazot Jean-Daniel (3)

1 - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (France), 2 - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (Grenoble France), 3 - Université de Technologie de Compiègne (France)

Les bâtiments poteau poutre représentent la catégorie architecturale des bâtiments dont la structure porteuse sont des éléments de poutre (horizontal) ou poteau (vertical). Ce type d'architecture est très utilisé car elle permet d'obtenir des étages spacieux, flexibles dans leur organisation. Ils sont très communs dans le paysage urbain allant des bâtiments haussmaniens aux immeubles de bureaux actuels, en passant par les structures légères.

Pour limiter l'impact vibratoire du trafic routier et ferroviaire sur l'environnement urbain, une modélisation précise de la propagation des ondes dans le bâtiment doit être effectuée en amont de travaux de rénovation ou de construction. Si des méthodes performantes existent déjà, comme les éléments finis 3D ou éléments finis 2,5D, celles-ci ne sont pas adaptées aux constructions de type poteau poutre. L'objectif de ce travail consiste à proposer un modèle ou un hybridage d'approches adapté aux structures poteau poutre en trois dimensions permettant d'obtenir des résultats plus réalistes et adaptés aux hypothèses induites par les structures poteau poutre pour une excitation basse fréquence (ferroviaire ou bus).

Une première approche de modèle a été développée au cours d'un stage au sein du CSTB précédant une thèse. Au cours de celui-ci, la méthode de raideur dynamique (ou "dynamic stiffness methode") a été sélectionnée. Ce modèle a été validé pour plusieurs types de treillis en 2D. L'extension à la troisième dimension montre une faiblesse au niveau des jonctions qui impacte les résultats. Enfin, le modèle doit être encore complété pour pouvoir représenter un bâtiment en prenant en compte par exemple l'effet des murs et planchers, la prise en compte du modèle de sol et de ses fondations et une excitation tridimensionnelle. Dans le prolongement de ce travail, une thèse s'engage entre le CSTB, la RATP et sous responsabilité académique de l'UTC, pour pouvoir creuser ces problématiques.

Prédiction de la réponse vibratoire d'aubes fan en rotation amorties par patches viscoélastiques

Couet Matteo (1) (2) (3), Rouleau Lucie (3), Deü Jean-François (3), Thouverez Fabrice (2), Gruin Marion (1)

1 - Safran Aircraft Engines (France), 2 - LTDS (France), 3 - LMSSC (France)

Au sein d'un turbomoteur, le module Fan est soumis à différents phénomènes vibratoires pouvant conduire, dans des cas extrêmes, à une ruine par fatigue des aubages. Avec le besoin de concevoir des moteurs de plus en plus performants, l'optimisation des géométries d'aube accroît la sensibilité à ces phénomènes vibratoires. De nouvelles approches doivent donc être mises en place afin de les maîtriser. Parmi ces innovations, le contrôle vibratoire passif par patches viscoélastiques est une solution dont l'efficacité a déjà été démontrée dans de nombreuses applications industrielles. L'objectif de ce travail est de développer la maîtrise de cette technologie pour des aubes fan en rotation. Cet objectif implique le développement d'outils numériques prédictifs permettant d'estimer l'amortissement vibratoire apporté par des patches viscoélastiques. Dans un premier temps, un modèle éléments finis 3D d'une aube fan, tenant compte de la symétrie cyclique et des effets centrifuges, est mis en place. Il a pour but de prédire la réponse vibratoire de la structure autour d'un état précontraint non linéaire associé aux effets centrifuges. Ce calcul implique la résolution d'un problème quasi-statique non linéaire et d'un problème vibratoire linéarisé autour de l'état précontraint. Dans un deuxième temps, des patches viscoélastiques sont ajoutés en surface de l'aube en générant un maillage par extrusion. La dépendance fréquentielle des propriétés viscoélastiques est prise en compte par un modèle à dérivée fractionnaire. Afin de calculer à moindre coût la réponse fréquentielle de l'aube amortie, une méthode multi-modèle est appliquée pour la résolution du problème vibratoire. Cette méthode de réduction de modèle combine plusieurs bases de modes linéaires évaluées à diverses fréquences et est particulièrement adaptée aux structures fortement amorties. Les résultats obtenus permettent de prédire le gain d'atténuation apporté par la technologie d'amortissement vibratoire. Cette approche visera à terme l'optimisation paramétrique et/ou topologique de patches viscoélastiques.

Contrôle vibratoire des composites multicouches par pilotage thermique

Da Silva Raqueti Rafael (1) (2), Ouisse Morvan (2), Atalla Noureddine (1), Sadoulet-Reboul Emeline (2)

1 - Université de Sherbrooke (Canada), 2 - Franche-Comté Électronique Mécanique, Thermique et Optique - Sciences et Technologies (UMR 6174) (France)

On cherche à démontrer la faisabilité du contrôle en temps réel des réponses vibratoires d'une structure sandwich à cœur en polymère à mémoire de forme, en s'appuyant sur le principe du pilotage thermique. Le tBA/PEGDMA est un exemple de polymère à mémoire de forme. Ce genre de matériau présente un pouvoir amortissant très élevé à des températures au voisinage de la température de transition vitreuse. La méthodologie proposée consiste à répartir la structure sandwich en zones. Chaque zone est formée par un champ de température homogène. Cette distribution assurera la réduction des vibrations en préservant la rigidité de la structure sandwich. L'usage de modèles de plaque équivalente est envisagé dans le but de réduire les coûts en temps de calcul pour le contrôle vibratoire. Le défi est de sélectionner et de valider un modèle qui permet de prendre en compte des couches de matériaux viscoélastiques à pouvoir amortissant très élevé. Ensuite, les propriétés équivalentes seront implémentées dans un modèle éléments finis de plaque. Une optimisation dimensionnelle est prévue afin de déterminer, en fonction du nombre de zones, les dimensions optimales pour minimiser les réponses vibratoires pour diverses conditions de chargement. Le modèle optimal sera ensuite utilisé dans la définition d'une stratégie de contrôle. Enfin, la validité de la méthodologie proposée sera démontrée par des essais mécaniques. Un prototype de la structure sandwich sera fabriqué et soumis à des sollicitations dynamiques et les amplitudes de déplacements seront mesurées. Des capteurs de température permettront à la structure sandwich de mesurer les évolutions des champs de température des zones et d'évaluer son auto-adaptabilité.

Contrôle aux bornes tangentielles pour propagation acoustique non-réciproque dans guides d'onde.

De Bono Emanuele (1), Ouisse Morvan (2), Collet Manuel (3), Matten Gaël (4), Billon Kevin (5), Salze Edouard

1 - Franche-Comté Électronique Mécanique, Thermique et Optique - Sciences et Technologies (UMR 6174) (France), 2 - Franche-Comté Électronique Mécanique, Thermique et Optique - Sciences et Technologies (UMR 6174) (France), 3 - Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (36 Avenue Guy de Collongue, 69134 Ecully Cedex France), 4 - Univ. Bourgogne Franche-Comté, FEMTO-ST Institute, CNRS/UFC/ENSMM/UTBM (France), 5 - Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures [Villeurbanne] (France)

La propagation non-réciproque des ondes est un sujet très attractif dans plusieurs domaines : communication, imagerie, capture d'énergie, isolation et protection de source, etc. Il consiste en enfreindre le principe physique de réciprocité, selon lequel changeant la position d'émetteur et récepteur, ne va pas changer le signal à la position du récepteur. Entre les différentes techniques pour enfreindre ce principe, le contrôle aux bornes tangentielles donne des perspectives importantes pour la manipulation des ondes acoustiques. Au présent, la propagation sonore non-réciproque dans une guide d'onde a été démontrée que pour le mode plan. Dans cette contribution, on va exposer le principe général du contrôle au borne d'une guide d'onde pour la propagation non-réciproque aussi des modes acoustiques non-plans, avec des perspectives d'atténuation de la transmission du bruit qui pourrait être implémenté dans plusieurs domaines. Simulations et résultats expérimentaux vont démontrer les potentialités de cette technique de contrôle et manipulations de la propagation acoustique.

Nano drone bio inspiré à ailes vibrantes

De La Bigne Marguerite (1) (2), Cattan Eric (3), Ghenna Sofiane (4), Grondel Sébastien (3), Thomas Olivier (5)

1 - Arts et Métiers ParisTech (France), 2 - Institut d'Électronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie (IEMN) - UMR 8520 (France), 3 - Univ. Polytechnique Hauts-de-France, IEMN - Institut d'Électronique de Microélectronique et de Nanotechnologie, DOAE - Département d'Opto-Acousto-Électronique (France), 4 - L2EP- université lille1 (Université des Sciences et Technologies de Lille Bâtiment P2 France), 5 - Arts et Metiers Institute of Technology, LISPEN, HESAM Université (F-59000 Lille France)

Le but de cette thèse est d'optimiser un nanodrone bio-inspiré à ailes vibrantes. Celle-ci s'intègre à un projet mené par l'IEMN (Institut d'Électronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie) et le LISPEN (Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Physiques Et Numériques) des Arts et Métiers qui a pour objectif de faire décoller le plus petit drone au monde. Des travaux antérieurs ont permis d'aboutir à une série de prototype dont la cinématique se rapproche de celle de l'insecte. Le drone est une structure souple réalisée, par des procédés de microfabrication. Il est mis en mouvement grâce à un actionneur électromagnétique. Les ailes vont ainsi rentrer en vibration et produisent des modes de flexion mais aussi de torsion. Pour générer une force de portance il a été démontré qu'il faut avoir une quadrature de phase entre le mode de flexion et le mode de torsion de l'aile. Cette thèse se concentre sur une nouvelle génération de prototype, basée sur les résultats obtenus par les travaux antérieurs. L'objectif est d'obtenir une géométrie permettant d'augmenter l'amplitude de débattement des ailes tout en conservant le principe de couplage de modes, afin de créer une force de portance trois fois supérieure au poids du nanodrone.

Vibrations non linéaire de structures élancées hautement flexibles : modèles réduits et stratégies numériques efficaces

Debeurre Marielle (1), Thomas Olivier (2), Grolet Aurelien (3)

1 - Arts et Métiers Institute of Technology, LISPEN, HESAM Université (France), 2 - Arts et Metiers Institute of Technology, LISPEN, HESAM Université (France), 3 - Arts et Métiers Institute of Technology, LISPEN, HESAM Université (France)

Date de début de thèse : 1 juin 2020 Cette thèse porte sur la modélisation et l'analyse efficace des structures élancées hautement flexibles en vibration non linéaire. L'étude des systèmes de poutres hautement flexibles tels que les tuyaux, les câbles ou les réglets représente un sujet de recherche pertinent car il existe de nombreuses applications industrielles. Les poutres élancées ont très peu de rigidité en flexion due en grande partie à leur section très fine et sont donc capables d'atteindre des déplacements de très grande amplitude. Les déplacements de très grande amplitude impliquent nécessairement des termes non linéaires (les non linéarités géométriques) liés à la rotation de chaque section de la poutre lorsque les rotations deviennent trop importantes pour être linéarisées. Plusieurs modèles existent dans la littérature pour modéliser les structures de poutres élancées, dont certains qui simplifient ou tronquent les non linéarités géométriques et qui sont donc plus faciles à résoudre mais ne peuvent pas capturer les rotations de grande amplitude. Dans cette thèse, on est principalement intéressé par le modèle de poutre géométriquement exact qui préserve les non linéarités géométriques exactes sans approximation ni troncature : ce modèle est donc capable de capturer le comportement dynamique exact quel que soit l'amplitude de vibration. On propose dans cette thèse une discrétisation du modèle géométriquement exact en éléments finis résolue dans le domaine fréquentiel par une stratégie efficace basée sur un développement en séries de Fourier avec la méthode de l'équilibrage harmonique et une méthode de continuation. Avec la méthode de résolution proposée, il est possible d'étudier les divers phénomènes de la dynamique non linéaire (les bifurcations et instabilités, le transfert d'énergie lors des résonances internes, les modes non linéaires, etc.) dans le cadre particulier des structures de poutres flexibles, ce qui représente le cœur de cette thèse.

Self-adaptive piezoelectric shunt damping based on reinforcement learning considering harmonic excitation

Dos Santos Paixão Jessé Augusto (1), Chevallier Gaël (2), Sadoulet-Reboul Emeline (2), Foltête Emmanuel (2), Cogan Scott (2)

1 - Franche-Comté Électronique Mécanique, Thermique et Optique - Sciences et Technologies (UMR 6174) (France), 2 - Franche-Comté Électronique Mécanique, Thermique et Optique - Sciences et Technologies (UMR 6174) (France)

Piezoelectric shunt damping is an effective solution for the attenuation of mechanical vibration in smart structures. It relies on the dissipation of vibration energy through an electrical circuit integrated into piezoelectric transducers attached to a host structure. Circuits formed by the association of resistors and inductors, known as resonant shunts, are recognized to provide significant vibration attenuation. The traditional design of these resonant shunts consists in tuning the resonance frequency of the electrical system to that of the mechanical system by selecting an adequate inductor. However, its damping performance is highly sensitive to variations in transducer capacitance and structural resonance frequencies caused by changes in operational and/or environmental conditions. Some works in the literature tried to address this limitation by using adaptive control strategies to perform online adaptation of shunt impedance employing synthetic impedance circuits, which however can lead to stability problems. In this work, we propose a self-adaptive control strategy of passive resonant shunts applying reinforcement learning in a demonstration case of an airplane prototype. A numerical model is used to place the piezoelectric patches and to design the resonant shunt circuits for attenuation of its third mode. The resonant shunt circuits are designed with three different inductors, which allow changing the resonance frequency of the electric circuit between the resonance of the third mode and a slightly higher and lower than this frequency. Numerical and experimental results demonstrate that self-adaptive control trained with reinforcement learning can improve the performance of vibration attenuation compared to traditional design with a constant inductance.

Etudes non linéaires des sévérités vibratoires des freins aéronautiques – application aux solutions antivibratoires

Fagan Xavier (1)

1 - Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (France)

Les travaux de thèse portent sur la simulation d'instabilités vibratoires dans les systèmes de freinage aéronautiques. Ils visent à améliorer la représentation des phénomènes observés en essai, de plus ils cherchent à modéliser l'effet des solutions antivibratoires sur le comportement du frein. Ces travaux étant basés sur la simulation temporelle d'un système de taille importante, il est primordial de maîtriser le nombre de degrés de liberté du système et les temps de calcul. Pour cela, des techniques de synthèse modale ont été mises en place à différents niveaux de la modélisation ; des études ont permis de confirmer leur convergence, ainsi que les paramètres offrant le meilleur compromis entre précision et taille du système. Une phase de hiérarchisation des non-linéarités est en cours afin d'établir quels phénomènes conserver dans le modèle en fonction de la finesse de modélisation recherchée. Certaines non-linéarités nécessitent d'ajouter des calculs importants à chaque pas de temps, ce qui réduit l'efficacité et l'applicabilité du modèle, d'où le besoin de trouver un juste milieu en fonction de l'objectif. Ensuite, la méthode sera exportée à deux nouveaux systèmes de freinage afin de renforcer sa robustesse. De plus, ces freins opèrent avec des dispositifs qui empiriquement ont montré une réduction des niveaux de vibrations. Les travaux de thèse étudieront la physique associée pour mieux comprendre leur fonctionnement et éventuellement aider le réglage de ces dispositifs.

Structures programmables, réseaux de transducteurs pilotés par Intelligence Artificielle

Febvre Seck Maryne (1) (2), Chesne Simon (2), Collet Manuel (1), Rodriguez Jonathan (2)

1 - Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (France), 2 - Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures [Villeurbanne] (France)

L'essor du développement de nouvelles techniques de mise en forme de la matière permet la création d'éléments multi-composés aux propriétés diversifiées. Des méta-matériaux couplant électricité et mécanique autorisent une fonctionnalisation des structures avec des propriétés de focalisation, de diffusion ou d'absorption d'énergie. Les structures adaptatives étudiées sont de forme simple de type poutre et plaque afin de proposer une première approche en environnement connu de la littérature. La partie électrique est matérialisée par un réseau de transducteurs piézoélectriques pouvant fonctionner à la fois en tant que capteurs et actionneurs électro-mécaniques. Dans un premier temps, le contrôle de vibrations de poutres encastrées libres est réalisé par des patches piézoélectriques shuntés. Afin d'optimiser le réglage de ces shunts, une approche statistique est déployée à travers un apprentissage par renforcement. Cette méthode est catégorisée comme du machine learning et ne nécessite pas de base de données.

Des méthodes d'optimisations analytiques sur des poutres mono-patches ont été développées par Preumont [1] pour un shunt résistif, Hagood [2] pour un shunt inductif et Collet [3] pour un shunt capacitif. L'ajout d'un shunt permet de diminuer l'amplitude d'un ou plusieurs modes de la poutre. Les performances de cet amortissement sont conditionnées par le couplage électromécanique entre le transducteur et la structure. La bibliographie constitue une référence permettant de tester les performances de la méthode de réglage optimal par apprentissage en comparaison avec des méthodes analytiques connues. Lorsque le nombre de transducteur augmente sur la structure, un effet d'inter-influence d'un patch par rapport à un autre entraîne un réglage optimal plus difficile à identifier. L'intérêt de l'utilisation de méthodes d'intelligence artificielle est alors significatif pour sa capacité d'analyse de données et d'ajustement en temps réel. Le réglage d'un shunt électrique RLC ou d'un contrôleur PID adapté à chaque élément piézoélectrique peut être envisagé grâce à cette approche.

[1] A. Preumont. *Vibration Control of Active Structures*. 2018

[2] N. W. Hagood and A. von Flotow. Damping of structural vibrations with piezoelectric materials and passive electrical networks, *Journal of Sound and Vibration*, 146 :243-268, 1991

[3] M. Collet, M. Ouisse, K. A. Cunefare, M. Ruzzene, B. Beck, L. Airoldi and F. Casadei. Vibroacoustic energy diffusion optimization in beams and plates by means of distributed shunted piezoelectric patches. Pages 265-302, 2011

Dynamiques d'une chaîne périodique de cellules non-linéaires de type masse imbriquée

Flosi Jean (1), Ture Savadkoochi Alireza (1), Lamarque Claude-Henri (1)

1 - Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (France)

Les différentes dynamiques d'une chaîne périodique de cellules de type masse imbriquée sont étudiées. Le choix d'une approche continue mène à l'équation de dispersion du système continu associé et permet l'expression de la forme générale des solutions du système linéarisé. En considérant une unique harmonique qui vérifie la résonance 1 :1 avec le mode visé de la chaîne, les équations de dynamique rapide permettent l'expression d'une variété invariante lente et ses zones d'instabilités sont déduites. La dynamique lente permet la détermination des singularités du système et de ses points d'équilibres, permettant l'obtention des courbes de réponses fréquentielles. De cette manière, il est possible de prédire l'existence de comportements périodiques ou non-périodiques et le caractère analytique de l'étude permet le choix des valeurs des paramètres physiques de la chaîne afin de calibrer la réponse dans le but de produire de la localisation d'énergie et provoquer des réponses périodiques ou non-périodiques.

Application d'une stratégie de contrôle actif de vibrations pour la conservation d'objets patrimoniaux dans un contexte muséographique.

Forma Loïc (1) (2) (3), Jossic Marguerite (4), Boutin Henri (5), Le Conte Sandie (6), Wilkie-Chancellier Nicolas (7)

1 - Institut national du patrimoine (France), 2 - Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique (France), 3 - Systèmes et Applications des Technologies de l'Information et de l'Energie (SATIE - CNRS UMR 8029) (France), 4 - Cité de la musique-Philharmonie de Paris (France), 5 - IRCAM - CNRS UMR 9912 - UPMC (1, place Igor Stravinsky 75004 Paris France), 6 - Institut national du patrimoine - Laboratoire de recherche (Département des restaurateurs - 124 rue Henri Barbusse France), 7 - Systèmes et Applications des Technologies de l'Information et de l'Énergie (France)

Dans le domaine du patrimoine, les vibrations, encore absentes des normes à respecter en termes de conservation, sont de plus en plus souvent considérées, principalement à cause du phénomène de fatigue vibratoire. En effet, les objets du patrimoine sont constamment exposés à des sources de vibrations (transports publics, musique amplifiée, pas des visiteurs...), entraînant fragilisation, rupture, voire chute des objets. Pourtant, les systèmes de protection proposés jusqu'à présent n'ont jamais dépassé le cadre de l'étude scientifique : peu efficaces dans certaines gammes de fréquences, couteuses ou peu adaptées à la muséographie, ces solutions ne prennent souvent pas en compte les besoins pratiques des acteurs du patrimoine. Pour dépasser ces limites, le présent travail propose un système de protection basé sur le principe du contrôle actif, avec pour objectif de démontrer qu'une stratégie de type feedforward permet un contrôle efficace dans les situations rencontrées par les objets du patrimoine. Cette solution nécessite l'utilisation d'un capteur de référence pour mesurer la vibration en amont de l'objet du patrimoine, d'un actionneur pour minimiser l'amplitude vibratoire mesurée au niveau de l'objet par un capteur vérifiant la bonne minimisation. Une réplique d'étagère de musée est utilisée comme banc d'essai pour reproduire une situation de contrôle similaire à celles rencontrées dans le domaine du patrimoine. Cette étagère, équipée d'un système de contrôle actif, est excitée à sa base par un pot vibrant alimenté par des signaux mesurés in situ afin de mimer la réalité de terrain. Des descripteurs de performances reliés à l'atténuation globale, au temps de convergence et à l'atténuation dans le domaine fréquentiel sont utilisés pour quantifier l'efficacité du dispositif de contrôle. Les résultats montrent que le système proposé est capable d'atténuer un bruit harmonique de 38dB en 0.2s et un bruit large bande de 10dB en 0.8s.

Amélioration de la dissipation d'énergie par les éléments non structuraux dans le comportement dynamique des structures aérospatiales

Fournier Lisa (1)

1 - Institut Clément Ader (France)

Les structures aérospatiales sont soumises à des vibrations de grandes amplitudes pendant les différentes phases de leurs vols. Ces structures sont toujours composées d'une structure principale et d'éléments dits non structuraux. Il a été prouvé que ces éléments pouvaient amortir de manière significative la structure globale. De plus, les effets des éléments non structuraux (ENS) sur les vibrations de grandes amplitudes pourraient expliquer les différences observées et notables entre les modèles numériques existants et les résultats expérimentaux. En effet, les éléments non structuraux, tels que les faisceaux de câbles, peuvent représenter jusqu'à dix pour cent de la masse totale de la structure. Et à ce jour, le comportement dynamique de ces éléments n'a pas été pris en compte dans le modèle global des structures aérospatiales. Cela conduit à l'idée que le développement d'un couplage dynamique entre les ENS et la structure principale pourrait améliorer de manière significative la prédiction du comportement dynamique de la structure globale. De plus, cela pourrait conduire à une réduction de la masse globale et donc à une réduction des coûts totaux. Pour ce faire, l'enjeu principal de ces travaux de recherche est de développer une stratégie adaptée pour déterminer les paramètres du modèle dynamique des ENS à partir des essais expérimentaux vibratoires disponibles qui donnent les fonctions de réponse en fréquence de la structure avec et sans présence des ENS.

Prédiction de l'environnement vibratoire d'un avion par apprentissage automatique

Février Stéphane (1), Nachar Stéphane (2), Mathelin Lionel (1), Giordano Frédéric (3), Podvin Bérengère (4)

1 - Laboratoire interdisciplinaire des sciences du numérique (91405, Orsay France), 2 - Dassault Aviation (78, quai Marcel-Dassault, 92552 Saint-Cloud Cedex 300 France), 3 - Dassault Aviation (Base Aérienne 125, ZI le Tubé, 13800 Istres France), 4 - Laboratoire Énergétique Moléculaire et Macroscopique, Combustion (91190, Gif-sur-Yvette France)

L'environnement vibratoire dans un avion correspond aux sollicitations dynamiques moyennes et basses fréquences subies par la structure et les équipements embarqués durant l'utilisation de l'appareil. Ces sollicitations peuvent être de plusieurs types (aléatoires plus ou moins large bande, sinusoïdales, etc.) et avoir plusieurs origines (interaction avec champs aérodynamiques, machines tournantes, etc.).

Leur étude permet de spécifier les niveaux vibratoires que la structure et les équipements de l'avion doivent être capables de supporter tout au long de leur vie. La prédiction du comportement dynamique d'un avion complet sur une plage de fréquence s'étendant jusqu'à 2000Hz nécessite des moyens et méthodes de calcul difficilement accessibles actuellement. Des essais en vol sont alors réalisés, générant un important volume de données accélérométriques à haute fréquence d'échantillonnage. Ces données sont exploitées en parallèle des modèles physiques pour permettre la définition de l'environnement vibratoire de l'avion.

L'objectif de l'étude est de prédire l'environnement vibratoire d'un nouvel avion en tout point de sa structure, et ce dès la phase de conception où seule une maquette numérique voire un modèle EF grossier est disponible. Pour y arriver, un certain nombre de problématiques sont à résoudre. La première est d'être capable de réaliser une prédiction en un point de la structure pour un avion connu, et ce à partir d'informations caractérisant les sources d'excitation. La deuxième problématique est d'étendre cette prédiction à une structure complète, notamment en caractérisant les chemins de propagation structuraux. Enfin, la dernière problématique est d'étendre cette prédiction à de nouveaux avions, en développant une représentation métier simplifiée.

Cette présentation s'attache à détailler les différentes problématiques évoquées et à fournir un aperçu des solutions déjà proposées ou en cours de développement.

Predicting acoustic radiation from static deformations

García A. Carlos (1), Dauchez Nicolas (1), Lefebvre Gautier (1)

1 - Université de technologie de Compiègne (France)

When a structure is excited by a diffuse field or by random point sources of the type "rain on the roof", average radiation values can be calculated using a modal approach. All modes are alike favored and only resonance frequencies and modal radiation efficiencies are necessary. In this sense, we propose a model for estimating the average radiation from structures, where all the information comes from the static deformation and geometry of the structure. For geometries that are close to rectangles, the spectrum is estimated with the static Green's function solution of rectangular geometries, and the modal radiation is determined with circular pistons.

Imagerie ultrasonore 3D pour l'interaction homme-machine sans-contact

Glémair Paul (1) (2), Hudin Charles (1), Orefice Pierre-Henri (1), Mechbal Nazih (2)

1 - Laboratoire d'Intégration des Systèmes et des Technologies (France), 2 - Laboratoire Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux (France)

De nouvelles fonctionnalités sont développées au quotidien sur nos appareils numériques, s'appuyant sur divers modes d'interaction. Des travaux sur le retournement temporel ont montré qu'il était possible de réaliser des images 3D sans contact avec un faible nombre de transducteurs couplés à une cavité réverbérante. Il est envisagé dans ces travaux de thèse d'utiliser des plaques minces et de contrôler leur rayonnement acoustique afin de permettre une interaction avec du contenu numérique. Pour cela, une plaque de verre couplée à quelques transducteurs piézoélectriques est utilisée comme antenne acoustique tandis que des microphones sont mis en œuvre pour capter les échos. La méthode de retournement temporel peut ainsi être confrontée à d'autres méthodes, s'appuyant sur l'existant en imagerie médicale ou CND. Une méthode d'imagerie non-focalisée a notamment été implémentée, augmentant la cadence d'imagerie de l'existant, sans dégrader la qualité de l'image. Cette implémentation permettrait la réalisation d'une centaine d'images par seconde, rendant possible la détection de gestuelle en temps réel. Par ailleurs, des recherches sur la classification de gestes à l'aide d'émission Doppler sont réalisées, pouvant s'appuyer sur un comportement très directif de la plaque à différentes fréquences. Des paramètres physiques concernant les mouvements et gestes effectués sont extraits des signaux d'échos et analysés. La reconnaissance de geste et le suivi de déplacement d'un objet peuvent être envisagés, offrant de nouvelles applications au système. L'utilisation d'un classifieur pourra être considérée afin d'augmenter les performances du système.

Application of Video-based Displacement Measurement on Tower Crane

Han Yunhyeok (1)

1 - Laboratoire Quartz (France)

With the aim to analyze the vibration of civil and large-scale mechanical structures, video-based displacement measurement has emerged as an attractive technique thanks to its advantages, such as non-contact, full-field measurement, and low interference to occupants. Furthermore, there is a growing demand for wooden buildings since timber is considered a sustainable alternative to concrete and steel. In this context, the thesis focuses on developing a computer vision (CV)-based measurement protocol to measure the vibrations of high-rise timber buildings and large structures. As the first step of this thesis, a video-based displacement measurement using a camera network was conducted on a tower crane. It's because the measurement condition based on the CV for a tower crane is similar to that for a high-rise timber building. For CV-based 3D displacement calculation, a procedure is applied that consists of (1) Data acquisition with a camera network, (2) Camera synchronization using a coded light signal, (3) Camera calibration with two steps, (4) Motion tracking based on Digital Image Correlation (DIC) and (5) Structural 3D displacement calculation with non-linear triangulation. As a result, full-field 3D displacement was measured based on CV. Furthermore, the 3D displacement results extracted from videos are well superposed with data acquired contact-based sensor (accelerometer).

Imagerie ultrasonore 3D pour l'interaction homme-machine sans-contact

Glémair Paul (1) (2), Hudin Charles (1), Orefice Pierre-Henri (1), Mechbal Nazih (2)

1 - Laboratoire d'Intégration des Systèmes et des Technologies (France), 2 - Laboratoire Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux (France)

De nouvelles fonctionnalités sont développées au quotidien sur nos appareils numériques, s'appuyant sur divers modes d'interaction. Des travaux sur le retournement temporel ont montré qu'il était possible de réaliser des images 3D sans contact avec un faible nombre de transducteurs couplés à une cavité réverbérante. Il est envisagé dans ces travaux de thèse d'utiliser des plaques minces et de contrôler leur rayonnement acoustique afin de permettre une interaction avec du contenu numérique. Pour cela, une plaque de verre couplée à quelques transducteurs piézoélectriques est utilisée comme antenne acoustique tandis que des microphones sont mis en œuvre pour capter les échos. La méthode de retournement temporel peut ainsi être confrontée à d'autres méthodes, s'appuyant sur l'existant en imagerie médicale ou CND. Une méthode d'imagerie non-focalisée a notamment été implémentée, augmentant la cadence d'imagerie de l'existant, sans dégrader la qualité de l'image. Cette implémentation permettrait la réalisation d'une centaine d'images par seconde, rendant possible la détection de gestuelle en temps réel. Par ailleurs, des recherches sur la classification de gestes à l'aide d'émission Doppler sont réalisées, pouvant s'appuyer sur un comportement très directif de la plaque à différentes fréquences. Des paramètres physiques concernant les mouvements et gestes effectués sont extraits des signaux d'échos et analysés. La reconnaissance de geste et le suivi de déplacement d'un objet peuvent être envisagés, offrant de nouvelles applications au système. L'utilisation d'un classifieur pourra être considérée afin d'augmenter les performances du système.

Application of Video-based Displacement Measurement on Tower Crane

Han Yunhyeok (1)

1 - Laboratoire Quartz (France)

With the aim to analyze the vibration of civil and large-scale mechanical structures, video-based displacement measurement has emerged as an attractive technique thanks to its advantages, such as non-contact, full-field measurement, and low interference to occupants. Furthermore, there is a growing demand for wooden buildings since timber is considered a sustainable alternative to concrete and steel. In this context, the thesis focuses on developing a computer vision (CV)-based measurement protocol to measure the vibrations of high-rise timber buildings and large structures. As the first step of this thesis, a video-based displacement measurement using a camera network was conducted on a tower crane. It's because the measurement condition based on the CV for a tower crane is similar to that for a high-rise timber building. For CV-based 3D displacement calculation, a procedure is applied that consists of (1) Data acquisition with a camera network, (2) Camera synchronization using a coded light signal, (3) Camera calibration with two steps, (4) Motion tracking based on Digital Image Correlation (DIC) and (5) Structural 3D displacement calculation with non-linear triangulation. As a result, full-field 3D displacement was measured based on CV. Furthermore, the 3D displacement results extracted from videos are well superposed with data acquired contact-based sensor (accelerometer).

Contrôle de vibration semi-actif pour transmission électrique automobile

Hay Guillaume (1), Mahe Hervé (2), Benacchio Simon (3), Giraud-Audine Christophe (4), Thomas Olivier (3)

1 - Arts et Metiers Institute of Technology, LISPEN, HESAM Université (France), 2 - Valeo transmissions, Centre d'Etude des Produits Nouveaux Espace Industriel Nord, Route de Poulainville, 80009 Amiens, Cedex 1, France (France), 3 - Arts et Metiers Institute of Technology, LISPEN, HESAM Université (F-59000 Lille France), 4 - Laboratoire d'électrotechnique et d'électronique de puissance de Lille (L2EP) (8 Bd Louis XIV, 59800 Lille France)

Dans les chaînes de traction électrique automobiles, le bruit d'engrènement des pignons de la boîte de vitesse, dit bruit de sirènement, constitue un inconvénient majeur pour le confort du conducteur et de ses passagers. Les solutions employées habituellement tels que filtre mécanique coupe-haut ou les batteurs accordés ne sont plus adaptées en raison de la disparition de l'embrayage dans les motorisations / transmissions électriques et parce que le sirènement est typiquement à haute fréquence, hors de portée des dispositifs mécaniques. Dans cette thèse, on se propose d'étudier plusieurs solutions pour réduire les bruits et vibrations dans la chaîne de transmission, en utilisant des dispositifs électromagnétique ou piézoélectrique, qui permettent de coupler les vibrations mécaniques à un circuit électronique, dont le rôle est de s'opposer aux vibrations et ainsi les réduire.

Cette thèse s'inscrit dans la continuité de premier travaux du laboratoire qui ont validé l'équivalence du batteur à masse accordée mécanique et d'un système électromécanique couplé à une structure mécanique par un actionneur électromagnétique. De plus, un dispositif électronique original a été proposé pour régler la fréquence de résonance du circuit électrique. Ces solutions résultent en un absorbeur qui a les avantages d'être dépourvu d'instabilités, à l'opposé de certains dispositifs de contrôle actif, et adaptatif, de sorte qu'il est ajustable à la fréquence de rotation du moteur.

Le principal enjeu de cette thèse est de généraliser ce principe pour contrôler les vibrations de torsion d'une chaîne de transmission automobile et ainsi réduire significativement les bruits de sirènement. Cela introduit plusieurs difficultés qu'il est nécessaire de lever. D'une part, les transducteurs commercialement disponibles ne respectent pas les conditions optimales d'absorption des vibrations. D'autre part, le suivi automatique de fréquence doit être suffisamment robuste pour envisager son utilisation en conditions réelles.

Analyse de l'évolution du comportement vibratoire des immeubles de grande hauteur en bois

Janot Dorian (1), Vieux-Champagne Florent (1), Boudaud Clément (2), Gueguen Philippe (3)

1 - Laboratoire 3SR (France), 2 - Ecole Supérieure du Bois et des Matériaux Biosourcés (France), 3 - ISTerre (France)

Le domaine du BTP a un rôle important à jouer dans le contexte actuel de réduction d'énergie. Parmi les principes constructifs à impact carbone plus faible, les structures bois offrent un bon rapport raideur/légèreté aux bâtiments impliquant de bonnes caractéristiques parasismiques en contrepartie d'une plus grande sensibilité aux excitations du vent pouvant générer de l'inconfort pour les habitants. Cet inconfort peut être évalué à partir des caractéristiques dynamiques des bâtiments. Dans les bâtiments classiques, ces paramètres sont sujets à des variations au cours du temps et en fonction de l'environnement, phénomène qui demande à être quantifié pour les structures bois. Ces variations pourraient traduire d'un endommagement de la structure pouvant nuire à son utilisation ou bien atteindre des seuils de perceptibilité des vibrations qui pourrait gêner les habitants et réduire leur confort. L'objectif de la thèse est de mettre en évidence les phénomènes de variations de fréquence, d'amortissement et d'accélération en tête de tour sur le long terme afin de mieux comprendre les mécanismes du comportement vibratoire dans les immeubles de grande hauteur en bois. Pour cela, le bâtiment Haut-Bois (R+8) à Grenoble, en accord avec la société Actis, a été instrumenté début 2022 pour une durée de trois ans avec quatre vélocimètres, permettant de mesurer en continu les vibrations ainsi qu'une station météo pour observer les variations météorologiques. Les données vibratoires seront traitées avec la Random Decrement Technique pour isoler les différents modes propres. Les premiers résultats montrent des variations de fréquences périodiques journalières et hebdomadaires. De plus une tendance de baisse des fréquences propres a été observée durant les premiers mois de mise en service. Les résultats devront ensuite être mis en lien avec les données météorologiques et les différents évènements sismiques. Les résultats seront également corrélés avec un modèle EF pour dimensionner plus facilement de tels bâtiments.

Thèse imagerie acoustique embarquée sur drone

Leblanc Camille (1) (2) (3) (4), Chazot Jean-Daniel (4), Castillo Pedro (5), Marchiano Regis (2), Gras Thibaut (3)

1 - Heuristique et Diagnostic des Systèmes Complexes [Compiègne] (France), 2 - Institut Jean Le Rond d'Alembert (France), 3 - Centre Technique des Industries Mécaniques (France), 4 - Roberval UTC (France), 5 - Heuristique et Diagnostic des Systèmes Complexes [Compiègne] (France)

Les procédés de maintenance d'infrastructures industrielles basés sur des émissions sonores sont divers et variés. La plupart d'entre eux consistent en la localisation d'un défaut dont la signature acoustique est connue. Les antennes acoustiques répondent particulièrement bien à ce besoin (localisation de sources, augmentation du ratio signal-sur-bruit). Les travaux récents, autant sur l'architecture des antennes (développement d'antennes à microphones MEMS) que sur les algorithmes de traitement du signal (localisation de source performante et rapide), ont permis d'en faire des outils incontournables dans le domaine du diagnostic d'installations industrielles. Dans l'optique d'automatiser ces procédés de contrôle, un concept d'antennerie embarquée sur drone autonome est proposé. L'objectif est de mettre en place un démonstrateur capable de survoler un site industriel à la recherche d'un défaut dont la signature acoustique est connue. Pour ce faire, plusieurs défis techniques sont à relever. Tout d'abord, l'imagerie acoustique devra être robuste et fonctionner en temps-réel, tout en satisfaisant aux contraintes de l'embarqué. Pour cela, un algorithme de faible complexité tel que MUSIC sera privilégié. Du calcul parallèle, auquel se prêtent très bien les algorithmes de localisation de source, pourra également alléger les temps de traitement. Dans un deuxième temps, le bruit propre du drone devra être neutralisé, par des moyens pratiques (excentration de l'antenne par rapport au drone) et numériques (algorithme de débruitage). Par ailleurs, un couplage fort entre les résultats des algorithmes de localisation et la commande du drone sera nécessaire pour permettre un rapprochement du drone vers les sources cibles afin de favoriser les conditions d'acquisition. Ce couplage mettra en œuvre le suivi de cible en mouvement (relatif par rapport au drone). Enfin, un algorithme de filtrage spatial devra reconstruire un signal temporel associé à la source, en focalisant sur celle-ci, c'est-à-dire en faisant abstraction des autres sources de bruit.

Personnalisation du filtrage acoustique de protecteurs auditifs

Liu Shuhan (1), Benacchio Simon (1), Perot Le Gal Joséphine (2), Thomas Olivier (1)

1 - LISPEN (France), 2 - COTRAL LAB (France)

L'utilisation de protecteurs auditifs est aujourd'hui la solution la plus courante pour protéger les gens contre le bruit. Les valeurs de réduction du bruit que permettent d'atteindre ces protecteurs et fournies par les fabricants sont calculées grâce à des mesures d'atténuation moyennes pour une population donnée. En pratique, elles varient pour différents utilisateurs. D'une part, l'atténuation du protecteur est affectée par les spécificités propres à l'utilisateur, telles que la géométrie du conduit auditif. D'autre part, l'atténuation est réglée par les éléments acoustiques du protecteur, tels que les matériaux qui les constituent. Dans ce contexte, il paraît intéressant d'étudier la possibilité d'offrir un filtrage acoustique personnalisé entièrement passif. L'objectif de ces travaux de recherche est de prédire l'atténuation d'un protecteur pour un utilisateur spécifique et d'ajuster les caractéristiques du protecteur pour obtenir une atténuation ciblée. Cela sera réalisé grâce à des modèles du système conduit auditif-protecteur dont la complexité sera croissante pour déterminer quelles sont les spécificités des utilisateurs qui influencent l'atténuation. Les modèles permettront également de définir les caractéristiques de chaque élément des protecteurs pour atteindre l'atténuation ciblée.

Comparaison de deux méthodes d'identification de chargements dynamiques à partir de mesures plein champ réalisées par déflectométrie optique

Madinier Nicolas (1) (2), Berry Alain (2), Leclere Quentin (3), Ege Kerem (4)

1 - Laboratoire Vibrations Acoustique (France), 2 - Centre de recherche acoustique-signal-humain de l'Université de Sherbrooke (CRASH-UdeS) (Canada), 3 - Laboratoire Vibrations Acoustique (France), 4 - Laboratoire Vibrations Acoustique (Bâtiment St. Exupéry, INSA Lyon, 25 bis, avenue Jean Capelle 69621 VILLEURBANNE CEDEX France)

L'étude proposée traite de l'identification de charges appliquées sur une plaque mince en utilisant des mesures de déflectométrie optique. L'objectif principal de l'étude est de comparer deux méthodes d'identification. La première est la résolution inverse. Cette méthode utilise un schéma aux différences finies afin de discrétiser l'équation d'équilibre local et d'identifier la charge. L'aspect local de la méthode constitue son principal avantage. En effet, la réponse vibratoire de la structure hors de la région d'intérêt n'a pas à être connue pour pouvoir appliquer la méthode. Toutefois, cette dernière demeure très sensible aux bruits de mesure, notamment à cause du schéma aux différences finies qui estime la dérivée spatiale d'ordre quatre du déplacement transverse de la plaque. La seconde méthode considérée est la méthode des champs virtuels. Cette technique utilise un déplacement et des courbures virtuelles pour résoudre le principe des travaux virtuels, une forme faible de l'équation d'équilibre. Les champs virtuels, dont le choix est un point clé de la méthode, sont ici définis par morceaux et se basent sur les fonctions d'interpolation Hermite¹⁶. Les champs sont définis sur une fenêtre virtuelle de surface inférieure à la surface d'étude. La fenêtre balaye la surface de la plaque et pour chacune de ses positions, le principe des travaux virtuels est résolu pour identifier la charge externe appliquée sur la surface de la fenêtre. Comme pour la résolution inverse, l'aspect local de la méthode constitue un net avantage. La déflectométrie optique, est une technique de mesure plein champ. Elle permet de mesurer le champ de vibration avec une haute densité spatiale de points. La plaque est excitée par un bruit blanc filtré sur différentes bandes d'octaves. Ce dernier est injecté par un pot vibrant. L'étude introduira les deux méthodes d'identification considérées ainsi que la déflectométrie optique. Des résultats expérimentaux seront ensuite présentés.

De la structure à la dynamique d'un matériau fibreux : comportement vibroacoustique des laines minérales

Markey Grégoire (1)

1 - UTC - Roberval (France)

La mauvaise isolation acoustique dans le bâtiment est la troisième cause d'inconfort dans l'habitat, derrière les problèmes thermiques et une consommation énergétique excessive. Le problème s'amplifie encore pour les bâtiments relativement anciens (1900-1980) construits en zone urbaine dense. Les solutions pour améliorer le confort acoustique de l'utilisateur final passent par l'intégration de matériaux poreux (essentiellement des laines minérales) dans les différents éléments de construction (façades, cloisons, plafonds,...). L'optimisation acoustique de ces matériaux s'appuie sur une modélisation de leur microstructure. Des études précédentes ont permis de faire le lien entre la microstructure des laines minérales et les paramètres acoustiques macroscopiques associés, sous l'hypothèse de squelette rigide et immobile. Pour certaines applications et notamment celles pour lesquelles le poreux est en contact avec une plaque solide élastique (cloison sandwich ou plancher flottant par exemple), cette hypothèse de squelette ne permet pas de modéliser correctement le comportement acoustique du système. Les déplacements de la structure du matériau et l'amortissement associé à ces déplacements doivent être pris en compte pour bien prédire la performance acoustique du système. L'objectif de cette thèse est donc d'identifier les propriétés mécaniques et d'amortissement des laines minérales à l'échelle macroscopique, à partir d'une approche multi-échelle. Pour cela, un modèle numérique de la micro-géométrie est en développement. Ce modèle s'appuie sur des données issues d'imagerie et des confrontations avec des caractérisations mécaniques macroscopiques. Le modèle prendra notamment en compte le frottement ou les liaisons entre les fibres, ainsi que les propriétés visco-élastiques des composants de la laine de verre. Il s'agira ensuite d'exploiter ce modèle afin de remonter aux échelles supérieures (mésoscopique et macroscopique) et d'étudier l'influence des différents paramètres des constituants de la laine de verre sur la performance vibro-acoustique des laines minérales.

Panneaux acoustiques à membranes non linéaires

Mousseau Alexis (1), Terrien Soizic (2), Tournat Vincent (1)

1 - Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans (LAUM) (France), 2 - Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans (LAUM) (France)

Les solutions existantes pour absorber des ondes sonores dans l'air se divisent principalement en deux catégories. Les matériaux poreux qui sont très efficaces à partir de fréquences typiques de 1 kHz et au delà, mais peu en à plus basses fréquences, et les métamatériaux acoustiques, très efficaces autour des résonances locales mais peu hors de ces bandes de fréquences. Dans ce contexte, nous proposons d'explorer une autre piste d'absorption sonore large bande en faisant usage d'une propriété encore peu utilisée dans ce cadre, la non-linéarité. En acoustique des fluides, les effets non linéaires sont généralement difficiles à obtenir. Il existe quelques exceptions à cette règle, comme les effets cumulatifs de propagation à des niveaux acoustiques élevés conduisant à des ondes de choc, ou la génération d'harmoniques supérieures, à l'origine notamment du son caractéristique des instruments de musique dits cuivres. En dehors de quelques cas spécifiques comme une bulle d'air dans l'eau à sa résonance, les effets non linéaires locaux menant à des manifestations de la non-linéarité sans effets cumulatifs sur de longues distances sont rares en acoustique des fluides. Notre étude s'intéresse à la caractérisation de plaques plastiques de 10 à 100 microns d'épaisseur, excitées par une onde acoustique et qui exhibent des effets non linéaires locaux très prononcés. Pour étudier ces éléments non linéaires, nous utilisons des simulations numériques avec un modèle de plaques non linéaire ainsi qu'un montage expérimental adapté. Le comportement particulier de ces éléments hautement non linéaires se manifeste par la génération d'un grand nombre d'harmoniques pour de relativement faibles niveaux d'excitation acoustique (80 dB) et l'apparition d'un régime chaotique à plus haute amplitude. L'étape suivante de ce travail est la mise en œuvre de ces éléments non linéaires en conjonction de matériaux poreux pour une absorption sonore large bande.

Reconstruction de sources aéroacoustiques par un modèle de grappes de monopôles à l'aide de l'inférence bayésienne et l'algorithme MCMC

Niu Zijian (1), Antoni Jérôme (1), Bouley Simon (2)

1 - Laboratoire Vibrations Acoustique (France), 2 - MicrodB (France)

Dans le domaine de l'aéroacoustique, les sources de bruit reconstruites par antennerie microphonique ne peuvent représenter toute la complexité des phénomènes physiques qui les engendrent. Qu'il s'agisse de sources à la surface d'un objet ou dans le volume d'un écoulement turbulent, la taille du domaine de recherche peut rapidement devenir rédhibitoire en termes de coût de calcul et de complexité algorithmique. Dans ce contexte, nous présentons ici une méthode inverse qui se dispense de maillage via l'utilisation de grappes libres de sources ponctuelles monopolaires. L'avantages de ce modèle est qu'une fois bien corrélées et positionnées, les sources monopolaires sont capables de reproduire l'essentiel des propriétés acoustiques des sources de bruit principales, en évitant une recherche exhaustive superflue. La reconstruction des grappes de sources ponctuelles est basée sur l'inférence bayésienne. Elle traite le problème dans le cadre de processus stochastiques, ce qui nous permet d'introduire des informations a priori des données mesurées et d'analyser les propriétés statistiques des résultats a posteriori. Dans cette communication, nous présentons le principe et les développements analytiques du modèle de grappes de monopôles, basé sur un formalisme bayésien hiérarchique et une résolution par algorithme MCMC. Les résultats de simulations numériques utilisant des sources a priori simples sont aussi exposés.

Comparaison de trois techniques de mesure optique plein champ appliquées à la mesure de vibrations de flexion

O'donoghue Patrick (1), Gautier François (1), Meteyer Erwan (1), Durand-Texte Thomas (1), Secail-Geraud Mathieu (1), Foucart Félix (1), Robin Olivier (2), Berry Alain (2), Melon Manuel (1), Pezerat Charles (1), Pelat Adrien (1), Picart Pascal (1)

1 - Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans (LAUM) (France), 2 - Centre de recherche acoustique-signal-humain de l'Université de Sherbrooke (CRASH-UdeS) (Canada)

Dans le contexte vibroacoustique, les sources à l'origine des vibrations de structures sont fréquemment de nature non répétable ou instationnaire. C'est le cas par exemple des excitations complexes de type solidien (chocs ou frottements), ou acoustique (champ de pression turbulent). Les champs vibratoires mesurés peuvent être utilisés comme données d'entrée pour des méthodes inverses dans le but de caractériser les sources ou la structure vibrante. En contexte instationnaire, de telles caractérisations supposent que les mesures soient réalisées de manière synchrone. Plusieurs méthodes optiques permettent de réaliser des mesures non invasives et synchrones en tirant parti des possibilités offertes par les caméras haute vitesse. La corrélation d'images numériques, la défectométrie et l'holographie numérique sont parmi les techniques de mesure optique plein champ qui se sont développées ces dernières années, et leur utilisation dans les applications vibroacoustiques attire de plus en plus l'attention. Cette communication présente une étude comparative des trois méthodes optiques appliquées à la mesure du champ de flexion d'une structure plane. Les comparaisons métrologiques portent sur le niveau de bruit, la dynamique de mesure, la résolution spatiale, et la bande passante. Les différences de mise en œuvre des techniques sont aussi discutées, notamment la préparation des surfaces mesurées, la taille maximale du champ de mesure, le matériel requis et la complexité d'installation et des réglages. Cette synthèse vise à guider les expérimentalistes dans le choix d'une méthode adaptée à leur problématique.

Gêne sonore dans les bureaux ouverts et fatigue des occupants : étude de l'influence de pertes auditives légères

Poncetti Nicolas (1), Parizet Etienne (1)

1 - Laboratoire Vibrations Acoustique (France)

Les bureaux ouverts (open-spaces) sont le mode d'organisation le plus courant dans les activités tertiaires. Malgré un niveau de bruit (50 à 60 dBA) largement en dessous de la réglementation, les occupants de ces bureaux se plaignent de l'ambiance sonore. Parmi les différentes sources sonores, les voix des autres occupants semble être la plus gênante, comme l'ont montré des enquêtes auprès de salariés. En laboratoire, cet effet peut être montré par deux types de mesures : (1) objectives (performance lors de l'accomplissement d'une tâche donnée) et (2) subjectives (évaluation par les participants du caractère gênant du bruit, ou questionnaires permettant de mesurer, par exemple, leur fatigue). Jusqu'à présent, la plupart des participants de ce genre d'expérience sont des gens plutôt jeunes et normo-entendants. Ceci n'est pas le cas de tous les salariés travaillant en bureaux ouverts : leur âge peut être élevé (jusqu'à 65 ans) et leur audition imparfaite. L'objet de cette étude est donc d'approfondir les effets des pertes auditives légères (début de la presbycousie) sur la fatigue en bureau ouvert – et plus particulièrement sur l'influence propre de la parole. Dans un premier temps, des études réalisées auprès des normo-entendants ont été reproduites chez les malentendants, telle que l'analyse du décretement de performance par rapport au niveau d'intelligibilité du bruit. La difficulté de trouver des malentendants ayant un profil de pertes similaire a engendré l'utilisation d'un simulateur de pertes auditives chez des normo-entendants. Ces derniers ont passé l'expérience dans deux conditions : avec et sans simulateur de pertes. Les résultats montrent une différence significative entre les deux conditions : la condition avec le simulateur de pertes auditives est la moins sensible au bruit.

Dynamique de rotor et comportement vibro-acoustique des machines électriques de traction automobile. Prise en compte des non-conformités géométriques et magnétiques

Poupon Thomas (1)

1 - Roberval (France)

Le sujet de la thèse se concentre le comportement vibro-acoustique d'une machine électrique de traction automobile. L'objectif est de comprendre quels sont les différents phénomènes pouvant intervenir sur la réponse vibratoire de la machine. Les sources d'excitations peuvent avoir différentes origines. Tout d'abord, elles peuvent être d'origines mécaniques comme l'excitation induit par le balourd, ou des non-symétries de révolutions du rotor. Différents phénomènes peuvent apparaître. Une force d'excitation peut être induite, mais également certains phénomènes non-linéaires peuvent apparaître par exemple des variations paramétriques dû à des paliers non-isotropes. Ensuite, les excitations peuvent être d'origine électromagnétique avec par exemple un axe de rotor décentré par rapport à l'axe d'excitation magnétique (Unbalanced Magnetic Pull). Une attention sera également prêtée aux différents composants de la machine pouvant générer des phénomènes de couplages. Les liaisons mécaniques et électromagnétiques entre le rotor, stator et les carters sont à déterminer. Enfin, des effets non-linéaires liés à la rotation (effets gyroscopiques) sont à prendre en compte. Ceux-ci viennent affecter les fréquences de résonance et les modes de vibrations. Les déformations de flexion du rotor jouent également un rôle important dans le calcul de la réponse vibratoire. Un modèle rigide de celui-ci a montré l'importance de ce phénomène.

Implémentation d'une cape d'invisibilité vibratoire dans une plaque

Pradier Léo (1)

1 - Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (France)

Le cloaking est une découverte récente permettant de rendre un objet indétectable par une onde, en annulant les phénomènes de diffraction induits par la présence d'une discontinuité dans le milieu de propagation de l'onde. De nombreuses études ont déjà démontré l'efficacité et la faisabilité du cloaking pour différents types d'ondes. Cependant cette technique est encore mal maîtrisée dans le cas des ondes de Lamb antisymétriques se propageant dans des plaques élastiques. Des travaux antérieurs issus de la littérature ont montré la nécessité d'introduire des gradients de propriétés mécaniques au sein de la zone de cloaking pour obtenir un tel comportement. Il est également mis en évidence l'impossibilité d'atteindre les équations qui satisferaient les conditions de cloaking par l'utilisation d'une plaque inhomogène anisotrope. Il en résulte que les modèles de cloak de plaques déjà proposés présentent des performances fortement variables en fonction de la fréquence. De plus, les performances de cloaking observées semblent être très sensibles aux gradients de propriétés mécaniques implémentés. Cette dernière observation met en évidence la difficulté de mise en œuvre expérimentale du cloaking de plaque. Les travaux présentés ont pour but d'introduire une nouvelle méthode d'optimisation numérique des caractéristiques du domaine de cloaking afin de proposer de nouvelles solutions approximées intéressantes. Ces solutions sont recherchées suivant un critère de quantification de la qualité de cloaking calculé sur une large bande fréquentielle et prenant en compte la problématique de robustesse de la solution. Des contraintes relatives aux propriétés matériaux sont également imposées, dans l'objectif d'une mise en œuvre expérimentale prochaine.

Implémentation d'une cape d'invisibilité vibratoire dans une plaque

Pradier Léo (1)

1 - Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes (France)

Le cloaking est une découverte récente permettant de rendre un objet indétectable par une onde, en annulant les phénomènes de diffraction induits par la présence d'une discontinuité dans le milieu de propagation de l'onde. De nombreuses études ont déjà démontré l'efficacité et la faisabilité du cloaking pour différents types d'ondes. Cependant cette technique est encore mal maîtrisée dans le cas des ondes de Lamb antisymétriques se propageant dans des plaques élastiques. Des travaux antérieurs issus de la littérature ont montré la nécessité d'introduire des gradients de propriétés mécaniques au sein de la zone de cloaking pour obtenir un tel comportement. Il est également mis en évidence l'impossibilité d'atteindre les équations qui satisferaient les conditions de cloaking par l'utilisation d'une plaque inhomogène anisotrope. Il en résulte que les modèles de cloak de plaques déjà proposés présentent des performances fortement variables en fonction de la fréquence. De plus, les performances de cloaking observées semblent être très sensibles aux gradients de propriétés mécaniques implémentés. Cette dernière observation met en évidence la difficulté de mise en œuvre expérimentale du cloaking de plaque. Les travaux présentés ont pour but d'introduire une nouvelle méthode d'optimisation numérique des caractéristiques du domaine de cloaking afin de proposer de nouvelles solutions approximées intéressantes. Ces solutions sont recherchées suivant un critère de quantification de la qualité de cloaking calculé sur une large bande fréquentielle et prenant en compte la problématique de robustesse de la solution. Des contraintes relatives aux propriétés matériaux sont également imposées, dans l'objectif d'une mise en œuvre expérimentale prochaine.

Stratégie d'optimisation en dynamique vibratoire non linéaire des structures

Ragueneau Quentin (1) (2), Laurent Luc (2), Legay Antoine (2), Larroque Thomas (1), Crambuer Romain (1)

1 - INGELIANCE TECHNOLOGIES (France), 2 - Laboratoire de Mécanique des Structures et des Systèmes Couplés (France)

Le dimensionnement optimal de structures soumises à un chargement dynamique revêt un enjeu important pour l'industrie. La prise en compte de comportements non linéaires dans la modélisation, particulièrement aux interfaces entre sous-structures (contact, frottement, etc.), permet la réalisation de simulations numériques haute fidélité. Cependant, les simulations dynamiques intégrant ces non-linéarités ont un coût de calcul très important qui rend inenvisageable l'utilisation de méthodes classiques d'optimisation paramétrique globale sur des problèmes industriels de grande taille. En effet, ces méthodes telles que les algorithmes génétiques ou par essais particuliers font appel de nombreuses fois à la résolution du problème mécanique. L'objectif de ces travaux est alors de mettre en place une stratégie complète permettant la conduite d'une optimisation paramétrique en dynamique vibratoire non linéaire sur des problèmes industriels. La première étape consiste en l'utilisation d'un solveur mécanique efficace pour la résolution du problème dynamique non linéaire. La méthode de l'équilibrage harmonique associée à une stratégie de continuation par pseudo-longueur d'arc a été retenue. Ce solveur mécanique permet le calcul de la réponse fréquentielle en prenant en compte les effets non linéaires et peut se révéler plus efficace que les méthodes d'intégration temporelle implémentées dans les logiciels de calculs industriels, mais le coût de calcul reste trop important pour réaliser une optimisation globale classique. La seconde étape consiste alors en l'utilisation de ce solveur pour l'établissement d'un métamodèle de type Processus Gaussien de la fonction objectif à minimiser permettant d'en fournir une approximation. Ce métamodèle est construit et enrichi au sein d'un processus d'optimisation bayésienne limitant le nombre d'appels coûteux au solveur mécanique. La méthodologie décrite est appliquée pour l'optimisation d'un oscillateur de Duffing, un système à un degré de liberté possédant une raideur cubique. Le passage au problème industriel d'un portique de levage avec des contacts intermittents est ensuite étudié.

Estimation de la vitesse acoustique par Vélocimétrie par Images de Particules en présence d'un écoulement turbulent.

Rampnoux Simon (1), Ramadan Islam (2), Moreau Solène (1), Bentahar Mabrouk (1)

1 - Université de technologie de Compiègne, Roberval (Mécanique, énergie et électricité), Centre de recherche Royallieu - CS 60 319 - 60 203 Compiègne Cedex (France), 2 - Institut Pprime, CNRS - Université de Poitiers-ENSMA, Département Fluides-Thermique-Combustion, ENSIP, 6 rue Marcel Doré Bât. B17-BP 633, 86022 Poitiers Cedex, France. (France)

La technique de mesure par PIV à verrouillage de phase est utilisée pour estimer la vitesse acoustique en présence d'un écoulement turbulent à l'intérieur d'un conduit rectangulaire. Le champ acoustique est généré par des chambres de compression montées sur les côtés de ce conduit rectangulaire. Les mesures PIV sont synchronisées avec les chambres de compression. Les champs de vitesse mesurés peuvent être décomposés en vitesse d'écoulement moyenne, fluctuations turbulentes et vitesse acoustique. Une technique de post-traitement est proposée pour extraire le champ de vitesse acoustique du champ de vitesse total mesuré. De plus, l'incertitude de la vitesse acoustique estimée est calculée à l'aide de deux techniques différentes, à savoir la méthode du rapport des pics et la méthode de disparité des particules. La vitesse acoustique estimée est en accord avec la vitesse acoustique estimée à partir de la mesure de pression avec un microphone classique. L'incertitude estimée sur la vitesse acoustique est de 18%.

Analysis of vibration propagation in automotive structures using the irrotational intensity

Takhchi Jamal (1) (2) (3), Ouisse Morvan (2), Emeline Sadoulet-Reboul (2), Bouhaddi Noureddine (2), Gagliardini Laurent (3), Bornet Frederic (3), Lakrad Faouzi (1)

1 - Université Hassan II [Casablanca] (Maroc), 2 - Franche-Comté Électronique Mécanique, Thermique et Optique - Sciences et Technologies (UMR 6174) (France), 3 - Stellantis (France)

The structural intensity field provides a good understanding of the NVH behaviour of complex structures as it shows the vibration energy flow between the excitation and the dissipation zones. The use of models with fine meshes for automotive structures has allowed structural intensity calculations to be performed at high frequencies. However, field distributions are difficult to understand at medium and high frequencies : the intensity field has a vortex character that masks the vibration energy flow in these frequency ranges. In this work, a methodology is presented to filter out the vortices in the structural intensity field. The approach uses the Hodge-Helmholtz decomposition : the structural intensity field is decomposed into rotational, irrotational and harmonic components. Among them, only the irrotational component is needed to describe the path of energy from a source to the dissipation zones. The proposed methodology involves a calculation of the dynamic response and the solving of a diffusion equation similar to the thermal conduction one. The efficiency of the method is illustrated on an academic case for validation and an example of automotive structure, allowing for a deeper understanding of medium and high frequency energy transmission paths.

Manipulation de particules avec des ondes acoustiques basée sur la mécanique de Hertz-Mindlin

Terzi Marina (1), Aleshin Vladislav (2), Tournat Vincent (1), Chekroun Mathieu (1)

1 - Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans (France), 2 - Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie (France)

La manipulation sans contact de particules par ultrasons (vibrotransport) présente un intérêt pour un certain nombre d'applications industrielles : l'administration d'agents solides pour la guérison de défauts, l'excrétion non invasive de particules indésirables, la technologie des micromachines et le tri de particules. Il est connu qu'une particule sur un substrat peut être déplacée par l'action combinée des ondes acoustiques et de la friction. Une théorie traditionnelle décrivant cet effet considère une particule comme un point matériel capable de se déplacer uniquement contre l'onde, c'est-à-dire dans une direction opposée à la direction de propagation de l'onde. Nous utilisons ici une autre approche basée sur la mécanique de Hertz-Mindlin dans laquelle une particule représente un corps déformable alors qu'une zone de son contact avec le substrat présente une certaine structure comprenant des régions évolutives de collage et de glissement. La dynamique de friction du système de Hertz-Mindlin avec une masse comprend différents régimes, dont un mouvement cohérent dans une direction souhaitée (non seulement celle opposée à la direction de propagation de l'onde mais aussi celle orientée comme l'onde), qui permet une manipulation ou un positionnement plus élaboré des particules. L'outil numérique présenté traite le problème d'une particule sur un substrat qui est déplacée par des ondes de Rayleigh. Nous démontrons différents régimes dans lesquels un mouvement régulier est observé ou non, en fonction des paramètres d'excitation et de l'inertie de la particule.

Prototypage virtuel des turbomachines avec réducteur

Topenot Océane (1)

1 - Université Bourgogne Franche-Comté [COMUE] (France)

Dans un contexte de course à la décarbonation, Safran Aircraft Engines co-développe les futurs réacteurs d'avions commerciaux CFM RISE promettant de réduire de 20% la consommation de carburant grâce à son architecture non carénée et ses aubes longues. Cette nouveauté implique de nombreux changements et notamment l'introduction d'un réducteur de vitesse entre le rotor et la soufflante. L'ensemble réducteur et les effets dynamiques non-linéaires qui l'accompagnent - en raison des nombreux contacts entre les dentures - doivent être pris en compte dans les études vibratoires de la turbomachine dans son ensemble. Cependant, les outils de simulation par éléments finis classiquement utilisés ne permettent pas à l'heure actuelle de représenter efficacement la physique des éléments de transmission de puissance. Une approche multi-corps autorisant les grands déplacements et grandes rotations est utilisée dans ce cas comme cadre pour la simulation multi-échelle. Elle permet de combiner la géométrie des composants discrétisés par éléments finis, leur comportement dynamique par le biais de super-éléments, et les contacts hertziens entre eux. La formulation multi-corps consiste en plusieurs corps rigides ou flexibles liés par des contraintes cinématiques et/ou des modèles rhéologiques non-linéaires et dont les équations de mouvement sont basées sur la théorie de Newton, Euler, D'Alembert et Lagrange. Celle-ci induit des temps de simulation importants lorsque que des lois de contact complexes sont utilisées pour les calculs temporels, ce qui limite donc son utilisation dans le processus itératif de conception. L'objectif de ce travail est de proposer des méthodes visant à diminuer les temps de calculs liés en grande partie aux contacts dans le réducteur en le remplaçant par un méta-modèle dans l'environnement multi-corps. Pour y parvenir, plusieurs verrous scientifiques devront être levés tels que la compréhension des phénomènes de contact dans les engrènements, leurs différentes modélisations, et les analyses de sensibilité aux paramètres de conception.

Analyse Modale Opérationnelle par mesure Vidéo : poutre en porte-à-faux.

Touzet Jimmy (1), Andre Hugo (2), Bonnardot Frédéric (1), Chesne Simon (3)

1 - Laboratoire d'Analyse des Signaux et des Processus Industriels (LASPI) (France), 2 - Laboratoire d'Analyse des Signaux et des Processus Industriels (France), 3 - Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures [Villeurbanne] (Bâtiment Sophie Germain 27b, avenue Jean Capelle F69621 VILLEURBANNE CEDEX France)

(Suivi du champ de déplacement et reconstruction des premiers modes d'une poutre en porte-à-faux à l'aide d'une caméra rapide et en utilisant des méthodes de détection de contours) Qui n'a pas un smartphone dans sa poche ? Aujourd'hui, il y a un réel intérêt à utiliser des caméras vidéo pour des applications d'analyse modale opérationnelle ou de maintenance préventive plutôt que d'utiliser des capteurs traditionnels. En effet, la caméra vidéo permet un diagnostic non intrusif et permet une mesure synchrone du déplacement et de la déformation, le tout avec peu de câbles et d'équipement. Le potentiel de la surveillance vibratoire par vidéo est d'autant plus intéressant qu'il peut être, à terme, réalisé grâce à l'utilisation de n'importe quel smartphone. Cependant, les méthodes utilisées aujourd'hui sont des méthodes itératives et donc gourmandes en temps de calcul et nécessitent une préparation préalable de la surface étudiée. De plus, la plupart des travaux actuels sont basés sur l'utilisation de caméras haut de gamme. L'impact de la dégradation de l'équipement de mesure sur la qualité de la mesure reste à estimer. L'objectif de ce travail est de fournir une nouvelle méthodologie (temps réel ?) d'AMO adaptée à l'étude des poutres. Elle permet un suivi simple et rapide du champ de déplacement de la fibre neutre à partir du tracking de ses contours. Une étude comparative est mise en œuvre sur un banc d'essai présentant une poutre en porte-à-faux instrumentée d'un accéléromètre, excitée par un patch piézoélectrique, et observée avec une caméra haute vitesse. La méthodologie proposée est prometteuse dans le cas d'une poutre encastree, et l'adaptation de cette méthode à des formes plus complexes que les poutres semble réalisable tant que la détection des contours peut être faite efficacement. MOTS CLÉS : Tracking ; caméra haute vitesse ; détection des contours ; Analyse Modale Opérationnelle

Caractérisation et simulation des matériaux d'encapsulation moteur pour l'acoustique externe

Wilkinson Alexandre (1), Dauchez Nicolas (1), Rachik Mohamed (1)

1 - Laboratoire Roberval (France)

Les matériaux poreux sont prisés pour leurs capacités d'absorption et d'isolation acoustique. Ces propriétés sont exploitées pour encapsuler les moteurs automobiles et réduire le bruit rayonné par les voitures dans l'environnement. Une nouvelle utilisation des matériaux poroélastiques dans le compartiment moteur consiste à les placer au contact du moteur, ce qui soulève de nouvelles problématiques. Tout d'abord, les propriétés in situ du matériau requièrent une attention particulière. Un modèle de fluide équivalent ne suffit pas car les paramètres mécaniques des matériaux d'encapsulation ont une très forte influence sur leur comportement dû au contact solide-solide avec la surface vibrante. Il est donc important de maîtriser leur obtention expérimentale. De plus, la précontrainte appliquée sur le matériau et le gradient de température causé par le moteur qui chauffe modifient le comportement viscoélastique du matériau d'encapsulation. Une caractérisation adaptée des paramètres mécaniques du matériau est nécessaire pour rendre compte de ces multiples phénomènes. Ensuite, le contact sur la totalité de la surface entre les écrans d'encapsulation et le moteur n'est pas garanti, induisant l'existence des lames d'air à certains endroits. Ce phénomène de contact partiel peut être modélisé simplement, révélant que l'augmentation de la quantité de lames d'air réduit l'efficacité de rayonnement du moteur. Un montage expérimental basé sur la mesure du rayonnement acoustique d'une plaque recouverte de matériau poreux avec une proportion de contact maîtrisée permet de retrouver ce résultat expérimentalement.