

Journée Mesure De Champs En Dynamique Des Structures

02 juin 2017

Objectifs de la journée

Le GST « Vibrations et Bruit » de l'AFM et le GTT « Mesures de champs et identification » commun aux associations AFM, AMAC, AUGC et Mécamat, organisent une journée thématique portant sur l'utilisation et le développement de techniques de mesures de champs pour la dynamique des structures et la propagation d'ondes en mécanique.

Bien que les mesures de champs pour les expériences vibratoires soient assez anciennes, vélocimétrie laser sous différentes technologies et plus récemment corrélation d'images, leur usage commence seulement à se généraliser. Jusqu'à-là surtout dédiées à l'analyse modale, elles trouvent aujourd'hui des applications :

- dans l'interprétation et l'identification de phénomènes plus locaux comme le calcul de champs de déformations,
- pour le dimensionnement en fatigue vibratoire,
- dans l'évaluation des pertes de contact dans les assemblages,
- dans l'interprétation des vibrations non-linéaires en permettant l'accès aux mouvements associés aux harmoniques vibratoires ou aux cycles limites difficilement mesurables autrement,
- dans la mesure et l'interprétation des vibrations de machines tournantes ou de structures ne permettant pas l'usage de capteurs de contact,
- dans la mesure des champs de vitesse dans les matériaux architecturés, périodiques ou hiérarchiques,
- dans la détermination sans contact des propriétés mécaniques anisotropes (rigidités) de pièces à formes complexes.

Les mesures de champs cinématiques de très petites amplitudes sont également un challenge très actuel pour caractériser au mieux les très fortes atténuations rendues possibles par les technologies anti-vibratoires.

Toutefois, ces moyens de mesures sont encore assez peu utilisés par la communauté des dynamiciens et vibroacousticiens. C'est pourquoi, cette journée est avant tout pensée comme l'opportunité de réaliser un retour d'expériences sur l'usage des mesures de champ en dynamique des structures par les utilisateurs de vibrométrie laser à balayage 2D et 3D et par les utilisateurs de moyens d'imagerie.

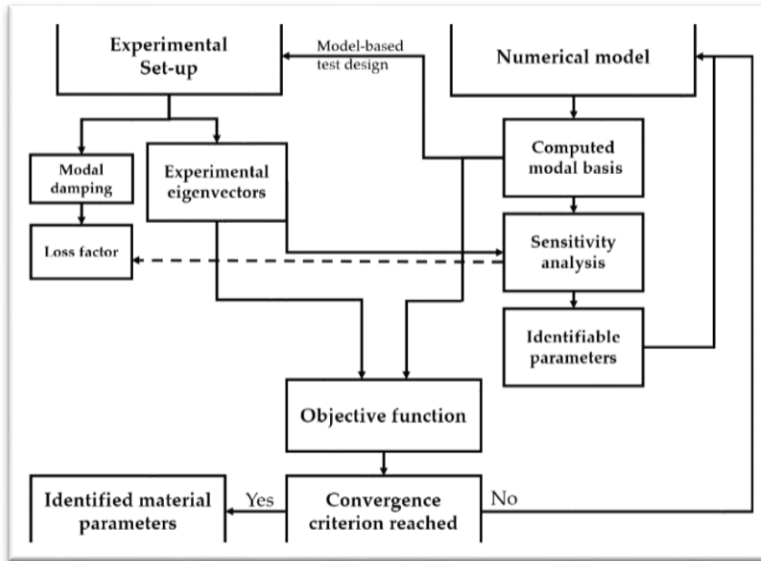
Programme

08h30	Accueil – café
09h00	Démo POLYTEC
09h30	Introduction – mot de bienvenue –
10h00	Romain VIALA, FEMTO-ST - <i>Identification de propriétés mécaniques par mesure de champs vibratoires et méthode FEMU</i>
10h30	Xavier REGAL, Laboratoire Navier - <i>Mise en œuvre de la Corrélation d'Images Numériques pour l'analyse modale d'une poutre</i>
11h00	Julie REGNIER, CEREMA - <i>Utilisation de mesures de vibration ambiantes pour la caractérisation dynamique de l'ouvrage d'art de la RN 202</i>
11h30	Maxence CLAEYS, CEA/CESTA - <i>Apport de la vibrométrie laser à balayage pour des expériences vibratoires sur exciteur électrodynamique</i>
12h00	Déjeuner – Démo POLYTEC
13h30	Pierre MARGERIT, Laboratoire Navier - <i>Identification haute résolution de nombres d'ondes pour la caractérisation des structures viscoélastiques</i>
14h00	Fabien MARCHETTI, Laboratoire de Vibrations et Acoustique (LVA) - <i>Caractérisation large bande fréquentielle de multicouches orthotropes – Comparaisons analytiques/expérimentales</i>
14H30	Pauline BUTAUD, FEMTO-ST - <i>Analyse de champs par vibrométrie laser sur un assemblage boulonné</i>
15h00	Adrien GOELLER, Laboratoire QUARTZ - <i>Analyse modale non linéaire en temps réel par filtres de Kalman et séquences vidéo</i>
15h30	Kévin BILLON, FEMTO-ST - <i>Mesures vélocimétriques pour l'étude de la propagation d'onde dans des métamatériaux</i>
16h00	Clôture de la journée

Identification de propriétés mécaniques par mesure de champs vibratoires et méthode FEMU

Romain VIALA

*Département mécanique appliquée FEMTO-ST
24, rue de l'épita^{ph}e
25000 BESANÇON*



L'évolution et la diversification des procédés de fabrication et de mise en forme des matériaux composites permettent d'accéder à des objets ou des pièces de structure dont la géométrie est de plus en plus complexe. La détermination de leurs propriétés constitutives est généralement destructive et fastidieuse. L'utilisation de méthodes d'identification mixtes expérimentale-numérique basées sur des réponses modales et un modèle numérique représente une méthode puissante, précise et non-invasive pour identifier plusieurs paramètres constitutifs inconnus à partir d'un seul essai.

La méthode repose sur l'utilisation d'un modèle numérique de l'objet et d'un

dispositif expérimental constitué d'un système d'excitation acoustique sans-contact (haut-parleur) et d'un vibromètre laser 3D à effet Doppler. Celui-ci permet de mesurer, via les vitesses de déplacement dans les différentes directions matérielles, la réponse dynamique de l'objet (fréquences propres et déformées modales). Les données expérimentales issues de ces mesures de champs, réalisées à différentes fréquences de sollicitation, sont riches et détaillées. La diversité des modes de sollicitation ainsi que l'hétérogénéité des champs de déformation permettent, en particulier, d'activer simultanément plusieurs paramètres de la loi de comportement, rendant possible leur identification à partir d'un seul essai. Ceci requiert néanmoins une méthode d'identification efficace. Les paramètres élastiques sont ainsi identifiés en minimisant la différence entre les fréquences propres de la base modale mesurée et celles issues de simulations numériques par EF.

Mise en œuvre de la Corrélation d'Images Numériques pour l'analyse modale d'une poutre.

Xavier REGAL

Université Paris-Est, Laboratoire Navier

UMR 8205 CNRS-ENPC-IFSTTAR

École des Ponts ParisTech (ENPC)

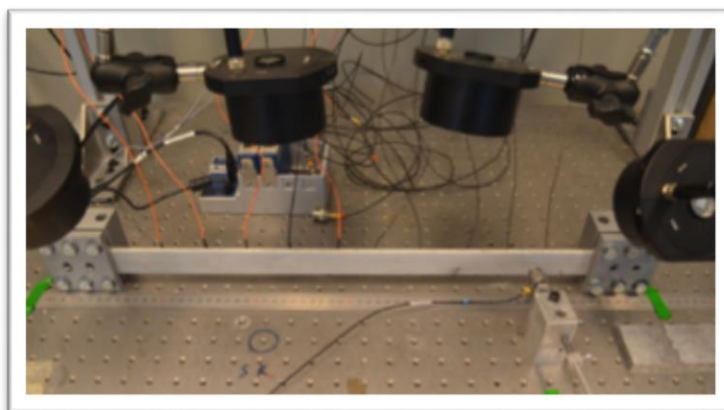
6 et 8 avenue Blaise Pascal

77455 Marne-la-Vallée



Depuis une décennie, la corrélation d'images numériques (CIN) est de plus en plus employée en mécanique des matériaux et des structures afin, notamment, de déterminer des champs de déformation en 2D comme en 3D. En effet, lorsque les conditions expérimentales sont optimales, il est possible d'obtenir des résolutions en déplacement inférieures au dixième voire au centième de pixel. La technique peut être mise en œuvre pour l'analyse de sollicitations dynamiques grâce au recours à des caméras rapides. Toutefois, ces dernières sont souvent limitées en termes de résolution d'image, ce qui restreint la résolution spatiale de l'analyse et est pénalisant sur des structures élancées telles que celles rencontrées en génie civil. De nouvelles générations de caméras, récemment proposées à coût raisonnable et présentant une grande variété de combinaisons de résolution d'image et de fréquence d'acquisition, permettent de repousser ces limites, et constituent ainsi des alternatives potentielles aux systèmes classiques d'analyse modale.

Nous présentons ici la mise en œuvre de cette technique pour l'analyse modale d'une poutre. Des images de la vibration transversale d'une poutre suite à une excitation par choc sont obtenues à l'aide d'une caméra rapide haute résolution pouvant acquérir des images avec une fréquence de l'ordre de 4,5 kHz. Dans un premier temps, les paramètres optimaux permettant de réaliser une mesure de champs précise seront exposés et discutés, notamment la qualité des images et du mouchetis, ainsi que la fréquence d'acquisition adéquat pour diminuer l'impact du repliement spectral. Puis, dans un second temps, l'analyse modale réalisée à l'aide d'une méthode utilisant la transformée en ondelettes continues à partir des mesures obtenues par CIN sera présentée. Les deux principaux intérêts d'utiliser les techniques d'imageries sont, d'une part, une densité d'information plus importante, plusieurs centaines de points le long de la poutre et d'autre part, le caractère non intrusif de l'instrumentation.



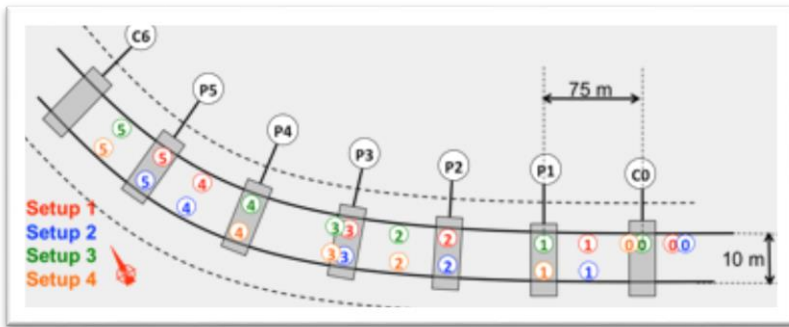
Utilisation de mesures de vibration ambiantes pour la caractérisation dynamique de l'ouvrage d'art de la RN 202

Julie REGNIER

CEREMA

56 Bd de Stalingrad

06359 NICE



Des enregistrements de vibrations ambiantes sont analysés afin de déterminer la réponse dynamique d'un pont routier de grande dimension traversant le Var (06). Il s'agit d'un pont en béton précontraint construit en 2002, d'une longueur de 438 m répartie en 6 travées de 72 à 75 m. Selon la direction transversale, le principe de conception parasismique retenu repose sur l'utilisation de butées de blocage transversal sur chacun des appuis et sur la formation de rotules plastiques au pied de chacune des piles intermédiaires, tandis que selon la

direction longitudinale seule la pile centrale P3 équipée d'une butée longitudinale est susceptible de plastifier en pied et des amortisseurs longitudinaux ont été disposés au droit des piles P2 et P4 afin de mieux répartir les efforts sismiques et limiter les déplacements sous séisme, permettant ainsi notamment l'utilisation de joints de chaussée usuels. La conception parasismique adoptée est une solution de comportement ductile de l'OA avec acceptation d'un certain niveau d'endommagement en cas de séisme. Une analyse non-linéaire avec accélération calée sur les spectres EC8 a été menée sur l'OA permettant de déterminer ses modes de vibration : Le premier mode longitudinal est à 0.35Hz et les trois modes suivants transversaux à 0.4, 0.64 et 1Hz.

Quatre configurations d'installation (Setup) de 6 capteurs vélocimètres (Lennartz3D 5s), 3 composantes, ont été réalisées tout au long de l'ouvrage d'art et de part et d'autre de la travée avec un point d'enregistrement commun entre deux installations (Figure 1). Cette configuration permet d'analyser les enregistrements de deux installations simultanément pour déterminer le comportement dynamique de l'ensemble du tablier comportement en torsion compris. 24 heures d'enregistrements avec une fréquence d'échantillonnage de 150Hz ont été réalisées pour chaque installation.

Les enregistrements de vibrations ambiantes sont analysés en utilisant deux techniques différentes afin d'évaluer les contributions complémentaires de chaque méthode. La première technique est une analyse modale opérationnelle basée sur la méthode du décrément aléatoire (Asmussen, 1997; 1999) associée à une analyse fréquentielle et la seconde méthode porte sur l'interférométrie sismique par déconvolution. Les deux techniques sont complémentaires et permettent d'obtenir l'ensemble de la réponse dynamique de la structure, caractérisée par des déformées modales, des vitesses de propagation et l'atténuation intrinsèque de chaque mode. L'atténuation étant le paramètre le moins bien contraint par les deux méthodes.

L'analyse fréquentielle préliminaire indique un mode de résonance commun aux 3 directions à 1.1 Hz. Les premières analyses indiquent qu'en dessous de cette fréquence aucun mode de résonance ne semble être visible sur les enregistrements contrairement à ce qui est souligné par les modélisations numériques. La figure 2 illustre la déformée modale du premier mode de résonance de l'ouvrage en utilisant les enregistrements du setup 1. Pour la représentation de la déformée modale, la composante transversale à l'axe de l'OA du capteur 1 a été utilisée comme référence. Une déformation marquée dans les 3 directions est visible. Bien qu'il s'agisse de la première fréquence amplifiée dans le spectre, les premières analyses modales n'indiquent pas a priori un mode de résonance fondamental pour l'une des directions (transversale, longitudinale ou verticale).

REFERENCES:

Asmussen, J.C., 1997. Modal analysis based on the random decrement technique: application to civil engineering structures. unknown.

Asmussen, J.C., Brincker, R., Ibrahim, S.R., 1999. Statistical theory of the vector random decrement technique. J. Sound Vib. 329–344.

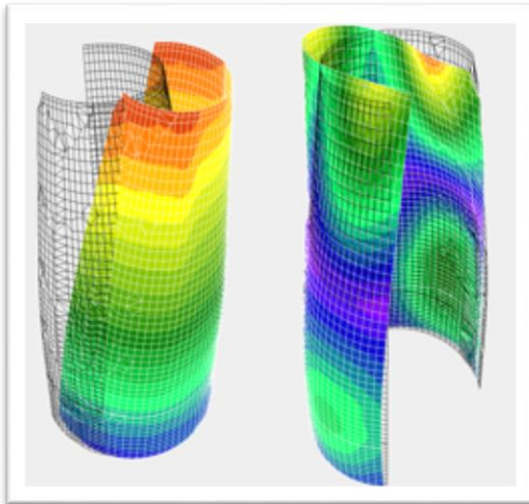
Apport de la vibrométrie laser à balayage pour des expériences vibratoires sur excitateur électrodynamique

Maxence CLAEYS

CEA/CESTA

15 av. des Sablières, CS60001

33116 LE BARP



Depuis 2 ans, le CEA/CESTA utilise ponctuellement la vibrométrie laser à balayage pour connaître le comportement dynamique de maquettes d'essai, afin de recalibrer des modèles aux éléments finis.

La maquette à étudier est excitée par un excitateur électro-dynamique, et les déformées opérationnelles sur modes sont mesurées précisément grâce au vibromètre laser 3D Polytec. L'exposé détaillera la séquence expérimentale adoptée, et fera un retour d'expérience sur ces mesures de champ sans contact, destinées à l'obtention de champ de déplacement et de champ de contraintes ou déformations.

Ces mesures de champs enrichissent considérablement la compréhension des réponses expérimentales et ont permis de progresser dans les méthodes de modélisation. Plusieurs exemples seront présentés : orientation de modes axisymétriques, localisation de maximum de déformation, identification de phénomènes non-linéaires.

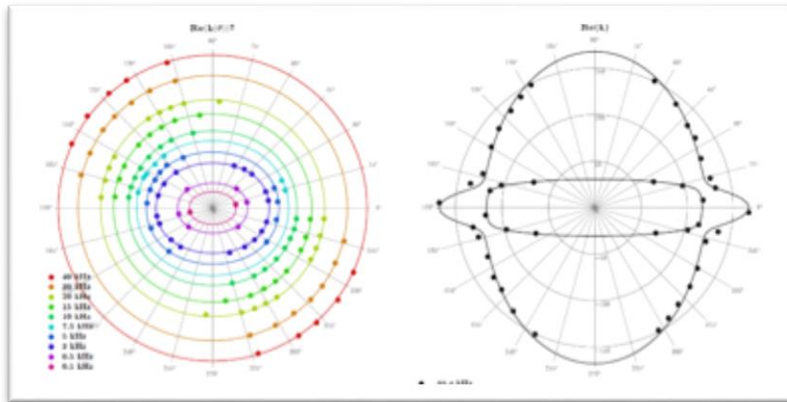
Identification haute résolution de nombres d'ondes pour la caractérisation des structures viscoélastiques

Pierre MARGERIT

Laboratoire NAVIER - Ecole des Ponts Paritech

6-8 av. Blaise Pascal, Cité Descartes

77455 MARNE LA VALLEE



La caractérisation du comportement des structures à partir de mesures non destructives (CND) présente un grand intérêt dans de nombreux secteurs, pour des applications aussi variées que le contrôle des pièces, la diminution du bruit ou encore l'acoustique musicale. Pour cela, les méthodes basées sur l'identification des ondes se propageant dans la structure présentent un avantage certain, de par leur indépendance face aux conditions au limites et au type d'excitation.

Une méthode haute résolution d'extraction de nombres d'onde (HRWA, pour High-Resolution Wavenumber Analysis) est proposée, adaptée à des signaux 1D et 2D. Appliquée sur les déformées opérationnelles mesurées d'une structure, elle permet l'identification des propriétés de comportement viscoélastique généralisé du milieu de propagation. Cette méthode s'inspire des méthodes de Prony et ne présente donc pas les limitations de résolution de la transformée de Fourier. Par rapport à la méthode IWC, elle permet l'extraction directe d'un spectre discret de nombres d'onde dominants dans la réponse de la structure, même lorsque peu de périodes spatiales sont contenues dans le signal. Cela permet donc de caractériser la structure sur une large bande de fréquence.

La méthode est d'abord présentée en détail dans le cas des poutres, pour lesquelles le modèle de signal est exact. Des résultats sont présentés sur l'identification large bande de modules d'Young et de cisaillement sur des poutres soumises à de la flexion et de la torsion couplées. Ensuite, le cas des plaques est développé, ainsi que l'adaptation de la méthode aux signaux 2D. La figure 1 présente l'extraction de nombres d'ondes sur la mesure d'un champ de vitesse au vibromètre laser à balayage, réalisée sur une plaque sandwich anisotrope. Les résultats d'extraction (points) sont comparés aux branches de dispersion analytiques, calculées à partir d'un modèle de Mindlin. La branche de flexion (à gauche) est identifiée correctement sur une large bande de fréquence, entre 100Hz et 40kHz. On identifie également les branches de mouvement dans le plan (à droite, ondes longitudinales et de cisaillement plan), ce qui présente un réel intérêt pour la caractérisation de la structure. Finalement, des résultats sur des plaques dont les caractéristiques d'anisotropie varient spatialement sont montrés, démontrant le potentiel de la méthode à identifier des propriétés locales.

Caractérisation large bande fréquentielle de multicouches orthotropes – Comparaisons analytiques/expérimentales

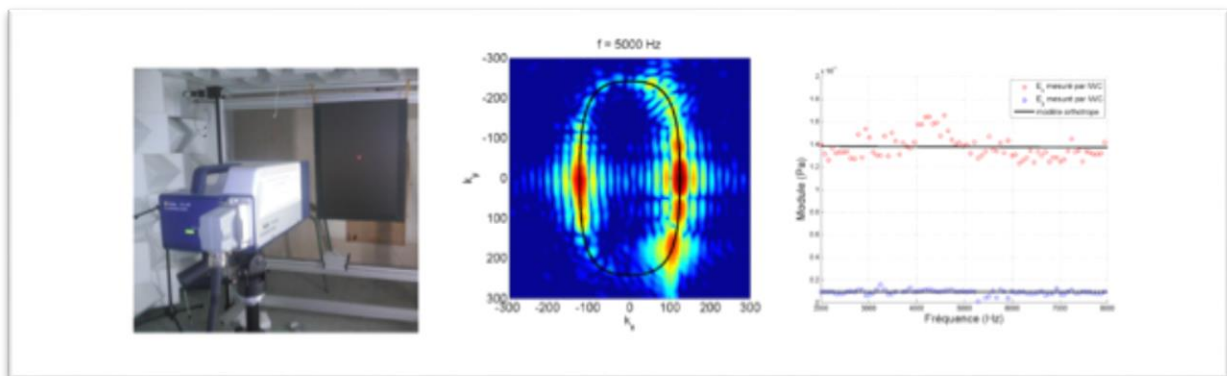
Fabien MARCHETTI

*Laboratoire de Vibration Acoustique - INSA Lyon
Bâtiment St. Exupéry
25 bis av. Jean Capelle
69621 Villeurbanne*

La caractérisation de matériaux complexes comme les multicouches a déjà fait preuve de nombreux travaux. Alors que la description modale est adaptée aux basses fréquences, les phénomènes apparaissant à plus hautes fréquences ne peuvent être décrits efficacement que par des modèles propagatifs. La caractérisation se concentre alors sur l'identification des paramètres de raideur et d'amortissement du multicouche.

Des mesures de champ vibratoire ont été réalisées par vibrométrie laser (Fig. 1.A) sur des multicouches orthotropes en fibre de carbone et des plaques en bois d'épicéa sur une plage fréquentielle allant de 2000 à 8000 Hz. Dans un premier temps, une analyse par transformée de Fourier spatiale a permis d'obtenir la représentation du champ de vitesse dans l'espace des nombres d'onde (Fig. 1.B). Puis, dans un second temps, l'indice IWC (Inhomogeneous Wave Correlation) décrit par Berthaut [1] a permis, à partir du champ de vitesse mesuré, de remonter aux propriétés mécaniques anisotropes de la structure étudiée en fonction de la fréquence (Fig. 1.C).

Différentes approches analytiques existent pour caractériser des multicouches, et en particulier, celles



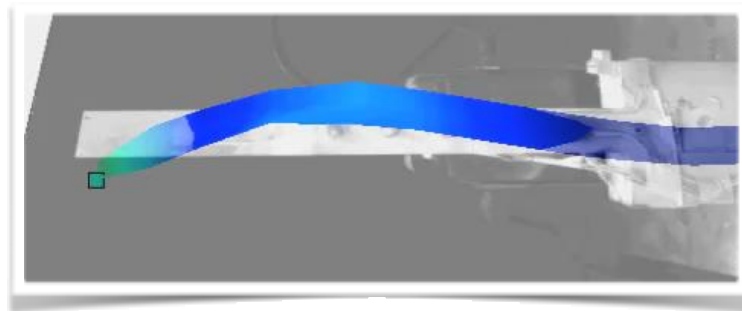
basées sur la recherche d'une plaque équivalente homogène dont les paramètres simulent le comportement dynamique du multicouche à une fréquence donnée. Guyader [2] a développé un modèle de plaque équivalente se limitant à la caractérisation d'un multicouche isotrope. Nous proposons d'étendre ce modèle vers des multicouches orthotropes. Des comparaisons entre le modèle et les résultats des mesures expérimentales seront alors présentées pour les différents cas étudiés (Fig 1.B / Fig 1.C) et permettent de valider la méthodologie adoptée.

Analyse de champs par vibrométrie laser sur un assemblage boulonné

Pauline BUTAUD

*Département mécanique appliquée FEMTO-ST
24, rue de l'épître
25000 BESANÇON*

Les vibrations des structures assemblées sont très dépendantes du comportement mécanique des liaisons. La rigidité et l'amortissement induits par ces liaisons dépendent essentiellement des conditions de contact / décollement et d'adhérence / glissement. La mesure des champs de déplacement dans les zones de liaisons et à proximité de celles-ci constitue donc un enjeu important pour la mise au point de modèles prédictifs. Ce travail porte sur l'utilisation de la vélocimétrie laser en trois dimensions pour la caractérisation du comportement de ces liaisons. Un assemblage constitué de deux poutres boulonnées en plusieurs points a été testé lors d'essais vibratoires sous excitations aléatoire et harmonique. La mesure du champ de déplacement global permet d'évaluer l'évolution des paramètres modaux en fonction de l'amplitude des vibrations. Des mesures du champ de déplacement local permettent d'évaluer les conditions de contact et de frottement dans chaque assemblage. Des corrélations avec les modèles sont également proposées.



Analyse modale non linéaire en temps réel par filtres de Kalman et séquences vidéo

Adrien GOELLER

Mesures vélocimétriques pour l'étude de la propagation d'onde dans des métamatériaux

Kévin BILLON, Emeline SADOULET-REBOUL, Gaël CHEVALLIER, Morvan OUISSE

*Département mécanique appliquée FEMTO-ST
24, rue de l'épita phe
25000 BESANÇON*



Les métamatériaux vibroacoustiques ont émergé ces dernières années comme de nouvelles solutions pour la réduction des nuisances vibratoires ou acoustiques. Il s'agit de matériaux architecturés de façon à les doter de fonctionnalités intéressantes notamment en terme d'atténuation dans des bandes de fréquences particulières appelées bandes interdites. Leur architecture les présente comme des candidats intéressants dans un contexte d'allègement des structures.

L'analyse expérimentale du comportement de ces métamatériaux suppose de pouvoir étudier la propagation des ondes dans la structure les intégrant : la vélocimétrie laser à balayage est une méthode expérimentale efficace pour mesurer les modes propres et les réponses de ces structures sur de larges bandes de fréquences, et vérifier l'efficacité des dispositifs dans les bandes interdites.

Des mesures réalisées sur plusieurs types d'architecture sont présentées dans l'exposé afin de mettre en avant l'utilité des mesures vélocimétriques dans l'analyse des métamatériaux. Les résultats expérimentaux sont corrélés à des simulations numériques : les principales difficultés de mise en œuvre expérimentale liées à des difficultés d'alignement ou de mesure de faible niveau vibratoire dans les bandes interdites notamment sont abordées.

