



Journées Jeunes Chercheurs en vibrations, Acoustique et Bruit



8^{ème} édition

Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans

Les 15 et 16 novembre 2018

LIVRET D'ACCUEIL



Table des matières

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 1 | Mot de bienvenue | 1 |
| 2 | Informations Pratiques | 2 |
| 1 | Dépôt des présentations | 2 |
| 2 | À propos du LAUM | 2 |
| 3 | À propos de l'ENSIM | 2 |
| 4 | Arrivée Mercredi soir | 3 |
| 5 | Arrivée Jeudi Matin et accès à la conférence | 3 |
| 6 | Accès Wifi | 3 |
| 7 | Dîner de gala à la Brasserie des Jacobins | 3 |
| 8 | Contact | 3 |
| 3 | Programme | 7 |
| 4 | Conférences plénières | 8 |
| 1 | Thomas Antoine : Acoustique automobile en 2025 | 8 |
| 2 | Vincent Tournat : Contrôle des ondes par métamatériaux élastiques non-linéaires | 8 |
| 5 | Résumés | 9 |
| 1 | Session 1 | 9 |
| 1.1 | Modes non-linéaires de systèmes vibro-impacts sous écoulement fluide | 9 |
| 1.2 | Modélisation et optimisation d'un réducteur ferroviaire vis-à-vis du bruit de sirène. | 10 |
| 1.3 | Experimental and Numerical Comparison of Lamb waves propagation in composite structures in presence of LASER induced delamination | 11 |
| 1.4 | Design of a quasi-periodic structure for vibration energy harvesting based on electromagnetic coupling | 12 |
| 1.5 | Robust and Adaptive Approach for Feedback Active Noise Control : Comparative Results | 13 |
| 1.6 | Identification d'efforts par vibrométrie holographique plein champ | 14 |
| 1.7 | Un récupérateur d'énergie vibratoire électromagnétique à deux degrés de liberté pour le monitoring de structures ferroviaires | 15 |
| 1.8 | Absorption des ondes de flexion par des résonateurs 1D dans le cas d'un problème en réflexion et de transmission | 16 |
| 1.9 | Phénomènes non-réciproques en écoulements cisailés | 17 |
| 1.10 | Vers la simulation d'interfaces incertaines : méthodes et approches | 18 |
| 1.11 | Approche ondulatoire pour des simulations non-linéaires incluant les moyennes fréquences | 19 |
| 1.12 | Extension de la méthode CFAT aux structures composites stratifiées orthotropes pour l'identification de source | 20 |

| | | | |
|---|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| | 1.13 | Reproduction sonore 3D par surface émettrice de sons dans un véhicule | 21 |
| | 1.14 | Confinement de la réponse dynamique dans une structure sandwich à âme architecturée | 22 |
| 2 | Session 2 | | 23 |
| | 2.1 | Simulation de la réflexion de chocs faibles sur une surface lisse | 23 |
| | 2.2 | Élastomères magnétorhéologiques : rhéologie et fonctionnalisation des structures | 24 |
| | 2.3 | Imagerie Super-résolue par Effet Doppler Rotatif | 25 |
| | 2.4 | Identification des paramètres d'une poutre courbe en utilisant une méthode inverse et un opérateur éléments finis | 26 |
| | 2.5 | Développement d'un outil de comparaisons d'instruments à cordes | 27 |
| | 2.6 | Etude de guides d'onde structuraux périodiques pour la conception de filtres vibratoires dans le contexte automobile | 28 |
| | 2.7 | Absorbants basse fréquence pour applications aéronautiques | 29 |
| | 2.8 | Développement d'un système de mesures acoustiques de référence aux basses fréquences et fort niveau à l'aide d'un tube de Kundt court | 30 |
| | 2.9 | Modèles réduits de vibrations hydroélastiques autour d'un état précontraint : vers un calcul "on-line" pour des études paramétriques | 31 |
| | 2.10 | Pompage d'énergie par un absorbeur électroacoustique non-linéaire | 32 |
| | 2.11 | Etude du comportement vibroacoustique des trains planétaires | 33 |
| | 2.12 | Débruitage de la matrice spectrale pour la caractérisation de sources aéroacoustiques | 34 |
| | 2.13 | Propriétés acoustiques de mousses solides avec fines membranes | 35 |
| | 2.14 | Spatial attenuation prediction of Lamb waves in composite materials | 36 |
| 3 | Session 3 | | 37 |
| | 3.1 | Auralisation du bruit de roulement ferroviaire par modèle physique | 37 |
| | 3.2 | Étude numérique et expérimentale de la dynamique vibratoire et du rayonnement acoustique de membranes d'élastomère diélectrique. | 38 |
| | 3.3 | Dimensionnement et tenue dynamique de pièces de rotors électriques dans un contexte de méconnaissances sous excitations Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI) | 39 |
| | 3.4 | Optimisation du comportement dynamique de composites sandwichs pour la fabrication de tables d'harmonie de guitare | 40 |
| | 3.5 | Etude physique de la phonation humaine : effet de l'hydratation et caractérisation géométrique des cordes vocales | 41 |
| | 3.6 | Analyse Acoustique pour la Détection, la Localisation et le Suivi d'un Drone à Partir d'un Réseau de Capteurs | 42 |
| | 3.7 | Identification des excitations aéroacoustiques par problème inverse vibratoire dans le domaine temporel | 43 |
| | 3.8 | Caractérisation et modélisation de l'amortissement créé par le frottement des habillages de structures industrielles par problème inverse vibratoire | 44 |
| | 3.9 | Optimisation topologique de liaisons dissipatives pour des applications spatiales | 45 |
| | 3.10 | Comportement d'une poutre non-linéaire multi-physique | 46 |
| | 3.11 | Perception of low-level cars by pedestrians via numerical tools | 47 |
| | 3.12 | Solution logicielle ouverte pour la mesure vibrométrique tridimensionnelle robotisée | 48 |
| | 3.13 | Etude de signatures acoustiques d'os en vue de l'estimation du délai Post-Mortem | 49 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.14 | Développement d'une approche numérique & expérimentale pour la propagation multimodale en conduit cylindrique | 50 |
| 4 | Session 4 | 51 |
| 4.1 | Contribution à la modélisation du comportement dynamique d'un siège d'automobile | 51 |
| 4.2 | Simulations et validation expérimentale d'un absorbeur hybride de vibrations soumis à un choc | 52 |
| 4.3 | Estimation du champ vibratoire d'une tuyauterie coudée soumis à un champ acoustique en onde plane. | 53 |
| 4.4 | Conception de panneaux non résonnants par structuration périodique de Trous Noirs Acoustiques Augmentés | 54 |
| 4.5 | Caractérisation d'impédance de surface de matériaux acoustiques par antenne hémisphérique de microphones. | 55 |
| 4.6 | Constitution d'une base de données physiquement valide pour la localisation de sources par Deep Learning | 56 |
| 4.7 | Contrôle passif d'un pendule à deux degrés de liberté à l'aide d'un absorbeur non-linéaire | 57 |
| 4.8 | Résolution de la dynamique d'ensemble des transmissions par engrenages | 58 |
| 4.9 | Étude de l'inconfort perçu pour des vibrations triaxiales d'hélicoptères | 59 |
| 4.10 | Transposition du phénomène de tonotopie dans une structure de type sandwich | 60 |
| 4.11 | Etude aérodynamique et aéroacoustique d'un écoulement turbulent instationnaire : Application aux systèmes HVAC | 61 |
| 6 | L'équipe | 62 |
| 7 | Liste des participants | 63 |
| | Remerciements | 66 |

Mot de bienvenue

Bienvenue à la 8^{ème} édition des Journées Jeunes Chercheurs en vibrations, Acoustique et Bruit (JJCAB), organisée sous l'impulsion du Groupe Vibro-acoustique et contrôle du Bruit (GVB) de la Société Française d'Acoustique (SFA) et du GST "Vibrations et Bruit" (GST 14) de l'Association Française de Mécanique (AFM). Cette édition mancelle est organisée par une équipe exclusivement composée de doctorants et post-doctorants issus du Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans (LAUM).

Ces journées permettent aux jeunes chercheurs de présenter leurs travaux sous forme d'une présentation flash de 3 minutes et d'une session poster. Il s'agit de stimuler les échanges d'expériences, de méthodes et d'idées, ainsi que de dresser un portrait des thèses en acoustique en France. C'est un moment privilégié où industriels et académiques peuvent rencontrer leurs recrues de demain, de manière informelle d'abord au cours des présentations flash, des sessions poster et du gala, mais également dans un cadre plus professionnel avec le PhD Market du vendredi.

Des visites des installations expérimentales du LAUM, de l'ENSIM (École Nationale Supérieure d'Ingénieurs du Mans) et du CTTM (Centre de Transfert de Technologie du Mans) sont également prévues lors de l'évènement.

A l'issue de ces deux journées, le prix de la meilleure présentation et du meilleur poster ainsi que le prix industriel seront décernés par un jury constitué d'industriels, de chercheurs et de l'ensemble des participants.

Nous vous souhaitons d'agréables journées et un bon séjour au Mans.

L'équipe d'organisation des JJCAB 2018

Informations Pratiques

1 Dépôt des présentations

Toutes les présentations seront projetées depuis l'ordinateur de la conférence. Afin de réduire les problèmes du type "j'ai perdu la clé usb avec ma présentation", il vous est demandé de déposer vos présentations sur Internet.

Pour ce faire, munissez vous de votre numéro de session (disponible à la fin de ce livret dans la liste des conférenciers) et rendez vous à l'adresse suivante :

goo.gl/p88n8E

Les présentations sont à envoyer au plus tard une demi-journée avant votre passage.

Préférez autant que possible le format PDF.

2 À propos du LAUM

L'équipe d'organisation des JJCAB est issue du LAUM, que vous aurez la possibilité de visiter durant les journées. Le laboratoire, comptant environ 140 personnes, s'est construit autour de thématiques acoustiques dans l'audible avant d'élargir son champ d'étude aux vibrations, ultrasons et matériaux.

Les études actuellement en cours portent sur la propagation des ondes dans les fluides (au repos ou en écoulement) et dans les solides (matériaux poreux, granulaires ou composites, structures vibrantes) ainsi que sur les mécanismes de couplage. Elles ont avant tout pour objet de comprendre les phénomènes physiques mis en jeu en privilégiant le développement de modèles analytiques et d'études expérimentales associés aux simulations numériques nécessaires.

Les recherches sont effectuées dans le cadre de trois équipes spécialisées sur des thématiques complémentaires :

- Matériaux
- Transducteurs
- Vibrations, Acoustique Guidée et Écoulement

3 À propos de l'ENSIM

Les 8^{èmes} JJCAB se dérouleront dans les locaux de l'ENSIM, école d'ingénieurs créée en 1995. Cette école est originellement spécialisée dans le domaine des vibrations, de l'acoustique et des capteurs mais, depuis 2009, elle propose également une spécialité informatique.

L'école est apte à délivrer le diplôme national d'ingénieur.

4 Arrivée Mercredi soir

Plusieurs volontaires seront à la gare du Mans de 17h à 19h et vous aideront à trouver votre hôtel. Ils seront situés à l'entrée "Gare Nord" et vous donneront des tickets de tram. Vous pourrez les reconnaître grâce à leur t-shirt JJCAB.

La sortie Gare Nord est la seule avec le tram. Si vous ne voyez pas de tram, vous êtes Gare Sud, retournez vous et changez de côté.

5 Arrivée Jeudi Matin et accès à la conférence

La conférence se déroulera sur le site de L'ENSIM, à l'université du Mans. Pour rejoindre le lieu depuis la gare (sortie "Gare Nord"), prenez le tram T1 (direction "Université", Fig. 2.1). Arrêtez-vous à l'arrêt "Haute-Venelle, Clinique du Pré". Le chemin pour rejoindre l'ENSIM est décrit sur la Fig. 2.2. Une bagagerie sera ouverte sur le site pour déposer vos affaires.

La sortie Gare Nord est la seule avec le tram. Si vous ne voyez pas de tram, vous êtes Gare Sud, retournez vous et changez de côté.

6 Accès Wifi

En plus d'eduroam, un accès wifi est disponible tout au long des JJCAB :

Réseau wifi : univ-libre-service
Nom d'utilisateur : jicab18 **Mot de passe** : fhk31Z

7 Dîner de gala à la Brasserie des Jacobins

Le dîner de gala des JJCAB aura lieu à la Brasserie des Jacobins à 20h le jeudi soir. Des membres de l'organisation vous emmènerons d'abord à l'hôtel pour déposer vos affaires avant de vous conduire jusqu'au restaurant. Vous pouvez retrouver le plan du trajet entre l'hôtel et le Gala Fig.2.3.

La brasserie installée sur la belle place des Jacobins, en plein cœur du Mans est située aux portes de la vieille ville et offre une vue imprenable sur la Cathédrale du Mans.

Ce moment convivial et phare des journées se terminera par une *jam session* permettant aux nombreux musiciens de s'exprimer et aux autres de profiter d'un *live* improvisé. Le principe est simple : chacun amène son instrument et sa bonne volonté. Nous fournissons bien sûr batterie, piano et autres instruments volumineux...

8 Contact

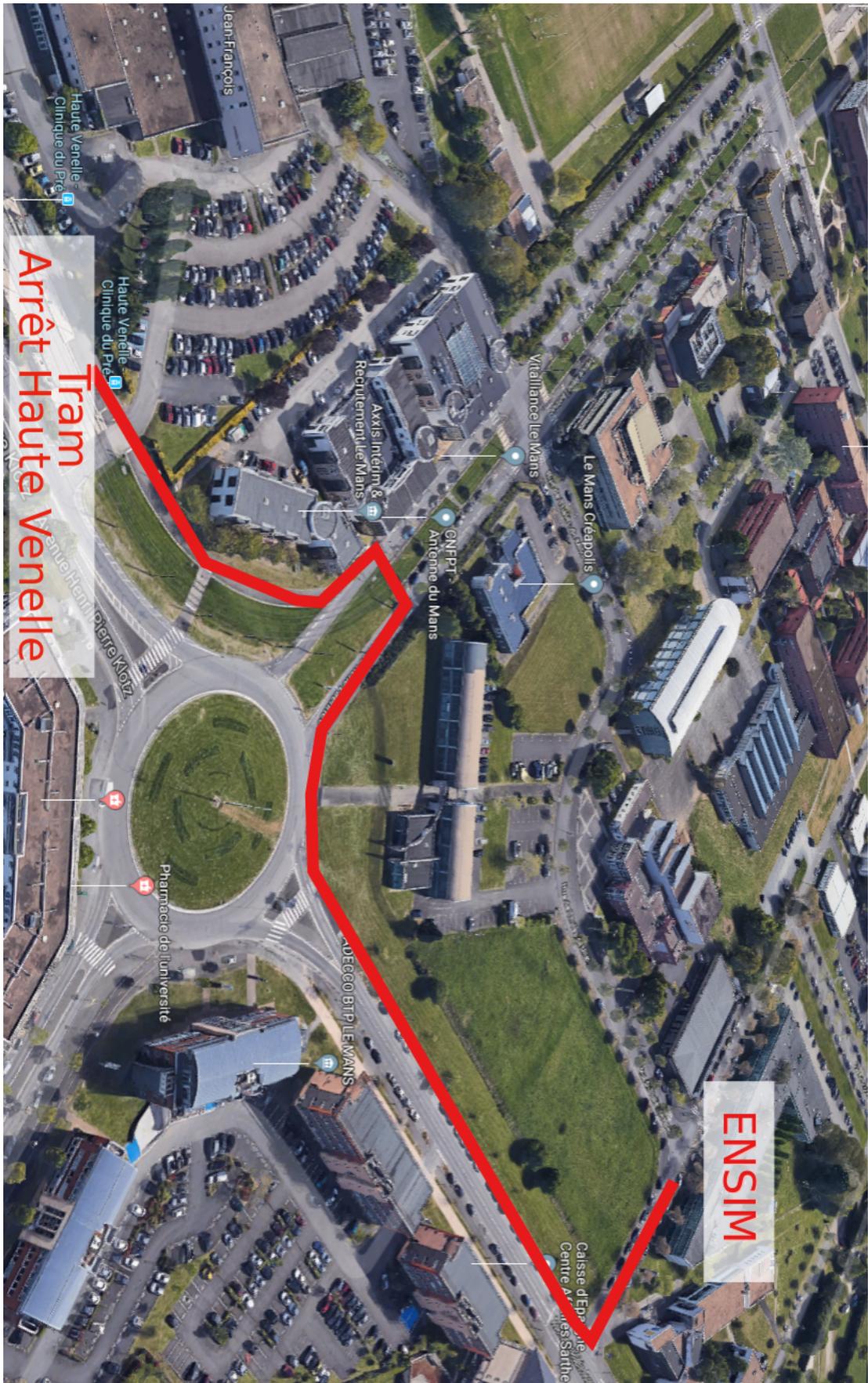
Mail : jicab18@univ-lemans.fr

Au cas où vous seriez vraiment perdu(s) au Mans, en cas d'urgence, appelez un des autochtones :

- N° Paul : 06 68 15 82 18
- N° Mathieu : 06 87 59 49 09
- N° Samuel : 07 67 70 88 22



Figure 2.1 – Carte des lignes de tramway du Mans



5
Figure 2.2 – Accès TRAM Haute Venelle - ENSIM



Figure 2.3 – Plan Hôtel - Gala

Programme

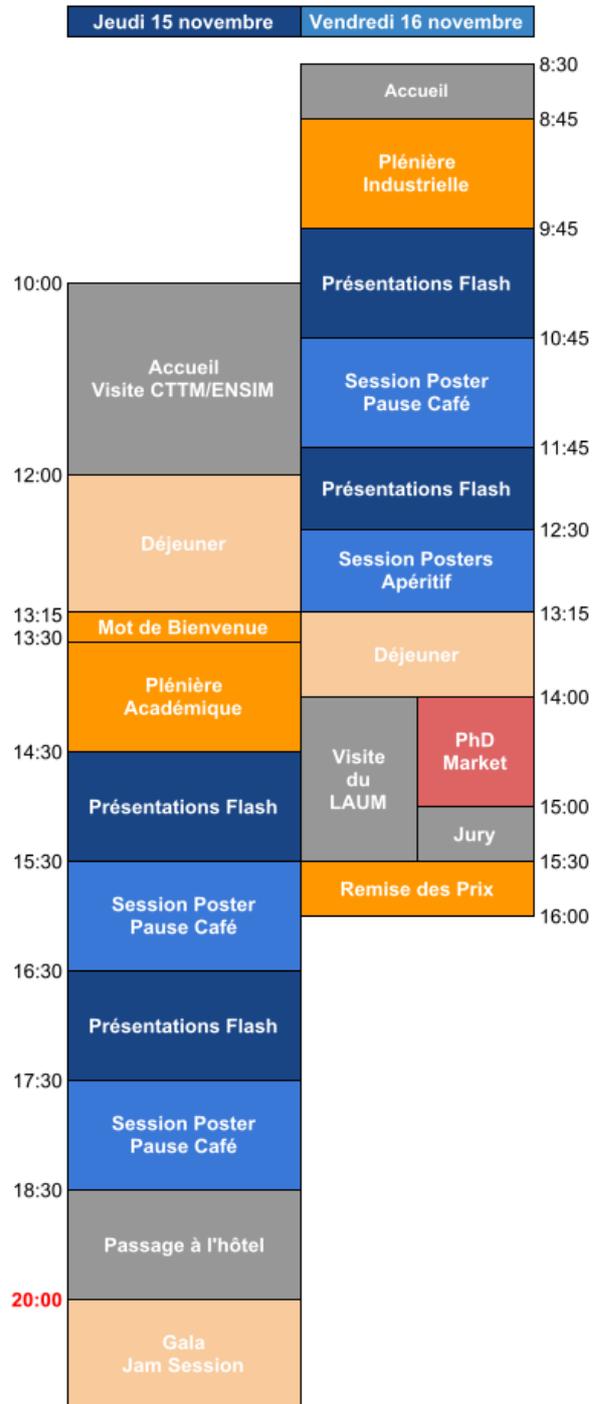


Figure 3.1 – Programme

Conférences plénières

1 Thomas Antoine : Acoustique automobile en 2025



Expert acoustique
@Renault

Ingénieur NVH chez Caterpillar travaillant sur le contrôle du bruit, les systèmes de propulsion, de refroidissement, la transmission et les châssis, il a rejoint 01dB Me-travib entre 2000 et 2004 dans le cadre de multiple interventions sur des problèmes NVH à travers le monde.

Il rejoint Renault en 2004 pour travailler sur les problématiques NVH liés aux systèmes de propulsion et prend la tête du centre L55 NVH à Lardy. Il se concentre alors sur le rayonnement sonore lié à la propulsion et au contrôle du bruit haute fréquence. Il vient grossir les rangs de RTR en Roumanie pour mettre en place une équipe dédiée à la performance des trains de propulsion clients et contribue à la direction du nouveau centre technologique de Titu.

En 2012, il rejoint le projet de startup ACOEM comme COO et développe ses activités à l'international dans le monde entier dans les domaines de la maintenance prédictive, des vibrations et bruit environnementaux, et de l'ingénierie NVH avancée.

Depuis le début de 2018, il a remplacé Charles Zhang comme leader expert NVH chez Renault.

2 Vincent Tournat : Contrôle des ondes par métamatériaux élastiques non-linéaires



Directeur de
Recherche CNRS
@LAUM

2003 : Thèse de Doctorat en acoustique non linéaire, Le Mans Université

2003 - 2004 : Post-doctorat en ultrasons laser – Hokkaido University, Sapporo, Japon

2004 - 2014 : Chargé de Recherche CNRS au LAUM, Le Mans Université

2009 : Soutenance de l'Habilitation à Diriger des Recherches, Le Mans Université

2011 : Médaille de Bronze du CNRS

2016 : Chercheur invité à Harvard (mis à disposition par le CNRS), Cambridge, MA, USA

2014 à aujourd'hui : Directeur de Recherche CNRS au LAUM, Le Mans Université

epuis 2018 : porteur du projet « École Universitaire de Recherche (EUR) », Institut d'Acoustique - Graduate School

Résumés

1 Session 1

1.1 Modes non-linéaires de systèmes vibro-impacts sous écoulement fluide

Alcorta Roberto¹, Baguet Sébastien², Piteau Philippe¹, Prabel Benoit¹

1. CEA Paris Saclay (France)

2. Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures, UMR CNRS 5259, INSA Lyon, Lyon (France)

Le Générateur de Vapeur (GV) est un composant essentiel dans une centrale nucléaire qui assure l'échange sécurisé de chaleur entre de l'eau chauffée au sein du réacteur et l'eau du circuit secondaire. Les tubes très élancés qui le composent sont ainsi soumis à des écoulements dont la vitesse est souvent assez forte pour déclencher une instabilité fluide-élastique, laquelle est équilibrée par les forces de choc au niveau des supports. Ainsi, des régimes vibratoires multiples et fortement non-linéaires sont créés, susceptibles de bifurquer en fonction d'un paramètre. Dans ce contexte, notre objectif est de développer les techniques numériques permettant de prédire les régimes possibles pour un système vibro-impacts autonome sous écoulement. Ce poster présente la première étape de cette recherche, où nous travaillons sur un modèle de tube simplifié, projeté sur son premier mode. Nous introduisons le modèle de Granger et Païdoussis dans les équations pour tenir compte de l'effet mémoire qui couple vibration et écoulement. Les produits de convolution qui y interviennent sont traités efficacement par la méthode d'équilibrage harmonique (HBM). La continuation par longueur d'arc est ensuite utilisée pour calculer des branches entières de solutions périodiques, correspondant à des modes non-linéaires. Puisque les forces de couplage introduisent des termes dissipatifs, nous proposons une méthode pour calculer des modes non-linéaires amortis. Finalement, l'évaluation de la stabilité des solutions périodiques est réalisée avec la méthode de Hill et les points de bifurcation, ainsi que les branches bifurquées associées, sont calculées. Les résultats obtenus par cette nouvelle approche ont été validés par comparaison avec ceux issus de l'intégration temporelle. Dans les prochaines étapes de cette recherche, l'étude sera approfondie, d'abord sur le même système en augmentant le nombre de modes et ensuite sur des structures plus complexes. Particulièrement, il est envisagé de rajouter des contacts multiples avec du frottement.

Mots clé : vibro impacts, couplage fluide élastique, Modes non linéaires

1.2 Modélisation et optimisation d'un réducteur ferroviaire vis-à-vis du bruit de sirène.

Landet Karl¹, Perret-Liaudet Joel¹, Rigaud Emmanuel¹, Fraces Mathieu²

1. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes , UMR CNRS 5513, Ecole Centrale de Lyon, Lyon (France)
2. Alstom (France)

Les émissions acoustiques sont un point incontournable dans le cahier des charges des transmissions par engrenages, comme dans le cas des boîtes de vitesses dans le domaine du transport, système mécanique essentiel pour le déplacement des véhicules. Pour les réducteurs ferroviaires, le bruit de sirène est le bruit principal. Ce bruit résulte du processus d'engrènement qui génère des vibrations, transmises par voie solidienne au carter via les arbres et les paliers de roulements. C'est l'erreur statique de transmission la source principale de vibrations qui dépend des micro-géométries des dents (modifications volontaires et erreurs de fabrication), des déformations des dents et des déviations des arbres. Contrairement à l'erreur statique, l'erreur dynamique de transmission (EDT) dépend aussi du régime de fonctionnement. Il existe un couplage fort entre l'EDT et l'état vibratoire complet du réducteur. Malgré plusieurs études, les prévisions concernant le bruit rayonné demeurent un problème difficile. Il est nécessaire de disposer d'un modèle macroscopique du réducteur précis (géométries, lubrification, etc.) ainsi que d'un modèle microscopique (tolérances de fabrication, micro-géométries de dent, etc.) pour calculer les erreurs de transmission, les désalignements et le comportement vibroacoustique. La principale difficulté consiste à intégrer ces deux échelles spatiales pour calculer la réponse dynamique. Dans le cas d'approches globales, les équations sont linéarisées autour de l'équilibre statique pour évaluer les réponses en régime stationnaire. Tout d'abord, pour démontrer la méthodologie, un réducteur réel est modélisé par éléments finis avec ses micro-géométries et ses efforts, puis les données d'entrées (comme les erreurs de transmission et la base modale) sont calculées. Deuxièmement, ce modèle et ces données sont utilisés pour calculer la réponse dynamique du réducteur. Enfin, un indicateur d'émissions de bruit de sirène est calculé. Cet indicateur sera comparé à nos mesures et utilisé comme critère pour l'optimisation.

Mots clé : Réducteur, Optimisation, Vibration, Acoustique, Engrenage, Transmission

1.3 Experimental and Numerical Comparison of Lamb waves propagation in composite structures in presence of LASER induced delamination

Li Xixi¹, Monteiro Eric¹, Rébillat Marc¹, Guskov Mikhail¹, Mechbal Nazih¹

1. Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux, UMR CNRS 8006, ENSAM ParisTech, Paris (France)

One of the most important issues in engineering is the monitoring and the early detection of structural damages to prevent catastrophic failures. This process is referred to as Structural Health Monitoring (SHM) and is expected to provide considerable improvements with respect to safety and maintenance costs. More particularly, the focus is here put on composite structure representative of aeronautic applications and the damages to be monitored are of "delamination" type. One of the most commonly used method in that context is the ultrasonic wave-based method, since it is sensitive to the presence of damage and able to monitor large areas with few sensors. However, the conventional ultrasonic methods are sensitive to gross defects or open type damage, but merely sensitive to micro fatigue cracks or contact type nonlinear damage such as small delamination in composite structures. A finite element (FE) method is here used to build up several numerical models for investigating wave propagation properties in a composite plate representative of aeronautic application with and without a "delamination" type damage. In the damaged case, the local stiffness reduction model and the contact model are investigated. Experimental data for a healthy plate and a damaged plate with one delamination are used for comparison with the numerical results. In both simulations and experiments, Piezo-electric elements (PZTs) are used to generate tone-burst signals able to excite Lamb waves inside the plate. Different excitation frequencies are tested to investigate the wave propagation properties and the nonlinear wave/damage interaction in both time and frequency domain. In the healthy case, the numerical results are found to be in good agreement with experimental results. For the damaged case, the advantages and drawbacks of all the tested linear and nonlinear models as well as their fitness to experimental data are discussed.

Mots clé : delamination, composite structures, Structural Health Monitoring (SHM), Finite Element (FE) Simulation

1.4 Design of a quasi-periodic structure for vibration energy harvesting based on electromagnetic coupling

Zergoune Zakaria¹, Kacem Najib¹, Nouredine Bouhaddi¹

1. FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Besançon (France)

Wireless systems have gained accuracy, reliability, robustness while becoming miniaturized but they are still limited by the life cycle of their power system. A promising alternative is to scavenge the ambient mechanical energy to ensure the energy autonomy of nomadic devices. This approach has a strong potential for innovation, miniaturization, respect for ecological issues and is part of the theme of renewable energies as well. In our environment, diverse ambient energy sources are available and their conversion into electrical energy is a major challenge to increase the autonomy of isolated or abandoned systems. Each environment can correspond to one or more energy sources such as light, wind, thermal gradients, mechanical vibrations. For each of these sources, one or more conversion principles exist for generating electricity. Mechanical vibration sources provide potential energy that can be scavenged for charging self-powered systems. In the last decade, several designs of energy harvesters, based on different conversion mechanisms, have been proposed. The proposed study deals with the design and modeling of a novel quasi-periodic vibration energy harvester under a harmonic base excitation. The designed harvesting device used two fixed outer magnets and two mobile magnets which are mechanically attached to elastic suspensions which are designed and optimized to guaranty a perfect vertical displacement and to decrease the mechanical damping. These suspensions are inserted into threaded rods which have been used to vary the gap between the fixed and mobile magnets in order to functionalize the magnetic coupling. The quasi-periodicity is achieved by tuning a small mass or stiffness perturbation of one degree of freedom. The harvester involves mechanical and magnetic coupling. The proposed harvester which operates at low frequencies demonstrated high performance in term of harvested power density by the benefits of the low mechanical damping and the effect of the energy localization phenomenon.

Mots clé : Vibration energy harvesting, energy localization, quasi-periodic structure

1.5 Robust and Adaptive Approach for Feedback Active Noise Control : Comparative Results

Meléndez Raúl¹, Dugard Luc¹, Landau Ioan¹, Airimitoiaie Tudor-Bogdan²

1. Grenoble Images Parole Signal Automatique , UMR CNRS 5216, Grenoble (France)
2. IMS, UMR CNRS 5218, Université de Bordeaux, Bordeaux (France)

The attenuation of sound propagation in an air-handling duct using robust and adaptive feedback active noise control strategies is investigated. The case of multiple narrowband disturbances located in distinct frequency regions and the interference occurring in the presence of disturbances with very close frequencies are considered. The active control uses a loudspeaker as the compensatory system. The objective is to minimize the residual noise at the end of the duct segment considered. The system does not use any additional sensor for getting in real-time information on the disturbances. This study illustrates a series of applications of the techniques for active vibration control presented in previous works. A hierarchical feedback control approach is used. At the first level, a robust linear controller is designed taking advantage of the knowledge of the domains of variation of the frequencies of the noise disturbances. To further improve the performance, a direct adaptive control algorithm is then added. Its design is based on the use of the internal model principle combined with the Youla-Kucera parametrization of the controller. Both robust and adaptive controls require the knowledge of the discrete time model of the compensation path which is obtained by identification from experimental data. Experimental results on a relevant duct active noise control test bench illustrate the performance of the proposed methodology.

Mots clé : Active noise control, System Identification, Internal model principle, Youla Kucera parametrization, Adaptive control, Robust control.

1.6 Identification d'efforts par vibrométrie holographique plein champ

Meteyer Erwan¹, Picart Pascal¹, Pézerat Charles¹

1. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

L'observation des vibrations et des ondes se propageant dans les matériaux nécessite des méthodes expérimentales avancées. L'holographie numérique ultrarapide est utilisée au laboratoire afin d'observer ces vibrations en plein champ et sans contact. Cette méthode permet l'observation des champs vibratoires dans l'espace et dans le temps en régime stationnaire et transitoire. L'approche proposée est basée sur l'holographie optique numérique couplée à une caméra ultra-rapide et un laser continu de forte puissance. Le champ de déplacement de la structure étudiée est obtenu par la mesure de la phase Doppler extraite des hologrammes numériques. Ainsi, l'observation d'ondes instationnaires tel que le roulement d'une bille ou le balayage par une structure rugueuse d'une surface (ex : essuie-glace) est alors possible. Cette méthode de mesure peut être également utilisée pour vérifier des modèles de propagation de structures amortissantes développés par d'autres équipes de recherches (ex : trous noirs acoustiques). Au cours de cette thèse, nous envisageons d'appliquer la méthode holographique à l'identification d'efforts appliqués à des structures. Le problème inverse de l'équation de mouvement appliqué aux mesures plein champ permettra de déterminer les variations spatiales et temporelles des efforts. Ce poster présente les principes fondamentaux de l'holographie optique numérique, le dispositif expérimental et la méthodologie que nous comptons mettre en oeuvre. Les objectifs et les perspectives désirés pour la suite de la thèse seront alors discutés.

Mots clé : Holographie optique, mesure plein champ, vibroacoustique, sources instationnaires, résolution inverse, identification d'efforts

1.7 Un récupérateur d'énergie vibratoire électromagnétique à deux degrés de liberté pour le monitoring de structures ferroviaires

Perez Matthias¹, Chesne Simon¹, Jean-Mistral Claire¹, Billon Kevin¹, Bouvet Sandrine², Clerc Christian²

1. Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures, UMR CNRS 5259, INSA Lyon, Lyon (France)
2. Vibratec (France)

Cet article traite du dimensionnement et de l'optimisation d'un récupérateur d'énergie vibratoire de taille centimétrique pour les applications de monitoring de structures ferroviaires. Une campagne de test in situ a permis de caractériser l'environnement vibratoire d'une grande partie du réseau de tramway de la ville de Lyon et de collecter une quantité considérable de données. Le bogie s'est avéré être un emplacement idéal pour (i) détecter les défauts structurels et (ii) récupérer de l'énergie vibratoire. Il est aussi apparu de ces essais expérimentaux que les conditions de fonctionnement du tramway étaient propices à l'utilisation d'un système à deux degrés de liberté. Nous avons donc développé un système de récupération d'énergie inertiel à deux degrés de liberté combiné à un alternateur linéaire à aimants permanents. Le dispositif a été optimisé à partir des données expérimentales utilisées comme paramètre d'entrée et implémentées dans un modèle multi-physique, incluant mécanique linéaire et électromagnétisme. Le système a été dimensionné pour être le plus compact possible tout en permettant de produire une certaine quantité d'énergie électrique pour l'alimentation des capteurs. La solution que nous proposons est composée de deux parties comprenant de manière simplifiée l'empilement d'aimants permanents NdFeB d'une part et le bobinage d'autre part. Ces deux composantes du récupérateur d'énergie ont été accordées pour résonner à deux fréquences de résonance différentes (27Hz et 70Hz) afin de s'adapter parfaitement au spectre du signal d'entrée. Les deux parties sont liées à un bâti commun grâce à deux membranes doubles spécialement conçues pour cette application. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec un dispositif de 8x5x5cm³ permettant de produire une puissance électrique moyenne égale à 10mW (Q=10) sur l'ensemble des trajets simulés (ce qui correspond à accélération RMS moyenne de 4.7m.s⁻²).

Mots clé : Récupération d'énergie vibratoire, ferroviaire, aimants permanents, deux degrés de liberté

1.8 Absorption des ondes de flexion par des résonateurs 1D dans le cas d'un problème en réflexion et de transmission

Leng Julien¹, Romero-Garcia Vicent¹, Groby Jean Philippe¹, Pelat Adrien¹, Pico Rubén², Gautier François¹

1. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, UMR CNRS 6613, Le Mans (France)
2. Instituto para la Gestion Integral de zonas Costeras, Université Polytechnique de Valencia, Valencia (Espagne)

L'ajout de revêtements viscoélastiques est classiquement réalisé pour amortir les vibrations de structure industrielle, ce qui accroît excessivement leur masse. Pour des structures de type plaque, l'implantation d'un réseau périodique de trous noirs acoustiques (TNA) est une solution possible pour résoudre ce problème, puisque ces diffuseurs passifs consistent à diminuer localement l'épaisseur de la structure selon une loi au minimum quadratique. L'agencement périodique de TNA dans une structure permet de concevoir des métaplaques associant différents effets de bandes arrêts (TNA, résonance, Bragg). Leur efficacité est cependant inégale selon la bande fréquentielle d'étude. Les bandes d'arrêt engendrées pour des longueurs d'ondes grandes par rapport à la longueur caractéristique du TN (bandes résonantes et de Bragg) sont généralement très fines et difficilement observables expérimentalement, contrairement aux bandes d'arrêt plus haute fréquence (effet TNA). Or, les problématiques vibroacoustiques se situent principalement en basse fréquence. L'enjeu de la thèse est donc de concevoir une métaplaque présentant l'effet TN classique haute fréquence, combiné à un effet amortissant plus basse fréquence sur une bande fréquentielle la plus large possible, liée aussi bien à un phénomène résonant que de périodicité. Des résultats préliminaires concernant la conception d'absorbeurs mécaniques sub-longueurs d'ondes de flexion sont présentés ici. Ces résultats se basent sur un modèle analytique utilisant la méthode des matrices de transfert et la théorie Euler-Bernoulli des poutres, et se concentrent sur le cas d'un problème de réflexion puis de transmission d'ondes de flexion. L'étude est focalisée sur l'obtention de conditions de couplage critique entre un résonateur local et la poutre à laquelle il est connecté. Outre l'annulation stricte du coefficient de réflexion pour les ondes de flexion, qui constitue l'un des effets recherchés, cette situation permet également de caractériser l'amortissement ajouté par un film amortissant. Des résultats expérimentaux sont présentés pour valider les résultats analytiques et numériques.

Mots clé : métaplaque, onde de flexion, absorbeur sublongueur d'onde

1.9 Phénomènes non-réciproques en écoulements cisailés

Saverna Charlotte¹, Pagneux Vincent¹, Aurégan Yves¹

1. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

En optique ou en acoustique des méta-matériaux, les phénomènes non-réciproques sont souvent recherchés. Ici, nous trouvons des analogues à trois phénomènes courants dans ces domaines en observant la réfraction ou la réflexion de faisceaux Gaussiens dans des écoulements cisailés. Le cas général d'un faisceau traversant une couche de cisaillement entre deux milieux dans lesquels l'écoulement est constant mène à un premier constat : il est possible de reproduire dans de telles conditions la réfraction négative que l'on peut observer sur certains méta-matériaux. Ensuite, la réflexion d'un faisceau sur un mur traité acoustiquement plongé dans un milieu en mouvement uniforme a permis deux autres observations : il est possible, en ajustant l'épaisseur de la couche de cisaillement au-dessus du mur d'atteindre l'absorption parfaite du faisceau pour une certaine direction d'incidence. Finalement, un dernier phénomène connu en optique ou en ultrasons que nous avons pu observer et quantifier est le décalage latéral du faisceau réfléchi le long de la paroi. Cet effet, connu sous le nom de décalage de Goos-Hänchen ou effet Schoch, peut être très bien visualisé dans nos simulations numériques, et apparaît comme fortement asymétrique. Pour ces trois phénomènes, nous proposerons une visualisation sous forme de faisceaux ainsi qu'une interprétation physique.

Mots clé : écoulement, non réciprocity, faisceaux, absorption parfaite, réfraction négative, Goos-Hänchen

1.10 Vers la simulation d'interfaces incertaines : méthodes et approches

Gaborit Mathieu^{1,2}, Dazel Olivier¹, Göransson Peter²

1. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, UMR CNRS 6613, Le Mans (France)
2. Marcus Wallenberg Laboratory for Sound and Vibration Research, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm (Suède)

Les systèmes technologiques se complexifient avec les années et cette tendance se vérifie également en acoustique. En effet, l'omniprésente problématique de réduction du bruit se combine à celles du gain d'espace et de poids ainsi qu'à l'arrivée de nouveaux concepts et moyens de mise en oeuvre pour aboutir à des systèmes toujours plus intégrés. Dit autrement, adieu la loi de masse, bonjour les multicouches, meta-matériaux et autres structures résonantes (du moins en recherche). Avec ces nouvelles approches de nouvelles questions se posent : comment calculer les réponses, optimiser les performances, quantifier la variabilité des systèmes finaux, etc.

Le projet de la thèse dans sont ensemble s'articule autour des imperfections rencontrées aux multiples interfaces de ces nouveaux systèmes, cependant les deux premières années traitent d'applications plus générales. Dans cette contribution, les diverses techniques proposées depuis deux ans seront évoquées : couplage de méthodes numériques, accélération des calculs, simplification de modèles, recherche de points remarquables sur les réponses, etc. Au lieu d'un unique travail, c'est le fil rouge des deux ans qui sera discuté avec ses potentielles suites.

Mots clé : FEM, méthodes numériques, interfaces, ondes de Bloch

1.1.1 Approche ondulatoire pour des simulations non-linéaires incluant les moyennes fréquences

De Brabander Philippe¹, Allix Olivier¹

1. Laboratoire de Mécanique et Technologie, UMR CNRS 8535, ENS Cachan, Cachan (France)

La résolution numérique de problème de vibrations moyennes fréquences reste un challenge en dimensionnement de structure. Elle intervient en particulier pour la simulation de propagation d'ondes suite aux chocs pyrotechniques dans la partie SYLDA du lanceur Ariane portant les satellites. Actuellement le nombre de degré de liberté nécessaire met en échec les codes industriels classique qui doivent également tenir compte des non linéarités matériaux.

Une réponse est apportée par le LMT avec la méthode de résolution fréquentielle VTCR (Variationnel Theory of Complex Rays) pour les problèmes linéaires. Elle réduit drastiquement le nombre de degré de liberté mis en oeuvre en utilisant des ondes comme fonction de forme.

Actuellement la VTCR exécute une résolution fréquence par fréquence. Le premier point clé de la thèse consiste à réduire les temps de calcul en proposant une résolution large bande fréquentielle. Nous utilisons la PGD (Propered Generalyzed Decomposition) largement utilisée en réduction de modèle mais à toujours était mis en échec pour ce type de méthode. La stratégie a été de résoudre le mauvais conditionnement de la VTCR, à l'origine de la non convergence de la PGD.

Le second challenge consistera à étendre la VTCR à la résolution de problème non linéaire de type visco-plasticité et endommagement. Traité des non linéarités avec une résolution fréquentielle engendre de nombreux aller-retour entre domaine fréquentiel et temporel. Ce point se fera avec l'application de la méthode LATIN.

Mots clé : réduction de modèle, Moyennes fréquences, VTCR, PGD, LATIN

1.12 Extension de la méthode CFAT aux structures composites stratifiées orthotropes pour l'identification de source

Marchetti Fabien¹, Ege Kerem¹, Leclère Quentin¹

1. Laboratoire Vibrations Acoustique, EA 677, INSA Lyon, Lyon (France)

La méthode FAT (Force Analysis Technique, Pézerat 2000) est une méthodologie expérimentale de localisation et quantification de sources basée sur l'analyse du champ vibratoire. Cette méthode a été testée sur des poutres, des plaques isotropes et récemment des plaques orthotropes (Ablitzer 2017). FAT estime les dérivées partielles de l'équation de mouvement de la structure grâce à un schéma aux différences finies appliqué sur le champ vibratoire mesuré. L'erreur de biais créée par ce schéma devient pénalisante lorsque l'échantillonnage spatial se rapproche des limites de Shannon. La méthode CFAT (Corrected FAT, Leclère 2012) utilise des coefficients correcteurs appliqués directement au schéma pour atténuer cette erreur de biais. Dans cette communication, nous étendons cette dernière méthodologie (développée pour les structures isotropes) aux structures composites stratifiées orthotropes dans le cas de l'identification de source. Ces structures présentent, contrairement aux structures purement orthotropes, un couplage flexion-torsion créé par les différentes orientations des couches du stratifié. Les coefficients correcteurs utilisés dans la méthode CFAT ont été modifiés pour s'adapter à ce type de structure dont l'équation de mouvement est composée maintenant de 5 rigidités de flexion (contre 3 pour les structures purement orthotropes et 1 pour les structures isotropes). Des résultats de localisation et quantification d'efforts ponctuels sur des champs vibratoires expérimentaux (vibrométrie laser) et numériques (FEM Nastran) de plaques stratifiées multicouches en fibre de carbone avec différents empilements sont présentés et permettent de valider la méthodologie proposée.

Mots clé : CFAT, stratifié, composite, orthotrope, localisation, quantification, sources

1.13 Reproduction sonore 3D par surface émettrice de sons dans un véhicule

Benbara Nassim¹, Rébillat Marc¹, Mechbal Nazih¹

1. Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux, UMR CNRS 8006, ENSAM ParisTech, Paris (France)

Etant donné que l'acoustique joue un rôle majeur dans la conception automobile, l'utilisation d'éléments piézo-électriques dans l'habitacle en remplacement des haut-parleurs traditionnels permet potentiellement de réduire quantité de poids et d'encombrement. La qualité sonore à l'intérieur de l'habitacle pourra ainsi être améliorée en pilotant ces actionneurs piézo-électriques via des méthodes de reproduction sonores spatialisées (WFS, Ambisonic, VBAP, etc...). Or, l'effet d'un actionneur piézo-électrique sur un élément surfacique de voiture provoque des vibrations distribuées et un comportement modal qui sont assez différents du comportement acoustique d'un haut-parleur traditionnel. De plus, pour satisfaire aux exigences des méthodes de reproduction sonores spatialisées, les sources acoustiques ainsi recréées doivent être le plus possible ponctuelles et omnidirectionnelles. L'objectif est alors ici i) de recréer des zones vibratoires indépendantes les unes des autres, ii) satisfaisant aux contraintes des méthodes de reproduction sonore spatialisée, iii) sur des éléments surfaciques de voiture à l'aide d'éléments piézo-électriques. Trois méthodes de contrôle permettant de recréer une zone vibratoire bien définie sur une structure plane ont été implémentées numériquement et testées. La première se basant sur du contrôle modal, part du principe ou la forme cible se décompose dans la base des modes propres (expérimentale ou analytique). La seconde méthode basée sur des ondes propagatives, établit un lien direct entre les réponses en vitesses en chaque point de la structure et les entrées des signaux des actionneurs. Enfin, la troisième méthode est basée sur une stratégie de contrôle énergétique. Ces différentes méthodes ont été comparées en simulation sur un cas d'étude simple et leurs avantages et inconvénients sont mis en valeurs dans le cadre applicatif de l'automobile.

Mots clé : sources sonores, contrôle modal, acoustique, vibrations

1.14 Confinement de la réponse dynamique dans une structure sandwich à âme architecturée

Abbad Ahmed¹, Ben Lassoued Mohamed Amin¹, Michon Guilhem¹, Ross Annie²

1. Institut Clément Ader, UMR CNRS 5312 (France)

2. École Polytechnique de Montréal (Canada)

Afin de dissiper l'énergie dans les structures vibrantes, les systèmes d'amortissement sont conçus pour des bandes de fréquences données. Les bandes efficaces ne couvrent cependant pas toujours toute la gamme de fréquences à atténuer. Une solution consiste à confiner chaque bande de vibration dans une zone limitée de la structure et à optimiser les dispositifs d'amortissement pour chaque zone. Pour parvenir à confiner/localiser les modes vibratoires, la structure étudiée est basée sur un concept de panneau sandwich intégrant une âme à gradient de propriétés. Ce dernier est assuré par des matériaux architecturés imprimés en 3D possédant des propriétés structurales variables sur sa longueur : rigidité, densité et amortissement. La caractérisation mécanique des matériaux 3D de type cellule de Voronoï est une étape cruciale pour accomplir des simulations numériques permettant la validation du concept. Ainsi, des caractérisations dynamiques d'échantillons de différentes densités sont réalisées via une machine DMA. Les résultats obtenus sont ensuite utilisés pour alimenter le modèle EF permettant la mise en évidence du phénomène de localisation recherché. Des mesures vibratoires expérimentales permettront la validation du concept proposé. L'énergie vibratoire résultante de la localisation sera dissipée et/ou récupérée à l'aide d'un absorbeur non linéaire de type NES (NonLinear Energy Sink) grâce au mécanisme dit de pompage énergétique.

Mots clé : Vibration, Caractérisation mécanique, Matériaux à gradient, NES, Pompage Énergétique

2 Session 2

2.1 Simulation de la réflexion de chocs faibles sur une surface lisse

Lechat Thomas¹, Ollivier Sébastien¹, Dragna Didier¹, Maria Karzova²

1. Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, UMR CNRS 5509, École Centrale de Lyon, Lyon (France)
2. Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow (Russie)

Les ondes de chocs sont rencontrées dans beaucoup de domaines de recherches tels que les vols supersoniques, l'acoustique médicale ou encore pour des applications militaires (localisation de sources). L'étude de ces phénomènes se base sur des modèles théoriques d'acoustique non-linéaires qui sont sans solution analytique dans les cas pratiques. C'est pourquoi les ondes de chocs sont principalement étudiées au moyens de simulations numériques et d'expérimentations.

Dans cette étude nous nous intéressons à la réflexion d'ondes de chocs : l'onde incidente sur la paroi et l'onde réfléchie interagissent pour former un troisième choc se propageant parallèlement à la paroi, appelé pied de Mach. Ce phénomène intrinsèquement non-linéaire est connu pour les ondes de chocs de fortes amplitudes (explosions et tubes à chocs) mais moins étudié pour des chocs faibles (amplitudes de quelques centaines de pascals). Des études expérimentales de ces interactions sont réalisées depuis plusieurs années au laboratoire à l'aide d'une source à arcs électriques et de mesures optiques.

L'objectif est ici d'étudier numériquement la réflexion d'ondes de choc faibles sur des surfaces complexes en résolvant les équations d'Euler par différences finies dans le domaine temporel. Un modèle de source numérique est défini en champ libre afin de s'approcher au mieux de la source à arcs électriques utilisées dans les expériences. Une comparaison fine entre simulation et mesures de réflexion de chocs sur une surface lisse est ensuite réalisée et montre un très bon accord tant qualitatif (la structure du choc est correctement retrouvée) que quantitatif (les formes d'ondes de la pression concordent). Enfin, la trajectoire du pied de Mach obtenue par la simulation concorde avec les expériences.

On s'intéresse ensuite à la réflexion sur des parois rugueuses, afin d'évaluer l'impact de la rugosité sur le schéma de réflexion. L'impact sur le pied de Mach de ces parois est aussi étudié.

Mots clé : réflexion irrégulière, pied de Mach, acoustique nonlinéaire, FDTD

2.2 Élastomères magnétorhéologiques : rhéologie et fonctionnalisation des structures

Hermann Svenja^{1,2}, Butaud Pauline², Manceau Jean-François², Espanet Christophe¹, Chevallier Gaël²

1. Moving Magnet Technologies S.A. (France)
2. FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Besançon (France)

Le projet proposé porte sur les propriétés magnéto-mécaniques et la fonctionnalisation d'une structure constituée d'un matériau élastomère chargé en particules magnétiquement dures. Les particules sont dispersées dans l'élastomère et peuvent être polarisées. On obtient finalement un élastomère ayant des propriétés magnétiques comparables à celles d'un aimant. L'élaboration de ce matériau, sa caractérisation expérimentale, mécanique et magnétique, et la modélisation numérique de son comportement font l'objet de ce travail. Des essais de traction en régime quasi-statique ont été effectués sur un élastomère chargé en particules magnétiques. Les particules dans le polymère sont polarisées, elles peuvent être considérées comme des aimants de taille micrométrique. L'influence de la température, la fréquence, du taux de charge et de l'amplitude de sollicitation ont été étudiés. Des phénomènes purement mécaniques ont été mis en évidence grâce à ces essais. Les premiers essais magnétiques montrent un couplage fort entre les comportements mécanique et magnétique. Ce couplage rend possible et intéressante une fonctionnalisation de structures d'actionneurs utilisant ce matériau. Grâce à sa souplesse, le matériau soumis un champ magnétique se déforme. Il est possible d'exciter le matériau dynamiquement, de le faire vibrer, sans contact grâce à une source électromagnétique variable. Le démonstrateur de ce couplage proposé pour les JJCAB est un haut-parleur, dans lequel une membrane en élastomère magnétorhéologique est sollicitée via un champ électromagnétique contrôlé.

Mots clé : excitation dynamique, élastomères magnétorhéologiques, haut parleur

2.3 Imagerie Super-résolue par Effet Doppler Rotatif

Métais Samuel¹, Lemoult Fabrice¹, Lerosey Geoffroy¹

1. Institut Langevin - Ondes et Images - ESPCI ParisTech, UMR CNRS 7587 INSERM U979, Paris (France)

La limite de diffraction est une limitation intrinsèque des systèmes d'imagerie et stipule que l'on ne peut séparer des objets en-dessous de cette dite limite. Il est évident que franchir cette barrière offrirait de nouvelles applications, et par exemple le prix Nobel de Chimie de 2011 a récompensé de nombreuses techniques permettant d'obtenir des images mieux résolues. Dans leur cas, ils s'affranchissent de la limite de résolution en exploitant un phénomène non-linéaire grâce à la fluorescence d'agents de contraste. Ici, nous proposons d'utiliser une autre non-linéarité : l'effet Doppler. Pour exploiter celui-ci à des fins d'imagerie, nous mettons en rotation l'objet à imager. Ainsi tous les diffuseurs en dehors de l'axe de rotation renvoient une onde décalée spectralement à cause de l'effet Doppler justement, alors que les objets sur l'axe de rotation seront vus à la bonne fréquence. De cette façon, on espère retrouver avec une résolution arbitraire les points de l'axe de rotation, et il suffit ensuite de changer l'axe afin d'explorer tous les points de notre objet à imager. Évidemment mettre en rotation un échantillon biologique ne s'avère pas une bonne idée et une réalisation pratique d'un tel dispositif consiste plutôt à changer de référentiel et mettre en rotation les sources. Dans notre cas, des haut-parleurs placés sur une table tournante motorisée émettent des signaux monochromatiques en direction de diffuseurs placés en champ lointain dans un référentiel fixe. Les signaux rétro-diffusés sont captés par des microphones eux-mêmes placés sur la table tournante. De cette manière, nous montrons la possibilité de discriminer acoustiquement des objets avec une résolution meilleure que la limite de diffraction ($\lambda/8$), et avons bon espoir d'appliquer la technique au domaine de l'optique à l'aide de modulateurs spatiaux de lumière.

Mots clé : Imagerie Acoustique, Effet Doppler, Super Résolution, Façonnage d'onde.

2.4 Identification des paramètres d'une poutre courbe en utilisant une méthode inverse et un opérateur éléments finis

Bottois Paul¹, Ablitzer Frédéric¹, Joly Nicolas¹, Pézerat Charles¹

1. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

L'identification des propriétés élastiques et d'amortissement est un défi pour la fabrication de matériaux composites, qui peuvent avoir des formes complexes. La plupart des méthodes de caractérisation sont seulement applicables sur des échantillons avec des géométries simples, qui ne prennent pas en compte les effets de courbures. Une nouvelle approche basée sur la Résolution Inverse Fenêtrée Filtrée a été développée pour identifier les paramètres structuraux à partir de l'équation locale du mouvement. Pour des structures dont un modèle analytique est connu, cette méthode a déjà été développée (poutre, poutre épaisse et plaque). En utilisant un opérateur éléments finis pour remplacer le modèle analytique, cette méthode peut être étendue pour identifier localement les propriétés d'une structure ayant une géométrie complexe. Ce poster montre le potentiel de la méthode RIFF couplée à la méthode des éléments finis pour caractériser les paramètres d'une structure ayant une géométrie complexe. Dans notre cas, le principe de la méthode est développé sur une poutre présentant une courbure pour identifier le module d'Young et le coefficient de perte sur une large bande de fréquence. Dans un premier temps, le principe de la méthode est présenté. Puis, la méthode est testée avec des données numériques exactes et bruitées. Une procédure de régularisation basée sur une écriture probabiliste est alors mise en place. Et pour finir, la méthode sera validée sur des données expérimentales.

Mots clé : Méthode inverse, FEM, caractérisation, poutre courbe, matériau composite

2.5 Développement d'un outil de comparaisons d'instruments à cordes

Dujourdy Hugo^{1,2}, Ablitzer Frédéric¹, Cabaret Jérémie², Gautier François¹

1. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, UMR CNRS 6613, Le Mans (France)
2. Institut technique européen des métiers de la musique (ITEMM) (France)

La comparaison des caractéristiques acoustiques d'un lot d'instruments de même type (guitare ou violon) est une question ouverte. L'objectif de l'étude est de présenter une méthodologie permettant cette comparaison. Dans un premier temps, l'estimation des efforts appliqués par la corde sur le chevalet d'un instrument de référence permet de qualifier la source que constitue la corde vibrante. Cette mesure est réalisée au moyen d'une antenne d'accéléromètres répartis sur la table d'harmonie. Dans un second temps, les efforts de référence sont appliqués à un ensemble de caisses d'instruments de façon à simuler les sons qu'elles produisent et permettre une comparaison dans des conditions maîtrisées.

Mots clé : méthode inverse, force bloquée, couplage, mobilité, instrument à cordes, modèle modal, acoustique musical, antenne d'accéléromètres

2.6 Etude de guides d'onde structuraux périodiques pour la conception de filtres vibratoires dans le contexte automobile

Plisson Jules^{1,2}, Pelat Adrien¹, Gautier François¹, Romero-Garcia Vicent¹, Bourdon Thierry²

1. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, UMR CNRS 6613, Le Mans (France)
2. Continental Automotive France, Toulouse (France)

Les recherches sur l'utilisation de structures périodiques pour le contrôle vibratoire connaissent un essor important ces dernières années. Les techniques de modélisation permettent l'étude de systèmes non résonants dans des plages de fréquences ciblées par un contexte applicatif. Ce travail de thèse s'intéresse particulièrement à l'étude de filtres vibratoires conçus comme des guides structuraux périodiques, éventuellement à résonances locales. L'objectif est de structurer les propriétés mécaniques de pièces tubulaires issues du contexte automobile pour ajouter des fonctions technologiques de filtrage vibratoire sans en modifier les fonctions naturelles (tenue mécanique et thermique, étanchéité, masse, etc...). La prise en compte de l'amortissement structural dans des matériaux multicouches, ainsi que la mise au point de filtres "total" atténuant tous les types d'ondes (flexion, compression, torsion) dans de mêmes bandes de fréquences interdites sont les principaux challenges de ce travail. Les méthodologies de travail s'appuient sur le calcul de diagramme de dispersion par des méthodes utilisant les conditions périodiques Floquet, la simulation de fonction de transfert par la méthode des éléments finis sur des structures de taille finie et la caractérisation expérimentale de démonstrateurs.

Mots clé : automotive, periodic beam, phononic crystal, periodic pipe, Floquet

2.7 Absorbants basse fréquence pour applications aéronautiques

Abily Thibault^{1,2}, Durand Stéphane², Gabard Gwenael², Regnard Josselin¹

1. Safran Aircraft Engines (France)
2. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Afin de satisfaire les directives ACARE de réduction du bruit conjointement à la maîtrise de la consommation énergétique des avions à l'horizon 2050, les architectures des turboréacteurs tendent d'une part vers un élargissement du diamètre des soufflantes tout en minimisant d'autre part l'impact sur la trainée en réduisant de la taille des nacelles. En conséquence, le bruit de soufflante se décale vers le bas du spectre et les surfaces et épaisseurs disponibles pour l'intégration de traitements acoustiques sur moteur et nacelle deviennent de plus en plus réduites. Face à ces contraintes, les traitements acoustiques habituels, formés de structures en « nid d'abeille », ne sont plus suffisamment efficaces en basses fréquences pour préserver les critères d'intégration établis. Il devient donc impératif de développer des solutions de traitements plus compactes, peu invasifs et plus efficaces en basses fréquences. C'est dans ce cadre que s'intègre la Chaire industrielle MACIA entre SAFRAN Aircraft Engines et le LAUM. L'un de ces travaux de thèse est dédié à l'étude de matériaux électromécaniques pour atteindre des atténuations satisfaisantes en basses fréquences tout en respectant les contraintes d'intégration des nouvelles architectures moteur. Il est donc en premier lieu nécessaire d'étudier les différents types de transductions (piézoélectrique, électrodynamique et électrostatique) à l'aide de modélisations Finite Element Method et Lumped Element Method. On peut notamment jouer sur le chargement acoustique mais aussi sur un circuit électrique de shunt, pour atteindre nos objectifs. Le but final étant de développer un liner électroacoustique répondant aux spécifications du domaine aéronautique.

Mots clé : Electroacoustique, Absorption, Transducteurs, Aeroacoustique

2.8 Développement d'un système de mesures acoustiques de référence aux basses fréquences et fort niveau à l'aide d'un tube de Kundt court

Volpe Marion¹, Bellizzi Sergio¹, Côte Renaud¹

1. Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, UMR 7031 AMU CNRS, Marseille (France)

On cherche à caractériser les performances acoustiques de terminaisons (ou charges acoustiques) à comportement non-linéaire. Il s'agit par exemples d'absorbeurs vibro-acoustiques dynamiques non-linéaires de type NES (Nonlinear Energy Sink) qui ont prouvé leur efficacité pour absorber l'énergie d'un champ acoustique, notamment aux basses fréquences et à fort niveau. On étudiera ici deux absorbeurs : une membrane visco-élastique circulaire ainsi qu'une membrane de haut-parleur agissant comme NES réglable. L'évaluation des caractéristiques des absorbeurs sera effectuée à l'aide de l'estimation de l'impédance et du coefficient de réflexion de chacun. Pour cela, un tube de Kundt court (Short Kundt Tube : SKT) a été développé, permettant de travailler aux basses fréquences ($f=[10,200]$ Hz) ainsi qu'à fort niveau (>300 Pa). Une première méthode permet l'identification des caractéristiques des absorbeurs à l'aide d'un modèle linéarisé, en supposant la source linéaire et invariante dans le temps. Cette méthode nous permet de caractériser la source sur des terminaisons dont les impédances peuvent être déterminées analytiquement. Une comparaison entre théorie et expériences nous permet de valider notre modèle et de l'utiliser sur les absorbeurs à caractériser. Cependant, cette méthode d'évaluation linéarisée n'est pas suffisante pour estimer l'impact des non-linéarités des absorbeurs. Une deuxième méthode permet de caractériser les non-linéarités des absorbeurs. Elle étend les notions d'impédances et de coefficients de réflexion en tenant compte des transferts d'énergie entre composantes harmoniques. Les impédances et coefficients de réflexion ne sont plus représentés sous forme scalaire mais matricielle, à l'aide d'une matrice de diffusion. Pour les deux approches et pour les deux absorbeurs considérés, les mesures expérimentales seront confrontées à des résultats obtenus par modélisation numérique.

Mots clé : acoustique non-linéaire, réduction de bruit, vibrations, impédance

2.9 Modèles réduits de vibrations hydroélastiques autour d'un état précontraint : vers un calcul "on-line" pour des études paramétriques

Hoareau Christophe¹, Deü Jean-François¹

1. Laboratoire de Mécanique des Structures et des Systèmes Couplés, EA 3196, CNAM, Paris (France)

L'étude porte sur le calcul du comportement dynamique de réservoirs contenant un fluide interne à surface libre, via l'utilisation de la méthode des éléments finis. Il s'agit d'un sujet de recherche encore d'actualité dans le domaine de l'aérospatial, notamment dans le cadre du dimensionnement de lanceurs spatiaux et de satellites. Nous nous intéressons en particulier aux structures très fines et/ou composées de matériaux souples, dans la mesure où les non-linéarités géométriques ont une influence sur les vibrations linéarisées hydroélastiques de l'ensemble. Notre approche, basée sur le calcul d'une succession d'états d'équilibres non-linéaires suivis d'un calcul dynamique linéarisé autour de l'état précontraint, nous permet de quantifier deux phénomènes ayant un rôle antagoniste : (i) la masse ajoutée faisant baisser des fréquences de résonances et (ii) la précontrainte ayant tendance à accroître ces dernières. Cependant, la prise en compte des non-linéarités et l'estimation de l'opérateur de masse ajoutée induisent un coût important en temps de calculs et en espace mémoire rendant les études paramétriques prohibitives. Nous proposons dans ce travail une approche originale basée sur une projection combinant bases modales classiques et bases réduites POD (Proper Orthogonal Decomposition) pour le calcul en temps réel de réponses en fréquences de structures précontraintes avec fluide interne.

Mots clé : Hydroélasticité, non linéarité géométrique, base modale, Proper Orthogonal Decomposition (POD)

2.10 Pompage d'énergie par un absorbeur électroacoustique non-linéaire

Bitar Diala¹, Gourdon Emmanuel¹, Lamarque Claude-Henri¹, Collet Manuel¹

1. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes , UMR CNRS 5513, ENTPE, Lyon (France)

L'utilisation excessive des moyens de transport, machines, systèmes sonores et autres avec l'élévation des exigences de confort et de santé, la réduction du bruit devient un défi majeur. Le traitement à la source étant souvent impossible, il est important de pouvoir atténuer le son sur le chemin de propagation ou à la réception. Dans ce contexte, l'amélioration des dispositifs absorbants acoustiques est un enjeu important. Les systèmes passifs dissipatifs classiques tels que les matériaux poreux courants ou écrans acoustiques sont efficaces pour réduire le bruit aux hautes fréquences mais ces dispositifs restent généralement relativement volumineux et très peu performants à basses fréquences, là où l'énergie émise par les sources peut être relativement importante. Pour répondre à cette problématique, l'une des meilleures solutions actuelles pour tuer les résonances consiste à coupler l'endroit traité avec un deuxième système résonant linéaire qui sert d'absorbeur (Absorbeurs Dynamiques Accordés [ADA]). Toutefois ces systèmes sont inutiles à basses fréquences et ne traitent qu'une seule fréquence précise. Le phénomène de localisation non-linéaire peut constituer une alternative intéressante pour améliorer les performances des ADAs. Il peut permettre d'absorber les vibrations ou le son de manière plus efficace sur une plus large bande fréquentielle à très basses fréquences Grâce à la non-linéarité, nous proposons d'appliquer le concept de transfert d'énergie vibratoire irréversible pour absorber efficacement l'énergie acoustique sur une large gamme fréquentielle. Pour lever ce verrou scientifique, il peut s'avérer pertinent de détourner des haut-parleurs de leur qualité première de diffuseur du son, et de les transformant en « absorbeurs électroacoustiques », comme solution technique pour réaliser le comportement non linéaire acoustique souhaité.

Mots clé : Absorbeurs électroacoustique, Réduction du bruit, Pompage énergétique, Dynamique non-linéaire

2.1.1 Etude du comportement vibroacoustique des trains planétaires

Neufond Jessica^{1,2}, Rigaud Emmanuel¹, Perret-Liaudet Joel¹, Carbonelli Alexandre²

1. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes , UMR CNRS 5513, Ecole Centrale de Lyon, Lyon (France)
2. Vibratec (France)

Le niveau des nuisances acoustiques rayonnées constitue un des items importants du cahier des charges d'un organe mécanique. Par ailleurs, les besoins en énergie et transport propres (éoliennes, véhicules hybrides, etc.) suscitent des demandes de la part des entreprises concernant la caractérisation de la prestation dynamique et vibroacoustique des transmissions compactes à axes mobiles, telles que les trains planétaires. Le problème posé présente un caractère multi-échelles. En effet, le comportement vibroacoustique global de la transmission (à l'échelle du mètre) dépend de la micro-géométrie locale des dentures (à l'échelle du micron). De plus, le problème dynamique présente des excitations de nature paramétrique (fluctuation périodique de la raideur d'engrènement) et des non linéarités (contact étroit entre dents, jeux fonctionnels). Si de nombreux travaux permettent d'appréhender le cas de transmissions réelles de type simple étage à engrenages cylindriques (axes fixes), la minimisation des nuisances sonores générées par les architectures de transmissions présentant des trains planétaires nécessite des recherches complémentaires, en raison du caractère multi-engrènement et de la présence de roues dentées à axes mobiles (planètes). Aujourd'hui, une procédure complète pour l'estimation du bruit de sirènement d'un train planétaire induit par les excitations paramétriques multi-engrènement est proposée. Cette procédure est divisée en trois grandes étapes. Premièrement, les excitations internes paramétriques sont simultanément caractérisées en considérant le couplage entre tous les engrènements. Deuxièmement, un modèle élément finis est construit afin d'extraire la base modale du système. Enfin, les équations couplées du mouvement sont projetées dans la base modale et la réponse dynamique stationnaire est calculée via une méthode spectrale itérative. Cette dernière permet notamment de réduire considérablement le nombre d'équation à résoudre, et donc les temps de calcul. Une confrontation calcul/mesure permettra par la suite de valider les modèles numériques mis en place.

Mots clé : Train planétaire, erreur de transmission, engrènement, domaine spectral, itératif, vibration

2.12 Débruitage de la matrice spectrale pour la caractérisation de sources aéroacoustiques

Dinsenmeyer Alice^{1,2}, Leclère Quentin¹, Antoni Jérôme¹

1. Laboratoire Vibrations Acoustique, EA 677, INSA Lyon, Lyon (France)
2. Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, UMR CNRS 5509, École Centrale de Lyon, Lyon (France)

Avec l'apparition des MEMS et la diminution globale du coût des capteurs, les acquisitions multivoies se généralisent, notamment dans le domaine de l'identification de sources acoustiques. La qualité de la localisation et de la quantification des sources peut être dégradée par la présence de bruit de mesure ambiant ou induit par le système d'acquisition. En particulier, dans le cas de mesures en présence d'un écoulement, le bruit de couche limite turbulente peut être supérieur au niveau des sources à caractériser, et il devient nécessaire de traiter les acquisitions pour extraire la contribution des sources de celle du bruit. Pour cela, on propose de décomposer la matrice spectrale mesurée en la somme d'une matrice signal et d'une matrice bruit. Cette décomposition exploite les propriétés statistiques de ces deux matrices. Comme le signal sources est corrélé sur les capteurs, le rang de la matrice spectrale associée se limite au nombre sources décorrélatées équivalentes. De plus, le bruit aléatoire est supposé avoir une longueur de corrélation plus faible que celle du signal des sources, ce qui peut être approché par une matrice spectrale diagonale. En s'appuyant sur ce modèle, le débruitage est traité comme un problème d'optimisation bayésienne. À l'aide d'un cas numérique, les performances, en terme d'imagerie acoustique, sont comparées à la méthode classique de débruitage qui consiste à supprimer les éléments diagonaux de la matrice spectrale bruitée. Dans un second temps, la méthode est appliquée à des données industrielles particulièrement bruitées, provenant de mesures microphoniques effectuées sur le fuselage d'un avion de ligne en vol.

Mots clé : réduction de bruit, optimisation bayésienne, interspectres, couche limite turbulente, imagerie acoustique, aéroacoustique

2.13 Propriétés acoustiques de mousses solides avec fines membranes

Gaulon Camille¹, Pierre Juliette², Derec Caroline¹, Jaouen Luc³, Bécot François-Xavier³, Chevillotte Fabien³, Elias Florence¹, Drenckhan Wiebke⁴, Leroy Valentin¹

1. Laboratoire Matière et Systèmes Complexes, UMR CNRS 7057, Université Paris Diderot (France)
2. Institut Jean Le Rond D'Alembert, Paris (France)
3. Matelys Research Lab, Vaulx-en-Velin (France)
4. Institut Charles Sadron, Strasbourg (France)

Les matériaux poreux utilisés en isolation phonique, comme les mousses solides, ont généralement une porosité ouverte : aucun obstacle ne devrait empêcher le son de se propager dans le milieu, sans quoi l'énergie acoustique serait réfléchi au lieu d'être absorbée. Cependant, des travaux récents sur les mousses liquides, naturellement constituées de membranes (des films de savon), ont montré leur capacité à dissiper le son. Qu'en serait-il alors de mousses solides fermées par des membranes fines (quelques microns) et souples ? Nous avons réalisé des expériences acoustiques au tube d'impédance sur deux types de mousses de polyuréthane : certaines avec des membranes, d'autres pour lesquelles les membranes ont été détruites par le fabricant lors du procédé de production. Nous avons constaté que la présence des membranes affecte la densité effective de la mousse (alors même que la masse ajoutée due aux membranes est négligeable). De manière surprenante, il a également été mis en évidence une absorption plus importante pour les mousses à pores fermés que pour celles à pores ouverts. Puisque les membranes sont fines, elles transmettent la perturbation acoustique, permettant ainsi au son de se propager dans la phase fluide et de s'y atténuer. Par ailleurs, les membranes pourraient augmenter le couplage entre la vibration de l'air et celle du squelette rigide (généralement considéré comme rigide et immobile), conduisant à une augmentation des phénomènes dissipatifs. Les mousses solides avec membranes offrent donc de nouvelles perspectives dans le design de matériaux acoustiques. Les résultats expérimentaux ainsi qu'un premier travail de modélisation seront présentés.

Mots clé : mousse, membrane, dissipation, matériaux poreux

2.14 Spatial attenuation prediction of Lamb waves in composite materials

Guo Shuanglin¹, Mechbal Nazih¹, Rébillat Marc¹

1. Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux, UMR CNRS 8006, ENSAM ParisTech, Paris (France)

One of the most important issues in engineering concerns the monitoring and the early detection and localization of structural damages to prevent catastrophic failures. This process is referred to as structural health monitoring (SHM) and is expected to provide considerable improvements with respect to safety and maintenance costs. In aerospace and automotive industries, Lamb waves are particularly effective in accomplishing SHM because they can propagate over relatively large distance and hence can be used to cover a larger area with less testing time and equipment. Dispersion characteristic is an important aspect needed to be considered carefully when employing guided waves for SHM. Specifically, dispersion behavior is that wave velocity varies with mode and frequency. Comparing to the dispersion feature of Lamb wave that have been investigated systematically in the literature, the study of attenuation of Lamb waves is lacking. Especially, predicting simply and reliably the spatial attenuation coefficient remains a real challenge. The spatial attenuation of Lamb wave is usually caused by many factors, for instance, the viscoelastic damping of the medium, the geometrical spreading and the scattering resulting from structural defects. For composite materials that are frequently utilized in aeronautical structures, the damping effect on Lamb wave attenuation is the most essential concern compared to other factors. There are rare practical cases reported from academic to industrial fields that are associated with attenuation prediction. To take the attenuation characteristic into account, both the Hysteretic and Kelvin-Voigt damping models are firstly adopted to predict the attenuation coefficient that depends on the excitation frequency, via considering complex wavenumbers and solving associated complex dispersion equations. A comparison is made analytically for the dispersion curves between the viscoelastic and the pure elastic medium to illustrate the difference of that both cases. The predicted attenuation coefficients are finally successfully compared with experimentally estimated results.

Mots clé : Structural health monitoring, Lamb wave, attenuation prediction

3 Session 3

3.1 Auralisation du bruit de roulement ferroviaire par modèle physique

Kacem Abbas¹, Maillard Julien¹, Martin Nadine², Faure Baldrik³

1. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (France)
2. Grenoble Images Parole Signal Automatique , UMR CNRS 5216, Grenoble (France)
3. SNCF : Innovation & Recherche (France)

Le bruit des transports ferroviaires est composé de plusieurs contributions sonores. Le bruit de roulement, généré par la roue et la voie, représente la source principale pour des vitesses de circulation comprises entre 50 et 300 km/h. Le travail présenté ici concerne le développement d'une méthode d'auralisation du bruit de roulement ferroviaire. Les modèles d'auralisation proposés reposent sur une approche physique dans laquelle le mécanisme de génération du bruit est modélisé dans le domaine temporel. La synthèse de la contribution du rail utilise un modèle spatial étendu. Les résultats des comparaisons avec les modèles existants, basés sur des plans temps-fréquence, illustrent la pertinence de l'approche proposée. La prise en compte du caractère étendu du rail permet la conservation des interférences émises par le rail ainsi que son comportement directif dans les hautes fréquences. Ces propriétés ne sont pas reproductibles en utilisant les modèles classiques à une source. Les niveaux sonores simulés ont montré une cohérence par rapport aux niveaux fournis par le modèle de référence TWINS. D'autre part, le modèle d'auralisation de la roue repose sur une approche de synthèse modale. Les modèles de la roue et du rail sont complétés par un modèle d'auralisation de la contribution de la traverse à base des niveaux de TWINS. Le bruit au passage d'un train à plusieurs essieux est ainsi simulé. Les premiers tests d'écoute montrent un réalisme intéressant des sons simulés.

Mots clé : synthèse sonore, bruit ferroviaire, bruit de roulement, Auralisation

3.2 Étude numérique et expérimentale de la dynamique vibratoire et du rayonnement acoustique de membranes d'élastomère diélectrique.

Garnell Emil¹, Doaré Olivier¹, Rouby Corinne¹

1. Institut des Sciences de la mécanique et Applications industrielles, UMR CNRS 9219 (France)

Nous étudions le rayonnement acoustique de membranes d'élastomère diélectrique. Les membranes diélectriques sont constituées d'un film d'élastomère, sur lequel sont peintes de chaque côté des électrodes souples. Lors de l'application d'une haute tension aux bornes des électrodes, la membrane se déforme. Ces matériaux sont surtout connus pour leur usage en tant que muscles artificiels, mais des utilisations comme haut-parleurs peuvent être envisagées. Ici nous étudions une configuration où la membrane est gonflée par une pression statique, et nous analysons sa dynamique autour de cet état d'équilibre. La déformée statique de la membrane sous l'action combinée de la pression statique et de la tension continue appliquée aux électrodes est calculée à l'aide d'un modèle électro-mécanique non linéaire. Les équations du modèle sont ensuite linéarisées autour de cet état pré-contraint pour étudier la dynamique linéaire de la membrane. Les modes propres et les forces modales engendrées par le couplage électro-mécanique sont calculés afin de prédire la dynamique forcée. Une intégrale de Rayleigh modifiée est finalement utilisée pour calculer le rayonnement acoustique. Un prototype a été construit, et on compare tous les résultats de notre modèle à un ensemble de mesures électriques, mécaniques et acoustiques. Un bon accord entre les prédictions et les mesures est obtenu. Ce modèle numérique ouvre la porte à l'optimisation des membranes d'élastomère diélectriques pour une utilisation comme haut-parleurs. L'influence de la forme des électrodes peut par exemple être étudiée et optimisée.

Mots clé : Analyse modale, Haut parleur, Élastomère diélectrique, Matériau actif

3.3 Dimensionnement et tenue dynamique de pièces de rotors électriques dans un contexte de méconnaissances sous excitations Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI)

Topenot Margaux¹, Chevallier Gaël¹, Ouisse Morvan¹, Vaillant Damien²

1. FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Besançon (France)
2. Alstom Transport (France)

Le pilotage d'un moteur de traction ferroviaire s'appuie sur des signaux de commandes synthétisés par la technique de Modulation de Largeur d'Impulsion (MLI). D'un point de vue mécanique, cette technique entraîne des oscillations de couple qui peuvent conduire à la rupture de pièces rotor par fatigue vibratoire. L'objectif de la thèse est de maîtriser les modélisations dynamiques des rotors afin de définir une méthodologie de dimensionnement en fatigue vibratoire de pièces en rotation sous excitation MLI. La première étape pour modéliser le comportement dynamique des rotors est de bien comprendre comment ils sont excités. Plusieurs moyens existent pour calculer l'induction magnétique, les pressions de Maxwell dans l'entrefer du moteur et le couple électromagnétique : modèle analytique, modèle semianalytique et modèle numérique. La présentation et le poster se focaliseront sur le modèle réduit électromécanique de calcul des vibrations du rotor développé pendant la première année de thèse et les perspectives méthodologiques. Ce modèle réduit repose sur la modélisation du moteur par un schéma électrique équivalent. Les équations qui en découlent permettent de calculer le courant, le flux et le couple électromagnétique. Le rotor est ensuite modélisé mécaniquement par plusieurs inerties connectées par des ressorts et amortisseurs de torsion. Il est excité par le couple électromagnétique calculé dans la partie électrotechnique. Ce modèle permet de calculer les vitesses angulaires des différentes sections du rotor et donc d'en connaître le comportement dynamique sur une montée en vitesse lorsqu'il est soumis à l'excitation MLI.

Mots clé : Dynamique, Modèle électromécanique, MLI, Ferroviaire, Moteur, Rotor

3.4 Optimisation du comportement dynamique de composites sandwiches pour la fabrication de tables d'harmonie de guitare

Viala Romain¹, Cogan Scott¹, Placet Vincent¹

1. FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Besançon (France)

Les instruments de musique sont fabriqués à partir d'outils traditionnels et de méthodes empiriques. Actuellement la forte concurrence et la raréfaction des matières premières sont un frein à l'innovation et à la construction de nouveaux instruments, au profit d'opérations de réglage, réparation et location. Le prototypage virtuel est un outil du domaine industriel qui présente un fort potentiel pour la facture instrumentale. Ainsi, grâce aux méthodes de prototypage basées sur des modèles numériques, il est possible d'optimiser la conception et la fabrication de pièces en matériaux de substitution aux essences de bois traditionnellement utilisées. La structure étudiée est une table d'harmonie de guitare archtop présentant une forme voutée, des ouïes et un pan coupé d'angle aigu. Habituellement sculptées en épicéa, ces tables sont couteuses, en temps de travail, mais aussi en matière première. Il est proposé ici de fabriquer un composite sandwich qui présentera le même comportement dynamique qu'une table en épicéa sculptée. Par une méthode de minimisation, il est possible de définir une orientation des plis de lin et une épaisseur de l'âme en balsa optimales. Des essais expérimentaux ont montré une proximité entre les tables fabriquées et celles visées. Outre une similitude des modes de vibrations de la structure, il a été mesuré que l'amortissement était aussi très proche de celui du bois. En outre, ces composites ont l'avantage de pouvoir être fabriqués rapidement, d'être moins sensibles à l'humidité, et deux fois moins variables. Pour finir, une guitare ES-175 complète a été fabriquée en utilisant une table d'harmonie dans ce type de composite.

Mots clé : Acoustique musicale, composites bio-sourcés, Dynamique, Identification, Optimisation

3.5 Etude physique de la phonation humaine : effet de l'hydratation et caractérisation géométrique des cordes vocales

Bouvet Anne^{1,2}, Xavier Pelorson¹, Van Hirtum Annemie¹

1. Laboratoire des écoulements géophysiques et industriels, UMR CNRS 5519 (France)
2. Grenoble Images Parole Signal Automatique , UMR CNRS 5216, Grenoble (France)

Du point de vue de la physique, la voix humaine est un phénomène créé grâce à l'auto-oscillation des cordes vocales, répondant à l'interaction entre l'air expulsé des poumons et de la structure élastique des tissus. De cette vibration résulte une onde acoustique se propageant dans la cavité résonante du conduit vocal. L'objectif est de modéliser théoriquement et le plus simplement, le processus physique de production de la parole chez l'humain. En se concentrant sur le fonctionnement des cordes vocales, le but est aussi de développer un système de mesure non invasif sur l'humain et d'analyser les effets de certains cas pathologiques tel que des asymétries ou la présence de mucus. En ce qui concerne la modélisation de l'écoulement aérien et de la vibration des cordes vocales, l'analyse théorique, soutenue par des travaux expérimentaux, permet d'identifier la nature des phénomènes physiques les plus importants et de réaliser un certain nombre d'hypothèses simplificatrices. A terme, le champ d'applications de ces travaux pourra aller de la recherche fondamentale à l'apport de solution pour des traitements de pathologies, du contrôle moteur et de la synthèse de la parole sans traitement du signal.

Mots clé : Vibrations, Cordes vocales, Voix

3.6 Analyse Acoustique pour la Détection, la Localisation et le Suivi d'un Drone à Partir d'un Réseau de Capteurs

Blanchard Torea¹, Thomas Jean-Hugh¹, Raouf Kosai¹

1. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Ces dernières années, les améliorations technologiques actuelles des drones ont permis une utilisation de plus en plus efficace pour des applications allant d'une simple utilisation amateur à des tâches plus professionnelles. Pratiques, les drones peuvent facilement voler à proximité de sites sensibles, tels que les centrales électriques, les aéroports ou les ministères. Il est donc nécessaire de développer des systèmes capables de surveiller ces sites. Cependant, la taille et la composition de ces dispositifs rendent les systèmes optiques ou électromagnétiques inefficaces pour leur détection. Une alternative, exploitant la motorisation et/ou le sifflement aérodynamique de ces appareils consiste à développer des méthodes acoustiques pour répondre à cette problématique. Une antenne acoustique, restreinte à l'utilisation de quelques microphones, a donc été développée. Tout d'abord, une analyse expérimentale du bruit d'un drone a été réalisée. Les résultats nous ont permis de configurer la géométrie de l'antenne afin de traiter la localisation. Deux méthodes de localisation sont utilisées. La première est basée sur une approche énergétique permettant la reconstruction du champ acoustique dans toutes les directions de l'espace. La seconde estime la position de la source en inversant un système exploitant les différences de temps d'arrivée de l'onde acoustique entre différentes paires de microphones.

Mots clé : Traitement d'Antenne, Acoustique, Drone, Localisation

3.7 Identification des excitations aéroacoustiques par problème inverse vibratoire dans le domaine temporel

Le Roux Erwan¹, Pézerat Charles¹, Thomas Jean-Hugh¹, Leclère Quentin²

1. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, UMR CNRS 6613, Le Mans (France)
2. Laboratoire Vibrations Acoustique, EA 677, INSA Lyon, Lyon (France)

Une structure soumise à un écoulement turbulent peut être excitée par le champ de pression acoustique s'exerçant au niveau de la paroi. La caractérisation des performances vibroacoustique d'une structure en laboratoire passe donc par la reproduction du champ de pression pariétal, et donc au préalable par l'identification de la composante acoustique de ce champ responsable de la vibration. La caractérisation de ce champ de pression est réalisée par problème inverse, à partir de la mesure vibratoire de la structure étudiée. La méthode inverse utilisée est la méthode de Résolution Inverse Filtrée Fenêtrée (RIFF). Les résultats fournis par cette méthode doivent fournir des données comparatives utilisables pour la synthèse de champ de pression. Dans cette optique, la méthode doit donc être réadaptée afin d'être applicable dans le domaine temporel à l'aide d'algorithme en temps réel. Elle doit également être utilisable pour caractériser des structures à géométries complexes. Un développement utilisant un opérateur élément fini doit donc être également implémenté dans la méthode.

Mots clé : VIRTECH, méthode RIFF, aéroacoustique, problème inverse

3.8 Caractérisation et modélisation de l'amortissement créé par le frottement des habillages de structures industrielles par problème inverse vibratoire

Le Deunf Meryem^{1,2}, Pézerat Charles¹, Puvilland Serge², Ablitzer Frédéric¹

1. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, UMR CNRS 6613, Le Mans (France)
2. Centre d'Essai VibroAcoustique pour l'Automobile, Saint Étienne du Rouvray (France)

L'allègement des véhicules automobiles entraîne généralement une dégradation de la prestation acoustique. La solution industrielle utilisée aujourd'hui pour limiter cette dégradation est assurée par l'ajout de traitements amortissants de type élastomère, PVC ou bitumineux. Ces matériaux augmentent le coût et la masse du véhicule et ont un impact environnemental négatif. Il est admis dans les référentiels métiers des concepteurs de l'industrie automobile que les mousses de l'habillage des véhicules apportent de l'amortissement à la structure. Il a été montré que certains revêtements de type mousse PU imprégnée permettent d'apporter un amortissement important et équivalent aux matériaux classiques bitumineux utilisés dans l'industrie automobile. Cette constatation permet d'envisager une mutualisation des fonctions du périmètre habillage, afin d'augmenter l'amortissement de la structure, sans utiliser les traitements amortissants classiques. Cela contribuerait à l'allègement des véhicules et donc à la réduction des consommations de carburant et des émissions de polluants, tout en présentant un intérêt économique. Pour comprendre et quantifier les phénomènes de dissipation mis en jeu par l'ajout d'un matériau poreux sur une structure porteuse, on propose d'aborder le problème sous l'angle d'une observation expérimentale par problème inverse. La méthode entreprise reposera sur l'utilisation de la méthode RIFF (Résolution Inverse Filtrée Fenêtrée) dont l'objectif premier était de localiser et de quantifier les efforts appliqués sur une structure vibrante. Ici la méthode RIFF permet de définir les paramètres de structure, soit l'amortissement apporté par les mousses de l'habillage des véhicules. La finalité de la thèse sera d'apporter un banc expérimental d'identification de l'amortissement vibratoire apporté par les matériaux poreux sur structures porteuses de façon à pouvoir proposer des modèles empiriques à intégrer dans les calculs numériques réalisés par les industriels.

Mots clé : Matériaux poreux, amortissement, méthode RIFF

3.9 Optimisation topologique de liaisons dissipatives pour des applications spatiales

Burri Sylvain¹, Legay Antoine¹, Deü Jean-François¹, De Rochambeau Marie², Godart Pierre²

1. Laboratoire de Mécanique des Structures et des Systèmes Couplés, EA 3196, CNAM, Paris (France)
2. ArianeGroup (France)

Grâce à leur propriété d'amortissement, les matériaux élastomères sont couramment utilisés dans l'industrie aéronautique et spatiale, pour réaliser des pièces anti-vibratoires notamment sous la forme de liaisons (ou jonctions) entre sous-systèmes d'ensembles mécaniques. En aéronautique, ces suspensions en élastomère servent, par exemple, à isoler des systèmes de précision embarqués. Ces liaisons doivent alors répondre à deux objectifs contradictoires : transmettre les efforts de liaison (forte raideur statique) et amortir les vibrations transmises (faible raideur dynamique). Pour cela, nous développons des outils numériques prédictifs et performants afin d'optimiser la forme de ces liaisons par rapport à ces objectifs contradictoires. La première partie de ce travail consiste à développer un code d'optimisation topologique basé sur la méthode SIMP, avec un critère statique nous permettant de minimiser le travail des efforts extérieurs (maximisation de la rigidité), en imposant un volume de matière maximal. La deuxième partie de cette étude a pour but de modifier le critère d'optimisation afin de minimiser, en dynamique, l'amplitude du déplacement structurel pour une fréquence d'excitation donnée (ou sur une bande de fréquence). Enfin, un exemple d'application est présenté. Il s'agit d'une structure reposant sur des liaisons élastomères dont les bases subissent une excitation vibratoire. L'interface entre la structure et les liaisons est rigidifiée. L'objectif est d'optimiser les formes des liaisons afin de minimiser les vibrations de la structure.

Mots clé : optimisation topologique, liaisons dissipatives

3.10 Comportement d'une poutre non-linéaire multi-physique

Guillot Vinciane¹, Ture Savadkoohi Alireza^{1,2}, Lamarque Claude-Henri^{1,2}

1. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes , UMR CNRS 5513, ENTPE, Lyon (France)
2. Laboratoire génie civil et bâtiment, ENTPE, Lyon (France)

Le but du travail de thèse est de contrôler les vibrations d'une poutre non-linéaire via des matériaux piézoélectriques. Celle-ci est composée d'une poutre homogène avec plusieurs matériaux piézoélectriques collés dessus. Afin de contrôler ces vibrations, on compte utiliser, les non-linéarités de la poutre et des matériaux piézoélectriques, les circuits électriques liés aux matériaux piézoélectriques et des résonances internes entre les modes de vibration. Tout d'abord, les équations à trois dimensions non-linéaires du problème multi-physique ont été développées, en prenant en compte la position des matériaux piézoélectriques collés sur la poutre. On suppose de grandes déformations pour la poutre multi-physiques fin d'observer des comportements non linéaires. On écrit donc les énergies cinétiques et potentielles de la poutre et des matériaux piézoélectriques, en supposant une poutre inextensible et que la poutre et les matériaux piézoélectriques ont les mêmes déformations. Finalement, le principe d'Hamilton permet d'écrire les équations électromécaniques, en rajoutant les équations liées aux matériaux piézoélectriques et leurs circuits électriques. Une fois les équations non-linéaires développées, on sépare les variables spatio-temporelles. On résout le problème spatial linéaire afin de trouver les fréquences et fonctions de mode du problème multi-physique. Pour cela, on utilise les conditions aux limites (poutre multi-physique supposée encastree-libre) et des conditions de continuité sur les matériaux piézoélectriques. Les fréquences et fonctions de mode du système complet sont ainsi trouvées de manière analytico-numérique, ce qui nous permet de projeter les équations électromécaniques sur certains modes d'intérêts. On projette donc nos équations électromécaniques sur des modes supposés en résonance interne et le système est soumis à une excitation latérale de la base. Ensuite, on utilise des méthodes d'échelle multiple et de complexification de Manevitch, afin de résoudre le problème en temps. On observe ainsi les échanges d'énergies entre les modes, pour des échelles de temps rapide et lentes.

Mots clé : poutre non-linéaire, matériaux piézoélectriques, résonance interne

3.1.1 Perception of low-level cars by pedestrians via numerical tools

Pulvirenti Giorgio¹, Parizet Etienne¹, Totaro Nicolas¹

1. Laboratoire Vibrations Acoustique, EA 677, INSA Lyon, Lyon (France)

Electric and hybrid vehicle are very silent which may prevent pedestrians from detecting them in a noisy environment. Besides, they pose new issues regarding sound quality to engineers, as noise sources are quite different from the ones of an IC vehicle. They will be more and more in the very next future, which makes it necessary to be able to predict their detectability and sound quality in the development phase. The aim of the Ph.D. is to use numerical tools in order to simulate transfer paths accurate enough to give meaningful psychoacoustic results to tackle these problems. The main issue of acoustic numerical models is the computational cost required to achieve a satisfying accuracy of physical outputs, which increases particularly in certain area of the spectrum. The idea behind this research project is to define some psychoacoustic objective functions (OF) and to analyze how parameters of numerical models will affect them. The ambition is to optimize numerical models in function of the OF, so to reduce their computational cost and to obtain a sufficient accuracy in an extended frequency range.

Mots clé : psychoacoustic, numerical modelling, sound quality

3.12 Solution logicielle ouverte pour la mesure vibrométrique tridimensionnelle robotisée

Margerit Pierre¹, Lebée Arthur¹, Caron Jean-François¹, Gobin Tristan²

1. Laboratoire Navier UMR CNRS 8205, École des Ponts ParisTech, Paris, France
2. HAL Robotics Ltd. (France)

Un dispositif est présenté, permettant la mesure du champ tridimensionnel de vitesse instantanée à la surface de structures variées. Un vibromètre laser monopoint est monté sur un bras robot industriel 6 axes, permettant une grande flexibilité dans le placement du capteur et l'automatisation des mesures. La liberté offerte s'accompagne toutefois d'un certain nombre de contraintes liées à l'utilisation d'un bras robot : accessibilité, singularités, collisions, etc. Pour permettre d'assurer le bon déroulement des expériences utilisant ce dispositif, une solution logicielle est mise à disposition. Celle-ci est pour moitié intégrée à un logiciel de CAO, permettant : (i) la modélisation complète de l'environnement expérimental ; (ii) la définition du maillage de mesure ; (iii) la simulation des mouvements du robot ; (iii) la programmation temps réel de celui-ci. La seconde moitié du logiciel présenté concerne l'acquisition et le traitement des mesures. La présentation du logiciel s'accompagne d'applications, montrant la versatilité du dispositif ainsi que la pertinence des mesures obtenues.

Mots clé : Vibrométrie 3D, Vélométrie 3D, Robotique, Identification

3.13 Etude de signatures acoustiques d'os en vue de l'estimation du délai Post-Mortem

Angermuller Arthur¹, Wilkie-Chancellor Nicolas¹, Le Huérou Jean-Yves¹, Arciniegas Andres¹, Martinez Loic¹, Serfaty Stephane¹

1. Laboratoire Systèmes et Applications des Technologies de l'Information et de l'Energie (SATIE), UMR CNRS 8029, Université de Cergy-Pontoise (France)

Dans un souci d'amélioration constante de leurs diagnostics, les experts en anthropologie judiciaire de la gendarmerie nationale s'intéressent à de nouvelles méthodes et notamment au contrôle non destructif pour l'évaluation du délai post mortem de l'os humain. En effet, à ce jour, si les méthodes physico-chimiques basées sur la colorimétrie par Bleu du Nil permettent une datation d'os jusqu'à cent ans, ces techniques altèrent irrémédiablement l'os qui, dans une enquête criminelle, peut être une pièce à conviction. Un développement de méthodes non destructives est nécessaire pour déterminer l'âge osseux sans altérer l'échantillon. Il existe plusieurs études validant l'utilisation des ondes ultrasonores pour la caractérisation structurale des os dans les applications médicales. L'objectif de ce travail est donc la mise en place des techniques de contrôle non destructif ultrasonores permettant de déterminer des paramètres caractéristiques des ondes pouvant être utilisés à terme pour l'estimation du délai post-mortem. Dans un premier temps, nous nous intéressons à l'étude de la propagation d'ondes le long de l'axe principal de l'os. En collaboration avec l'Institut de recherche criminelle de la Gendarmerie Nationale (IRCGN), les expériences ont été réalisées sur des échantillons osseux d'âges différents en utilisant (1) des transducteurs en contact (fréquence centrale de 1 MHz) pour la mesure de la signature acoustique en transmission et (2) un vibromètre laser pour le suivi de la propagation des ondes générées. Les résultats préliminaires montrent que les signatures acoustiques permettent de suivre l'altération de l'os. Dans un deuxième temps, se pose le problème de l'extraction de paramètres pertinents caractéristiques de l'os pour lesquels la composition et l'architecture interne changent d'un individu à un autre et les conditions de stockage et de vieillissement sont variables. L'optimisation du banc instrumental et les traitements de signaux associés doivent permettre de suivre finement l'altération des os afin d'envisager une datation post-mortem.

Mots clé : Contrôle Non Destructif, Ultrason, Datation, Instrumentation

3.14 Développement d'une approche numérique & expérimentale pour la propagation multimodale en conduit cylindrique

Benamar Mohamed Amine¹, Bentahar Mabrouk¹, Moreau Solène¹

1. Laboratoire Roberval, UMR CNRS 7337, Compiègne (France)

Une des deux origines principales de bruit causé par les aéronefs est le bruit du moteur qui se propage dans la nacelle (conduit) en présence d'écoulement avant de rayonner à l'extérieur. La réduction de ce bruit peut se faire par l'application de matériaux acoustiques absorbants sur la nacelle. L'optimisation de ces traitements passe par une meilleure connaissance de leur comportement en présence d'écoulement. Un certain nombre de modèles de ces matériaux sont proposés dans la littérature mais ces modèles sont validés pour des conditions différentes de celles rencontrées dans l'aéronautique. Pour tester ces modèles une approche numérique & expérimentale a été développée. Le code numérique utilise une méthode par élément fini appliquée à l'équation de Galbrun qui est une approche numérique originale pour l'aéroacoustique. La simulation de l'écoulement est faite avec le logiciel Fluent. Ce code numérique permet de modéliser le banc expérimental et les résultats numériques obtenus sont confrontés à des résultats expérimentaux pour la validation des modèles. Le banc d'essai est dimensionné pour des problèmes aéronautiques : écoulement de l'ordre de Mach +/- 0.25 avec une quinzaine de modes acoustiques. La mesure de la pression sur toute la section du guide est réalisée par un micro 1/4 de pouce. La confrontation essai/calcul se fait sur des profils de pression. La validation de l'approche numérique et expérimentale sur un tronçon droit a montré que l'intrusion des microphones dans le guide induit une erreur de 3 dB. Le travail de cette thèse consiste à mettre en place un système de Vélocimétrie Laser à effet Doppler (VLD) pour obtenir une mesure non intrusive de la vitesse de l'écoulement et acoustique, et de développer une méthode non intrusive pour la détection des modes acoustique radiaux et azimutaux en s'appuyant sur la mesure VLD et la mesure par un réseau de microphones pariétaux.

Mots clé : Vélocimétrie Laser, acoustique, Aeroacoustique, Ecoulement

4 Session 4

4.1 Contribution à la modélisation du comportement dynamique d'un siège d'automobile

Blanchard Corentin^{1,2}, Weisser Thomas¹, Barbeau Romain², Aubry Evelyne¹, Mallet-Da Costa Anne-Isabelle²

1. Institut de Recherche en Informatique, Mathématiques, Automatique et Signal (IRIMAS), EA 7499 (France)
2. FAURECIA Sièges Automobile S.A. (France)

L'émergence des véhicules partiellement ou totalement autonomes entraîne de nouvelles attentes quant aux postures d'assise dans l'habitacle. Pour y répondre, les constructeurs doivent garantir le confort vibratoire des sièges tout en limitant les coûts et le temps de développement. Cette thèse vise à comprendre, prédire et optimiser le confort vibratoire d'un siège d'automobile. Celui-ci est communément caractérisé par sa transmissibilité. Il s'agit d'une fonction de transfert entre l'accélération mesurée en surface du siège et celle mesurée à sa base. Pour retrouver cette grandeur, l'objectif est de développer un modèle éléments finis de siège couplé à un modèle représentatif de corps humain. Ce modèle permettra de prédire le comportement dynamique du système complet lorsque celui-ci est soumis à différentes sollicitations vibratoires. Cette présentation concerne la modélisation du siège. Dans un premier temps, un modèle a été construit à partir du modèle de siège complet utilisé pour les simulations en dynamique rapide (crash). Celui-ci a été adapté pour un calcul en basses fréquences, notamment en changeant la modélisation des liaisons. La comparaison avec les analyses modales expérimentales montre que cette simplification ne dégrade pas le comportement vibratoire. Dans un second temps, une méthodologie a été mise en place pour effectuer une analyse modale sur siège précontraint. Celle-ci correspond à une analyse statique équivalente au chargement effectué par l'occupant lors de l'assise, puis à une analyse modale pour cet état précontraint. Cette méthodologie a été appliquée à un modèle d'assise simplifiée afin de travailler sur des échelles de temps réduites et sera ensuite appliquée au système complet. La suite des travaux se concentrera sur la prise en compte du comportement visco-élastique de la mousse polyuréthane à travers son module d'élasticité complexe et dépendant de la fréquence. Un modèle d'occupant sera également ajouté afin d'effectuer les calculs sur le système complet.

Mots clé : dynamique des structures, éléments finis, viscoélasticité, analyse modale, confort vibratoire

4.2 Simulations et validation expérimentale d'un absorbeur hybride de vibrations soumis à un choc

Billon Kevin¹, Zhao Guoying², Chesne Simon¹, Collette Christophe²

1. Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Structures, UMR CNRS 5259, INSA Lyon, Lyon (France)
2. Université Libre de Bruxelles, Bruxelles (Belgique)

Les amortisseurs à masse accordée (TMD) ou les amortisseurs dynamiques de vibrations (DVA) ont des propriétés intéressantes pour l'atténuation vibratoire. Ils sont largement utilisés dans des domaines industriels tels que l'aéronautique, le génie civil ou le transport ferroviaire. Les performances de ces dispositifs robustes sont directement liées au rapport des masses entre l'absorbeur et la structure primaire à contrôler. La fréquence de résonance du TMD est accordée à une fréquence proche de la fréquence propre de la structure primaire, l'énergie vibratoire est dissipée par l'amortissement dans le TMD. L'equal peak design est la méthode de réglage la plus répandue. Le principal inconvénient d'un TMD est sa sensibilité à l'accord en fréquence. Les amortisseurs hybrides (HDM) proposent de combiner des systèmes actifs à un dispositif passif optimal. Dans cette étude, un HMD et sa loi de contrôle sont étudiés. L'absorbeur est basé sur un dispositif initialement passif : le TSAR (Tail Shake Active Resonator) conçu par Airbus Helicopter. C'est un système masse-ressort (1 ddl) associé à un système électromagnétique. Son amortissement mécanique est très faible. L'amortissement est assuré par la combinaison bobine-aimant couplée à une résistance variable. Le résonateur passif a été modifié pour devenir "dual", une seconde combinaison bobine-aimant a été faite sur le même degré de liberté, fournissant une partie active. La loi de contrôle se veut simple, il s'agit d'une boucle de rétroaction en vitesse revisitée (DVF) avec redresseur de phase. Le contrôleur de système hybride proposé est hyperstable et assure un comportement "fail-safe". L'amortisseur fonctionnera comme un TMD optimal lorsque le contrôleur est désactivé ou hors service, ce qui est un concept primordial en aéronautique. Le TSAR hybride est testé expérimentalement à l'échelle 1:1. Il est fixé sur une structure principale suspendue par des lames flexibles.

Mots clé : Absorbeur hybride, Contrôle, Vibration

4.3 Estimation du champ vibratoire d'une tuyauterie coudée soumis à un champ acoustique en onde plane.

Beauvais Romain^{1,2}, Gautier François¹, Pelat Adrien¹, Gilbert Joël¹

1. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, UMR CNRS 6613, Le Mans (France)
2. Entreprise SIM Engineering (France)

Ce travail porte sur l'étude théorique et expérimentale du couplage vibroacoustique se produisant dans une ligne de tuyauterie coudée dans le domaine des ondes planes. En effet, Dans ce type de ligne, des forces résultantes localisées dans les coudes sont générées par la pression acoustique interne. L'objectif est alors d'estimer le champ vibratoire en fonction de ce champ de pression. Pour cela une méthode d'extraction modale de la structure est utilisée dans le but d'obtenir les déformées et amortissements modaux au niveau de chaque coude. Puis, connaissant ces paramètres, un modèle analytique est développé dans le but d'estimer le champ vibratoire en fonction des pressions mesurées. Une validation expérimentale de cette méthode d'estimation a permis de démontrer sa robustesse et sa simplicité de mise en œuvre dont l'application industrielle porterait notamment sur le transport de gaz dont la présence d'importants gradients de pression liés aux sources de compresseurs alternatifs induisent d'importantes vibrations.

Mots clé : vibroacoustique, onde plane, extraction modale, modélisation vibratoire

4.4 Conception de panneaux non résonnants par structuration périodique de Trous Noirs Acoustiques Augmentés

Raybaud Guillaume¹, Pelat Adrien¹, Ouisse Morvan², Gautier François¹

1. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, UMR CNRS 6613, Le Mans (France)
2. FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Besançon (France)

La conception de panneaux, légers, raides et non rayonnants sur le plan acoustique constitue un enjeu important en ingénierie mécanique, en particulier pour des applications aéronautiques et spatiales. Les matériaux composites et architecturés constituent une réponse à cette problématique. L'insertion de trous noirs acoustiques, ou pièges à ondes vibratoires, basés sur une hétérogénéité locale de la raideur et de l'amortissement constitue une technique innovante induisant une absorption passive des vibrations sans ajout de masse. L'objectif du projet est de repousser les limites actuelles de cette stratégie en développant des absorbeurs de type « trous noirs acoustiques augmentés » basés sur l'insertion de systèmes actifs piézoélectriques et thermiques, conduisant à des panneaux architecturés combinant 4 effets complémentaires : amortissement par effet trou noir géométrique, contrôle actif de la raideur, pilotage thermique de l'amortissement, effet de bande d'arrêt induit par la périodicité du milieu. Dans une phase préliminaire, l'insertion des éléments actifs piézoélectriques et thermiques est envisagée sur poutre à terminaison trou noir. Une plate-forme numérique et expérimentale est en cours de développement. Elle permettra la simulation et la mesure du coefficient de réflexion des prototypes de poutres. Un ensemble de configurations augmentées sera testé de façon à comparer la pertinence de plusieurs stratégies de conception.

Mots clé : Vibrations de panneaux, Trous Noirs Acoustiques, Contrôle vibratoire, Matériau, Contrôle thermique, Patches piézoélectriques, Structures périodiques.

4.5 Caractérisation d'impédance de surface de matériaux acoustiques par antenne hémisphérique de microphones.

Dupont Samuel^{1,2}, Melon Manuel¹, Berry Alain²

1. Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Mans, UMR CNRS 6613, Le Mans (France)
2. Université de Sherbrooke - Groupe d'Acoustique de l'Université de Sherbrooke (Canada)

Les matériaux de traitement acoustique tels que les mousses, tissus ou moquettes sont utilisés dans de multiples domaines afin d'absorber le son. Cela peut être à des fins de protection (travailleurs) ou pour apporter du confort (bâtiments, voitures, avions, etc.). Afin de dimensionner et choisir quel matériau utiliser en fonction de chaque situation, on utilise des calculs prévisionnels basés sur des caractérisations donnant les coefficients d'absorption et/ou les impédances de surface des-dit matériaux. Les caractérisations sont classiquement réalisées en laboratoire à partir de mesures normalisées telles que le tube d'impédance ou la méthode de la chambre réverbérante. Néanmoins, celles-ci possèdent de nombreuses limitations (incidence de la source, limitation BF, reproductibilité...). La problématique présentée porte sur une solution partant d'un système d'antenne de microphones hémisphérique pour retrouver les caractéristiques de matériaux acoustiques de manière fiable et robuste tout en dépassant les limitations des méthodes usuelles.

Mots clé : Absorption, Impédance de surface, Harmoniques sphériques

4.6 Constitution d'une base de données physiquement valide pour la localisation de sources par Deep Learning

Pujol Hadrien¹, Bavu Eric¹, Garcia Alexandre¹

1. Laboratoire de Mécanique des Structures et des Systèmes Couplés, EA 3196, CNAM, Paris (France)

Afin de s'affranchir des modèles de sources, d'environnement, de capteurs et d'antennes, nous développons actuellement une approche de localisation de sources par Deep Learning, basées sur l'utilisation de réseaux de neurones profonds. L'explosion de l'efficacité de ces méthodes dans les domaines de la reconnaissance d'image et de parole repose en partie sur l'architecture du réseau de neurones et des techniques de rétro-propagation utilisées, mais également sur l'utilisation de bases de données réalistes de très grandes dimensions. Dans notre cas, la qualité de l'apprentissage pour la localisation de sources sonores repose également sur la qualité et le réalisme de la base de données d'apprentissage « labellée », c'est à dire sur l'obtention de données mesurées pour un grand nombre de sources, dont on connaît parfaitement la position (le « label »), dans des environnements potentiellement bruités et réverbérants. Pour cela, elle doit également être acquise sur une antenne réelle de capteurs, avec ses défauts, le plus souvent négligés par les approches de type « modèles ». Nous présenterons la manière dont nous constituons notre base de données grâce à une synthèse de champ en temps réel par Ambisonie d'ordres élevés sur la sphère de spatialisation « SpherBedev » du Cnam. Le champ est reconstruit physiquement avec une grande précision dans le « sweet spot » contenant l'antenne microphonique. Nous pouvons également ajouter à cette synthèse physique des profils de bruit spatialisés, enregistrés grâce au microphone ambisonique MemsBedev. L'influence de l'environnement de mesure peut également être encodé en composantes ambisoniques, ouvrant la voie à l'obtention d'excellents résultats de localisation de sources par Deep Learning dans un grand nombre de cas expérimentaux.

Mots clé : antenne, microphone, localisation, deep learning, base de données

4.7 Contrôle passif d'un pendule à deux degrés de liberté à l'aide d'un absorbeur non-linéaire

Hurel Gabriel^{1,2}, Ture Savadkoohi Alireza^{1,2}, Lamarque Claude-Henri^{1,2}

1. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes , UMR CNRS 5513, ENTPE, Lyon (France)
2. Laboratoire génie civil et bâtiment, ENTPE, Lyon (France)

L'objectif est de contrôler les oscillations d'un véhicule de transport par câble dues à des forces extérieures (vent, accélérations, etc.). On considère un pendule pouvant osciller dans deux directions. Pour satisfaire les contraintes industrielles, le système de contrôle doit être unique et passif. On choisit d'utiliser un NES (puits d'énergie non-linéaire) car il reste efficace sur une gamme de fréquence étendue. Celui-ci possède une force de rappel cubique purement non-linéaire (c'est-à-dire sans partie linéaire). L'absorbeur est fixé au pendule à un emplacement donné et dans une direction arbitraire. Afin de prédire analytiquement le comportement du système, on effectue une étude asymptotique grâce à une méthode multi-échelle. Un petit paramètre ϵ choisi comme le rapport de la masse du NES sur celle du système principal permet de décomposer le temps en échelle rapide et plusieurs échelles lentes. En temps rapide, les équations du système décrivent le SIM (variété invariante lente) autour duquel le système va évoluer. Celui-ci possède des zones stables et instables ainsi que des points singuliers correspondant à un saut du système d'un état vers un autre. Les points d'équilibre du système vont être calculés en temps lent. Une étude permet de déterminer leur stabilité. L'intégration temporelle des équations du système avec un algorithme permet ensuite de confronter les développements analytiques aux résultats numériques. Le système converge effectivement vers les points d'équilibre déterminés précédemment lorsque ceux-ci sont stables. Lorsque le système présente des points singuliers, il va osciller en suivant le SIM et en sautant d'un état vers un autre. Ces oscillations conduisent le NES à absorber et à dissiper l'énergie du système principal et ainsi limiter ses vibrations.

Mots clé : absorbeur non linéaire, étude asymptotique, pendule

4.8 Résolution de la dynamique d'ensemble des transmissions par engrenages

Benaïcha Youness^{1,2}, Perret-Liaudet Joel¹, Thouverez Fabrice¹, Beley Jean-Daniel², Rigaud Emmanuel¹

1. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes , UMR CNRS 5513, Ecole Centrale de Lyon, Lyon (France)
2. ANSYS-France, Montigny-le-Bretonneux (France)

Le bruit de sirènement généré par les engrenages est la principale source dans les systèmes de transmission par engrenages. La fluctuation des forces de contact dans la dynamique des engrenages engendre la propagation des vibrations à travers les arbres de transmission et les roulements jusqu'au carter. La variation des forces de contact est le résultat principalement de l'erreur statique de transmission qui est défini comme l'écart entre la position angulaire réelle de la roue de sortie et celle qu'elle devrait occuper si l'engrenage était parfait et infiniment rigide. Cette erreur de transmission provient d'une variation de raideur associée à la déformation des dentures et des défauts micro-géométriques tels que le profil de denture et l'erreur d'entraxe. Les micro-géométries créées par la fabrication et l'amplitude des déformations sont du même ordre de grandeur le long d'une dent, typiquement du micron. C'est ces échelles spatiales au niveau du contact qui rendent le problème complexe et non linéaire. De plus, le bruit rayonné par les transmissions par engrenages est proportionnel à l'erreur statique de transmission. Dans la littérature, l'approche courante pour modéliser la dynamique des engrenages est de considérer séparément le comportement local et global du contact entre denture. En effet, le carter n'est pas intégré dans le modèle. Généralement, une analyse préliminaire par éléments finis donne la flexion des engrenages sous chargement et ensuite de manière analytique la déformation non linéaire est exprimée avec la formulation de Hertz. Le problème de contact est donc résolu séparément de l'analyse multi-corps d'ensemble. Dans ce contexte, notre approche repose sur le calcul direct de l'erreur statique de transmission par une analyse éléments finis multi-corps en prenant en compte le contact entre denture et à travers le solveur de dynamique ANSYS.

Mots clé : Transmission par engrenages, dynamique multicorps, éléments finis, mécanique du contact

4.9 Étude de l'inconfort perçu pour des vibrations triaxiales d'hélicoptères

Delcor Laurianne^{1,2}, Parizet Etienne², Caillet Julien¹, Ganivet Julie¹

1. Airbus (France)
2. Laboratoire Vibrations Acoustique, EA 677, INSA Lyon, Lyon (France)

Les vibrations et le bruit font partie des sources principales d'inconfort pour les passagers en cabines d'hélicoptère. Cette thèse vise à caractériser l'inconfort perçu en fonction de mesures de bruit et d'accélération. La première partie des travaux s'intéresse à l'inconfort vibratoire. Une campagne d'expériences perceptives a été menée avec 30 personnes sur un simulateur de vibrations triaxiales en laboratoire. Dans les trois premières expériences, les participants ont évalué l'inconfort produit par des stimuli simulant les vibrations liées au passage des pales du rotor principal, à des modes de poutre de queue, ainsi qu'à une combinaison de ces deux excitations. L'impact de la phase entre les axes de vibrations et celui des phénomènes de battements générés par deux excitations sinusoïdales de fréquences proches ont été étudiés dans les expériences quatre et cinq. Enfin, des mesures de vibrations en vol pour plusieurs hélicoptères Airbus ont été reproduites dans la dernière expérience. Les résultats montrent que a) les vibrations verticales sont les plus préjudiciables au confort ; b) pour les vibrations bi-fréquentielles de l'étude, l'inconfort ne dépend que de l'amplitude des deux composantes sinusoïdales, pas de leur écart fréquentiel ; c) les stimuli déphasés selon les axes de vibrations sont perçus de la même manière par les participants, quelle que soit la valeur du déphasage ; d) le contenu fréquentiel supérieur à 30 Hz des signaux réels mesurés en hélicoptères n'impacte pas l'inconfort ; e) les index de confort vibratoires estimés par la norme ISO2631-1 sont assez bien corrélés avec les évaluations perceptives des participants. Il a été possible d'améliorer légèrement les prévisions fournies par la norme en tenant compte des éventuelles modulations d'amplitude des signaux. La suite des recherches se concentrera sur l'inconfort lié au bruit mesuré en cabine ainsi qu'au couplage bruit-vibrations.

Mots clé : hélicoptères, perception, vibrations

4.10 Transposition du phénomène de tonotopie dans une structure de type sandwich

Ben Lassoued Mohamed Amin¹, Michon Guilhem¹, Ross Annie²

1. Institut Clément Ader, UMR CNRS 5312 (France)
2. École Polytechnique de Montréal (Canada)

Un nouveau concept de contrôle passif des vibrations est développé. Inspiré du mécanisme de l'audition, et particulièrement du phénomène de tonotopie, les vibrations sont confinées dans différentes positions d'une structure en fonction de leurs fréquences. L'utilisation de différents modèles montre qu'un des facteurs les plus importants pour l'obtention de la localisation est d'avoir une variation de raideur dans la structure. Elle montre aussi qu'une architecture en oscillateur couplés est indispensable pour avoir ce phénomène. Ces données ont permis de concevoir une poutre sandwich avec une âme à gradient de propriétés potentiellement capable de reproduire le phénomène de tonotopie. Pour avoir ce gradient, une âme en forme de biseau constitué de deux mousses avec des caractéristiques différentes a été fabriquée. La poutre sandwich a enfin été testée à l'aide d'un vibromètre laser afin de valider la présence de la localisation des vibrations. D'autres perspectives pour la conception de l'âme à gradient de propriété notamment en utilisant une technologie d'impression 3D est aussi présentée. μNotamment en utilisant des matériaux architecturé de type cellule de Voronoï.

Mots clé : Localisation des vibrations, tonotopie, matériaux à gradient de propriétés

4.1.1 Etude aérodynamique et aéroacoustique d'un écoulement turbulent instationnaire : Application aux systèmes HVAC

Gouider Msallem¹, Bentahar Mabrouk¹

1. Laboratoire Roberval, UMR CNRS 7337, Compiègne (France)

La prédiction du bruit induit par un écoulement d'air est essentielle dans beaucoup d'applications industrielles afin de contrôler l'émission du bruit et de se conformer aux exigences et aux normes. Le phénomène du bruit induit par un écoulement d'air peut être le résultat d'une interaction entre le fluide et des obstacles. Cette problématique peut être divisée en deux groupes : le premier concerne l'interaction en champ libre, comme par exemple le bruit généré par une couche turbulente et le second concerne l'interaction en milieu confiné, c'est le cas des systèmes HVAC. Ce dernier groupe a une caractéristique très particulière qui fait augmenter le niveau du bruit d'une manière très brutale à certaines fréquences. Ce fort niveau de bruit s'explique par un mécanisme de couplage entre instabilités générées par l'écoulement et les cavités acoustiques. Il est en effet indispensable de connaître la nature de l'écoulement qui est à l'origine du rayonnement sonore. Ce rayonnement est le résultat de fluctuations compressibles de faible amplitude et de nature ondulatoire. Ce qui fait de l'aéroacoustique un domaine, où doivent coexister et interagir l'acoustique et la mécanique des fluides, cette interaction peut être abordée par une approche hybride. La méthode d'hybridation est le point clé qui distingue une approche CAA (Computational AeroAcoustics) d'une autre. En effet, des hypothèses pour faire le calcul CFD (Computational Fluid dynamics) sont nécessaires pour traiter des problèmes réels. Elles peuvent être physiques (compressible, incompressible, visqueux...) ou calculatoires (DNS, LES, URANS, RANS). Il en est de même pour le calcul acoustique : on trouve les analogies (Lighthill, Curle...) ou les techniques de linéarisation (équations d'Euler linéarisées, équation de Galbrun).

Mots clé : EEL, Galbrun, Aérodynamique, Aéroacoustique, CAA, CFD, FEM

L'équipe

La partie organisation est au crédit de

- Thibault Abily
- Romain Beauvais
- Toréa Blanchard
- Paul Bottois
- Hugo Dujourdy
- Samuel Dupont
- Mathieu Gaborit
- Julien Leng
- Matthieu Malléjac
- Adrien Pelat

Le support administratif et financier était assuré par

- Chaterine Chaillou
- Évelyne Dewayse
- Kerem Ege
- Vincent Gibiat
- Adrien Pelat
- Jean-Michel Ville

Les visites des installations mancelles a été rendue possible par

- Frédéric Ablitzer
- Jean-Pierre Dalmont
- Jean-Christophe Leroux

La relecture des résumés a été réalisée par

- Nicolas Dauchez
- Thomas Dupont
- Kerem Ege
- Emmanuel Foltête
- Fabien Letourneaux
- Pierre-Olivier Mattei
- Laurent Maxit
- Valentin Meyer
- Morvan Ouisse
- Adrien Pelat
- Charles Pezerat

Les bras supplémentaires appartenaient à

- Charlotte Saverna
- Valentin Zornotti

qui fournirent aussi l'idée du signal de fin de présentation.

Merci à eux.

Liste des participants

Ahmed Abbad *Session 1*

ICA

Thibault Abily *Session 2*

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Frédéric Ablitzer

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Bilel Achour

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Roberto Alcorta *Session 1*

CEA Paris Saclay (France)

Arthur Angermuller *Session 3*

SATIE UMR 8029, Cergy-Pontoise (France)

Thomas Antoine

Renault, Nanterre (France)

Pascal Audrain

IRT Jules Verne, Bouguenais (France)

Aurélien Baelde

Wavely, Lille (France)

Romain Beauvais *Session 4*

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Mohamed Amin Ben Lassoued *Session 4*

ISAE UMR CNRS 5312, Toulouse (France)

Youness Benaïcha *Session 4*

LTDSECL, Lyon (France)

Mohamed Amine Benamar *Session 3*

UTC, Compiègne (France)

Nassim Benbara *Session 1*

PIMM UMR CNRS 8006, Paris (France)

Robin Billard

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Kévin Billon *Session 4*

LamCos UMR CNRS 5259, Lyon (France)

Diala Bitar *Session 2*

LTDS UMR CNRS 5513, ENTPE, Lyon (France)

Corentin Blanchard *Session 4*

IRIMAS,MULHOUSE EA 7499 (France)

Torea Blanchard *Session 3*

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Paul Bottois *Session 2*

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Anne Bouvet *Session 3*

GIPSA UMR CNRS 5216, Grenoble (France)

Sylvain Burri *Session 3*

LMSSC, EA 3196, Paris (France)

Pauline Butaud

FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Besançon (France)

Jean-Daniel Chazot

UTC, Compiègne (France)

Kévin Cormier

ACOEM Group

Philippe De Brabander *Session 1*

LMT UMR CNRS 8535, ENS Cachan, Cachan (France)

Laurianne Delcor *Session 4*

LVA EA 677, Lyon (France)

Alice Dinsenmeyer *Session 2*

LVA EA 677, Lyon (France)

Hugo Dujourdy *Session 2*

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Samuel Dupont *Session 4*

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

UdeS GAUS, Sherbrooke (Canada)

Kerem Ege

LVA EA 677, Lyon (France)

Emmanuel Foltete

FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Besançon (France)

Mathieu Gaborit *Session 1*

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

MWL KTH, Stockholm (Suède)

Emil Garnell *Session 3*

ENSTA, Paris (France)

Camille Gaulon *Session 2*

Laboratoire MSC UMR 7057, Paris (France)

François Gautier

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Jean-Michel Genevaux

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Vinciane Guillot *Session 3*

LTDS UMR CNRS 5513, ENTPE, Lyon (France)

Shuanglin Guo *Session 2*

PIMM UMR CNRS 8006, Paris (France)

Svenja Hermann *Session 2*

FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Besançon (France)

Christophe Hoareau *Session 2*

LMSSC, EA 3196, Paris (France)

Gabriel Hurel *Session 4*

LTDS UMR CNRS 5513, ENTPE, Lyon (France)

Abbes Kacem *Session 3*

CSTB (France)

Stéphane Kombo

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Laure Lagny

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Karl Landet *Session 1*

ECL, Lyon (France)

Meryem Le Deunf *Session 3*

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

CEVAA, Saint Étienne du Rouvray (France)

Erwan Le Roux *Session 3*

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Thomas Lechat *Session 2*

LMFA UMR CNRS 5509, Lyon (France)

Julien Leng *Session 1*

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Xixi Li *Session 1*

PIMM UMR CNRS 8006, Paris (France)

Matthieu Malléjac

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Fabien Marchetti *Session 1*

LVA EA 677, Lyon (France)

Pierre Margerit *Session 3*

Laboratoire Navier UMR CNRS 8205, Paris, France

Raul Meléndez *Session 1*

GIPSA UMR CNRS 5216, Grenoble (France)

Manuel Melon

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Samuel Metals *Session 2*

Institut Langevin UMR CNRS 7587 INSERM U979, Paris (France)

Erwan Meteyer *Session 1*

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Marc Michau

Saint Gobain

Gouider Msallem *Session 4*

UTC, Compiègne (France)

Pauline Muleki Seya

ESPCI, Paris (France)

Jessica Neufond *Session 2*

LTDS UMR CNRS 5513, Ecole Centrale de Lyon, Lyon (France)

Morvan Ouisse

FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Besançon (France)

Guillaume Paillot

LamCos UMR CNRS 5259, Lyon (France)

Adrien Pelat

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Matthias Perez *Session 1*

LamCos UMR CNRS 5259, Lyon (France)

Charles Pezerat

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Jules Plisson *Session 2*

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Laurent Polac

Renault, Nanterre (France)

Augustin Pouye

LVA EA 677, Lyon (France)

Hadrien Pujol *Session 4*

LMSSC, EA 3196, Paris (France)

Giorgio Pulvirenti *Session 3*

LVA EA 677, Lyon (France)

Guillaume Raybaud *Session 4*

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Margaux Regniez

Naval Group

Emeline Sadoulet

FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Besançon (France)

Charlotte Saverna *Session 1*

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Antoine Sternberger

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Jean-Hugh Thomas

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Margaux Topenot *Session 3*

FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Besançon (France)

Vincent Tournat

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Le Hung Tran

Ecole des Ponts ParisTech

Kresimir Trdak

Hutchinson CRI

Clément Vasseur

SIM Engineering (France)

Romain Viala *Session 3*

FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Besançon (France)

Marion Volpe *Session 2*

LMA UMR 7031 AMU CNRS, Marseille (France)

Zakaria Zergoune *Session 1*

FEMTO-ST UMR CNRS 6174, Besançon (France)

Valentin Zorgnotti

LAUM UMR CNRS 6613, Le Mans (France)

Merci à tous nos sponsors!

