

ED SMAER

Sujet de thèse 2014

Laboratoire : Institut Jean Le Rond d'Alembert, UMR CNRS/UPMC 7190

Etablissement de rattachement : CNRS/ UPMC

Directeur de thèse : Vincent MARTIN , Directeur de Recherche CNRS

Codirection et section CNU et CNRS : codirection à définir ; section 60 CNU et section 9 CNRS

Titre de la thèse : Géométrie euclidienne et problèmes inverses en acoustique

Collaborations dans le cadre de la thèse : Pr. ARRUDA, Faculté d'Ingenierie Mécanique, Université de Campinas, Campinas-SP, Brésil

Rattachement à un programme : au sein de la thématique « Problèmes Inverses » de l'équipe Modélisation, Propagation et Imagerie Acoustique (MPIA)

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : OUI

Résumé du sujet

Depuis longtemps, de nombreux problèmes inverses de l'acoustique sont développés ayant en vue des applications industrielles, médicales, sous-marines, musicales, etc... Citons le contrôle actif, l'holographie, la méthode dite de formation de voies, celle de focalisation, l'holophonie, la synthèse de champs sonores, la tomographie, la goniométrie etc...

Se donnant une expérience réelle, la démarche complète d'un problème inverse en acoustique consiste à :

- 1/ effectuer une mesure de pression acoustique sur un réseau de microphones ; cette mesure est inévitablement entâchée d'une erreur non-structurée ;
- 2/ envisager plusieurs modèles de rayonnement de la (des) source(s) et son (leur) environnement en fonction de la physique du problème (des monopoles ou des dipôles ou des quadripôles ou des combinaisons pour un bruit de jet par exemple, une salle anéchoïque ou un champ libre sur un sol, etc...) ; le vrai modèle est inconnu et tous ceux envisagés auront donc une erreur épistémique; la plupart du temps ces modèles sont mal conditionnés ;
- 3/ adapter les paramètres de divers modèles (les orientations des dipôles et quadripôles, les coefficients d'absorption des parois ou des sols, la célérité de propagation du son, etc...) à partir des données mesurées – et donc erronées - aux microphones ;
- 4/ hiérarchiser les modèles adaptés et retenir celui qui rayonne le mieux la pression mesurée ;
- 5/ qualifier les vitesses vibratoires des sources compte tenu des incertitudes sur les mesures et les incertitudes résiduelles sur les modèles adaptés, entre autres à l'aide de démarches statistiques (faute d'avoir pu trouver une démarche totalement déterministe).

La récente approche géométrique de certains problèmes inverses de l'acoustique fréquentielle traités au sens des moindres carrés (dans L2) a déjà montré son utilité et sa simplicité pour, entre autres,

- 1/ adapter des modèles munis d'une incertitude structurée (c'est-à-dire adapter la valeur de certains paramètres d'un modèle mais non sa forme) ;
- 2/ hiérarchiser l'efficacité de divers modèles de rayonnement bien ou mal conditionnés, même et surtout en présence de modèles incertains (erreur structurée) et de données incertaines ;
- 3/ qualifier les résultats issus des problèmes inverses (c'est-à-dire quantifier la qualité des commandes ou vitesses de sources ou de corps sonores), même et surtout en présence de modèles incertains et de données incertaines.

Ainsi chacune des étapes de la démarche complète (sauf la première) soulève des difficultés dont la plupart ont trouvé une solution par l'approche géométrique dans des configurations souvent assez simples. La thèse portera sur la résolution de ces ex-points durs et de ceux qui n'ont pas encore été abordés (par ex. la qualification lors de problèmes mal conditionnés) dans une configuration complexe au sens du nombre et type de sources, du nombre de microphones, du nombre de paramètres à adapter, des régularisations qu'il faut introduire lors des problèmes mal conditionnés. On envisagera une ou deux expériences fines de recherche et non des expériences de complexité industrielle. On cherchera à démontrer tant que faire se peut des propriétés observées à tout coup et acquises par la voie géométrique.

L'aspect théorique, les simulations numériques (en général par éléments finis pour le corps sonore, et par équation intégrale pour le rayonnement) et les expériences seront traités à l'Institut Jean Le Rond d'Alembert (dans l'équipe Modélisation, Propagation et Imagerie Acoustique). Enfin, nos relations soutenues avec l'Université de Campinas au Brésil donnent une dimension internationale au sujet.

Sujet développé

Titre : Géométrie euclidienne et problèmes inverses en acoustique

Généralités et raisons d'être du sujet

Depuis longtemps, de nombreux problèmes inverses de l'acoustique sont développés ayant en vue des applications industrielles, médicales, sous-marines, musicales, etc... Citons le contrôle actif, l'holographie, la méthode dite de formation de voies, celle de focalisation, l'holophonie, la synthèse de champs sonores, la tomographie, la goniométrie etc...

Beaucoup de ces problèmes inverses se traitent depuis quelques décennies – voire depuis quelques années seulement pour certains d'entre eux, voire pas encore - par la minimisation d'une distance au sens des moindres carrés (distance dans L_2), distance associée à la géométrie euclidienne classique. Mentionnons que l'approche avec une distance dans L_1 est d'actualité mais on doit garder à l'esprit que la minimisation dans ce dernier sens peut résulter d'une cascade de minimisations dans L_2 .

La récente approche géométrique de ces problèmes inverses a déjà montré son utilité et sa simplicité pour, entre autres,

- 1/ hiérarchiser l'efficacité de divers modèles de rayonnement, même et surtout en présence de modèles incertains et de données incertaines ;
- 2/ adapter des modèles munis d'une incertitude structurée (c'est-à-dire adapter la valeur de certains paramètres d'un modèle mais non sa forme) ;
- 3/ qualifier les résultats issus des problèmes inverses (c'est-à-dire quantifier la qualité des commandes ou vitesses de sources ou de corps sonores), même et surtout en présence de modèles incertains et de données incertaines.

Ces résultats **originaux** ont été publiés récemment (ou sont en cours d'expertise – voir la liste donnée à la fin de cette description) et la phase exploratoire fait maintenant place à celle de développement. Ces développements doivent porter sur :

- 1/ des configurations plus complexes au sens du nombre de sources et de microphones, au sens du nombre de paramètres à adapter, au sens des régularisations qu'il faut introduire lors des problèmes mal conditionnés;
- 2/ des expériences réelles plutôt que sur des expériences numériques ;
- 3/ l'approfondissement de propriétés accessibles seulement en termes statistiques avec faible dispersion, et non de façon déterministe (et ce au moment où l'approche bayésienne bat son plein par ailleurs);
- 4/ les démonstrations, autant que faire se peut, des propriétés observées et acquises par la voie géométrique.

Ainsi la thèse est centrée sur ces développements associés à la remarquable efficacité de l'approche géométrique afin de garder notre avance sur le sujet. Le (la) doctorant(e) aura donc un sujet contemporain et d'avenir. Il s'agira pour lui (elle) de maîtriser les nouvelles connaissances de ces toutes dernières années, de les étendre à des problèmes d'une plus grande complexité, de les exploiter dans une expérience particulière, de tenter d'affirmer mathématiquement les propriétés observées. Au delà de l'acoustique, le candidat devra avoir le goût de la géométrie élémentaire, des simulations numériques (dans leurs formes les plus sobres), des expériences, et si possible de la théorisation.

Précisions sur le sujet de thèse et déploiement prévu

Nous avons, en 2012, monté une expérience d'holographie pour déterminer les formes vibratoires - et leurs vitesses - d'une membrane de tambourin. Ce travail avait eu lieu en collaboration avec le Laboratoire de Mécanique des Structures et des Systèmes Couplés du CNAM-Paris. L'environnement compliqué de la salle de mesure, l'instabilité de la tension de la membrane, la méconnaissance de son type de rayonnement, la source cachée et parasite qu'est l'excitateur, sont autant d'incertitudes épistémiques sur la forme du modèle de rayonnement, d'incertitudes structurées sur les paramètres des modèles, d'incertitudes non-structurées sur les mesures. Il faut revenir sur ce type d'expérience assez bien révélatrice du monde réel pour classer les diverses incertitudes, hiérarchiser des modèles eux-mêmes entachés d'incertitudes sur les paramètres, cette hiérarchisation exigeant de savoir adapter les modèles à partir des données mesurées (les pressions rayonnées par le corps sonore) elles-mêmes erronées. Puis il faut qualifier les résultats issus de ce problème inverse, ce qui fait intervenir des études sur les erreurs de modèles et sur celles de la pression mesurée accessibles par des angles issus de l'analyse géométrique du problème. La démarche globale sera immédiatement transportable dans le monde industriel, en acoustique interne des moyens de transports par exemple.

Tout naturellement, on vient de décrire l'articulation du travail sur les trois ans (la bibliographie est bien sûr toujours en toile de fond) :

Première année : acquisition des nouvelles connaissances qui relie géométrie et problèmes inverses ; conception et montage d'une expérience de recherche ; acquisition de signaux et traitements élémentaires ; analyse des difficultés rencontrées et classification des sources d'erreurs ; modélisation numérique de l'expérience (à l'aide d'une méthode d'éléments finis et /ou d'équations intégrales dans leurs versions les plus sobres) ;

Deuxième année : adaptation des modèles ; hiérarchisation ; analyse de la démarche géométrique dans des problèmes mal conditionnés ; étude de la qualification des résultats ;

Troisième année : allers-retours simulations/expériences (sur 7 à 8 mois) et rédaction de la thèse (compter 3 à 4 mois), voire soutenance.

En fonction des opportunités, ce plan de travail peut évoluer mais tout en poursuivant les mêmes objectifs.

Collaborations

Tout le travail se fera à l'Institut d'Alembert. Nos confrères brésiliens de l'Université de Campinas, SP, (Pr. J.R. Arruda & al., Department of Computational Mechanics, Faculty of Mechanical Engineering) développent actuellement les problèmes d'inversion pour identifier des sources mobiles et les turbulences associées ; ils ont déjà exploité certains aspects de l'approche géométrique et nous travaillons ensemble dans cette direction. Le thème d'aéroacoustique est aussi un des thèmes de l'Institut Jean Le Rond d'Alembert. On s'attend à ce que des relations étroites déjà établies avec le Brésil soient encore renforcées, et que la partie aéroacoustique de l'Institut Jean Le Rond d'Alembert exploite nos avancées. De plus, on a mentionné certains aspects statistiques qui devraient nous conduire vers les compétences dans ce domaine présentes à l'Institut. Enfin, au sein de l'Institut et plus particulièrement de l'équipe MPIA (Modélisation, Propagation, Imagerie Acoustique) la thèse doit créer une passerelle entre les aspects conceptuels géométriques appartenant au thème « Problèmes inverses » et les démarches techniques et technologiques développées dans le cadre de l' « Imagerie acoustique ».

Nos toutes dernières références depuis 2011 sur le sujet proposé

V.Martin, T.Le Bourdon, A.M. Pasqual, "Numerical simulation of acoustic holography with propagator adaptation; application to a 3D disc", J. of Sound and Vibration, 330, 4233-4249, **2011**.

A.M. Pasqual, V.Martin, "On the acoustic radiation modes of compact regular polyhedral arrays of independant loudspeakers", J. of the Acoustical Society of America, 130(3), 1325-1336, **2011**.

A.M. Pasqual, V. Martin, "Optimal secondary source position in exterior spherical acoustical holophony", J. of Sound and Vibration, 331, 785-797, **2012**.

V. Martin, T. Le Bourdon, J.R. Arruda, "Geometrical interpretation of acoustic holography : adaptation of the propagator and minimum quality guaranteed in the presence of errors", J. of Sound and Vibration, 331, 3493-3508, **2012**.

P. Lecomte, "Holographie de la membrane d'un tambourin", Rapport M2, Recherche Dynamique des Structures, Matériaux et Systèmes Couplés, Ecole Centrale Paris, **2012**.

V. Martin, "The fundamentals elements in certain inverse acoustic problems : their roles and interactions", J. of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering , Vol 34, Special Issue, 2, **2012**.

P.A. Zavala, F. Bueno, J.R. Arruda, V. Martin, "3D source localization on a truck pass-by noise test using generalized inverse beamforming", Proceedings of the 15th Internat. Symposium on Dynamic Problems of Mechanics", Buzios, RJ, Brazil, **2013**.

V. Martin, F. Cohen-Tenoudji, "Identification of acoustic sources with uncertain data", ICA (International Congress of Acoustics) 2013, Montreal, Canada, for June **2013**.

V. Martin, P. A. Zavala, J.R. Arruda, , "Hierarchization of uncertain models in presence of erroneous objectives for inverse acoustic problems", ICOVP (International Conference of Vibration Problems) 2013, Lisbon, Portugal, for September **2013**.

M. Griveaux, V. Martin, "Hiérarchisation de modèles mal conditionnés lors de problèmes mal conditionnés", to be presented at the French Congress of Acoustics at Poitiers in April **2014**

Papiers en cours pour soumission (si nécessaire, les premier et troisième papiers sont disponibles pour l'Ecole Doctorale sous confidentialité)

V. Martin, "Qualification of source velocities in inverse acoustic problem with model and objective uncertainties via the geometrical interpretation ", re-submitted to the J. of Sound and Vibration (in March **2014**).

P.A.Zavala, F.Bueno, V. Martin, J.R. Arruda,"Regularized analysis on the use of the hybrid generalized inverse beamforming on a pass-by noise source localization", to be re-submitted to the J. of Sound and Vibration.

V. Martin, J.R.F. Arruda, P.A.G. Zavala, "Ranking of uncertain models in presence of erroneous objectives in inverse acoustic problems", submitted to the Journal of Advances in Vibration Engineering (in November **2013**).