

Thèse Naval Group / INSA Lyon – 2020-2023

**Prédiction de la pression rayonnée d'une structure immergée
à partir de données capteurs parcimonieuses.**

Entreprise:

Naval Group
Technopôle de la mer
199 Avenue Pierre-Gilles de Gennes
83190 Ollioules

Laboratoire d'accueil:

Laboratoire Vibrations-Acoustique EA677
INSA Lyon, Univ Lyon
25 bis av. Jean Capelle
69621 Villeurbanne cedex

Encadrements et contacts:

L. Maxit, Maitre de conférences HDR, Laboratoire Vibrations-Acoustique, INSA Lyon
0472436215, laurent.maxit@insa-lyon.fr
Q. Leclere, Maitre de conférences HDR, Laboratoire Vibrations-Acoustique, INSA Lyon
0472436392, quentin.leclere@insa-lyon.fr
F. Hugues, Ingénieur études et essais, Naval Group, Ollioules
0494113505, florian.hugues@naval-group.com
V. Meyer, Ingénieur de recherche, Naval Group, Ollioules
0494116627, valentin.meyer@naval-group.com

Contexte de la thèse :

Le bruit rayonné des plateformes navales représente un enjeu majeur. Dans le domaine civil, la nécessité de réduire l'impact des activités humaines sur l'environnement pousse à contrôler et diminuer ce bruit. Dans le domaine militaire, il est primordial de maîtriser la signature acoustique des navires et des sous-marins afin d'avoir un avantage acoustique sur l'ennemi.

Le bruit des sources d'une plateforme emprunte trois voies de propagation principales avant rayonnement dans l'eau :

- > la transmission solidienne, avec mise en vibration directe de la structure (« structure-borne noise »)
- > la transmission aérienne, avec propagation à travers les locaux jusqu'à la coque et au milieu fluide (« airborne noise »),
- > la transmission fluidique, par fluctuations de pression de circuits débouchant.

Actuellement, plusieurs méthodes d'analyse et de prédiction de bruit rayonné, qui prennent en compte les trois types de propagation cités ci-dessus, sont utilisées :

- La méthode TPA (Transfer Path Analysis) est une méthode expérimentale couramment utilisée pour identifier les sources qui participent au rayonnement acoustique. En général, une analyse TPA consiste à construire un modèle avec des fonctions de transfert (FRFs) entre des sources (forces mécaniques, débits acoustiques) et récepteurs (accéléromètres sur la structure, hydrophones dans le milieu fluide environnant). Ces FRFs peuvent être mesurées ou calculées [1, 2, 3].
- La méthode d'analyse opérationnelle des voies de transfert OTPA (Operational Transfert Path Analysis) peut être utilisée afin de surmonter certaines des restrictions et inconvénients d'une TPA classique. Contrairement à la méthode précédente, l'analyse OTPA consiste à calculer des fonctions dites de « transmissibilité » [4, 5]. Cette distinction vient du fait que la phase de mesure des fonctions de transferts et d'identification des forces est remplacée par la résolution directe d'un système « Multiple Input Multiple Output » (MIMO) [6, 7].
- Les méthodes de calcul de rayonnement acoustique d'une structure complexe (analytiques ou numériques) qui font apparaître dans le formalisme la notion de surfaces élémentaires couvertes par un réseau de capteurs et les impédances de rayonnement associées à ces surfaces. En général, ces méthodes sont réécrites pour passer de grandeurs locales à des grandeurs moyennées sur une surface ou un secteur angulaire donné [8, 9, 10, 11].

Dans tous les cas, ces méthodes consistent à définir un système matriciel reliant la pression rayonnée aux accélérations d'une surface vibrante ou à des capteurs internes à la coque [12, 13].

Ces dernières années, il a été observé un intérêt grandissant pour définir les critères de performance acoustique d'un bateau. Pour cela, il est nécessaire d'étudier l'applicabilité et la précision des méthodes évoquées dans des contextes d'emploi propres au domaine naval mais également leur alimentation avec des données pertinentes et suffisantes. Notamment, le type, le nombre et la position des capteurs permettant de reconstruire le plus fidèlement possible la pression rayonnée d'une structure vibrante immergée. Néanmoins, l'application des méthodes d'analyse et de prédiction de bruit rayonné reste un défi pour les plateformes navales :

- Les structures sont complexes et doivent prendre en compte le couplage avec l'eau
- Les excitations et voies de propagation sont variées
- Les gammes de fréquence sont très étendues, de l'UBF (ultra basse fréquence, quelques Hz) jusqu'à la HF (haute fréquence, dizaines de kHz)

Sujet de la thèse :

La thèse consiste à développer et valider des méthodes numériques pour le calcul du rayonnement acoustique des structures immergées complexes à partir de données vibratoires et acoustiques. Le développement d'une méthode doit prendre en compte :

1. l'optimisation des points de mesure
2. la régularisation du problème (signaux bruités et problème mal-posé)
3. les revêtements acoustiques des structures rayonnantes
4. Diverses sources de bruits (transitoires, bande étroite, large bande, impulsionnels) dans des bandes de fréquences étendues (UBF à HF)

La validation sera réalisée par comparaison à :

1. des cas connus de la littérature dans le domaine naval
2. des mesures sur maquette.

Méthodologie :

Après une analyse de la bibliographique relative à plusieurs sujets en lien avec la thèse (i.e. méthodes TPA/OTPA, concept de transmissibilité, méthodes de calcul de rayonnement acoustique d'une structure), on cherchera à définir des formulations particulières pour aboutir à la pression rayonnée en champ lointain à partir de données vibratoires sur une structure. Ces formulations devront être adaptées à diverses sources de bruits et aux structures multiexcitées. Les paramètres d'entrée pour la prise en compte d'un revêtement acoustique devront être identifiés. Chaque formulation devra intégrer un maillage non régulier d'accéléromètres sur coque et les positions de capteurs de pression disposés dans le milieu fluide interne à la structure. Des cas tests seront définis pour chaque formulation [14, 15, 16, 17] de façon à ce que les résultats de référence (pression rayonnée dans un secteur angulaire) puissent être obtenus dans les basses fréquences à partir de méthodes classiques de discrétisation par éléments finis (FEM) ou de surface (BEM) et dans les hautes fréquences à partir de méthodes énergétiques type SEA. On pourra également avoir recours à l'utilisation de modèles hybrides numérique/analytique [18, 19].

Dans un second temps, des validations des formulations retenues devront être effectuées à partir de mesures expérimentales. Une description des fonctions de traitement du signal utilisées sera énoncée en adéquation avec les moyens expérimentaux mis à disposition. Les différentes formulations seront décrites en termes d'algorithmes et permettront de s'inscrire dans un processus industriel. Des passerelles pourront être établies avec les méthodes d'imagerie et d'antennerie acoustique [20, 21]. Cette analyse permettra de mettre en avant les verrous scientifiques liés à l'utilisation de signaux bruités, avec de l'information redondante ou manquante en fonction des gammes de fréquence et les types de sources de bruits investigués. Ces étapes permettront de définir des critères de performance et évaluer l'erreur de reconstruction des différentes formulations lorsqu'elles sont utilisées en mer [22, 23] ou en bassin [24].

Dans la dernière partie de la thèse, les formulations les plus stables seront retenues et feront l'objet d'études paramétriques pour dégager des tendances globales et statuer sur des utilisations robustes et répétables.

Mots- clefs : TPA, OSPA, Transmissibilité, Rayonnement Acoustique des Structures, Imagerie acoustique.

Profil du candidat recherché :

Le candidat (titulaire d'un Master Recherche ou d'un diplôme d'Ingénieur) devra avoir un goût prononcé pour la modélisation de phénomènes physiques et l'expérimentation et posséder des compétences en acoustique et/ou en mécanique des milieux continus (mécanique des solides, dynamique des structures, vibrations).

Références :

- [1] J.W. Verheij, Inverse and Reciprocity Methods for Machinery Noise, Source Characterization and Sound Path Quantification, Part 1: Sources, *International Journal of Acoustics and Vibration*, Vol. 2, No. 1, 1997 (pp 11-20).
- [2] J.W. Verheij, Inverse and Reciprocity Methods for Machinery Noise, Source Characterization and Sound Path Quantification, Part 2: Transmission Paths, *International Journal of Acoustics and Vibration*, Vol. 2, No. 3, 1997 (pp 103-112).
- [3] M.H.A. Janssens, J.W. Verheij, The use of an equivalent forces method for the experimental quantification of structural sound transmission in ships, *Journal of Sound and Vibration*, 226 (1999) 305-328.
- [4] A.M.R Ribeiro, J.M.M. Silva N.M.M. Maia, On the generalisation of the transmissibility concept, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 14 (2000) 29-35.
- [5] M. M. Neves, H. Policarpo, N.M.M Maia, D. Tcherniak, A note on the use of vibro-acoustic transmissibility to estimate vibro-acoustic responses, *International Conference on Structural Engineering Dynamics (ICEDyn)*, 2019.
- [6] I. Pascher, C. Zerbs, Using multivariate methods (PCA) for the online prediction of underwater radiated sound, *NAG/DAGA Rotterdam*, 2009.
- [7] C. Zerbs, I. Pascher, Monitoring of underwater radiated sound for ships using transfer path analysis models, *inter.noise Hamburg*, 2016.
- [8] J. Greenspon, 'Structural Acoustics – Deterministic and Random Phenomena', CRC Press, 2011.
- [9] G. H. Koopmann, J.B. Fahline, 'Designing Quiet Structures – A Sound Power Minimization Approach', Academic Press, 1997.
- [10] T. Musha, Evaluation of ship noise level from near-field measurements, *Applied Acoustics*, 40 (1993) 69-78.
- [11] T. Musha, Far-field radiated noise prediction using the cross-spectrum of surface vibration velocity, *J. Acoust. Soc Jpn.*, 16 (1995).
- [12] V. Nautet, Etude des méthodes de calcul du rayonnement acoustique des structures à partir des données vibratoires. Application aux antennes des sous-marins, Thèse de l'Université de Technologie de Compiègne, 1998.
- [13] S.F. Wu, 'The Helmholtz Equation Least Squares Method – For Reconstructing and Predicting Acoustic Radiation', Springer, 2015.
- [14] Z. Wang, P. Zhu, A numerical analysis study on the estimation of the 3D underwater radiated noise pattern using the hull vibration signals, *Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng.*, 24 (2014) 770-779.
- [15] C. Zhang, D. Shang, G. Liu, P. Cao, Prediction of sound radiation from submerged structure by transfer method based on measuring vibration, *China Ocean Acoustics Symposium- Harbin*, 2016.
- [16] Y. Zhang, H. Wu, W. Jiang, Prediction of sound radiation from submerged cylindrical shell structure with an interpolation method for the measured surface velocity,

Proceedings of the International Conference on Acoustics and Vibration (ICAV), Tunisia, 2016.

[17] D. Lee, B.K. Kim, H.S. Kim, S.H. Lee, Verification of underwater radiation efficiency using FE/BE coupled model and measurements, *Noise and vibration emerging methods (NOVEM)*, Ibiza, 2018.

[18] L. Maxit, J.M. Ginoux - Prediction of the vibro-acoustic behavior of a submerged shell non periodically stiffened by internal frames. *JASA*, 2010, Vol. 128 (1), p. 137-151.

[19] G. Jin, X. Ma, W. Wang, Z. Liu, An energy-based formulation for vibro-acoustic analysis of submerged submarine hull structures, *Ocean Engineering*, 164 (2018) 402-413.

[20] E.G. Williams, Fourier Acoustics – Sound Radiation and Nearfield Acoustical Holography, *Academic Press*, 1999.

[21] M. R. Bai, J.G. Ih, J. Benesty, Acoustic Array Systems – Theory, Implementation, and Application, *Wiley*, 2013.

[22] V. Nejedl, A. Stoltenberg, J. Schulz, Free-field measurements of the radiated and structure-borne sound of RV “Planet”, *ECUA 2012 11th European Conference on Underwater Acoustics*, Scotland, 2012.

[23] A. Galka, J. Abshagen, A. Stoltenberg, V. Nejedl, Optimal frequency bands for modeling the coupling of structure-borne to underwater sound of a surface vessel, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 42(2), 2017, pp. 410-423.

[24] S. Han, J. Lee, M. Kang, Prediction of total radiation power of the submerged circular cylindrical structures, *Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng.*, 24 (2014) 876-882.