

Thèse Naval Group Research / INSA Lyon - 2018-2021

Titre de la thèse : Modélisation du comportement vibro-acoustique des coques de véhicules sous-marins partiellement revêtues d'un matériau anéchoïque ou de masquage

Contexte de la thèse :

Les performances acoustiques des coques épaisses des véhicules sous-marins jouent un rôle important sur leurs performances opérationnelles :

- dans le cas d'une excitation interne de la coque, le rayonnement acoustique en champ lointain influence le risque de détection par des sonars passifs (problème du bruit rayonné), et le rayonnement en champ proche influence les performances des sonars intégrés sur le véhicule (problème du bruit propre) ;
- dans le cas de l'excitation de la coque par une onde provenant de l'extérieur, la réflexion des ondes acoustiques sur la coque joue un rôle vis-à-vis des sonars actifs (problème de l'index de cible acoustique).

Afin de maîtriser ces performances dès les 1^{er} phases d'étude d'un projet de véhicule sous-marin, il est nécessaire de disposer d'outils de simulation numérique performants. Le code ORCAA a été développé à Naval Group ces dernières années dans le cadre d'une collaboration avec le LVA de l'INSA de Lyon. Celui-ci permet de simuler numériquement le comportement vibro-acoustique de coques épaisses immergées. Il est basé sur l'approche de sous-structuration CAA (Circumferential Admittance Approach) [1,2]. Cette méthode permet de coupler un modèle analytique d'une coque cylindrique en eau avec des modèles Eléments Finis des structures internes axisymétriques (raidisseurs, cloisons hémisphériques, extrémités axisymétriques). Elle permet d'appréhender sur une large gamme de fréquences les trois performances acoustiques importantes d'un véhicule sous-marin (i.e. bruit rayonné, bruit propre, index de cible) et intègre les excitations mécaniques, acoustiques et hydrodynamiques (couche limite turbulente). Lors de la thèse de V. Meyer (2013-2016), l'approche de sous-structuration a été généralisée pour donner l'approche des fonctions de transfert condensées (CTF, Condensed Transfer Functions) [3]. Elle permet alors d'intégrer des structures internes non-axisymétriques (carlingages, planchers, etc) dans le modèle de la coque épaisse immergée [4,5]. Les outils développés ne permettent cependant pas d'intégrer les revêtements acoustiques sur la coque utilisées pour la maîtrise des performances acoustiques. La thèse proposée consiste à combler ce manque.

Sujet de la thèse :

La thèse consiste à développer une approche pour intégrer des revêtements partiels de la coque dans les modèles vibro-acoustiques de coques épaisses de véhicules sous-

marins (i.e. modèles de coques cylindriques immergées couplées à des modèles des structures internes axisymétriques ou non -axisymétriques).

Deux grands types de revêtements de coque seront à considérer : les matériaux anéchoïques et les matériaux de masquage [6,7]. Ils se caractérisent par des propriétés mécaniques très différentes. Ces revêtements peuvent être constitués de matériaux visco-élastiques micro ou macro – inclusionnaires [8]. L'intégration de méta-matériaux [9] pourra également être considérée. Les modèles des matériaux (éléments finis, analytiques, cellules périodiques, etc) seront considérés comme des données d'entrée. On ne cherchera pas à développer de nouveaux modèles de ces matériaux. La thèse visera à faire le lien entre ces modèles de matériaux et les modèles de coques épaisses de véhicules sous-marins déjà développés. La difficulté principale reposera sur la prise en compte du revêtement partiel de la coque (i.e. sur un tronçon de la coque et sur un secteur angulaire donné). Par rapport à un recouvrement global de la structure par le revêtement acoustique [10], le revêtement partiel induit généralement un couplage des ordres circonférentiels de la coque en eau [11]. Il en résulte des calculs numériques beaucoup plus lourds qui cantonnent les rares approches développées jusqu'alors aux basses fréquences et aux coques non couplées à des structures internes [11,12]. Dans cette thèse, on cherchera à développer une approche originale basée sur les fonctions de transfert condensées qui permettra de contourner ce principal obstacle.

A terme, les outils développés permettront d'estimer les gains apportés sur les performances acoustiques (i.e. bruit rayonné, bruit propre, index de cible) du revêtement partiel de la coque pour la large gamme de fréquences d'intérêts.

Méthodologie :

Après une analyse de la bibliographique relative à plusieurs sujets en lien avec la thèse (i.e. méthodes de sous-structuration, modélisation des matériaux acoustiques, rayonnement/diffusion des coques raidies), on cherchera à définir un ou des cas tests simples de coques revêtues partiellement d'un revêtement acoustique. Ces cas tests seront définis de façon à ce que des résultats de référence (vibration/pression rayonnée) puissent être obtenus dans les basses fréquences à partir de méthodes classiques de discrétisation par éléments (éléments finis/infinis, PML). L'objectif de la thèse est de proposer une méthode qui permet d'aller au-delà de ce domaine de fréquence et pour des structures de grandes tailles. Ces résultats de référence permettront de valider dans les basses fréquences la méthode proposée.

Plusieurs pistes d'investigation pourront être étudiées au cours de la thèse. Deux se dégagent d'ores et déjà. On pourra s'appuyer sur des techniques récentes de découplage de sous-structures [13-15] qui ont été développées originellement pour des systèmes dynamiques mais qui pourront être généralisées à notre problème vibro-acoustique via le concept des fonctions de transfert condensées [3-4]. Cette extension de ces méthodes permettra dans un premier temps de mener les calculs sur la coque raidie immergée sans la présence des revêtements acoustiques (donc sans couplage des ordres circonférentiels). Dans un second temps, on pourra simuler le comportement de la

coque raidie immergée partiellement revêtue à partir d'un modèle du volume fluide occupé par le revêtement acoustique et d'un modèle du revêtement acoustique.

Une autre piste d'investigations pourra consister à revoir la sous-structuration du problème de la coque couplée au fluide. Dans sa version actuelle, une formulation analytique et une résolution globale par une approche spectrale [1] est considérée. On peut envisager de sous-structurer par CTF ce problème de la coque en eau afin de faciliter l'introduction des revêtements acoustiques. Des secteurs angulaires de tronçons de coque revêtu ou non, avec le fluide environnant, pourront être modélisés en utilisant les éléments finis spectraux (Spectral or Wave Finite Element, [16-17]) alors que le fluide au-delà du champ proche pourra toujours être modélisé par l'approche spectrale semi-analytique. Ces sous-modèles seront ensuite assemblés sur le principe de CTF pour simuler le comportement global du système.

Dans la dernière partie de la thèse, on pourra appliquer la méthode développée pour mettre en évidence les effets d'un revêtement partiel d'une coque cylindrique raidie sur le rayonnement de celle-ci. On pourra comparer les résultats entre un revêtement total et différents revêtements partiels de la coque et on cherchera à mettre en évidence les mécanismes de rayonnement induits par les bords du revêtement. On pourra par ailleurs étudier l'influence de revêtements partiels sur la diffusion de Bragg et de Bloch-Floquet de la coque raidie.

Planning:

T0, début de la thèse

T0 à T0+3 mois : Analyse de la bibliographie sur différents thèmes en relation avec le sujet de la thèse : modélisation/analyse du rayonnement et de la diffusion des coques raidies en eau, méthodes de sous-structuration en dynamique des structures et vibro-acoustique, modélisation des matériaux utilisés en acoustique sous-marine, méta-matériaux.

T0+3 mois à T0+6 mois : Prise en main de l'approche CTF et des codes associés disponibles au LVA et à Naval Group Research. Définition des cas tests de structures partiellement revêtues. Modélisation par une méthode de discrétisation par éléments pour les basses fréquences.

T0+6 mois à T0+18 mois : Etude de l'extension des méthodes de découplage de sous-structures aux problèmes vibro-acoustiques en utilisant l'approche CTF. Mise en œuvre sur un cas test académique. Etude des limites numériques. Mise en œuvre sur les cas tests de structures partiellement revêtues.

T0+18 mois à T0+24 mois : Etude de différentes stratégies de sous-structuration de la coque raidie couplée au fluide pour intégrer les revêtements partiels. Application sur les cas tests.

T0+24 mois à T0+30 mois : Application de la méthode développée pour mettre en évidence les phénomènes induits par le revêtement partiel sur le rayonnement et la diffusion acoustique des coques raidies.

T0+30 mois à T0+36 mois : Rédaction du mémoire de thèse

Encadrements :

L. Maxit, Maitre de conférences HDR, Laboratoire Vibrations-Acoustique, INSA Lyon
04 72 43 62 15, laurent.maxit@insa-lyon.fr

V. Meyer, Ingénieur de recherche, Naval Group Research, Ollioules
04 94 11 66 27, valentin.meyer@naval-group.com

Références :

- [1] 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.
- [2] L. Maxit, Scattering model of a cylindrical shell with internal axisymmetric frames by using the circumferential admittance approach, *Applied Acoustics*, 80 (2014) 10-22.
- [3] V. Meyer, L. Maxit, J.-L. Guyader, T. Leissing, C. Audoly, A condensed transfer function method as a tool for solving vibroacoustic problems. *Proc. IMechE Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 230 (2016) 928-938.
- [4] V. Meyer, L. Maxit J.-L. Guyader,, T. Leissing, Prediction of the vibroacoustic behaviour of a submerged shell with non-axisymmetric internal substructures by a condensed transfer function method, *Journal of Sound and Vibration*, 360 (2016) 260-276.
- [5] V. Meyer, L. Maxit, C. Audoly, A substructuring approach for modelling the acoustic scattering from stiffened submerged shells coupled to non-axisymmetric internal structures. *Journal of the Acoustical Society of America*, 140 (2016) 1609-1617.
- [6] E.A. Skelton, 'Theoretical Acoustics of Underwater Structures', Imperial College Press, 1997.
- [7] C. Dutrion, Etude de la faisabilité d'un revêtement élastique pour la furtivité acoustique, Thèse de l'Université de Toulouse, 2014.
- [8] C. Audoly, Acoustic analysis of panels made with viscoelastic materials containing resonant cavities , *Acta Acust.*, vol. 2 (5), pp. 393-402, 1994.
- [9] A. N. Norris, Acoustic cloaking theory. *Proceedings of the Royal Society A*, 464:2411-2434, avril 2008.
- [10] J.H. Hull, J.R. Welch, Elastic response of an acoustic coating on a rib-stiffened plate, *Journal of Sound and Vibration*, 329 (2010) 4192-4211.
- [11] B. Laulagnet, J.L. Guyader, Sound radiation from finite cylindrical shells, partially covered with longitudinal strips of compliant layer, *Journal of Sound and Vibration*, 186 (1995) 723-742.
- [12] J. M. Cuschieri, D. Feit, Influence of circumferential partial coating on the acoustic radiation from a fluid-loaded shell. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(6):3196-3207, 2000.
- [13] S.N. Voormeeren, D.J. Rixen, A family of substructure decoupling techniques based on a dual assembly approach, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 27 (2012) 379-396.
- [14] D.T. Huang, E.C. Ting, Vibration of plates with sub-structural deduction : a reverse receptance approach, *Journal of Sound and Vibration* ; 271 (2004) 177-207.
- [15] Z. Wang, P. Zhu, Response prediction for modified mechanical systems based on in-situ frequency response functions : theoretical and numerical studies, *Journal of Sound and Vibration*, 400 (2017) 417-441.
- [16] J. Renno, B.R. Mace, On the forced response of waveguides using the wave and finite element method, *Journal of Sound and Vibration*, 329 (2010) 5474-5488.
- [17] E. Manconi, Modelling wave propagation in two-dimensional structures using a wave/finite element technique, Thèse de l'université de Parme, Italie, 2008.