

Journées Acoustique et Applications Navales

8^e édition



Le Havre
16 et 17 octobre 2025

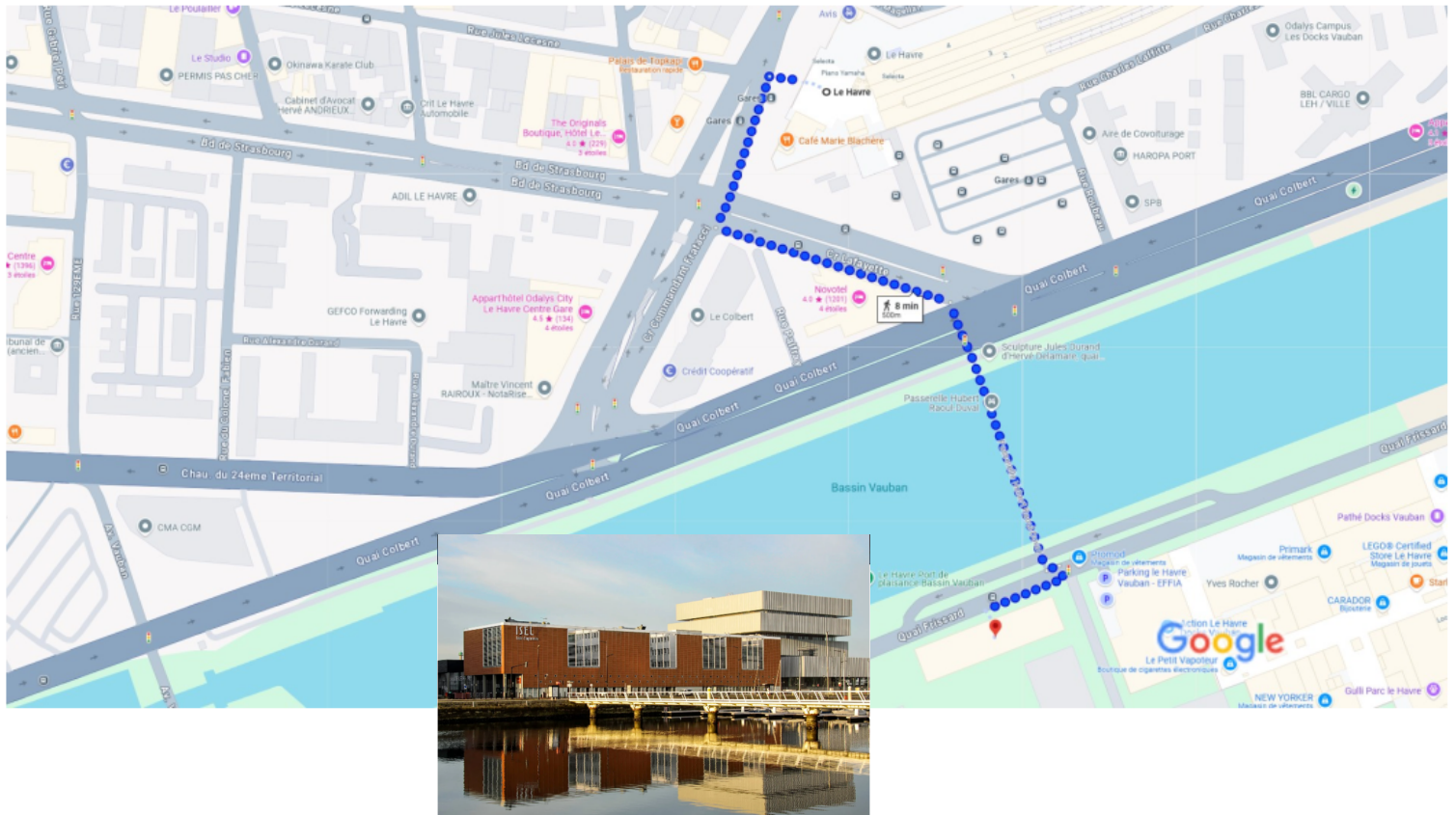
Institut Supérieur D'Etudes Logistiques
Université Le Havre Normandie

Programme



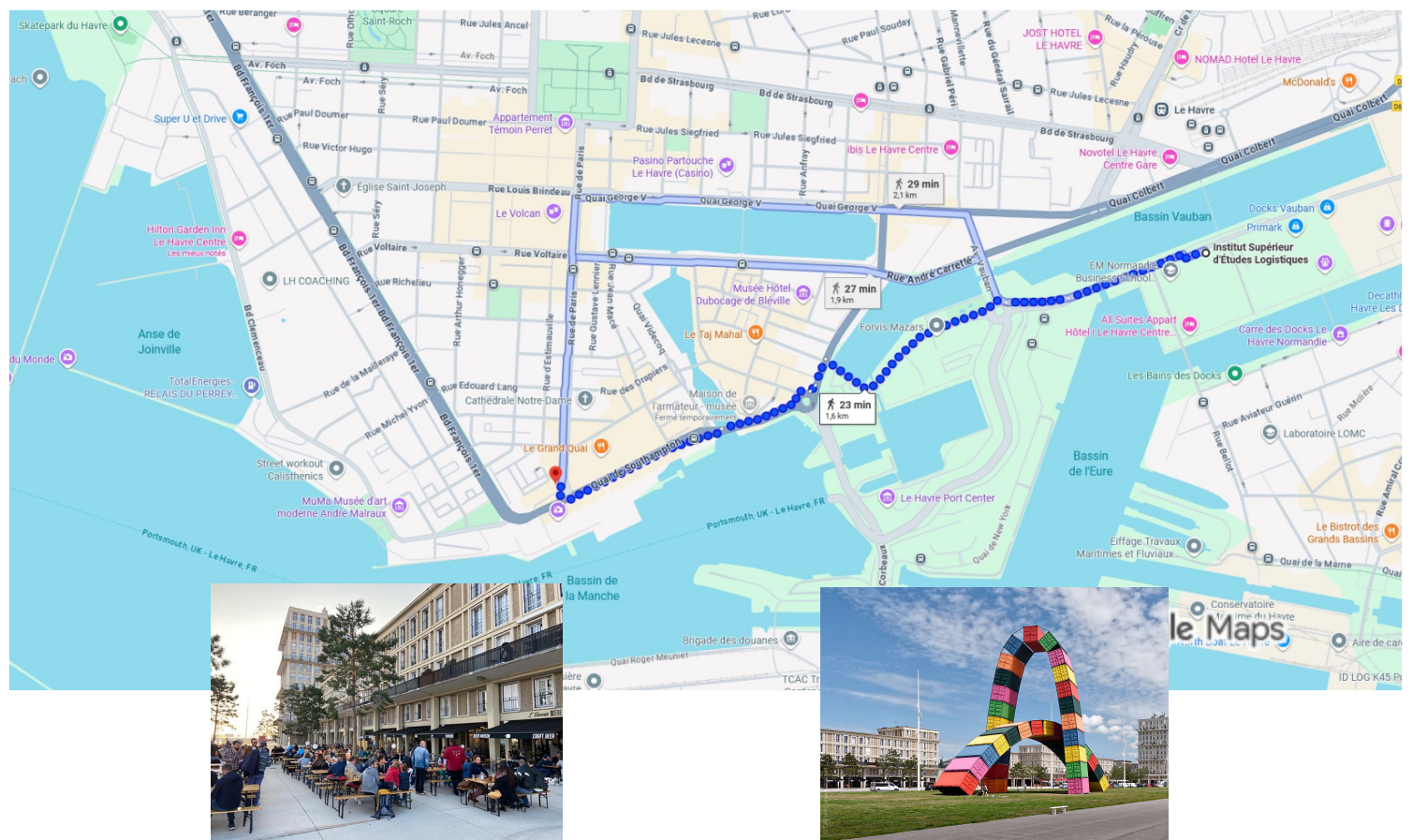
Accès à l'ISEL

Quai Frissard, 76600 Le Havre



Accès à l'Havrais Bière (jeudi à partir de 19h30)

1 rue de Paris, 76600 Le Havre



Jeudi 16 octobre

9h00 – 9h45 Accueil des participants et café

9h45 – 10h00 Introduction

10h00 – 10h45 Conférence invitée : S. Pinson, École Navale Brest, *Acoustique sous-marine ultra-basse-fréquence à partir des observatoires sismiques fond-de-mer*

10h45 – 11h05 : R. Lavanant, *Influence des paramètres géométriques d'une hélice marine sur le bruit d'ingestion de turbulence*

11h05 – 11h25 : A. Haudeville, *Amortissement piézoélectrique pour la réduction des vibrations d'hydrofoils sous écoulement*

11h25 – 11h45 : M. Regniez, *Diagnostic vibro-acoustique de la veine hydrodynamique du LUSAC*

Présentation des exposants :

11h45 – 11h55 : Intes

11h55 – 12h05 : Matelys

12h05 – 12h15 : ESI group

12h15 – 13h30 Déjeuner

13h30 – 14h15 Conférence invitée : B. Leclerc et R. A. Baccouche, DGA TH, *Mesures et simulations acoustiques au Grand Tunnel Hydrodynamique de DGA Th*

14h15 – 14h35 : L. Jego, *Étude du bruit induit par un diaphragme dans une conduite en eau - Simulation numérique et analyse expérimentale*

14h35 – 14h55 : F. Chevillote et G. Pavić, *Caractérisation dynamique des sources hydrauliques*

Présentation des exposants :

14h55 – 15h05 : Dassault Systemes

15h05 – 15h15 : Metravib

15h15 – 15h25 : Siemens

15h25 – 16h05 Café

16h05 – 16h25 : J-B. Dupont, *Cabine alpha numérique adaptative pour l'estimation du coefficient d'absorption diffus d'un revêtement acoustique en eau*

16h25 – 16h45 : O. Poncelt, *Transparence acoustique de structures composites pour applications sous marines à basses et hautes fréquences*

16h45 – 17h05 : J. Kessler, *Méthodes numériques pour la caractérisation de modes de propagation et l'évaluation de performances de cristaux phononiques fluide/solide pour la réduction du bruit sous-marin*

17h05 – 17h25 : C. Larcade, *Étude vibratoire de panneaux immergés à l'aide d'un vibromètre laser monopoint étanche*

17h45 – 19h Visite du LOMC : plateforme acoustique, canal à houle, Taylor-Couette,

19h30 Soirée – L'Havrais Bière (1 Rue de Paris, Le Havre)

Vendredi 17 octobre

9h00 – 9h45 Conférence invitée : Eric Baudin, Bureau Veritas, *Bruit sous-marin : tour d’horizon des enjeux & solutions*

9h45 – 10h05 : S. Bernard, *Cartographie de la pollution sonore sous marine en manche orientale : objectifs et premiers résultats*

10h05 – 10h25 : M. Jung, *Optical sensing in multimodal marine monitoring*

10h25 – 11h05 Café

11h05 – 11h25 : P. Cristini, *Réflexions des ondes acoustiques dans des canyons sous-marins : nouvelles perspectives*

11h25 – 11h45 : X. Plouseau-Guédé, *Étude de l'influence de la surface libre sur les vibrations et le rayonnement acoustique d'une coque cylindrique raidie infinie immergée à faible profondeur*

11h45 – 12h05 : L. Kovalevsky, *Proposition de cas tests représentatifs des problématiques d'index de cible pour des sous-marins*

12h05 – 12h25 : T. Sadones-Oldakowski, *Influence de la régularisation pour la quantification de points chauds par holographie acoustique champ proche (NAH)*

12h25 – 13h40 Déjeuner

13h40 – 14h00 : P. Zelmar, *Etude expérimentale du comportement vibro-acoustique en régime transitoire de plaques revêtues immergées*

14h00 – 14h20 : T. Humbert, *Qualification et application du nouveau bassin d'essais acoustique JUNIA*

14h20 – 14h40 : A. Peigne, *Technologie DAS pour la protection des infrastructures critiques immergées*

14h40 – 14h45 Clôture

Table des matières

Influence des paramètres géométriques d'une hélice marine sur le bruit d'ingestion de turbulence, Romain Lavanant [et al.]	3
Amortissement piézoélectrique pour la réduction des vibrations d'hydrofoils sous écoulement, Arthur Haudeville [et al.]	4
Étude de l'influence de la surface libre sur les vibrations et le rayonnement acoustique d'une coque cylindrique raidie infinie immergée à faible profondeur, Xavier Plouseau-Guédé [et al.]	5
Optical sensing in multimodal marine monitoring, Matthieu Jung	6
Étude du bruit induit par un diaphragme dans une conduite en eau - Simulation numérique et analyse expérimentale, Laurie Jegou [et al.]	7
Cabine alpha numérique adaptative pour l'estimation du coefficient d'absorption diffus d'un revêtement acoustique en eau, Jean-Baptiste Dupont [et al.]	8
Méthodes numériques pour la caractérisation de modes de propagation et l'évaluation de performances de cristaux phononiques fluide/solide pour la réduction du bruit sous-marin, Juliette Kessler [et al.]	9
Qualification et application du nouveau bassin d'essais acoustique JUNIA, Thomas Humbert [et al.]	10
Transparence acoustique de structures composites pour applications sous marines à basses et hautes fréquences, Cheick Tiendrebeogo [et al.]	11
Mesures et simulations acoustiques au Grand Tunnel Hydrodynamique de DGA Th, Benoit Leclerc [et al.]	12
Caractérisation dynamique des sources hydrauliques, Fabien Chevillotte [et al.]	13
Technologie DAS pour la protection des infrastructures critiques immergées, Arnaud Peigne [et al.]	14

Influence de la régularisation pour la quantification de points chauds par holographie acoustique champ proche (NAH), Tomé Sadones-Oldakowski [et al.]	15
Réflexions des ondes acoustiques dans des canyons sous-marins : nouvelles perspectives, Cristini Paul [et al.]	16
Étude vibratoire de panneaux immergés à l'aide d'un vibromètre laser monopoint étanche, Clément Larcade [et al.]	17
Proposition de cas tests représentatifs des problématiques d'index de cible pour des sous-marins, Louis Kovalevsky [et al.]	18
Diagnostic vibro-acoustique de la veine hydrodynamique du LUSAC, Margaux Regniet [et al.]	19
Mise en place d'un dispositif expérimental pour l'étude de la réponse transitoire d'une plaque semi-immersée, Quentin Guyomard [et al.]	20
Cartographie de la pollution sonore sous marine en manche orientale : objectifs et premiers résultats, Simon Bernard [et al.]	21
Bruit sous-marin : tour d'horizon des enjeux & solutions, Eric Baudin	22
Acoustique sous-marine ultra-basse-fréquence à partir des observatoires sismiques fond-de-mer, Samuel Pinson [et al.]	23
Liste des auteurs	23

Influence des paramètres géométriques d'une hélice marine sur le bruit d'ingestion de turbulence

Romain Lavanant * ^{1,2}, Benjamin Cotté ¹, Gilles Serre ², Jean-François Mercier ³

¹ École Nationale Supérieure de Techniques Avancées – IMSIA - UMR EDF/CNRS/CEA/ENSTA 9219, ENSTA Paris, Institut Polytechnique de Paris – France

² Naval Group – CEMIS, Ollioules, France – France

³ École Nationale Supérieure de Techniques Avancées – Institut Polytechnique de Paris, POEMS (CNRS-INRIA-ENSTA Paris) – France

Le bruit hydrodynamique constitue une composante majeure du rayonnement acoustique des navires, particulièrement aux basses fréquences et à haute vitesse où le bruit d'hélice prédomine. Cette étude propose une approximation analytique du phénomène de "bosses spectrales" généré par l'interaction entre une hélice en rotation et un champ turbulent incident. Un modèle classique, utilisant la formulation de Ffowcs-Williams et Hawkings pour le rayonnement acoustique et le spectre de von Kármán pour la turbulence, est généralisé à des géométries d'hélices complexes permettant une application industrielle réaliste. Un critère analytique d'émergence des bosses en fonction des paramètres géométriques de l'hélice est ensuite obtenu à partir d'une analyse paramétrique du modèle développé. Enfin, des applications numériques de ce critère sont réalisées sur des géométries d'hélices représentatives de l'industrie navale (pales vrillées, pales déversées, etc.). Les résultats mettent en évidence l'influence notable de la géométrie tridimensionnelle sur l'amplitude et la localisation fréquentielle des bosses spectrales.

*Intervenant

Amortissement piézoélectrique pour la réduction des vibrations d'hydrofoils sous écoulement

Arthur Haudeville * ^{1,2,3}, Xavier Amandolese ⁴, Boris Lossouarn ⁴,
Christophe Giraud-Audine ², Olivier Thomas ³

¹ Laboratoire de Mécanique des Structures et des Systèmes Couplés – Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM), Conservatoire National des Arts et Métiers [CNAM] – France

² Laboratoire d'Électrotechnique et d'Électronique de Puissance - ULR 2697 – Centrale Lille, Université de Lille, Arts et Métiers Sciences et Technologies, Junia – France

³ Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Physiques et Numériques – Arts et Métiers Sciences et Technologies – France

⁴ Laboratoire de Mécanique des Structures et des Systèmes Couplés – Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM), Conservatoire National des Arts et Métiers [CNAM] – France

Les structures marines soumises à un écoulement hydrodynamique sont sujettes à des vibrations qui peuvent être causées par des lâchers tourbillonnaires dans le sillage de la structure, entraînant de la fatigue structurelle et des émissions acoustiques. Ces vibrations peuvent être réduites grâce à des shunts piézoélectriques, dont les paramètres électriques doivent être finement ajustés afin de maximiser l'amortissement du mode cible. Ce travail examine tout d'abord la capacité d'un modèle couplé fluide-structure à reproduire les vibrations induites par les vortex observées sur un hydrofoil placé dans un tunnel hydrodynamique. Le couplage d'un oscillateur structurel avec un oscillateur de van der Pol permet de reproduire la réponse en amplitude autour de la fréquence d'accrochage. Afin de construire un modèle d'ordre réduit permettant d'optimiser la stratégie de contrôle, un troisième degré de liberté correspondant au circuit électrique d'un amortisseur piézoélectrique résonant a été ajouté. Composé d'une inductance et d'une résistance connectée à un patch piézoélectrique, le circuit résonnant passif a été réglé pour minimiser l'amplitude des vibrations dans la plage de fréquence d'accrochage. Comme le shunt résonant nécessite un réglage précis sur la résonance mécanique pour garantir des performances optimales, un circuit piézoélectrique résonant ajustable est ensuite proposé en explorant la possibilité de modifier la valeur de l'inductance. Ce circuit adaptatif repose sur l'intégration d'un convertisseur statique contrôlé par un circuit de modulation de largeur d'impulsion entre le patch piézoélectrique et l'inductance. Les prédictions des différents modèles sont comparées aux résultats expérimentaux.

*Intervenant

Étude de l'influence de la surface libre sur les vibrations et le rayonnement acoustique d'une coque cylindrique raidie infinie immergée à faible profondeur

Xavier Plouseau-Guédé ^{*} ¹, Laurent Maxit ², Fernand Leon ³, Farid Chati ⁴, Valentin Meyer ⁵, Patrick Dutto ⁶

¹ Laboratoire Vibrations Acoustique (LVA) – INSA Lyon, France – France

² Laboratoire Vibrations Acoustique (LVA) – INSA Lyon, France – France

³ Laboratoire Ondes et Milieux Complexes (LOMC) – Université Le Havre Normandie – France

⁴ Laboratoire Ondes et Milieux Complexes (LOMC) – Université Le Havre Normandie – France

⁵ Naval Group – Naval Group – France

⁶ Naval Group – Naval Group – France

L'étude du comportement vibroacoustique d'une coque cylindrique immergée et renforcée par des raidisseurs disposés périodiquement présente un intérêt majeur pour les applications navales. Il a été démontré dans la littérature que la disposition périodique des raidisseurs peut induire des ondes de Bloch-Floquet, au sein de la coque, et ainsi engendrer un rayonnement significatif en champ lointain. Cependant, ces études concernent généralement des coques immergées dans un milieu considéré comme infini, ce qui n'est pas représentatif des cas d'applications où la structure immergée est proche de la surface de la mer. Cette dernière, appelée surface libre, est représentée par une condition de pression nulle. Ce travail s'intéresse alors à l'influence de la surface libre sur les vibrations et la pression acoustique rayonnée par une coque cylindrique, raidie, infinie dans sa longueur et immergée dans l'eau. La coque est excitée par une distribution de forces sur un arc de largeur angulaire défini. Un modèle semi-analytique, basé sur une décomposition fréquence-nombre d'onde, est développé afin d'obtenir la réponse vibratoire et la réponse acoustique de cette coque immergée. Parallèlement, des expérimentations en cuve sont menées afin de mesurer la réponse en pression d'une coque raidie, excitée par un transducteur interne de fréquence centrale 100 kHz via un sabot en plexiglas, et immergée à différentes profondeurs. Les résultats numériques et expérimentaux de la pression rayonnée sont présentés en fonction de l'angle d'observation et de la fréquence afin d'étudier les effets de la surface libre, en particulier sur les ondes de Bloch-Floquet.

*Intervenant

Optical sensing in multimodal marine monitoring

Matthieu Jung ^{*} 1,2

¹ UMR 7020 CNRS LIS DYN I CIAN – Julie Patris – France

² SeaTech – Lyudmyla Yushchenko – France

La surveillance passive acoustique (PAM) s'impose aujourd'hui comme un outil majeur pour l'étude des écosystèmes marins, en particulier dans des zones de forte biodiversité où les pressions anthropiques se multiplient. Cependant, l'attribution des émissions sonores à des espèces spécifiques demeure un défi, en raison de la similarité des signatures acoustiques et du manque de bases de référence.

Dans le cadre d'un projet IRP-CNRS entre le LIS-CIAN (Université de Toulon) et plusieurs partenaires chiliens (dont UCSC), nous avons développé et testé COPEPOP, un système multimodal combinant enregistrements acoustiques (QHB) et imagerie optique (UWOS), destiné à améliorer l'attribution des signaux sonores in situ. Le dispositif a été déployé en août 2025 dans l'archipel de Humboldt (Isla Chañaral, Chili), zone riche en poissons et mammifères marins.

Les premiers résultats démontrent la faisabilité de cette approche conjointe. L'acquisition synchronisée de 99 heures de signaux acoustiques (300 Go à 256 kHz) et de vidéos (135 Go en 1080p) a permis d'obtenir un corpus inédit, incluant plusieurs catégories de vocalisations de poissons. Une classification préliminaire de ces signaux a été amorcée, distinguant plusieurs types d'émissions dans la bande 50–300 Hz.

Surtout, grâce à la corrélation des enregistrements optiques et acoustiques, nous avons pu procéder à la première identification in situ du poisson sonore *Chromis crisma*, une espèce abondante des récifs chiliens dont les vocalisations restaient jusqu'ici non documentées.

Ces travaux ouvrent des perspectives pour la constitution de banques de sons de référence, le suivi écologique non-intrusif et l'intégration d'outils de classification automatique. Ils démontrent également la pertinence d'associer imagerie et acoustique dans la surveillance des milieux côtiers, avec des applications directes en écologie, en conservation et en ingénierie navale.

*Intervenant

Étude du bruit induit par un diaphragme dans une conduite en eau - Simulation numérique et analyse expérimentale

Laurie Jego ^{* 1,2,3}, Mikaël Grondeau ², Sylvain Guillou ², Jean-Max Sanchez ¹, Christophe Bailly ³, Régnez Margaux ¹

¹ Naval Group – Naval Group – France

² Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg – Université de Caen Normandie, Université de Caen Normandie : UR4253, Université de Caen Normandie – France

³ Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique – Ecole Centrale de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Centre National de la Recherche Scientifique – France

L'étude de la génération et la propagation de bruit dans les conduites fluides est un enjeu majeur dans plusieurs secteurs de l'industrie. Plus particulièrement, dans le contexte de Discretion Acoustique des sous-marins, les ondes acoustiques générées par une singularité dans une conduite fluide peuvent être propagées directement dans le milieu environnant du sous-marin via les circuits débouchants. Elles représentent alors un risque pour la détection du sous-marin, et le rendent donc vulnérable. Il est alors primordial de connaître le niveau de bruit rayonné par ces singularités avant leur installation à bord. La méthode de Boltzmann sur réseau (LBM, pour Lattice Boltzmann Method), est appliquée pour le calcul hydroacoustique d'une singularité en conduite. Dans un premier temps, la méthode est validée sur le cas d'un diaphragme dans une conduite rectangulaire soumis à un écoulement en air: les profils de vitesse et d'intensité turbulente sont comparés à des résultats numériques d'analogies acoustiques, et la puissance acoustique loin de la conduite est comparée à un résultat DNC. La méthode est ensuite appliquée à un diaphragme en eau dans une conduite circulaire. Les résultats numériques sont comparés à des résultats expérimentaux. Ceux-ci sont issus d'essais réalisés sur le banc hydroacoustique HYACINTHE (HYdro-Acoustique Caractérisant l'INdiscrétion et le Transfert Haute Pression d'Élément) du Centre d'Essais Techniques et d'Évaluations de Cherbourg (CETEC) de Naval Group.

*Intervenant

Cabine alpha numérique adaptative pour l'estimation du coefficient d'absorption diffus d'un revêtement acoustique en eau

Jean-Baptiste Dupont * ¹, André Benjamin ², Julien Poittevin ², Cyril Gaumain ¹

¹ Vibratex – Vibratex, 28 Chem. du Petit Bois, 69130 Écully – France

² Naval Group – Naval Group – France

Les revêtements acoustiques sont largement utilisés dans le monde de l'acoustique sous-marine. Ils sont classiquement mis en œuvre pour leurs propriétés en anéchoïsme ou masquage. Ces revêtements peuvent également être appliqués à des volumes fermés, permettant par exemple à des moyens d'essais de s'approcher de conditions anéchoïques. C'est alors la capacité du revêtement à absorber l'énergie acoustique d'un champ diffus qui est utilisée : son coefficient d'absorption alpha diffus.

Pour simuler l'effet de ces revêtements sur les moyens d'essais, la méthode des éléments finis est souvent inadaptée. Les méthodes énergétiques sont une bonne alternative. Sous une hypothèse de champ diffus, la géométrie du système est modélisée par des faces. Des bilans énergétiques entre les faces permettent alors de remonter à la distribution de l'énergie acoustique dans tout le modèle. Pour ce type de simulation, le coefficient d'absorption alpha diffus est une donnée d'entrée indispensable.

Dans cette contribution, il est proposé de mettre en œuvre une cabine alpha numérique (via les éléments finis) en eau pour estimer le coefficient d'absorption diffus d'un revêtement acoustique. Cette méthode n'échappe pas aux contraintes des éléments finis. Pour pouvoir couvrir une large gamme de fréquences, une homothétie est appliquée sur le modèle de la cabine alpha. Quelle que soit la fréquence considérée, le rapport entre les dimensions de la cabine et la longueur d'onde reste constant, garantissant de conserver les conditions de champ diffus dans la cabine (nécessaires au fonctionnement de la cabine alpha), et le nombre de degrés de liberté demeure inchangé.

Le coefficient d'absorption alpha diffus est calculé par cette méthode pour un revêtement acoustique. Il est comparé aux valeurs estimées grâce à des simulations multi incidence et une application de la formule de Paris. Les comparaisons sont prometteuses, mais laissent également entrevoir des difficultés à grande échelle.

*Intervenant

Méthodes numériques pour la caractérisation de modes de propagation et l'évaluation de performances de cristaux phononiques fluide/solide pour la réduction du bruit sous-marin

Juliette Kessler ^{*} ^{1,2}, Charles Croënne ¹, Erwan Meteyer ², Florian Allein ³,
Anne-Christine Hladky-Hennion ¹

¹ Univ. Lille, CNRS, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, Junia, UMR 8520-IEMN, F-59000 Lille, FRANCE – IEMN 8520 – France

² GREENOV-ITES – GREENOV-ITES, 1 rue de la Noé, 44300 NANTES, FRANCE – France

³ JUNIA – Université Catholique de Lille – France

Le bruit généré par les activités maritimes est une préoccupation importante en raison de son impact sur les espèces marines. Pour atténuer ces nuisances sonores, la conception de métamatériaux acoustiques offre une solution prometteuse. Ces matériaux peuvent modifier les propriétés de propagation des ondes acoustiques, offrant ainsi la possibilité de contrôler et de réduire le bruit rayonné dans l'eau. La caractérisation des modes de propagation dans les métamatériaux acoustiques et l'évaluation des performances de systèmes finis sont donc des étapes essentielles pour accélérer le développement de solutions de réduction du bruit sous-marin efficaces. Dans cette étude, nous étudions théoriquement les modes de propagation dans des réseaux périodiques en s'appuyant sur la formulation par éléments finis de l'équation de propagation sonore dans les réseaux périodiques (i.e. cristaux phononiques). Pour cela, le problème des valeurs propres est résolu en imposant une fréquence a priori réelle et en calculant le nombre d'onde complexe associé dans le cas d'un réseau périodique d'inclusions solides (avec des pertes) immergées dans un milieu fluide. Cette méthode de résolution permet également l'étude de géométries plus complexes. Elle autorise en outre le rapprochement des courbes de dispersion calculées à fréquences réelles avec les courbes de pertes par transmission de cristaux phononiques, afin d'évaluer la réduction du bruit. Nous abordons par la suite l'évaluation des performances en transmission d'un réseau de résonateurs immergés (tubes). L'objectif est de maximiser la réduction de bruit sur une gamme de fréquence définie en s'appuyant sur les résonances des tubes, les interactions par champ proche entre résonateurs, et des phénomènes de périodicité. Pour cela, le problème en transmission est résolu par éléments finis et optimisé à l'aide d'un algorithme génétique élitiste.

^{*}Intervenant

Qualification et application du nouveau bassin d'essais acoustique JUNIA

Thomas Humbert * ¹, Clément Larcade ², Florian Allein ³, Monique Pouille ⁴

¹ JUNIA – Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, Junia, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, UMR 8520
- IEMN – Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie, F-59000 Lille, France –
France

² Acoustique - IEMN – Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, Junia, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, UMR 8520 - IEMN – Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie, F-59000 Lille, France – Groupe Acoustique - (Acoustic Group) - JUNIA - 41 Bd Vauban - 59800 LILLE, France

³ JUNIA – Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, Junia, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, UMR 8520
- IEMN – Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie, F-59000 Lille, France –
France

⁴ JUNIA – Univ. Lille, CNRS, Centrale Lille, Junia, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, UMR 8520
- IEMN – Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie, F-59000 Lille, France –
France

Les mesures en acoustique sous-marine sont indispensables entre autres pour: - la caractérisation de sources - la caractérisation d'hydrophones - l'étude expérimentale de structures composites / complexes immergées destinées à réduire le bruit anthropique ou répondre à des enjeux de furtivité et de discrétion acoustique.

Avant de passer à des mesures dans des conditions " réelles " in situ (en mer), les mesures en bassin d'essais acoustiques offrent une première évaluation des performances du système, à coût " modéré " et dans un environnement contrôlé.

Le nouveau bassin acoustique (8m x 6m x 7m) de JUNIA, localisé à Lille, permet ce type de mesures, à la fois pour la recherche, l'enseignement et la prestation industrielle.

Dans un premier temps, la qualification de ce nouveau moyen d'essais sera présentée, en particulier la mesure du niveau de bruit et du temps de réverbération. Ensuite, les méthodes de mesures pratiquées seront décrites, telles que la mesure de puissance, la calibration d'hydrophone, ou la méthode 5 points pour la caractérisation de panneaux absorbants immergés. Finalement, des résultats seront présentés, de même que des perspectives de recherche.

*Intervenant

Transparence acoustique de structures composites pour applications sous marines à basses et hautes fréquences

Cheick Tiendrebeogo ¹, Laetitia Roux ², Olivier Poncelet ^{* 3}

¹ Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M) – Université de Bordeaux (Bordeaux, France) – France

² Naval Group – Naval Group – France

³ Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M) – Université de Bordeaux (Bordeaux, France) – France

Les structures composites sont de plus en plus utilisées sur les plateformes navales pour leur propriétés mécaniques et elles sont souvent considérées comme "acoustiquement transparentes" en eau. Cependant, des essais récents ont montré que ce n'était pas le cas, surtout vers les hautes fréquences. De nombreux paramètres peuvent affecter la transparence des fenêtres acoustiques, tels que la composition de la structure composite utilisée, sa géométrie (parties planes ou courbes), ainsi que les paramètres acoustiques des ondes elles-mêmes (fréquence, incidence).

L'objet de cette présentation est de faire une première analyse qualitative et quantitative sur des configurations planes multicouches anisotropes pour lesquelles il est possible de dégager les grandes tendances et de détecter les zones paramétriques de vigilance pour lesquelles une chute (amplitude) ou un biais (phase) de transparence sont escomptés.

Un code semi-analytique dédié a été conçu pour un calcul rapide des coefficients de réflexion et transmission pour une gamme de fréquences et d'incidences sans limite. Le formalisme du vecteur d'état (formalisme de *Stroh*) pour l'élasticité anisotrope a été utilisé avec une implémentation de type *scattering matrix* pour une stabilité numérique inconditionnelle et des nouvelles perspectives de fonctionnalités du code.

Des cartes "fréquence-incidence" de transparence acoustique pour différentes classes de composites typiques de celles utilisées sur bâtiments ou dispositifs sont obtenues avec :

- une gamme de fréquence de 3 à 400 kHz ;
- une plage d'incidences de 0° à 90° ;
- des composites (épaisseur centimétrique) avec une rigidité plus ou moins forte dans le plan de l'empilement et des arrangements multicouches variables.

Les premières analyses montrent un très fort rôle des premier et dernier angles critiques des structures, qui ont une influence à la fois aux incidences quasi normales ainsi qu'aux grandes incidences (zones d'opacité). Certains composites peuvent aussi exhiber une variation substantielle de transparence avec l'angle azimutale de l'incidence.

*Intervenant

Mesures et simulations acoustiques au Grand Tunnel Hydrodynamique de DGA Th

Benoit Leclerc * ¹, Ryan Alexandre Baccouche *

1

¹ DGA Techniques hydrodynamiques – Direction générale de l’armement [France] – France

Le Grand Tunnel Hydrodynamique (GTH) de la DGA Techniques Hydrodynamiques constitue un moyen expérimental unique pour l’étude des systèmes propulsifs marins. Sa grande veine permet la réalisation d’essais sur maquettes de bateaux et de sous-marins afin de caractériser différents phénomènes liés au propulseur : cavitation, performances propulsives, efforts fluctuants, mais aussi aspects acoustiques liés aux écoulements. Ces mesures expérimentales offrent des données de référence indispensables pour la compréhension et l’optimisation du comportement des propulseurs en conditions représentatives.

En complément, une chaîne numérique vibro-acoustique a été développée, basée sur des calculs hydrodynamiques et le code éléments finis Actran. L’objectif est de construire une véritable maquette numérique du GTH, afin de confronter simulations et essais, et de valider les approches de modélisation. Dans cette étude, la méthodologie est appliquée à une pompe-hélice à l’échelle modèle, installée sur une maquette de sous-marin dans la grande veine du tunnel.

La modélisation numérique poursuit trois objectifs principaux : visualiser la propagation acoustique dans la veine pour identifier les emplacements optimaux d’instrumentation et de dispositifs d’absorption ; tester et comparer différents traitements acoustiques entre simulation et expérience ; confronter directement les niveaux vibro-acoustiques calculés aux mesures, pour fiabiliser les prédictions et améliorer la compréhension physique.

*Intervenant

Caractérisation dynamique des sources hydrauliques

Fabien Chevillotte * ¹, Goran Pavić *

2

¹ Matelys - Research Lab – Matelys - Research Lab – France

² Laboratoire Vibrations Acoustique – Institut National des Sciences Appliquées de Lyon – France

A la différence des sources aériennes, les sources hydrauliques comme des pompes sont fortement couplées au circuit auquel elles sont raccordées. Ceci implique que la mesure de pression injectée dans un circuit donné ne suffit pas à caractériser ce type de source. Cette présentation mettra en avant l'influence du couplage entre la source et le circuit ainsi qu'une méthode de caractérisation de données intrinsèques de la source, sa pression bloquée et son impédance. La méthode utilise le principe des charges multiples pour identifier la pression et l'impédance de la source par une procédure inverse. Le banc d'essai permet de modifier la charge d'impédance sans affecter le débit. Des exemples de mesures sont présentés pour illustrer l'utilisation de cette méthode pour caractériser les pompes à eau ou à huile.

*Intervenant

Technologie DAS pour la protection des infrastructures critiques immergées

Arnaud Peigne * ¹, Guillaume Arpison ¹, Armelle Keiser ², Jérôme Vernier ¹, Benoit De Cacqueray ¹, Thomas Leissing ¹, Marie Gehant ¹

¹ Thales DMS France, SAS – Champ vide – France

² Thales DMS France, SAS – Champ vide – France

La technologie DAS (Distributed Acoustic Sensing) offre de nouvelles perspectives dans le domaine de la détection acoustique sous-marine. Elle s'appuie sur la mesure du champ optique rétrodiffusé dans la fibre optique afin d'extraire, sur toute sa longueur, l'évolution de sa phase au cours du temps (linéairement reliée à son taux de déformation). Plus particulièrement, on s'intéresse ici au potentiel du DAS pour la protection des infrastructures critiques immergées ou CUI (Critical Undersea Infrastructures) tels que les câbles sous-marins de télécommunications ou d'énergie. Après avoir exposé les principaux enjeux, nous détaillerons la démarche mise en place à Thales DMS. Celle-ci s'appuie en particulier sur la maîtrise de la réponse instrumentale, les traitements ainsi que l'exploitation.

*Intervenant

Influence de la régularisation pour la quantification de points chauds par holographie acoustique champ proche (NAH)

Tomé Sadones-Oldakowski * ¹, Sandrine T. Rakotonarivo ¹, Emmanuel Perrey-Debain ², Florian Hugues ³, Jean-Daniel Chazot ², Vincent Roggerone ¹, Valentin Meyer ³

¹ Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique [Marseille] – Aix Marseille Université, Ecole Centrale de Marseille, Centre National de la Recherche Scientifique, Aix Marseille Université : UMR7031, Ecole Centrale de Marseille : UMR7031, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7031 – France

² Roberval – Université de Technologie de Compiègne – France

³ Naval Group – Naval Group Ollioules – France

L'évaluation du bruit rayonné des structures immergées par l'imagerie acoustique constitue un besoin important pour la maîtrise de la signature acoustique des plateformes navales.

L'holographie acoustique est une méthode expérimentale d'imagerie qui permet de reconstruire le rayonnement acoustique et le comportement vibratoire des coques des navires. L'apparition des "points chauds", qui rayonnent efficacement du bruit dans l'eau, peut être surveillée par l'indicateur "intensité acoustique supersonique". Ce dernier fournit un moyen quantitatif pour localiser et classer la contribution relative des points chauds vis-à-vis de la puissance totale rayonnée en supprimant les composantes non rayonnantes de l'intensité du champ proche.

Cette étude analyse l'influence de la régularisation de Tikhonov et du choix du paramètre associé sur la qualité de la reconstruction du champ de pression appliqué pour l'indicateur intensité supersonique par la méthode classique NAH (Near-field Acoustic Holography) à partir de la mesure de la pression en champ proche. Deux méthodes de sélection de ce paramètre, la Generalized Cross Validation (GCV) et la courbe en L, sont testées en simulation afin d'étudier leurs performances, en déterminant et en analysant les erreurs relatives de prédiction par rapport au champ théorique.

Une validation expérimentale sur le cas académique de la plaque en air est réalisée dans le but de corroborer les résultats obtenus par la simulation.

*Intervenant

Réflexions des ondes acoustiques dans des canyons sous-marins : nouvelles perspectives

Cristini Paul ^{*} ¹, Nathalie Favretto Cristini ¹, Bjørn Ursin ²

¹ Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique [Marseille] – Aix Marseille Université, Ecole Centrale de Marseille, Centre National de la Recherche Scientifique, Aix Marseille Université : UMR7031, Ecole Centrale de Marseille : UMR7031, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7031 – France

² NTNU, Department of Electrical Engineering [Trondheim] – Norvège

Dans ce travail, nous présentons une étude des réflexions d'ondes acoustiques sur un fond marin présentant une interface de type canyon. Nous illustrons et montrons numériquement, en 3D et pour différentes courbures de canyon, la présence d'ondes particulières (canyon waves ou prism waves en anglais) issues de réflexions multiples à l'intérieur du canyons susceptible de perturber les algorithmes d'imagerie. Au-delà des ondes d'ordre 2 (double réflexion à l'intérieur du canyon) qui ont largement été étudiées dans la littérature en géophysique, nous montrons la possibilité d'avoir des canyon waves du troisième ordre, correspondant à des ondes triplement réfléchies dans le canyon dont le mécanisme de génération est différent de celui des ondes d'ordre 2. De manière générale, nous montrons que l'on peut étendre les résultats obtenus avec les ondes d'ordre 2 et 3 en prédisant la structure d'ondes de type canyon d'ordres pair et d'ordre impair. Nous montrons également, que conformément aux résultats que nous avons publiés, la caustique liée à la réflexion primaire, se produit à l'emplacement prévu par la théorie des rayons. Les résultats présentés s'appuieront sur des animations réalisées avec le logiciel co-développé au LMA: SPECFEM.

*Intervenant

Étude vibratoire de panneaux immergés à l'aide d'un vibromètre laser monopoint étanche

Clément Larcade ^{* 1}, Florian Allein ¹, Thomas Humbert ¹, Monique Pouille ¹, Laetitia Roux ², Charles Croënne ¹, Anne-Christine Hladky-Hennion ³

¹ Univ. Lille, CNRS, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, Junia, UMR 8520 - IEMN, F-59000 Lille, France – Naval Group – France

² Naval Group, 199 Avenue Pierre-Gilles de Gennes, 83190 Ollioules, France – Naval Group Ollioules – France

³ Univ. Lille, CNRS, Univ. Polytechnique Hauts-de-France, Junia, UMR 8520 - IEMN, F-59000 Lille, France – Naval Group – France

L'application des méta-matériaux périodiques en acoustique sous-marine est un sujet d'importance majeure en lien avec les problématiques de discrétion, de furtivité et de réduction du bruit anthropique. En simulation, les panneaux sont étudiés en utilisant les propriétés de périodicité (conditions de Block-Floquet), rendant le matériau de largeur infinie. En pratique, les panneaux sont découpés en dalles de taille réduite pour s'adapter à la géométrie complexe de l'installation. Ces dalles sont ensuite assemblées sur le navire ou l'installation à couvrir. L'impact de ces découpes sur la réponse vibro-acoustique de ces panneaux reste encore à étudier. L'utilisation de la vibrométrie laser, largement répandue en vibro-acoustique aérienne semble prometteuse pour étudier les effets du découpage sur la réponse vibratoire de panneaux immergés. L'environnement sous-marin amène cependant de nouvelles complications comme l'atténuation plus importante du laser de mesure, l'étanchéité des matériels de mesure, ou la présence de particules résiduelles pouvant affecter la propagation du rayon. Afin de répondre à ces questions et réaliser des caractérisations vibratoires de panneaux acoustiques immergés, les performances d'un vibromètre laser étanche sont étudiées dans un environnement simplifié (aquarium). Elles sont comparées à celles obtenues par un vibromètre laser classique non étanche à travers la paroi. L'installation est d'abord faite pour mesurer une cible en air par les deux vibromètres, puis elle est complexifiée pour permettre une mesure vibratoire d'une cible immergée. Les résultats obtenus permettent de mettre en évidence les limites du matériel de mesure tout en permettant d'identifier des conditions propices à la mesure. Ces résultats permettent maintenant d'envisager une utilisation du vibromètre étanche dans un bassin ouvert de grande taille pour l'étude de l'influence de la découpe de panneaux acoustiques destinés à des applications en acoustique sous-marine.

*Intervenant

Proposition de cas tests représentatifs des problématiques d'index de cible pour des sous-marins

Louis Kovalevsky ^{*} ¹, Gilles Serre ²

¹ Dassault Systemes – Espagne

² Naval Group – Naval Group – France

La réflexion d'une onde acoustique sur une cible dépend de sa taille, de sa forme et de sa transparence acoustique. L'indice de cible de différentes formes simples et rigides est accessible analytiquement, en fonction de l'angle d'incidence du son. Pour des formes plus complexes ou non rigides, il peut être approximé en combinant ceux de formes simples, mais ces approximations ne sont pas toujours suffisantes selon les besoins industriels.

Dans ce papier, les auteurs proposent une famille de cas-tests représentant toute la complexité physique du problème d'indice de cible pour un concepteur de sous-marin. Tous les paramètres ont été choisis pour être représentatifs du problème réel: tailles, matériaux, fréquences, réflexions internes multiples, réflexions externes multiples, diffractions multiples, transparence, structures périodiques...

Un outil de simulation vibro-acoustique commercial est ensuite utilisé pour illustrer les différentes difficultés à relever. Différents résultats sont présentés pour expliquer la physique en jeu et l'importance de certains détails du cas-test. Chaque fois, une vérification croisée est effectuée afin de vérifier le résultat en utilisant au moins deux méthodes numériques. L'objectif de l'exercice est de démontrer la pertinence du cas-test proposé.

*Intervenant

Diagnostic vibro-acoustique de la veine hydrodynamique du LUSAC

Margaux Regniez ^{* 1}, Benjamin Soyer ¹, Alina Santa-Cruz ², Alban Jagueneau ³, Jean-Baptiste Chassang ³, Julien Poittevin ³, Jean-Max Sanchez ³, Sylvain Guillou ⁴

¹ Naval Group – Naval Group – France

² Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg – Université de Caen Normandie, Université de Caen Normandie : UR4253 – France

³ Naval Group – Naval Group – France

⁴ Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg – Université de Caen Normandie, Université de Caen Normandie : UR4253, Université de Caen Normandie – France

Le Laboratoire Universitaire des Sciences Appliquées de Cherbourg (LUSAC) a dimensionné et construit une veine hydrodynamique dans le but de réaliser des essais sur des maquettes d'hydroliennes ou d'objets immergés. Un tel système pourrait également permettre d'étudier le comportement vibroacoustique d'éléments de structures extérieures de navires à échelle réduite, voire le comportement hydroacoustique de singularités de coque dans un écoulement. Il existe peu de moyens d'essais de ce type en France, on citera le Grand Tunnel Hydrodynamique (GTH) de la Direction Générale de l'Armement (DGA) et le tunnel hydrodynamique de l'Institut de Recherche d'Etudes Navales (IRENAV). Les travaux de la présente étude visent à caractériser le comportement vibroacoustique de la veine du LUSAC lorsqu'elle est au repos et en écoulement. Ceci dans le but de connaître le bruit de fond atteint lors de son fonctionnement à différentes vitesses de fluide. En effet, l'écoulement peut exciter les parois de la veine et générer des vibrations qui se transmettent dans l'ensemble du système, voire rayonner du bruit à l'extérieur. Par ailleurs, il faut connaître le découplage d'un tel système par rapport à son environnement : des vibrations parasites peuvent-elles être transmises de la salle de mesure au support voire à la veine elle-même ? De la même manière, il faut s'assurer que le moteur et la pompe qui permettent l'établissement de l'écoulement dans la veine ne perturbent pas les mesures. Pour ce faire, un modèle éléments finis vibroacoustique est mis en place. Plusieurs essais sont menés pour, à la fois valider ce modèle, caractériser l'environnement dans lequel la veine est placée et évaluer le bruit de fond dans la zone de mesure. Pour cette dernière tâche, des post-traitements particuliers sont mis en oeuvre pour discriminer les différentes contributions de bruit. Remerciements : Mohammad Al-Jawad ALAWIEH, Robin COTTEBRUNE

*Intervenant

Mise en place d'un dispositif expérimental pour l'étude de la réponse transitoire d'une plaque semi-immergée

Quentin Guyomard ¹, Philippe Zelmar * ¹, Valentin Meyer ², Florent Dumortier ², Laurent Maxit ³, Bruno Morvan ¹

¹ LOMC, UMR 62 Université Le Havre Normandie, Normandie Univ, 76600 Le Havre, France – CNRS – France

² 199 av. Pierre-Gilles de Gennes, 83190 Ollioules – Naval Group Ollioules – France

³ INSA Lyon, Laboratoire Vibrations-Acoustique (LVA), UR677, Villeurbanne, 69621, France – CNRS – France

De manière générale, le bruit peut être classé en deux catégories : stationnaire ou transitoire, donnant lieu à des critères différents pour évaluer son impact. Une des solutions de réduction de bruit pour les structures navales consiste à appliquer un revêtement acoustique sur la face en eau des coques, afin de diminuer le couplage entre coque et le fluide environnant. Si les vibrations et le rayonnement acoustique d'une structure immergée en régime harmonique ont déjà été beaucoup étudiés, le cas de structures immergées soumises à une excitation transitoire a été moins largement abordé (1).

Nous présentons le dispositif expérimental réalisé afin d'étudier le comportement d'une structure immergée soumise à une excitation transitoire. La structure étudiée est une plaque chargée en eau d'un côté, et munie d'un revêtement acoustique de ce même côté. Une attention particulière est portée sur la conception et la mise en œuvre d'une source permettant une excitation impulsionnelle contrôlée et large bande fréquentielle. Le dispositif présenté permet non seulement le suivi de la propagation des ondes guidées sur la structure, via des mesures par vibrométrie laser, mais également la caractérisation du champ acoustique rayonné dans le fluide via hydrophone en réponse à une excitation contrôlée (0-10kHz).

Ces travaux ont été réalisés et financés dans le cadre du réseau thématique industriel sur la Modélisation et l'Optimisation vibro-hydro-Acoustique des systèmes Navals (RTI MOANA).

(1) Scherrer, R. (2015). *Analyse du comportement vibro-acoustique de structures immergées excitées par des sources transitoires* (Doctoral dissertation, INSA de Lyon).

*Intervenant

Cartographie de la pollution sonore sous marine en manche orientale : objectifs et premiers résultats

Simon Bernard * ¹, Muhammad Saladin Prawirasasra ¹, Astrid Tardieu ¹,
Fernand Léon ¹, Aurélie Jolivet ², Laurent Dubroca ³, Julien Normand ³

¹ LOMC CNRS UMR6294 – Laboratoire LOMC, CNRS UMR 6294, Université Le Havre Normandie, 76058 Le Havre, France – France

² TBM Environnement, 5 rue de l'Europe, 56400 Plougoumelen – entreprise privé – France

³ Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer – Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER), Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER - IFREMER – France

La baie de Seine est l'une des zones maritimes les plus anthropisées au monde. De multiples usages de la mer s'y côtoient : trafic maritime intense, pêche, extraction de sédiments marins, déminage, aménagement portuaire et côtier, et depuis peu l'installation de parcs éoliens en mer. Toutes ces activités sont sources de bruits sous-marins, continus ou impulsionnels, à des niveaux parfois très élevés. Toutefois, aucun état des lieux quantitatif complet de la pollution sonore sous-marine en Manche n'existe à l'heure actuelle. D'autre part, les effets du bruit sur les espèces les plus pêchées dans la région (coquille Saint-Jacques et bulot) sont relativement mal connus.

Le projet EBESCO (**E**ffets du **B**ruit sous-marin sur les **E**Spèces à intérêt **C**ommercial) se propose dans un premier temps de développer une cartographie du bruit sous-marin en Manche orientale, basé sur des modèles numériques de propagation prenant en compte les caractéristiques hydrographiques du milieu et sur un inventaire des sources reposant principalement sur des bases de données publiques. Dans un second temps, cette cartographie sera croisée à des cartographies de distribution des espèces, permettant d'identifier des zones à risque d'impact acoustique. Ces impacts de la pollution sonore sur les espèces sélectionnées seront également quantifiés par des observations directes (expériences *in situ* sur le bulot) et indirectes (relevé du taux de croissance journalier des coquilles Saint-Jacques).

Dans cette présentation nous exposerons le contexte et les objectifs de ce projet. Nous détaillerons le cadre de travail mis en œuvre pour la cartographie du bruit sous-marin et présenterons quelques premiers résultats, notamment concernant la quantification du bruit du vent, source naturelle à laquelle doivent se comparer les sources anthropiques.

*Intervenant

Bruit sous-marin : tour d’horizon des enjeux & solutions

Eric Baudin * ¹

¹ Bureau Veritas – Entreprise privée – France

En charge du développement des activités et règlements liés à la protection de la biodiversité et en particulier du bruit sous-marin et de son impact sur l’environnement marin, Eric BAUDIN nous propose un tour d’horizon du sujet vu de l’angle d’une société de classification de navires, Bureau Veritas. Les enjeux réglementaires, techniques et économiques sont mis en regard du contexte actuel et de l’état des connaissances et des solutions d’évaluation et de réduction du bruit sous-marin aujourd’hui disponibles pour les parties prenantes. Le rôle de Bureau Veritas dans les différentes instances de régulation comme dans les projets de recherche sont abordés, les problématiques, reflets instantanés des exigences et besoins des armateurs, chantiers navals et autres opérateurs de navire sont explicités. Les solutions techniques et méthodologiques récemment étudiées et validées dans le projet européen SATURN sont présentées.

*Intervenant

Acoustique sous-marine ultra-basse-fréquence à partir des observatoires sismiques fond-de-mer

Samuel Pinson ^{*} ¹, Jean Lecoulant ¹, Baptiste Menetrier ¹, Valérie Labat ¹,
Bazile Kinda ², Abdel Boudraa ¹

¹ Institut de Recherche de l'Ecole Navale – IRENav – France

² DGA TN – Direction générale de l'Armement (DGA) – France

Les observatoires sismiques fond-de-mer (OBS pour Ocean Bottom Seismometer) permettent d'appréhender l'environnement sonore sous-marin en ultra-basses fréquences (UBF) grâce à leur capteur vectoriel (information de pression et de vitesse particulière). L'étude dans le plan temps-fréquence de leurs enregistrements permet de faire apparaître les motifs temps-fréquence qui sont caractéristiques des sources sonores présentes dans l'océan. En particulier, le suivi de navires grâce à ces OBS est un sujet d'intérêt croissant. En effet, dans un spectrogramme à haute résolution fréquentielle (durée d'observation élevée), on peut distinguer aisément les raies de plusieurs navires en simultané. De plus, des méthodes d'azimétrie permettent d'obtenir les directions d'arrivées des raies fréquentielles à partir des signaux de pressions et de vitesses particulières. Il est donc possible de localiser des navires par triangulation. Toutefois il existe toujours des verrous scientifique pour l'utilisation de réseaux d'OBS en traitement multicapteurs. En effet, les grandes distances séparant les différents OBS composant un réseau impliquent des effets Doppler différentiels qu'il faut compenser pour inter-corréler leurs signaux afin d'obtenir des différences de temps d'arrivées. Des avancées sur les intercorrélations de signaux stationnaires avec présence d'effet Doppler différentiel seront présentées en s'appuyant sur un modèle UBF de bruit de bateau.

*Intervenant

Liste des auteurs

Allein, Florian, 8, 9, 16
Amandolese, Xavier, 3
ARPISON, Guillaume, 13

BACCOUCHE, Ryan Alexandre, 11
Bailly, Christophe, 6
Baudin, Eric, 21
Benjamin, André, 7
Bernard, Simon, 20
Boudraa, Abdel, 22

Chassang, Jean-Baptiste, 18
Chati, Farid, 4
Chazot, Jean-Daniel, 14
Chevillotte, Fabien, 12
Cotté, Benjamin, 2
Croënné, Charles, 8, 16

DE CACQUERAY, Benoit, 13
Dubroca, Laurent, 20
DUMORTIER, Florent, 19
Dupont, Jean-Baptiste, 7
Dutto, Patrick, 4

Favretto Cristini, Nathalie, 15

Gaumain, Cyril, 7
GEHANT, Marie, 13
GIRAUD-AUDINE, Christophe, 3
GRONDEAU, Mikael, 6
GUILLOU, Sylvain, 6
Guillou, Sylvain, 18
GUYOMARD, Quentin, 19

Haudeville, Arthur, 3
Hladky-Hennion, Anne-Christine, 8, 16
Hugues, Florian, 14
Humbert, Thomas, 9, 16

Jagueneau, Alban, 18
JEGO, Laurie, 6
Jolivet, Aurélie, 20
Jung, Matthieu, 5

Keiser, Armelle, 13
KESSLER, Juliette, 8

KINDA, Bazile, 22
Kovalevsky, Louis, 17

Labat, Valérie, 22
Larcade, Clément, 9, 16
Lavanant, Romain, 2
LECLERC, Benoit, 11
Lecoulant, Jean, 22
LEISSING, Thomas, 13
LEON, FERNAND, 4
Lossouarn, Boris, 3
Léon, Fernand, 20

Margaux, Régniez, 6
MAXIT, Laurent, 19
Maxit, Laurent, 4
Menetrier, Baptiste, 22
Mercier, Jean-François, 2
Meteyer, Erwan, 8
Meyer, Valentin, 4, 14, 19
Morvan, Bruno, 19

Normand, Julien, 20

Paul, Cristini, 15
Pavić, Goran, 12
PEIGNE, Arnaud, 13
Perrey-Debain, Emmanuel, 14
Pinson, Samuel, 22
Plouseau-Guédé, Xavier, 4
Poittevin, Julien, 7, 18
PONCELET, Olivier, 10
POUILLE, Monique, 9
Pouille, Monique, 16
Prawirasasra, Muhammad Saladin, 20

Rakotonarivo, Sandrine T., 14
Regniez, Margaux, 18
Roggerone, Vincent, 14
Roux, Laetitia, 10, 16

SADONES-OLDAKOWSKI, Tomé, 14
SANCHEZ, Jean-MAX, 6, 18
Santa-Cruz, Alina, 18
SERRE, GILLES, 2, 17

Soyer, Benjamin, 18

Tardieu, Astrid, 20

Thomas, Olivier, 3

TIENDREBEOGO, Cheick, 10

Ursin, Bjørn, 15

VERNIER, Jérôme, 13

ZELMAR, Philippe, 19

Avec le soutien de :



Sponsors exposants:



SIEMENS

