

Marseille **2019**



Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique  
Marseille

24-25 Octobre 2019

## PROGRAMME



## Partenaires



**SIEMENS**

*Ingenuity for life*



**HEXAGON**



# Jeudi 24 Octobre

## 09:30 – 10:00 Café/ Accueil des exposants

10:00 – 10:15 Accueil / Introduction

10:15 – 11:00 Conférence invitée : L'acoustique géométrique dans les océans avec variations en 3D par tir de faisceaux. *Mike Porter*, HLS Research, San Diego, USA en collaboration avec Laurel J. Henderson, and John Peterson Heat, Light, and Sound Research San Diego, U.S.A. et Tim Duda, Arthur Newhall, Peter Traykovski Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, U.S.A.

### Session 1: Acoustique sous-marine, propagation et impact environnemental – Chair- *Nathalie Favretto-Cristini*

11:00 – 11:20 Simulation numérique de la propagation d'ondes en acoustique sous-marine: quelques développements récents réalisés au LMA. *Paul Cristini*

11:20 – 11:40 Seismo-acoustic wave propagation in the Rade of Hyères (France) generated by counter-mining of explosive devices: comparison between numerical simulations and real experiments, *Fang Wang*, *Nathalie Favretto -Cristini*, *Paul Cristini*, *Thierry Garlan*, *Xavier Demoulin*, *Olivier Morio*, *Anne Deschamps*, *David Ambrois*, *Eric Beucler*

11:40 – 12:00 Simulation numérique pour l'optimisation du rayonnement d'une source acoustique sous-marine pour l'industrie sismique, *Jean-Baptiste Dupont* et *Benoît Teyssandier*.

### Session 2a : Diffusion par des cibles et furtivité – Chair- *Nathalie Favretto-Cristini*

12:00 – 12:20 Imagerie d'objets enfouis, possibilités et limitations, *Manell Zakharia*

## 12:20 – 13 :40 Dejeuner : Buffet

Présentations des exposants

13:40 – 13:55 COMSOL

13:55 – 14:10 Hexagon FFT

14:10 – 14:25 DASSAULT

### Session 2b: Diffusion par des cibles et furtivité– Chair- *Nathalie Favretto-Cristini*

14:25 – 14:45 Etude du rayonnement acoustique d'une coque cylindrique immergée située près de la surface, *André Benjamin* et *Valentin Meyer*.

14:45 – 15:05 Métamatériaux à résonances dipolaires locales pour la furtivité sous-marine, *Quentin Baudis*, *Tony Valier-Brasier* et *Regis Wunenburger*.

15:05 – 15:25 Design et fabrication de métamatériaux souples comme solutions pour des revêtements acoustiques en acoustique sous-marine, *Thomas Brunet*, *Romain Poupard*, *Olivier Poncelet*, *Christophe Aristégui* et *Olivier Mondain-Monval*.

15:25 – 15:45 Effect of hydrostatic pressure on a bubble anechoic metascreen and applications, *Thieury Margaux*, *Valentin Leroy*, *Arnaud Tourin* et *Jean Dassé*.

## 15:45 – 16:15 Pause café

### Session 3: Bio acoustique– Chair- *Paul Cristini*

16:15 – 16:35 *Sphyrna Odyssey* : ASVs with 5 hydrophone antennas for 3D cetacean survey, *Herve Glotin*, *Marion Poupard*, *Maxence Ferrari*, *Paul Best* et *Fabien De Varenne*.

### Session 4a: Vibroacoustique, bruit rayonné, bruit hydrodynamique et de cavitation– Chair- *Valentin Meyer*

16:35 – 16:55 Simulation vibro-acoustique en moyennes et basses fréquences, *Jean-Max Sanchez*, *Sylvain Couëdo* et *Jacques Marchesini*.

16:55 – 17:15 Étude expérimentale du bruit large bande d'un profil d'aile statique ou en oscillation, *David Raus*, *Benjamin Cotté*, *Romain Monchaux*, *Emmanuel Jondeau* et *Pascal Souchette*.

17:15 – 17:35 Nouvelle méthode large bande pour la modélisation du bruit et des vibrations transmises à travers des structures immergées, *Stéphane Caro* et *Louis Kovalevsky*.

20:00 – 22:30 **Repas en ville**

# Vendredi 25 Octobre

09:30 – 10:15 Conférence invitée : Les performances acoustiques des navires et les enjeux actuels de recherche.  
*Christian Audoly*, Naval Group en collaboration avec Ygaël Renou

**10:15 – 10:45**                    **Pause café**

Session 4b: Vibroacoustique, bruit rayonné, bruit hydrodynamique et de cavitation– Chair- *Gilles Serre*

10:45 – 10:55 Recherches en aéro- et hydro-acoustique à l'IMSIA, *Benjamin Cotté, Tommy Rigall et Chakshu Deora.*

10:55 – 11:15 Les mesures acoustiques au bassin ISEN LILLE, historique, développement et perspectives, *Monique Pouille et Christian Granger.*

11:15 – 11:35 Méthode de caractérisation de panneaux en bassin acoustique, *Laetitia Roux, Monique Pouille, Anne-Christine Hladky-Hennion et Christian Audoly.*

11:35 – 11:55 Méthode spectrale déclinée en géométries plane et cylindrique pour la modélisation vibro-acoustique de coques arbitrairement raidies d'extension finie, *Corentin Coguenanff.*

**11:55 – 13 :45**                    **Déjeuner : Buffet**

Présentations des exposants

13:45 – 14:00 INTES

14:00 – 14:15 ESI

14:15 – 14:30 SIEMENS

Session 4c: Vibroacoustique, bruit rayonné, bruit hydrodynamique et de cavitation– Chair- *Valentin Meyer*

14:30 – 14:50 Prise en compte de l'évolution spatiale des paramètres de couche limite dans les simulations vibroacoustiques par décomposition en zones, *Corentin Guillon*

14:50 – 15:10 Emissions de bruit à bord: Caractérisation numérique des sources et approche innovante de propagation, *Baudson Romain et Arnaud De Potter.*

15:10 - 15:30 Etude de l'impact de la fonction de Green sur les analogies acoustiques pour la prédiction du bruit large bande issu de l'interaction entre un écoulement turbulent et des bords de fuite et d'attaque, *Nicolas Trafny, Gilles Serre , Benjamin Cotté et Jean-François Mercier,*

15:30 – 15:50                    **Clôture**

# Table des matières

Beam tracing for 3D environments, Mike Porter [et al.] . . . . .	3
Les performances acoustiques des navires et les enjeux actuels de recherche, Audoly Christian [et al.] . . . . .	4
Imagerie d'objets enfouis, possibilités et limitations, Manell Zakharia . . . . .	5
Simulation numérique pour l'optimisation du rayonnement d'une source acoustique sous-marine pour l'industrie sismique, Jean-Baptiste Dupont [et al.] . . . . .	6
Seismo-acoustic wave propagation in the Rade of Hyères (France) generated by counter-mining of explosive devices: comparison between numerical simulations and real experiments, Fang Wang [et al.] . . . . .	7
Etude du rayonnement acoustique d'une coque cylindrique immergée située près de la surface, André Benjamin [et al.] . . . . .	9
Prise en compte de l'évolution spatiale des paramètres de couche limite dans les simulations vibroacoustiques par décomposition en zones, Corentin Guillon . . . . .	10
Simulation vibro-acoustique en moyennes et basses fréquences, Jean-Max Sanchez [et al.] . . . . .	11
Méthode de caractérisation de panneaux en bassin acoustique, Laetitia Roux [et al.]	12
Les mesures acoustiques au bassin ISEN LILLE, historique, développement et perspectives, Monique Pouille [et al.] . . . . .	13
Étude expérimentale du bruit large bande d'un profil d'aile statique ou en oscillation, David Raus [et al.] . . . . .	14
Emissions de bruit à bord: Caractérisation numérique des sources et approche innovante de propagation, Baudson Romain [et al.] . . . . .	15

Etude de l'impact de la fonction de Green sur les analogies acoustiques pour la prédiction du bruit large bande issu de l'interaction entre un écoulement turbulent et des bords de fuite et d'attaque, Nicolas Trafny [et al.] . . . . .	16
Métamatériaux à résonances dipolaires locales pour la furtivité sous-marine, Quentin Baudis [et al.] . . . . .	17
Design et fabrication de métamatériaux souples comme solutions pour des revêtements acoustiques en acoustique sous-marine, Thomas Brunet [et al.] . . . . .	18
Recherches en aéro- et hydro-acoustique à l'IMSIA, Benjamin Cotté [et al.] . . . . .	19
Effect of hydrostatic pressure on a bubble anechoic metascreen and applications, Thieury Margaux [et al.] . . . . .	20
Méthode spectrale déclinée en géométries plane et cylindrique pour la modélisation vibro-acoustique de coques arbitrairement raidies d'extension finie, Corentin Coguenanff . . . . .	22
Sphyrna Odyssey: ASVs with 5 hydrophone antennas for 3D cetacean survey, Herve Glotin [et al.] . . . . .	23
Nouvelle méthode large bande pour la modélisation du bruit et des vibrations transmises à travers des structures immergées, Stephane Caro [et al.] . . . . .	24
Simulation numérique de la propagation d'ondes en acoustique sous-marine: quelques développements récents réalisés au LMA, Paul Cristini . . . . .	25
<b>Liste des auteurs</b>	<b>25</b>

# Beam tracing for 3D environments

Mike Porter \*<sup>1</sup>, Laurel J. Henderson<sup>1</sup>, John Peterson<sup>1</sup>, Tim Duda<sup>2</sup>,  
Arthur Newhall<sup>2</sup>, Peter Traykovski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Heat, Light, and Sound Research - San Diego - USA

<sup>2</sup> Woods Hole Oceanographic Institution - Woods Hole - USA

Refraction and reflection in the latitude/longitude direction (as well as depth) affect sound propagation in certain environments. Nonlinear internal waves are an example of an oceanographic feature that can produce dramatic effects. Seamounts and continental slopes are examples of bathymetric features that can also matter. Still stronger features can be found in constrained spaces such as harbors; such an environment with its many reflecting boundaries scarcely resembles an open ocean scenario, which is often modeled as a cylindrically symmetric medium. One anticipates big effects as the sound rays bounce off both the bottom and the sidewalls — it is more like a problem in architectural acoustics.

To understand better these effects and to verify our capability to model them, we have begun an experimental program in which a variety of environments are being studied. The talk will report on the first site, which was in the old Quincy Shipyard of the Weymouth Fore River. The experiment was conducted on May 25, 2018 and as of this writing is still being analyzed. An extremely detailed bathymetric survey was done using an autonomous surface vehicle called a Jetyak. The Jetyak was also used to tow an acoustic source that was complemented by a source towed by another vessel. Chirps covering the 8-34 kHz band were used to measure the impulse response of the channel.

The key initial questions for this site: 1) are 3D effects important? 2) can we model them effectively? The acoustic modeling is being done with the BELLHOP3D beam-tracing code that has evolved in recent years into a fairly mature model. There are few alternatives as most ocean acoustic models assume outgoing waves and therefore cannot treat the reflections. We will discuss our conclusions in this presentation. (To be presented in English.)

---

\*Intervenant

# Les performances acoustiques des navires et les enjeux actuels de recherche

Audoly Christian <sup>\*</sup> , Renou Ygaal <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Naval Group Research – Naval Group Research – 199 avenue Pierre-Gilles de Gennes, 83190 Ollioules, France

A venir

---

<sup>\*</sup>Intervenant

# Imagerie d'objets enfouis, possibilités et limitations

Manell Zakharia \* <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ecole Navale – Direction du Développement des Partenariats – BCRM Brest - CC600 - 29240 Brest  
Cedex 9, France

Contrairement aux applications géophysiques et géotechniques, qui s'intéressent à une pénétration importante des ondes acoustiques et sismiques dans le sédiment (jusqu'à plusieurs kilomètres), l'imagerie du sous-sol pour la recherche d'objets enfouis s'intéresse à la couche superficielle (quelques mètres). Le compromis pénétration-résolution conduit à des gammes de fréquence de l'ordre de plusieurs kilohertz et une résolution de l'ordre d'une dizaine de centimètres. L'aspect dual (civil-militaire) des techniques d'imagerie est évident : détection de mines enfouies ou d'UXO ; détection de boulders, câbles ou pipelines ; archéologie sous-marine... Néanmoins, les conditions physiques de l'enfouissement ainsi que les contraintes opérationnelles sont très différentes : sédiments fluides ou consolidés, contraintes de fausse alarme et de détection, vitesse de couverture... Dans tous les cas, la présence de l'interface pose un « problème d'aveuglement du sonar » et les besoins conduisent nécessairement à une imagerie volumique (approches multifaisceaux et/ou tomographiques) et non à une imagerie de rugosité d'interface (comme en sonar latéral). Ils conduisent aussi à une contrainte de résolution élevée en basse fréquence (temporelle et angulaire). Deux principales approches sont alors envisageables : celles utilisant les ondes de volume et celles utilisant les ondes d'interface. Les ondes d'interface ont fait leur preuve en sismique terrestre, en détection de mines anti-personnelles et ont pu être validées sur des maquettes. Cependant, leur utilisation en mer reste peu courante du fait de la complexité de mise en œuvre des sources à haut rendement. Afin d'obtenir des ouvertures angulaires réduites en basse fréquence avec des ondes de volume, deux techniques concurrentes sont envisageables : les antennes synthétiques et les antennes paramétriques. Les deux permettent de casser le lien entre la taille de l'antenne physique et son ouverture angulaire. Chacune possède ses avantages et ses inconvénients : rendement, complexité de calcul, stabilité du porteur, défocalisation dans le sédiment... Nous montrerons que la combinaison des deux est possible et qu'elle peut être, en outre, utilisée afin de discriminer entre des objets enfouis et des objets sur l'interface eau-sédiment. Plusieurs résultats expérimentaux seront montrés en aérien comme en sous-marin. L'illustration de la combinaison des techniques paramétriques et synthétiques sera effectuée sur des UXO datant de la deuxième guerre mondiale en (Mer Baltique) : sonar latéral bi-bande (10 et 100 kHz, reconstitution tomographique d'UXO (SAS planaire)).

---

\*Intervenant

# Simulation numérique pour l'optimisation du rayonnement d'une source acoustique sous-marine pour l'industrie sismique

Jean-Baptiste Dupont \* <sup>1</sup>, Benoît Teyssandier <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vibratec (Vibrattec) – vibrattec – 28 Chemin Petit Bois - BP 36 - 69131 Ecully Cedex, France

<sup>2</sup> CGG – cgg – France

Qu'il s'agisse du carburant dans nos voitures, du chauffage dans nos maisons ou de nombreux process industriels, notre vie dépend en grande partie du pétrole et du gaz naturel. Ces énergies fossiles proviennent de gisements sous-terrain. C'est là que l'industrie sismique joue un rôle crucial : imager le sous-sol afin de déterminer l'emplacement et la taille de réservoirs où se trouvent pétrole et gaz. Lors d'une échographie et selon le standard actuel d'une acquisition sismique marine, une source impulsionnelle génère des ondes acoustiques dans la couche d'eau qui sont transmises dans le sous-sol. Les ondes sont réfléchies aux interfaces géologiques et sont enregistrées par des réseaux linéaires d'hydrophones habituellement remorqués par un navire. Au cours des 50 dernières années, les sources sismiques marines ont consisté en des réseaux de plusieurs canons à air synchronisés (sources d'énergie explosives) qui délivrent de manière constructive une impulsion brève et hautement énergétique. L'absence de répétabilité ou de contrôlabilité de la signature acoustique de la source, l'incapacité à produire de très basses fréquences (ce qui améliorerait la précision et la résolution de l'image) et l'impact sur la vie marine (soupçonné de nuire à la faune marine et en particulier aux mammifères marins) sont des raisons suffisantes pour développer des technologies plus respectueuses de l'environnement et plus efficaces pour trouver des gisements de pétrole et de gaz ou suivre les évolutions et changements des réservoirs avec le temps. L'alternative technologique proposée ici est une source harmonique nommée Vibrateur Marin (VM). Cette dernière possède une bande passante réduite, contrôlée et génère une pression acoustique d'amplitude bien plus faible que l'impulsion générée par une source sismique marine impulsionnelle (l'énergie émise est répartie dans le temps).

Cette contribution présente comment la simulation numérique vibroacoustique a permis d'accompagner le développement de cette nouvelle source alternative. La méthodologie utilisée s'appuie sur les éléments finis. Trois domaines sont considérés : la structure de la source en elle-même, l'air contenu à l'intérieur de la source et l'eau située en son voisinage. Ces trois domaines sont assemblés sous une hypothèse de couplage fort et le comportement vibroacoustique de la source en eau peut être estimé : réponse dynamique de la structure et rayonnement de la source (champ proche et champ lointain).

Les simulations permettent de mettre en évidence l'influence du comportement modal de la structure de la source, impactant la qualité de son rayonnement. L'optimisation du design de la structure permet alors d'en améliorer significativement les performances.

---

\*Intervenant

# Seismo-acoustic wave propagation in the Rade of Hyères (France) generated by counter-mining of explosive devices: comparison between numerical simulations and real experiments

Fang Wang <sup>\*</sup> <sup>1</sup>, Nathalie Favretto Cristini <sup>2</sup>, Paul Cristini <sup>1</sup>, Thierry Garlan <sup>3</sup>, Xavier Demoulin <sup>4</sup>, Olivier Morio <sup>5</sup>, Anne Deschamps <sup>6</sup>, David Ambrois <sup>7</sup>, Eric Beucler <sup>8</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique [Marseille] (LMA) – Aix Marseille Université : UPR7051, Ecole Centrale de Marseille : UPR7051, Centre National de la Recherche Scientifique : UPR7051 – CNRS - UPR 70514 impasse Nikola Tesla13453 Marseille Cedex 13, France

<sup>2</sup> Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique [Marseille] (LMA) – Aix Marseille Université : UMR7031, Ecole Centrale de Marseille : UMR7031, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR7031 – France

<sup>3</sup> Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) – Ministère de la Défense – 13 rue du Chatellier 29200 BREST, France

<sup>4</sup> MAREE – MAREE – France

<sup>5</sup> Service Hydrographique et Océanographique de la Marine – Ministère de la Défense – France

<sup>6</sup> Geoazur, UCA, Nice – CNRS – France

<sup>7</sup> Geoazur – University Côte d'Azur, Observatoire de la Cote d'Azur, Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS, Institut de Recherche pour le Développement - IRD (FRANCE) – Bât 1, 250 rue Albert Einstein Les Lucioles 1, Sophia Antipolis 06560 VALBONNE, France

<sup>8</sup> Laboratoire de Planétologie et Géodynamique de Nantes (LPGN) – Université de Nantes, Institut national des sciences de l'Université, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR6112, Institut national des sciences de l'Université, Institut national des sciences de l'Université – France

Explosive devices from World War II are discovered every week on the French coasts. In a short time after their discovery, they must be destroyed by the French Navy Mine Warfare Office. If the risks are well known by mine warfare experts, the consequences of counter-mining on the marine environment are much more complex to evaluate and expertise is then required. Depending on the environment geology, the explosive charges and their localization, the seismic waves generated by the explosion may cause damage to infrastructures located on the coast, and under specific conditions, small submarine landslides. The POSA project, led by Shom, and which includes LMA, Géoazur and LPG Nantes, focuses on the Mediterranean coast and proposes to address the upstream hazard management issue of such counter-mining operations in the marine field. The goal is to identify these risks for specific configurations and to develop a decision support tool for their control. The POSA project also contributes to civil research by improving the natural seismicity catalogs and allows the distinction between the anthropogenic part linked to the counter-mining of explosives and the natural part of regionally recorded micro-seismicity. It also allows a better knowledge of the propagation of seismic waves in the Earth's crust at the level of coastal strip, and therefore a better localization of natural seismicity, important for the recognition of active tectonic faults and seismic hazard. The originality of the POSA project

---

\*Intervenant

lies in the coupling between acoustic data measured on the seabed and coastal zone and seismic data recorded at sea and on the coast, together with sedimentary measurements.

First, from topographical and sedimentary measurements performed in the Grande Rade of Toulon and Rade of Hyères, physical and geometrical characteristics of the marine environment have been carefully selected in order to be input data for numerical simulations.

Then, real signals recorded by marine and land seismometers have been analyzed. The source time functions of explosions are estimated using signals recorded by near-source marine seismometers. The impact of the source variation, including charge and directivity, and the nature of rock and sediments underneath it, have been studied.

Finally, numerical simulations of wave propagation, from the source to several stations deployed on the coast of Toulon and Hyères and surrounding islands, have been carried out using the SPEC-FEM software package, which is based on the spectral-element method, with Perfectly-Matched Layers (PML) incorporated. The model construction and mesh is conducted with Trelis software. Influence of the thin sedimentary layers and of the water layers on the simulated signals has been studied according to the source characteristics. And the numerical results have been compared with the real signals recorded by the seismic stations during the counter-mining campaigns that took place in November 2016 and December 2018. The risks of land degradation and triggering of underwater avalanches have been evaluated afterwards.

# Etude du rayonnement acoustique d'une coque cylindrique immergée située près de la surface

André Benjamin <sup>\*</sup> , Valentin Meyer <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Naval Group Research – Naval Group Research – 199 avenue Pierre-Gilles de Gennes, 83190 Ollioules, France

Le comportement vibro-acoustique d'un véhicule sous-marin peut être décrit en utilisant un modèle de coque cylindrique immergée. Dans la plupart des cas, on considère que l'environnement est d'extension infinie, négligeant ainsi les éventuels effets du fond ou de la surface. Cependant, dans certaines situations opérationnelles, le véhicule sous-marin peut se situer près de la surface. On peut alors se demander dans cette situation si son comportement acoustique sera différent du cas de référence dans un milieu infini. Plusieurs facteurs peuvent avoir une influence sur le comportement vibro-acoustique : présence de réflexions multiples des ondes acoustiques avec la surface, couplage fort entre la coque et le fluide... Il est proposé dans cette étude d'aborder ce problème par deux approches : analytique et numérique. La surface libre (interface eau-air) et la réflexion qu'elle va induire seront modélisées par la méthode des " images ". Dans l'étude, il sera supposé que la réflexion est parfaite. Cette étude va permettre, à partir de la profondeur d'immersion et de la position de la coque, d'estimer le rayonnement acoustique de la structure cylindrique. Dans un premier temps, la source acoustique sera considérée comme étant un monopôle. Cette source est donc ponctuelle et rayonne de manière omnidirectionnelle. Cette première étape permettra d'étudier l'interaction purement acoustique entre la source réelle et la source image. Dans un second temps, nous présenterons un modèle numérique 2D basé sur la méthode des éléments finis. Ce modèle permettra d'étudier l'éventuel couplage fort entre la coque et la surface. Les deux modèles seront comparés et on montrera que la présence de la surface ne modifie que très faiblement le comportement vibratoire de la structure mais crée des interférences dans le champ acoustique.

---

\*Intervenant

# Prise en compte de l'évolution spatiale des paramètres de couche limite dans les simulations vibroacoustiques par décomposition en zones

Corentin Guillon \* <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Vibrations Acoustique – Institut National des Sciences Appliquées de Lyon – France

Les travaux présentés ont été réalisés au cours d'une thèse à financement DGA, dans le cadre de la conception de propulseurs silencieux pour les navires civils et militaires. L'intérêt est porté sur la modélisation du rayonnement acoustique des pales du propulseur soumises à un écoulement turbulent en phase de déplacement du navire.

Dans cette partie de l'étude, on se concentre plus particulièrement sur la prise en compte de l'évolution spatiale des paramètres de couche limite, entre le bord d'attaque de la pale, où la couche limite turbulente est immédiatement déclenchée, jusqu'au bord de fuite. Les modèles de pression pariétale disponibles actuellement dans la littérature sont donnés pour des couches limites homogènes qui ne dépendent que de la séparation entre deux points. Afin de prendre en compte une évolution de la couche limite dans les calculs vibroacoustiques, on s'intéresse à une approche consistant à découper artificiellement la surface excitée par la couche limite en plusieurs zones sur lesquelles on définira une couche limite localement homogène. La technique permet une formulation dans l'espace des nombres d'onde. Elle suppose néanmoins que les zones soient décorrélées entre elles. Les investigations menées sur une plaque plane suggèrent l'introduction d'un terme correctif afin de tenir compte des interactions entre zones et permettent d'avancer un critère pour un découpage adapté.

---

\*Intervenant

# Simulation vibro-acoustique en moyennes et basses fréquences

Jean-Max Sanchez <sup>1</sup>, Sylvain Couëdo <sup>2</sup>, Jacques Marchesini \* <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Naval Group – Warship Performance Department, – France

<sup>2</sup> Naval Group – Hull Structures Department – France

<sup>3</sup> INTES FRANCE – Support PERMAS – France

La maîtrise des vibrations et du comportement vibro-acoustique des sous-marins et des navires de surface est un défi majeur pour Naval Group. Les vibrations des structures peuvent générer des niveaux de bruit rayonné dans l'eau qui peuvent rendre les navires détectables. Il est donc important de les évaluer aussi précisément que possible sur une large gamme de fréquences. Les travaux menés par J. L. GUYADER [1] et B. PESEUX [2] décrivent des solutions analytiques sur le comportement vibratoire et vibro-acoustique de coques cylindriques immergées. Ces travaux servent de référence pour la comparaison avec les résultats des simulations numériques présentés dans ce papier.

De nos jours, la méthode des éléments finis (E.F.) est une des solutions possibles pour la simulation de la réponse vibro-acoustique des navires. Habituellement, les basses fréquences sont étudiées par superposition modale, pour laquelle, des effets de troncature modale peuvent fortement perturber les niveaux des réponses. Pour les fréquences moyennes, la forte densité modale qui en résulte rend difficile l'utilisation des modes. Les approches par intégration directe peuvent être alors considérées, mais elles restent coûteuses en temps de calcul.

Cette présentation met l'accent sur les conséquences de la prise en compte ou non des modes résiduels dans l'analyse dynamique couplée fluide / structure, ainsi que sur l'évaluation des performances et des méthodes de calcul incluant l'intégration directe.

L'effet d'une couche de matériau souple sur une coque cylindrique est étudié. Les résultats obtenus par simulation numérique sont comparés au modèle analytique [3].

Des exemples d'applications industrielles avec des modèles E.F. seront également présentés.

## Références :

[1] B. LAULAGNET and J. L. GUYADER. *Modal Analysis of a Shell's Acoustic Radiation in Light and Heavy Fluids*, Journal of Sound and Vibration. 1988.

[2] F. BEROT and B. PESEUX. *Vibro-Acoustic Behavior of Submerged Cylindrical Shells: Analytical Formulation and Numerical Model*, Journal of Fluids and Structures. 1998, 12,959-1003.

[3] B. LAULAGNET and J. L. GUYADER. *Sound radiation from finite cylindrical shells, partially covered with longitudinal strips of compliant layer*, Journal of Sound and Vibration, 1995, 186(5), 723-742

---

\*Intervenant

# Méthode de caractérisation de panneaux en bassin acoustique

Laetitia Roux \* <sup>1,2</sup>, Monique Pouille <sup>3</sup>, Anne-Christine Hladky-Hennion <sup>3</sup>,  
Christian Audoly <sup>4</sup>

<sup>1</sup> IEMN (UMR 8520 CNRS), 59046 Lille, France – Institut supérieur de l'électronique et du numérique (ISEN) – France

<sup>2</sup> Naval Group Research – Naval Group Research – France

<sup>3</sup> IEMN (UMR 8520 CNRS), 59046 Lille, France – Institut supérieur de l'électronique et du numérique (ISEN) – France

<sup>4</sup> Naval Group Research – Naval Group Research – France

Les propriétés matériau ou les performances acoustiques de structures composites immergées doivent souvent être déterminées ou vérifiées expérimentalement. Pour les applications sous-marines, un panneau peut être caractérisé dans un bassin acoustique équipé d'une source et de deux hydrophones, l'un étant utilisé pour le signal réfléchi et l'autre pour le signal transmis. Cependant, si l'on souhaite caractériser les performances intrinsèques du matériau, les mesures de panneaux peuvent être fortement perturbées par les ondes diffractées par ses bords. Il est donc crucial d'évaluer ou de réduire cette contribution de la pression diffractée. La méthode dite " en 3 points " est une technique qui décompose la pression totale en contributions des pressions incidente, réfléchie, transmise et diffractée sur les bords. Ces dernières sont déterminées en mesurant la pression totale en trois positions proches les unes des autres et du panneau. Les coefficients de réflexion et de transmission peuvent ainsi être obtenus en éliminant la contribution des ondes diffractées sur les bords, afin de les comparer directement à ceux obtenus théoriquement pour un panneau de dimensions latérales infinies. Après la présentation de la méthode en 3 points, un exemple d'application est donné. Les mesures sont effectuées sur un panneau de référence en aluminium, pour lequel les coefficients de réflexion et transmission théoriques d'un panneau infini sont connus. Les limites de validité de la méthode sont ensuite étudiées en discutant les deux hypothèses simplificatrices considérées dans la méthode. Enfin, une cartographie des pressions montre que, malgré les fortes variations de la pression diffractée par les bords en fonction de la position, la méthode 3 points permet une détermination précise des coefficients de réflexion et de transmission.

---

\*Intervenant

# Les mesures acoustiques au bassin ISEN Lille, historique, développement et perspectives

Monique Pouille \* <sup>1</sup>, Christian Granger <sup>2</sup>

<sup>1</sup> ISEN- IEMN - UMR 8520 – Institut supérieur de l'électronique et du numérique (ISEN) – France

<sup>2</sup> CNRS -ISEN -IEMN - UMR 8520 – Centre National de la Recherche Scientifique : UMR8520 – France

La caractérisation de sources unitaires ou d'antennes, émettrices ou réceptrices, après optimisation, conception et première réalisation, est indispensable pour valider leurs performances et leur production. De même, les propriétés matérielles ou les performances acoustiques de structures composites immergées doivent être vérifiées expérimentalement.

C'est, en partie dans ce but, pour de la recherche approfondie sur des hydrophones et pour la validation du code ATILA que le bassin d'essais acoustiques ISEN a été construit en 1985 et financé pour moitié par la Région, pour moitié par la DRET (total : 1,6 MF en 1985), l'accent à l'époque ayant été mis sur les dimensions du bassin, plutôt que sur son équipement. Initialement situé dans un hangar, il a été intégré au bâtiment de l'ISEN lors de son extension en 1998. Cet équipement est unique et exceptionnel en France de par ses dimensions (8m de longueur, 6 m de largeur et 7m de profondeur), dans un environnement académique ouvert, au sens où le bassin peut à la fois être utilisé pour des projets étudiants, des prestations extérieures et pour la recherche au sens large.

Une grande variété de mesures acoustiques y ont été réalisées dans une gamme de fréquence allant de 2 à 200 kHz. Pour des besoins récurrents, des bancs de mesures ont été développés.

Après un court historique des axes d'études et de recherches, les bancs de mesures automatisés qui l'équipent seront présentés :

1- pour la réalisation de mesures de niveaux de pression via des hydrophones étalons pour différentes applications, en particulier pour la mesure de niveau d'émission ( $S_v$  / SPL) et de directivité ou pour la mise en œuvre de sources émettrices étalons pour la mesure de niveau de réception ( $S_h$  / OCV) et de directivité

2- pour la mesure des propriétés de réflexion et de transmission de panneaux acoustiques (méthode 3 points et méthode par moyennage spatial)

Une description des perspectives et des axes de développement en cours et envisagés conclura cette présentation.

---

\*Intervenant

# Étude expérimentale du bruit large bande d'un profil d'aile statique ou en oscillation

David Raus <sup>\*</sup> <sup>1</sup>, Benjamin Cotté <sup>1</sup>, Romain Monchaux <sup>1</sup>, Emmanuel Jondeau <sup>2</sup>, Pascal Souchotte <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut des Sciences de la mécanique et Applications industrielles – Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives : DEN-DM2S, École Nationale Supérieure de Techniques Avancées, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR9219, EDF – France

<sup>2</sup> 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

Nombreuses sont les applications pour lesquelles il est important de pouvoir contrôler et réduire le bruit engendré par des machines tournantes, que ce soit dans l'eau (hélices marines, hydroliennes) ou dans l'air (éoliennes, ventilateurs, soufflantes de turboréacteurs). Cette étude, financée par la DGA dans le cadre du projet AEROAC, a pour objectif de caractériser expérimentalement le bruit large bande engendré par un profil d'aile en configuration statique (angle d'attaque fixé), ou dynamique (profil en oscillation de tangage). Les sources de ce bruit large bande dans un écoulement turbulent sont encore mal comprises, en raison des mécanismes complexes qui peuvent exister : bruit de bord de fuite et bruit d'interaction de turbulence à faible angle d'attaque, bruit de décollement et de décrochage à angle d'attaque plus élevé. De plus, l'effet d'oscillations de tangage du profil d'aile sur ces différents mécanismes a été très peu étudié jusqu'à aujourd'hui. Pour l'expérience présentée ici, un profil d'aile NACA0012, dont l'angle d'attaque est piloté par un moteur, a été placé dans la soufflerie anéchoïque du Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique de Lyon (LMFA). Les conditions d'écoulement autour du profil sont caractérisées grâce à la présence de prises de pression pariétale (basse et haute fréquence) et les mesures d'acoustique en champ lointain sont réalisées grâce à quatre microphones placés à différentes positions angulaires par rapport à la direction de l'écoulement. Pour un profil d'aile statique, les effets du niveau de turbulence amont et de la vitesse de l'écoulement incident sont étudiés afin de mieux caractériser les différentes sources de bruit, en particulier les bruits de décollement et de décrochage à forts angles d'attaque. Dans le cas du profil d'aile en configuration dynamique, des résultats préliminaires sont présentés sur l'effet de la fréquence d'oscillation et des caractéristiques de l'écoulement incident. L'accent est mis sur les variations cycliques du bruit de bord de fuite, mais aussi sur le bruit de décrochage dynamique apparaissant pour des amplitudes d'oscillations importantes. Ces mesures de bruit sont mises en relation avec les coefficients de pression et de portance instantanés du profil pendant l'oscillation.

---

\*Intervenant

# Emissions de bruit à bord: Caractérisation numérique des sources et approche innovante de propagation

Baudson Romain <sup>1</sup>, Arnaud De Potter \* <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Free Field Technologies – Belgique

Le bruit à bord des navires a fait l'objet d'une attention accrue au cours des dernières années. En effet, les niveaux sonores excessifs à bord des navires sont susceptibles de nuire aux performances et à la santé des personnes à bord. De plus, l'exposition à des environnements très bruyants peut entraîner des problèmes de santé à long terme, tels que des pertes de l'audition. Il est coûteux et difficile de résoudre les problèmes liés au bruit après la construction. Par conséquent, il est important et nécessaire pour les concepteurs et les constructeurs de navires d'effectuer des analyses de bruit en amont de la conception pour répondre au plus tôt à ces préoccupations. Le recours à des méthodes de simulations est depuis plusieurs années un moyen efficace de répondre aux besoins des constructeurs de navires de caractériser les différentes sources de bruits présentes à bord et de prédire la façon dont celles-ci se propagent au sein des navires que cela soit de façon aérienne ou solidienne. En particulier les méthodes par éléments finis (FEM) et approches statistiques (SEA) sont utilisées de façon conjointe afin de couvrir l'ensemble de la plage de fréquence des réponses vibro-acoustiques des bâtiments. Lors de cette présentation, une nouvelle approche SEA basée sur des modèles FEM existants sera présentée. Cette méthode dénommée Virtual SEA permet de construire les matrices SEA à partir des informations contenues dans les modèles FEM permettant de garantir une continuité des résultats obtenus entre approches FEM et SEA.

---

\*Intervenant

# Etude de l'impact de la fonction de Green sur les analogies acoustiques pour la prédiction du bruit large bande issu de l'interaction entre un écoulement turbulent et des bords de fuite et d'attaque

Nicolas Trafny \* <sup>1,2</sup>, Gilles Serre <sup>1</sup>, Benjamin Cotté <sup>2</sup>, Jean-François Mercier <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Naval Group Research – Naval Group Research – France

<sup>2</sup> Institut des Sciences de la mécanique et Applications industrielles – Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives : DEN-DM2S, École Nationale Supérieure de Techniques Avancées, Centre National de la Recherche Scientifique : UMR9219, EDF, Institut Polytechnique de Paris – France

<sup>3</sup> POEMS – ENSTA ParisTech, Ecole Nationale Supérieure des Techniques Avancées, L'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA), Institut Polytechnique de Paris – France

Il est bien connu que le bruit d'origine hydrodynamique, hors cavitation, peut représenter une contribution majeure au rayonnement global d'un navire, notamment pour des vitesses d'avance élevées. Il est en partie attribué à l'interaction entre un écoulement turbulent (couche limite, sillage ...) et les appendices ou les pales du propulseur. La méthode numérique la plus directe consiste à résoudre les équations de la mécanique des fluides en considérant la compressibilité du fluide. Cependant, cette méthode reste loin d'être accessible pour des applications en eau. D'autres approches indirectes, les analogies acoustiques, doivent être considérées. Elles reposent sur l'idée de séparer d'une part la modélisation de l'écoulement incompressible et d'autre part le calcul du bruit rayonné. Les équations de conservation de la mécanique des fluides sont réécrites sous la forme d'une équation d'onde qui peut être résolue en utilisant la fonction de Green en champ libre ou une fonction de Green adaptée à une géométrie arbitraire. Les applications existantes des analogies acoustiques passent par des hypothèses fortes sur les géométries considérées qu'il serait souhaitable d'assouplir. L'objectif de cette étude est le développement d'une nouvelle méthode semi-analytique de prédiction du bruit large bande d'origine hydrodynamique, à partir de l'analogie de Lighthill, qui puisse être appliquée à une géométrie réelle et donc complexe. Basée sur l'utilisation de fonctions de Green adaptées, cette méthode a été appliquée dans un premier temps au bruit de bord de fuite rayonné par une plaque plane et par un profil d'aile NACA 0012, en air, et confrontée à des mesures ainsi qu'aux prédictions de modèles de la littérature. L'impact du choix de la fonction de Green adaptée a par la suite été évalué en considérant différentes fonctions de Green déterminées analytiquement ou numériquement.

---

\*Intervenant

# Métamatériaux à résonances dipolaires locales pour la furtivité sous-marine

Quentin Baudis \*<sup>1</sup>, Tony Valier-Brasier<sup>1</sup>, Regis Wunenburger<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut d'Alembert – Sorbonne Universités, UPMC, CNRS – France

Depuis plusieurs années, différentes études sont menées sur l'utilisation de métamatériaux comme revêtement de sous-marin en vue d'améliorer leur furtivité. Dans ce contexte, nous travaillons sur des échantillons constitués d'une matrice polyuréthane contenant une distribution aléatoire de particules sphériques denses. Ce type de particule présente une résonance dipolaire en translation située en basse fréquence et qui s'accompagne d'un intense rayonnement d'ondes transverses, conduisant alors à un fort amortissement des ondes cohérentes. Afin de dimensionner correctement les échantillons, il est nécessaire de caractériser complètement la matrice polyuréthane. Pour cela, nous avons adapté la technique originale de l'enclume, utilisée généralement pour caractériser la rhéologie de fluide, pour déterminer le module de cisaillement du polyuréthane par ondes transverses dans le domaine ultrasonore. Dans un second temps des mesures en immersion en transmission avec un contrôle précis de la température ont permis d'une part de vérifier le principe d'équivalence Temps-Température et d'autre part de déterminer la rhéologie du module de compression sur une large bande de fréquence. Fort de ces résultats, la fréquence de résonance dipolaire de billes de carbure de tungstène dans le polyuréthane a été évaluée et les premiers résultats numériques mettent en exergue le fort potentiel de nos échantillons pour l'amortissement des ondes longitudinales dans les métamatériaux.

---

\*Intervenant

# Design et fabrication de métamatériaux souples comme solutions pour des revêtements acoustiques en acoustique sous-marine

Thomas Brunet <sup>1</sup>, Romain Poupart <sup>2</sup>, Olivier Poncelet \* <sup>1</sup>, Christophe  
Aristégui <sup>1</sup>, Olivier Mondain-Monval <sup>2</sup>

<sup>1</sup> UMR 5295 Institut de Mécanique et d'Ingénierie (I2M) – Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP,  
ENSAM, F-33405 Talence – France

<sup>2</sup> UPR 8641 Centre de Recherche Paul Pascal (CRPP) – Univ. Bordeaux, CNRS, F-33600 Pessac –  
France

La question du contrôle du son en contexte sous-marin est un sujet ancien pour les applications militaires (anéchoïsme, masquage) et un champ de recherche beaucoup plus récent pour les applications civiles (isolation sonore de chantiers sous-marins par exemple). De nombreuses solutions techniques existent et sont basées sur des approches physiques et technologiques variées. Nombre d'entre-elles ont pour objectif de concevoir des solutions d'absorption ou de masquage (écran) dites de faibles épaisseurs comparativement aux longueurs d'ondes à contrôler. Le contrôle du son aux plus basses fréquences avec des solutions à encombrement réduit est un défi majeur du secteur d'activité. Notons la part importante constituée par les revêtements acoustiques dotés d'inclusions conférant au composite des propriétés acoustiques macroscopiques ciblées : impédance, absorption ou rigidité sur mesure, par le biais de phénomènes physiques variés tels la diffusion multiple dans des milieux inclusionnaires microscopiques (milieux poreux), la résonance structurelle d'inclusions macroscopiques, l'affaiblissement ou le raidissement de l'élasticité de matériaux solides par des particules souples ou rigides, ou encore la propagation en milieux fluides bulleux.

L'objet des recherches présentées dans cette communication est de développer une nouvelle classe de matériaux acoustiques localement résonants à inclusions sub-millimétriques ou millimétriques pour des grands rapports longueurs d'ondes/taille d'inclusions, pour applications en fluides lourds. Ces métamatériaux sont entièrement fabriqués à l'aide de techniques d'ingénierie issues de la matière molle et mettent en jeu de forts phénomènes de diffusion multiple résonante au sein du milieu.

Les inclusions résonantes sont constituées de billes d'élastomère poreux aux propriétés d'élasticité, et donc de célérité du son, très basses. Ces billes se comportent donc comme des résonateurs de Mie, même à des longueurs d'ondes incidentes relativement grandes. En conséquence cette diffusion résonante locale implique des niveaux d'atténuation très élevés pour le matériau macroscopique même pour des taux de remplissage d'objets assez faibles. De plus, comparativement à la technologie des milieux micro inclusionnaires (inclusions micrométriques type microballons), l'élasticité intrinsèque des inclusions poreuses affaiblit moins l'élasticité statique globale du composite. Ce dernier point est un des enjeux de la tenue mécanique sous pression des revêtements et de la stabilité de leurs propriétés acoustiques sous charge.

---

\*Intervenant

# Recherches en aéro- et hydro-acoustique à l'IMSIA

Benjamin Cotté \* <sup>1</sup>, Tommy Rigall <sup>1</sup>, Chakshu Deora <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut des Sciences de la mécanique et Applications industrielles – ENSTA Paris, Institut Polytechnique de Paris – France

Cette présentation a pour objectif de donner une vue d'ensemble des recherches menées à l'IMSIA sur le bruit de profil en air et en eau. D'une part, des travaux de modélisation et de simulation sont réalisés afin de caractériser les mécanismes de bruit large bande d'un profil d'aile, notamment les bruits de bord de fuite, d'interaction de turbulence et de décrochage. En particulier, une méthode de génération de turbulence synthétique a été implémentée dans des simulations des grandes échelles incompressibles afin d'étudier l'influence de la turbulence amont sur les caractéristiques de la couche limite pour différents angles d'attaque et nombres de Reynolds. D'autre part, un banc d'essais a été conçu et testé dans la chambre anéchoïque de l'IMSIA afin de mesurer le bruit tonal et large bande d'une hélice simplifiée. L'hélice est composée de 3 pales, formées d'un profil NACA 0012 de corde 7cm extrudé sur 40cm, dont l'angle de calage peut être réglé. La vitesse de rotation peut être variée entre 300 et 1200 tours/minute, ce qui correspond à des fréquences de passage des pales comprises entre 15Hz et 60Hz. L'accent a été mis dans un premier temps sur le bruit d'interaction entre les pales en rotation et un mât, qui est analysé à l'aide de microphones et de prises de pression pariétale en différents points du mât. Ce bruit est caractérisé par de forts niveaux sonores aux harmoniques de la fréquence de passage des pales, et dépend de la distance entre le mât et le plan du rotor.

---

\*Intervenant

# Effect of hydrostatic pressure on a bubble anechoic metascreen and applications

Thieury Margaux <sup>1,2,3</sup>, Valentin Leroy <sup>2</sup>, Arnaud Tourin <sup>1</sup>, Jean Dassé \* <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut Langevin – ESPCI Paris, PSL University, CNRS – France

<sup>2</sup> Laboratoire Matière et Systèmes Complexes – Paris-Diderot University, CNRS – France

<sup>3</sup> Thales Defense Mission Systems SAS – Underwater Systems – France

Viscoelastic materials with periodic distribution of holes, sometimes called "Alberich tiles", have been studied for several decades for their subwavelength acoustic behavior, which makes them good candidates for use as anechoic coatings on underwater vehicles [1, 2, 3, 4, 5, 6]. In a recent work [7], we proposed an analytical model for the transmission and reflection coefficients of a single layer of bubbles in a soft solid. We showed that the acoustic absorption of the metascreen could be maximized, at a given frequency, by adapting the geometry of the layer (radius of the spherical bubbles and distance between them) to the viscosity of the elastomer. The good low-frequency performance of the metascreen rests on the compressibility of the inclusions, i.e. on the low shear modulus of the elastomer. A consequence is that the structure is easily deformed when submitted to a static pressure, which impacts the acoustic performance of the metascreen. This is a major limitation of the technique for underwater applications. Not many studies in the literature are devoted to the effect of the static pressure, or the temperature, on the acoustic properties of perforated elastomers. Gaunaud et al carried out a theoretical analysis of the problem [8]. More recent studies found, on the contrary, that pressure, and especially temperature played an important role on the global performance of the metascreen [9]. In the present study, we use numerical simulations to study the nonlinear deformation of an elastomer with gas inclusions, on a rigid backing, submitted to static pressures. Spherical and cylindrical inclusions are considered.

Then dynamic simulations are performed to determine the reflection coefficient of the metascreen under different levels of compression.

[1] G. Gaunaud and H. Überall, "Resonance theory of the effective properties of perforated solids," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 71, no. 2, pp. 282–295, 1982.

[2] A.-C. Hladky-Hennion and J.-N. Decarpigny, "Analysis of the scattering of a plane acoustic wave by a doubly periodic structure using the finite element method: Application to alberich anechoic coatings," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 90, no. 6, pp. 3356–3367, 1991.

[3] S. M. Ivansson, "Numerical design of alberich anechoic coatings with superellipsoidal cavities of mixed sizes," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 124, no. 4, pp. 1974–1984, 2008.

[4] A. J. Hicks, M. R. Haberman, and P. S. Wilson, "Subwavelength acoustic metamaterial panels for underwater noise isolation," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 138, no. 3, pp. EL254–EL257, 2015.

[5] D. C. Calvo, A. L. Thangawng, C. N. Layman Jr, R. Casalini, and S. F. Othman, "Underwater sound transmission through arrays of disk cavities in a soft elastic medium," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 138, no. 4, pp. 2537–2547, 2015.

[6] G. S. Sharma, A. Skvortsov, I. MacGillivray, and N. Kessissoglou, "Acoustic performance of gratings of cylindrical voids in a soft elastic medium with a steel backing," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 141, no. 6, pp. 4694–4704, 2017.

---

\*Intervenant

- [7] V. Leroy, A. Strybulevych, M. Lanoy, F. Lemoult, A. Tourin, and J. H. Page, "Superabsorption of acoustic waves with bubble metascreens," *Phys. Rev. B*, vol. 91, no. 2, p. 020301, 2015.
- [8] G. Gaunaud, E. Callen, and J. Barlow, "Pressure effects on the dynamic effective properties of resonating perforated elastomers," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 76, no. 1, pp. 173–177, 1984.
- [9] J.-B. Dupont, P. Lamy, and Y. Renou, "Transparence acoustique de revêtement type alberich sous forte pression d'eau : méthode de simulation couplée." Communication présentée lors des Journées acoustiques et applications navales (JAAN), Ollioules 2017.

# Méthode spectrale déclinée en géométries plane et cylindrique pour la modélisation vibro-acoustique de coques arbitrairement raidies d'extension finie

Corentin Coguenanff \* <sup>1</sup>

<sup>1</sup> THALES DMS – Underwater Systems – France

Cette contribution s'attache dans un premier temps à présenter une méthode permettant d'obtenir un modèle numérique vibro-acoustique d'une coque d'extension finie couplée à un réseau arbitraire de raidisseurs. Les champs inconnus de la coque sont développés dans une base spectrale adaptée à la géométrie, ce qui résulte en un ensemble de problèmes de petite dimension à résoudre. Une matrice de raideur dynamique peut ainsi être construite entre les différentes abscisses d'application des efforts sur la coque. Les champs inconnus des raidisseurs sont de plus développés sur une base mixte spectrale et éléments finis permettant de traiter des géométries de sections complexes. Le formalisme est dans un second temps décliné en géométries plane et cylindrique pour les applications numériques afin d'évaluer les conséquences de ce choix de modélisation pour différents problèmes usuels en vibro-acoustique. Une comparaison avec des modèles détaillés de référence est effectuée pour illustrer la pertinence de l'approche de modélisation.

---

\*Intervenant

# Sphyrna Odyssey: ASVs with 5 hydrophone antennas for 3D cetacean survey

Herve Glotin \*<sup>1</sup>, Marion Poupard<sup>1</sup>, Maxence Ferrari<sup>1</sup>, Paul Best<sup>1</sup>, Fabien De Varenne<sup>2</sup>

<sup>1</sup> LIS, DYNI – Université de Toulon, Aix Marseille Univ, CNRS – France

<sup>2</sup> SA – SeaProven – France

Mobile antennas are a challenge for passive acoustic monitoring at long range. Method for detection and localisation of cetaceans provides insight into their diving behavior, but are limited in range and precision or are costly and difficult to deploy.

We first show method and results for high definition 3D track during hours of a diving cetacean at 3 km range using our mobile five-channel, small-aperture (~1m) hydrophone array fixed on the keel of a moving autonomous lab surface vehicle (ALV) named the Sphyrna drone, built by SeaProven France.

It is equipped of the high recording sample rate (5 x 300 kHz SR, 16 bits) JASON card from SMIoT univ Toulon, allowing to solve fine range and angle estimations of a source with our fast GPU implementation. We achieve in real-time processing 3D tracks that depicts the behavior of the cetacean in the abyss, with one position for each emitted click. This high resolution allows us to observe a correlation between the repetition rate of the predator's biosonar and the tortuosity of its track.

Second, we are currently running our system into a Monaco Exploration 2019 (FPA2 and EDM funds), with Accobams and LIS Lab : the Sphyrna Odyssey. It is composed by 3 mobile vessels running together, that we coordinate according to online estimation and tracking. We then track cetacean during long time series and with complete respect of non invasive observation. This mission may offer new insights about whale behavior and interaction to close to vessel traffic.

---

\*Intervenant

# Nouvelle méthode large bande pour la modélisation du bruit et des vibrations transmises à travers des structures immergées

Stephane Caro \* <sup>1</sup>, Louis Kovalevsky <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dassault Systèmes – – France

De précédents travaux ont illustré l'utilisation d'une formulation généralisée de la méthode Statistical Energy Analysis (SEA); cette méthode généralisée est basée sur les théories de structures périodiques. L'approche modélise de façon rigoureuse la propagation d'ondes dans des sections complexes, ce qui élargit significativement le champ d'application possible des méthodes SEA. Des illustrations de cette méthode généralisée avaient déjà été utilisées avec succès pour des structures non chargées, par exemple des fuselages d'avion ou de lanceurs spatiaux. Dans cette présentation, des extensions de la méthode à des structures soumises à un chargement de fluide lourd sont proposées. Des exemples de double parois raidies sont présentées, avec des géométries et des dimensions typiques d'applications sous-marin. Ces exemples sont traités avec le logiciel commercial wave6 (Dassault Systèmes) dans lequel ont été implémentées toutes les fonctionnalités utiles.

---

\*Intervenant

# Simulation numérique de la propagation d'ondes en acoustique sous-marine: quelques développements récents réalisés au LMA

Paul Cristini \* 1

<sup>1</sup> Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique [Marseille] (LMA) – Aix Marseille Université : UPR7051, Ecole Centrale de Marseille : UPR7051, Centre National de la Recherche Scientifique : UPR7051 – CNRS - UPR 70514 impasse Nikola Tesla13453 Marseille Cedex 13, France

Depuis quelques années, le LMA travaille activement au développement de la simulation numérique de la propagation d'ondes en acoustique sous-marine. Les recherches récentes se sont principalement intéressées à l'adaptation de la méthode des éléments finis spectraux aux besoins de l'acoustique sous-marine (ASM) avec comme objectif de tirer partie du calcul haute performance pour atteindre des niveaux précisions élevés dans des configurations complexes. On peut citer entre autres le développement de conditions de bords de domaines de type PML dans un contexte fluide solide ainsi que la mise en oeuvre des coordonnées cylindriques en 2D.

Au cours de cette présentation nous donnerons un panorama des possibilités offertes par la méthode des éléments finis spectraux qui ont été développées au LMA. Parmi ces applications, on discutera de propagation par grands fonds, par petits fonds, de diffraction par des objets.

Nous présenterons également les derniers résultats obtenus pour définir une stratégie de couplage avec des méthodes plus classiquement utilisées en ASM tels que l'équation parabolique et la méthodes des rayons.

Finalement, les développements récents concernant la résolution de l'équation parabolique ainsi que sur la mise en oeuvre de la méthode modale seront présentés.

---

\*Intervenant

# Liste des auteurs

Ambrois, David, 7  
Aristégui, Christophe, 18  
Audoly, Christian, 4, 12

Baudis, Quentin, 17  
Benjamin, André, 9  
Best, Paul, 23  
Beucler, Eric, 7  
Brunet, Thomas, 18

Caro, Stephane, 24  
Coguenanff, Corentin, 22  
Cotté, Benjamin, 14, 16, 19  
Couëdo, Sylvain, 11  
Cristini, Paul, 7, 25

Dassé, Jean, 20  
de Potter, Arnaud, 15  
de Varenne, Fabien, 23  
Demoulin, Xavier, 7  
Deora, Chakshu, 19  
Deschamps, Anne, 7  
Duda, Tim, 3  
Dupont, Jean-Baptiste, 6

Favretto Cristini, Nathalie, 7  
Ferrari, Maxence, 23

Garlan, Thierry, 7  
Glotin, Hervé, 23  
Granger, Christian, 13  
Guillon, Corentin, 10

Henderson, Laurel, 3  
Hladky-Hennion, Anne-Christine, 12

Jondeau, Emmanuel, 14

Kovalevsky, Louis, 24

Leroy, Valentin, 20

Marchesini, Jacques, 11  
Margaux, Thieury, 20  
Mercier, Jean-François, 16  
Meyer, Valentin, 9  
Monchaux, Romain, 14

Mondain-Monval, Olivier, 18  
Morio, Olivier, 7

Newhall, Arthur, 3

Peterson, John, 3  
Poncelet, Olivier, 18  
Porter, Mike, 3  
Pouille, Monique, 12, 13  
Poupard, Marion, 23  
Poupart, Romain, 18

Raus, David, 14  
Renou, Ygaal, 4  
Rigall, Tommy, 19  
Romain, Baudson, 15  
Roux, Laetitia, 12

Sanchez, Jean-Max, 11  
Serre, Gilles, 16  
Souchotte, Pascal, 14

Teyssandier, Benoît, 6  
Tourin, Arnaud, 20  
Trafny, Nicolas, 16  
Traykovski, Peter, 3

Valier-Brasier, Tony, 17

Wang, fang, 7  
Wunenburger, Regis, 17

Zakharia, Manell, 5