

# Workshop SERENADE

Surveillance, Etude et Reconnaissance de l'Environnement marin

par Acoustique Discrète

PROGRAMME

VIÈME ÉDITION

27 au 30 Juin 2022, ENSTA Bretagne - Brest

Organisé par



Avec le soutien financier de





-- Lundi 27 Juin 2022 --

8h40 : Accueil des participants au tutoriel

9h – 12h30 : Tutoriel « Intelligence Artificielle »

### « Intelligence Artificielle pour les Géosciences »

**Conférencier invité : Dr Marielle Malfante, Ingénieure chercheuse en intelligence artificielle au CEA, Grenoble**

*« Intelligence Artificielle » est un bien grand mot derrière lequel se cachent bien des choses. Certaines désormais très connues (apprentissage supervisé, non supervisé), en particulier au travers de domaines applicatifs couramment abordés par la communauté comme le traitement d'image ou de texte / parole. D'autres, moins connues car plus récentes et encore en cours de développement.*

*Ce tutorial abordera rapidement les méthodes classiques en mettant l'accent sur les points généralement moins abordés mais néanmoins nécessaires pour le développement de modèles dans des contextes applicatifs type géoscience. Les méthodes + récentes seront ensuite abordées et cartographiées, en particulier pour leur intérêt et impact sur les développements en cadre applicatif concret. De nouveaux types de problème commencent à être abordés (IA pour la compréhension de phénomènes par exemple).*

*L'attention sera portée aux besoins spécifiques et distincts des applications type géoscience, ainsi qu'aux manières d'aborder (ou de ne pas aborder) les séries temporelles.*

-----

12h30 – 14h00 : REPAS

-----

13h30 – 14h00 : Accueil des participants au workshop SERENADE

14h00 – 14h20 : Ouverture du workshop SERENADE  
Mots de Bienvenue du comité organisateur

### Session 1 « Intelligence Artificielle »

14h20–15h00 : **Conférencier invité : End-to-end and physics-informed learning for ocean dynamics. Dr R. Fablet (IMT Atlantique)**

*“Whereas model-driven approaches represent the state-of-the-art for the analysis, simulation and reconstruction of (geo)physical dynamical systems, learning-based and data-driven frameworks become relevant schemes for a large number of application domains, including for the study of phenomena governed by physical laws. They offer new means to fully benefit from available observation and/or simulation data. In this context, making the*

*most of model-driven and data-driven paradigms naturally arises as a key challenge. In this talk, we will explore these research avenues with a focus on end-to-end and physics-informed learning paradigms and associated emulation-based strategies through ocean-related illustrations (e.g., space oceanography, movement ecology, maritime surveillance). We may discuss further how such advances may contribute to the design of ocean modeling, forecasting and observation systems.”*

**15h00 – 15h20** : Modal estimation in underwater acoustics by data-driven structures sparse decomposition. **C. Dorffer** (ENSTA Bretagne - Lab-STICC)

**15h20 – 15h40** : Predicting In-situ Wind Speed Using Underwater Acoustic and Learning-based Variational Data Assimilation - **M. Zambra** (IMT Atlantique Bretagne - Pays de la Loire)

**15h40 – 16h00** : DAS et solutions d'apprentissage machine pour la détection et classification temps réel d'événements acoustiques - **C. Jestin** (FEBUS Optics)

-----

**16h00 – 16h40** : **PAUSE**

-----

**16h40 – 17h10** : **Présentation GDR OMER Mer et Océan**

**17h10 – 18h00** : **SPEEDTALK des POSTERS (13 x 3 min chacun)**

Real-time monitoring of ocean sounds, meteorology, and marine mammals from expendable profiling floats - **J. Bonnel** (Woods Hole Oceanographic Institution, MA, USA)

Simulation de propagation acoustique en milieu réaliste à l'aide d'un code à mode splitting pour l'océanographie fines échelles - **P.A. Dumont** (SHOM)

Estimation du canal acoustique sous-marin pour le positionnement et suivi de plateformes dérivantes sous-marines - **M. Grangeon** (IMT Atlantique)

Switching off the Sun to observe the twilight zone spatial dynamics across Saint-Paul and New-Amsterdam Islands, Southern Indian Ocean - **L. Izard** (LOCEAN)

Scattering transform CNN pour la classification de signaux de propulsion - **T. Mahiout** (Thales DMS Sophia Antipolis)

Relocalisation de câble sous-marin par l'étude de bruit de navire via la technologie de mesure acoustique distribuée (DAS) - **L. Papotto** (Thales DMS - Geoazur)

Analyse statistique du bruit ambiant sous-marin et l'impact de l'environnement sur ce dernier à l'échelle de sous-région marine - **C. Perrier De LA Bathie** (SHOM)

Premier aperçu de la réponse des coquilles Saint Jacques (*Pecten maximus*) aux activités de forage réalisées dans le cadre de la construction d'un parc éolien offshore - **E. Retailleau** (SOMME)

CETIROISE – Mise en place d'un observatoire acoustique des cétacés au sein du Parc naturel marin d'Iroise 2021-2023 - **F. Samaran** (ENSTA Bretagne - Lab-STICC)

Caractérisation de la diversité spécifique des cétacés au large des îles St Paul et Amsterdam (Océan Indien) par un glider acoustique - **M. Torterorot** (ENSTA Bretagne - Lab-STICC)

Analyse de l'impact de la perturbation du trafic maritime sur les cartes de bruit - **M. Lajaunie** (SHOM)

Classification des cartes de bruit selon les propriétés de la propagation - **D. Dellong** (SHOM)

Assessing the background noise on the North-Western Black Sea shelf - **M. E. Mihailov** (Maritime hydrographic Directorate, Constanta – Romania)

ÉTUDE DU PAYSAGE ACOUSTIQUE DU SAINT-LAURENT À LA STATION MARS - **J.Mérindol** (Institut des sciences de la mer de Rimouski, Université du Québec à Rimouski)

-- Mardi 28 Juin 2022 -

8h00 – Accueil

08h20-12h20

Session 2 : « La physique, la tomographie et l'inversion géoacoustique »

**8h20-9h00 Conférencier invité : Les fréquences en-dessous de 10 Hz en mesure acoustique (et sismique) sous-marin - Dr. Wayne Crawford (Institut de Physique du Globe de Paris)**

*« En-dessous de 10 Hz, les signaux enregistrés sur les capteurs de pression en fond de mer sont dominés par un bruit du fond créé par des ondes océaniques et océano-terrestres (microséismes et ondes infragravitaires), brisés de temps en temps par des tempêtes locales, des séismes et des événements environnementaux locaux comme les « icequakes », des glissements de terrain et des vibrations volcaniques. Je décrirai les sources et niveaux de ces signaux, ainsi que leur intérêt dans des études environnementales. Je montrerai l'intérêt des mesures « sismologiques » sous-marin, qui combine un capteur de mouvement en 3 dimensions à un capteur de pression, pour ces études, à la fois pour leurs informations multi-paramètres et pour leur libre disponibilité à la communauté scientifique. »*

**9h00-9h20** : Hydroacoustic observations of a seismic cluster at Melville Fracture Zone along the Southwest Indian Ridge in 2016-17 - **V.V. Ingale** (IUEM, Lab Geo Ocean, UMR 6538)

**9h20-9h40** : Geoacoustic inversion using simple hand-deployable acoustic systems - **J. Bonnel** (Woods Hole Oceanographic Institution, MA, USA)

**9h40-10h00** : L'intérêt d'une modélisation numérique full-wave 3D pour caractériser la propagation UBF des ondes par petits fonds marins - **N. Favretto-Cristini** (CNRS-Lab. de Mécanique et d'Acoustique)

-----  
**10h00 – 11h00 : PAUSE**  
-----

**11h00-11h20** : NARVAL2019 : Mesures océano-acoustiques en mer de Barents - **G. Real** (DGA Techniques Navales)

**11h20-11h40** : Campagne Narval 21 : propagation dans le Front Islande Féroé - **F. Le Courtois** (SHOM)

**11h40-12h00** : Localisation de la présence d'ondes internes linéaires : application aux données ALMA 2017 - **G. Beaumont** (DGA Techniques Navales)

12h00–12h20 : Etude de l'influence des petites échelles océaniques sur la propagation acoustique : application à la campagne ALMA2017 - **A. L'Her** (ENSTA Bretagne, THALES DMS)

-----  
**12h20–13h40 : REPAS**  
-----

**13h40-17h40**  
**SESSION 3 : « Les paysages sonores sous-marins »**

13h40–14h20 **Conférencier invité** : Caractériser les environnements sonores sur terre - **Pierre AUMOND** (Université Gustave Eiffel, CEREMA, UMRAE)

*« Cette présentation consiste en une vue d'ensemble des méthodes et outils actuellement utilisés pour l'acoustique environnementale. Elle abordera notamment les développements les plus récents pour une meilleure caractérisation des environnements sonores sur terre. Il sera alors probable, possible et même souhaité que des liens émergent avec les travaux des spécialistes des environnements sonores immergés. »*

14h20–14h40 : Réseau de surveillance MAMBO - **B. Ollivier** (SHOM)

14h40 –15h00 : Prédiction de la pollution sonore dans les fjords en Arctique : importance de la propagation acoustique tri-dimensionnelle - **G. Richard** (SOMME)

15h00 – 15h20 : Projet LIFE PIAQUO : s'adapter au trafic maritime en fonction de la sensibilité acoustique des écosystèmes marins – Bilan et résultats de 2ans d'écoute - **J. Lossent** (Institut de recherche CHORUS & SENSEA FR)

-----  
**15h20 – 16h20 : PAUSE**  
-----

16h20–16h40 : Les OBS et leur perception du paysage acoustique en UBF - **R. Dreo** (IPGP)

16h40–17h00 : Étude de l'évolution des conditions météo-océanographiques à méso-échelle à l'aide de signaux OBS - **X. Demoulin** (MAREE)

17h00–17h20 : Application de la bioacoustique pour le suivi de rejets d'émissaire - **E. Blin** (SUEZ)

17h20–17h40 : Paysages sonores et biophonie en eaux douces - **M. Magnin** (SENSEA FR)

-- Mercredi 29 Juin 2022 --

8h30 – Accueil

08h40-11h20

**SESSION 4 : « L'acoustique sous-marine appliquée à l'observation de la biodiversité »**

08h40–09h00 : À l'écoute de l'évolution de la biodiversité mammifère marin en Arctique Pacifique- **K. Stafford** (Oregon State University)

09h00–09h20 : Effet du sous échantillonnage temporel : le cas des données acoustiques de grandes baleines dans l'océan Indien - **M. Michel** (ENSTA Bretagne - Lab-STICC)

09h20–09h40 : Semi real-time passive acoustic classification and localization of marine mammals using a fleet of SeaExplorer gliders (AUVs) - **R. Emmetiere** (ALSEAMAR)

09h40–10h00 : Autonomous Harbor Porpoise detector- **T. Berthet** (SERCEL)

10h00–10h20 : Signal Processing and Valvometry: from instrumentation to description of a biological state - **J. Mars** (Gipsa-lab)

-----

**10h20 – 11h20 : PAUSE**

-----

11h20-14h20

**SESSION 5 : « Les outils de traitement de signal pour l'acoustique sous-marine »**

11h20-12h00 **Conférencier invité** : Du traitement du signal bivarié à l'analyse de la polarisation de la vitesse particulaire en acoustique sous-marin - **Dr Julien Flamant** (CRAN Université de Lorraine, Nancy)

*« Les signaux bivariés apparaissent dans de nombreuses applications, dès lors que l'analyse jointe de deux signaux réels est nécessaire : ondes polarisées en optique ou sismologie, courants marins de surface en océanographie ou encore mesures de vitesse particulaire en acoustique sous-marine.*

*Dans cet exposé, je présenterai un cadre général pour l'analyse et le traitement de ces signaux dans lequel la notion physique de polarisation, empruntée à l'optique, joue un rôle clé. En outre, l'approche permet de multiples interprétations géométriques et physiques des outils fondamentaux du traitement du signal bivarié (densités spectrales, filtres linéaires, spectrogrammes). Je détaillerai ensuite l'utilisation de ces outils dans le cadre de la caractérisation de la polarisation de la vitesse particulaire en acoustique sous-marine. »*

12h00–12h20 : Segmentation des fonds marins par Deep Learning - **C. Noel** (SEMANTIC TS)

-----

**12h20 – 13h40 : REPAS**

-----

**13h40–14h00 :** Effet des canaux acoustiques sous-marins sur les signaux cyclostationnaires - **F.X. Socheleau** (IMT Atlantique)

**14h00–14h20 :** Méthode bayésienne de traitement de données acoustiques en environnement incertain - **H. Pihan-Le Bars** (SHOM)

-----

**14h20-17h40**

**SESSION 6 : « Les technologies, l'instrumentation et les mesures »**

**14h20–15h00 Conférencier invité :** Les câbles sous-marins : des milliards de capteurs acoustiques potentiels ! - **Dr Anthony Sladen** (laboratoire Géoazur de l'Université Côte d'Azur)

*« La mesure acoustique distribuée (DAS) sur fibre optique est une approche instrumentale récente qui permet de transformer n'importe quelle fibre optique en un réseau dense (m) de capteurs sismo-acoustiques sur de grandes distances (150km). Il s'agit donc d'une solution pouvant répondre aux problèmes de coût, complexité et fiabilité des meilleurs systèmes actuels pour l'instrumentation du fond des océans. Après une introduction aux grands principes de la technologie, j'évoquerai ses avantages et limitations actuelles illustrés par des applications en acoustique marine comme le suivi de bateaux ou d'ondes T. »*

**15h00–15h20 :** Un flotteur MERMAID pour l'écoute pluridisciplinaire des océans - **S. Bonnieux** (GEOAZUR)

-----

**15h20–16h20 : PAUSE**

-----

**16h20–16h40 :** Localisation de drones par antennerie acoustique en milieu maritime : premiers résultats et perspectives - **M. Bonotto** (MicrodB)

**16h40–17h00 :** News about OSMOSE: a scientific interest group on methods and applications around underwater passive acoustics - **D. Cazau** (ENSTA Bretagne)

**17h00–17h20 :** Autonomous Laboratory Vessel for bioacoustics - **A. Thebaud** (SEAPROVEN)

**17h20 – 17h40 :** Dori, enregistreurs acoustiques sous-marins - **C. Magnier** (Abyssens)

-- Jeudi 30 Juin 2022 --

## Serenade & le collectif bruit sous-marin

### « Séminaire national sur le bruit sous-marin »

8h30 – Accueil

8h40 – Ouverture du séminaire

#### 1. Carte blanche

09h00–09h30 : **Conférencier invité** : Quantification de l'impact du bruit anthropique sur le comportement des Cétacés - **Dr Charlotte Curé** (CEREMA)

09h30–10h00 : **Conférencier invité** : Impacts des bruits anthropiques sur l'écologie larvaire des invertébrés marins benthiques - **Frédéric Olivier** (MNHN - UMR BOREA - IRP BeBEST)

#### 2. Point sur la réglementation

10h00 International : Point sur les travaux à l'Organisation Maritime Internationale – Bruit sous-marin et trafic maritime – **N. Duron** (10min)

10h10 : Européen : Point avancement TG Noise – **L. Ceyrac** (20min)

10h30 : Nationale – **F. Expert** (10 min)

10h40 : Question sur la réglementation (20min)

-----

**11h00 – 11h20 : PAUSE**

-----

#### 3. Les observatoires du bruit sous-marin

11h20-11h30 : Présentation de l'observatoire acoustique mis en place dans le cadre de la DCSMM pour le D11 et de la stratégie de suivi acoustique des cétacés pour le deuxième cycle de surveillance DCSMM 2021-2026 - **B. Guichard** (OFB)

11h30-11h40 : Présentation de l'observatoire national de l'éolien en mer

11h40-11h55 : Présentation de l'observatoire acoustique du trafic maritime au sein du Saint Laurent (Québec) - Marine acoustic Research Station - **C. Gervaise** (Institut de recherche CHORUS)

11h55 : Questions sur le bloc

-----

**12h20 – 13h40 : REPAS**

-----

#### 4. Méthodes scientifiques en soutien des politiques publiques

13h40-14h00 : Approche probabiliste de l'évaluation du bruit sous-marin comme outil d'aide à la décision – **L. Ceyrac**, D. Dellong, F. Le Courtois (SHOM)

14h00-14h20 : Définition d'un Index Sonore comme outil d'aide à la décision dans le cadre de la DCSMM : cas d'étude en Atlantique Nord - **D. Clorennec**, A. Caillard, A. Levaufre, R. Chavanne, L. Bourven, R. Gallou & T. Folegot (Quiet-Oceans)

14h20-14h30 : Système de contrôle du bruit sous-marin en temps-réel mis en œuvre lors d'un battage de pieux – A. MAGLIO & **A. Drira** (Sinay)

14h30-14h40 : Question sur le bloc

#### 5. Focus sur les enjeux côte Atlantique

14h40-15h00 : Mesures de bruit des activités de construction du parc éolien en mer de Saint Brieuc : sources sonores et effets potentiels sur la faune marine - **D. Mathias** (Bureau d'étude SOMME)

15h00-15h20 : Forage et battage de pieu à St-Brieuc : l'impact acoustique des chantiers offshore sur les larves de coquilles St-Jaques – **M. Gigot** (CNRS)

15h20-15h30 : Premier aperçu de la réponse des coquilles Saint Jacques (*Pecten maximus*) aux activités de forage réalisées dans le cadre de la construction d'un parc éolien offshore – **E. Retailleau** (Bureau d'étude SOMME)

-----

**15h30-16h00 : PAUSE**

-----

16h00-16h20 : Synthèse de la connaissance scientifique des effets acoustiques des éoliennes flottantes sur la faune marine - **C. Gervaise**, J. Lossent, (Institut de recherche CHORUS), A. Gigou (OFB)

16h20-16h30 : Prédiction de la pollution sonore dans les fjords en Arctique : importance de la propagation acoustique tridimensionnelle – **G. Richard** (Bureau d'étude SOMME)

16h30-16h50 : Question sur le bloc

#### 6. Sensibilisation et actions des ONG

16h50-17h10 : Présentation d'IFAW sur le lancement de leur campagne sur le bruit – **A. Morin** (IFAW)

#### 7. Conclusion

17h10-17h30 : Conclusions sur les perspectives du collectif. Discours de clôture de la journée

## -- Résumés des présentations --

### Session 1 « Intelligence Artificielle »

#### **Modal estimation in underwater acoustics by data-driven structures sparse decomposition - C. Dorffer (ENSTA Bretagne - Lab-STICC)**

*En acoustique sous-marine, les environnements petits fonds agissent comme des guides d'ondes dispersifs modaux lorsque l'on considère des sources émettant dans les basses fréquences. Dans ce contexte, les signaux qui se propagent peuvent être décrits comme une somme de quelques composantes modales, chacune d'entre elles se propageant longitudinalement selon un nombre d'onde propre. L'estimation de ces nombres d'onde est d'intérêt pour comprendre l'environnement de propagation ainsi que la source émettrice. Selon le contexte opérationnel et l'antenne à disposition, plusieurs outils sont envisageables pour résoudre le problème d'estimation des composantes modales. Dans le cas d'une antenne linéaire horizontale, l'estimation modale équivaut à une estimation spectrale et l'on peut envisager des outils classiques de la littérature. Ces méthodes sont cependant assujetties - selon leurs natures - à un échantillonnage régulier des capteurs, une grande ouverture d'antenne, ou encore des hypothèses de stationnarité du milieu. Afin d'alléger ces contraintes opérationnelles, il est raisonnable de s'appuyer sur la connaissance physique de la propagation. Lorsqu'il s'agit de sources à large bande, notamment, on peut exploiter la relation de dispersion, qui permet de lier les nombres d'ondes se propageant d'une fréquence à l'autre. Dans cette contribution, nous proposons de recourir à une approche s'appuyant sur une machine de Boltzmann restreinte pour modéliser ces liens physiques. Ce modèle, dérivé de réseaux bayésiens profonds, peut en effet être appris efficacement sur des données simulées physiquement réalistes à l'aide d'algorithmes connus et éprouvés.*

*Contact : [clement.dorffer@gmail.com](mailto:clement.dorffer@gmail.com)*

#### **Predicting In-situ Wind Speed Using Underwater Acoustic and Learning-based Variational Data Assimilation - M. Zambra (IMT Atlantique Bretagne-Pays de la Loire)**

*Wind speed retrieval at sea surface is primary importance for scientific and operational applications. Besides weather models, in situ measurements and remote sensing technologies, especially satellite sensors, provide complementary means to monitor wind speed. As sea surface winds impact underwater sound propagation, underwater acoustics recordings can also deliver fine-grained wind-related information. Whereas model-driven schemes, especially data assimilation approaches, are the state-of-the-art schemes to address inverse problems in geoscience, machine learning techniques become more and more appealing to fully exploit the potential of observation datasets. Here, we introduce a deep learning approach for the retrieval of wind speed time series from underwater acoustics possibly complemented by other data sources such as weather model reanalyses. Our approach bridges data assimilation and learning-based frameworks to benefit both from prior physical knowledge and computational efficiency. Numerical experiments on real data demonstrate that we outperform the state-of-the-art data-driven methods with a relative gain up to 14% in terms of RMSE. Interestingly, these results support the relevance of the time dynamics of underwater acoustic data to better inform the time evolution of*

wind speed. They also show that multimodal data, here underwater acoustics data combined with ECMWF reanalysis data, may further improve the reconstruction performance, including the robustness with respect to missing underwater acoustics data.  
Contact : [matteo.zambra1@gmail.com](mailto:matteo.zambra1@gmail.com)

### **DAS et solutions d'apprentissage machine pour la détection et classification temps réel d'événements acoustiques - C. Jestin (FEBUS Optics)**

*Les systèmes DAS (Distributed Acoustic Sensing) présentent un intérêt toujours plus croissant pour les mesures acoustiques. Ils permettent en effet de transformer des câbles à fibre optique en un réseau dense de capteurs acoustiques pouvant atteindre une centaine de kilomètres. Les applications de cette solution sont très larges : surveillance sismique, volcanologie, glaciologie, mais aussi détection d'intrusion périmétrique, suivi de trafic routier, ferroviaire ou maritime, etc.*

*La grande densité de capteurs associée à cette technologie est à la fois un grand avantage, car elle permet un suivi précis et sur de grandes distances d'événements très variés, mais aussi un grand défi. Les données DAS présentent, en effet, de très hautes résolutions spatiales et temporelles et génèrent des quantités de données très importantes, souvent difficiles à analyser et à stocker. Ainsi, des solutions de traitement automatique des données doivent être développées.*

*Parmi celles-ci, les algorithmes d'apprentissage machine apparaissent comme une méthode adaptée pour la détection et la classification d'événements. Dans cette étude, nous analysons l'efficacité de l'algorithme des Forêts Aléatoires pour la discrimination d'événements enregistrés par les systèmes DAS. Cet algorithme a été sélectionné parmi d'autres pour sa capacité à manier un large nombre d'attributs associés aux caractéristiques du signal tout en permettant une bonne précision pour l'identification des sources. Il a prouvé son efficacité pour la classification d'une grande variété de sources sismiques (tremblements de terre, événements volcaniques, chutes de roche, avalanches etc.) par des capteurs sismiques classiques. Nous démontrons ici son efficacité pour le traitement et la classification temps réel d'événements, notamment d'origine anthropique, enregistrés par le DAS.*

Contact : [camille.jestin@febus-optics.com](mailto:camille.jestin@febus-optics.com)

## **POSTERS**

### **Real-time monitoring of ocean sounds, meteorology, and marine mammals from expendable profiling floats - J. Bonnel & M. Baumgartner (Woods Hole Oceanographic Institution, MA, USA)**

*Marine mammal occurrence and distribution in the world's ocean basins are difficult to observe because these areas are remote and rarely visited by visual survey vessels. Sustained passive acoustic monitoring is also difficult because archival recorders must be recovered and re-deployed from ships whose high costs are difficult to justify for long voyages. Long-endurance expendable profiling floats have been used by the physical oceanography community for the past two decades to measure ocean heat content throughout most of the global ocean. These profiling floats operate at sea for years at a time, making them ideal platforms for access to remote ocean basins. To provide these expendable platforms with a passive acoustic monitoring capability, we integrated the low-power digital acoustic monitoring (DMON2) instrument in a commercially-available profiling float (MRV ALTO). Every half hour, the DMON2 transmitted to the profiling float*

*controller both ambient noise spectra (up to 30 kHz) and summary baleen whale detection information from the low-frequency detection and classification system (LFDCS). Upon surfacing, the float relayed these data to shore via Iridium short-burst data messages where they were displayed on a publicly accessible website in near real time, with ambient noise levels used to perform acoustical meteorology. Because the float is not intended to be recovered, the on-board data processing (noise level estimation and detection/classification of marine mammal sounds) is critical to its use for long-endurance passive acoustic monitoring missions. We will present preliminary results from an 8-week at-sea trial deployment conducted during summer 2021, and our plans for upcoming expendable missions in the North Atlantic Ocean.*

*Contact: [jbonnel@whoi.edu](mailto:jbonnel@whoi.edu)*

### **Simulation de propagation acoustique en milieu réaliste à l'aide d'un code à mode splitting pour l'océanographie fines échelles - P.A. Dumont (SHOM)**

*Croco (<https://www.croco-ocean.org/>) est un modèle océanographique compressible et à surface libre permettant de modéliser des écoulements océaniques réalistes des échelles régionales jusqu'à littorales. L'objectif du travail est d'étudier l'impact de structures océanographiques (tourbillons, fronts, ondes internes) réalistes et de leur évolution sur la propagation acoustique.*

*Le modèle Croco a été développé afin de permettre de propager aussi des ondes acoustiques dans un contexte très réaliste, en plus de modéliser la circulation océanique. Le principe fondamental de Croco est conservé : le modèle résout explicitement les quantités océaniques traditionnelles (courants, élévation de la surface de la mer, température et salinité). Les champs de pression, et en particulier les ondes acoustiques, sont désormais résolues explicitement. L'équation d'onde résolue présente donc plus de termes que les approches acoustiques usuelles (rayons, équation parabolique). Pour le moment, pour une échelle spatiale océanique réaliste, le coût numérique du modèle limite la gamme de fréquence acoustique à quelques centaines de Hertz. Une couche sédimentaire fluide (même rhéologie que l'eau mais avec des caractéristiques différentes) a été ajoutée à Croco afin de modéliser correctement les interactions de l'onde acoustique avec le fond.*

*La propagation d'onde acoustique par Croco dans une configuration de guide d'onde type Pekeris délimité par une surface libre et un fond de sédiment fluide présente une très bonne cohérence avec la théorie, en particulier la structure verticale des modes et leurs vitesses de propagation.*

*Les perspectives pour le domaine acoustique visent à évaluer l'apport de cette approche réaliste par rapport aux modèles existants, dans des configurations océanographiques complexes type structures de méso-échelle ou évoluant rapidement (train d'ondes internes solitaires).*

*Contact: [pierre-antoine.dumont@shom.fr](mailto:pierre-antoine.dumont@shom.fr)*

## **Estimation du canal acoustique sous-marin pour le positionnement et suivi de plateformes dérivantes sous-marines - M. Grangeon (IMT Atlantique)**

*La variabilité océanique de sous-mésoséchelle (fronts, filaments, ondes, < 10 km, <1 semaine) joue un rôle potentiellement important dans le fonctionnement physique et biologique de l'Océan, notamment du fait des échanges entre l'océan profond et la surface.*

*Une nouvelle méthode d'observation de cette variabilité consiste à monitorer par géolocalisation acoustique la dérive d'une meute de flotteurs autonomes déployées dans des structures sous-mésoséchelle d'intérêt.*

*Cette géolocalisation nécessite la résolution d'un problème inverse qui repose sur l'estimation du canal de propagation acoustique sous-marin.*

*Dans cet article, une méthode d'estimation de canal est proposée.*

*Elle repose sur le formalisme du rapport de vraisemblance généralisé multi-familles et est adaptée aux canaux multi-trajets et multi-échelles propres à notre contexte.*

*Ses performances sont validées à l'aide d'un simulateur couplant des modèles océanographiques et acoustiques.*

Contact : [mathis.grangeon@imt-atlantique.fr](mailto:mathis.grangeon@imt-atlantique.fr)

## **Switching off the Sun to observe the twilight zone spatial dynamics across Saint-Paul and New-Amsterdam Islands, Southern Indian Ocean - L. Izard (LOCEAN)**

*Information on micronekton (> 1 cm organisms) is globally scarce in the open ocean, and its vertical and horizontal distribution in relation to oceanographic structures is poorly known. The complex biodiversity composing micronektonic functional groups lead to even more challenging interpretations of their spatial dynamics. Advanced generations of echosounders emit simultaneously several acoustic signals (multi-frequency device), allowing a finer view of the micronektonic community. While data becomes more abundant and complex, it is crucial to develop statistical tools aiming to objectively extract key components of its variability. In this study, we analyse data recorded onboard the R/V Marion Dufresne from an EK80 echosounder emitting at 18, 38, 70, 120 and 200 kHz. We developed a Multivariate Functional Data Analysis method to identify patterns in micronekton structures across Saint-Paul and New Amsterdam economic exclusive zone, at the boundary between vast oceanic domains. This approach proposes an objective method to analyse the vertical backscatter distribution and quantify temporal and spatial modes of variability in multivariate acoustic data. By filtering the temporal mode, we uncovered a latitudinal acoustic pattern in concordance with hydrological features and biological samples distribution. Such methods could be implemented at a global or local scale and allow 3-D modelling of micronekton structuring.*

Contact : [lloyd.izard@locean.ipsl.fr](mailto:lloyd.izard@locean.ipsl.fr)

## **Scattering transform CNN pour la classification de signaux de propulsion - T. Mahiout (Thales DMS - Sophia Antipolis)**

*La classification de bruits de navires est généralement considérée comme une tâche difficile en raison de son besoin de robustesse et de fiabilité. Ainsi, la classification dans ce domaine repose principalement sur l'utilisation de représentations expertes et les architectures profondes sur signaux acoustiques brutes ont été historiquement évitées, malgré leurs performances dans d'autres domaines. Dans nos travaux, nous proposons une scattering transform ou transformée de diffusion, basée sur l'apprentissage (LST), qui apprend efficacement les dépendances temporelles dans les signaux cyclostationnaires, tels que les bruits de navires. Le LST est implémenté comme un réseau de neurones convolutifs (CNN) avec des filtres courts dont la structure imite une décomposition du signal multi-échelle. De cette façon, l'architecture de notre réseau de neurones peut être considérée comme intrinsèquement explicable. Des simulations numériques comparent notre méthode à d'autres réseaux de neurones convolutifs classiques.*

Contact : [thomas.mahiout@orange.fr](mailto:thomas.mahiout@orange.fr)

## **Relocalisation de câble sous-marin par l'étude de bruit de navire via la technologie de mesure acoustique distribuée (DAS) - L. Papotto (Thales DMS - Geoazur)**

*La technologie DAS (Distributed Acoustic Sensing) transforme les câbles à fibres optiques utilisés pour les télécommunications en réseaux d'antennes multi-capteurs. Cette technologie permet de détecter un signal acoustique provenant d'une source naturelle comme les cétacés ou les micro-séismes, ou d'une source artificielle en mesurant la déformation du câble. En mer, le couplage entre la fibre optique et le sol sur lequel elle repose, ainsi que le calibrage du câble, est un point critique lorsque la configuration du câble est inconnue. La fibre est-elle enterrée ou suspendue ? Quelle est la profondeur du capteur étudié ? Quel impact ces paramètres ont-ils sur le signal ? Les réponses à ces questions ont un impact sur la qualité des résultats obtenus, la localisation des sources - sismiques ou acoustiques - et la caractérisation de l'amplitude des signaux en sont des exemples. Une première approche pour étudier cette calibration est proposée ici. Le bruit acoustique généré par le passage de navires au voisinage d'une fibre optique de 42 km de long au large de Toulon, dans le sud-est de la France, est utilisé pour obtenir des signaux dont la position et le signal de la source sont connus. Ensuite, le signal synthétique et théorique représentant le passage du navire est modélisé (modèle analytique 3D, coordonnées AIS Long/Lat et profondeur, vitesse de propagation dans l'eau  $c_0 = 1530\text{m/s}$ ). Cette simulation nous permet de comparer les signaux réels et synthétiques, afin d'émettre des hypothèses sur la configuration réelle du câble. Nous comparons les signaux de beamforming, de diagramme  $f$ - $k$  et de diagramme temps-fréquence notamment. L'approche de recherche sur grille nous a permis de déterminer la nouvelle position ou orientation d'une partie de l'antenne. Cette nouvelle position est ensuite évaluée à partir des signaux de différents navires.*

Contact : [lucas.papotto@geoazur.unice.fr](mailto:lucas.papotto@geoazur.unice.fr)

## **Analyse statistique du bruit ambiant sous-marin et l'impact de l'environnement sur ce dernier à l'échelle de sous-région marine - C. Perrier De La Bathie (SHOM)**

*L'intensification des échanges internationaux et le développement des industries maritimes a impliqué l'apparition d'une pollution sonore anthropique sous-marine. Cette pollution est considérée comme un problème environnemental majeur pouvant impacter les écosystèmes marins et notamment les mammifères. Au niveau européen, la « Directive-Cadre Stratégie pour le Milieu Marin » (DCSMM) impose, depuis 2008, aux états membres de garantir un bon état écologique dans les eaux sous leur juridiction. Dans le domaine acoustique, cette directive prévoit l'étude de la composante anthropique continue du bruit ambiant sous-marin, au travers d'indicateurs dans deux bandes cibles d'un tiers d'octave centrées sur 63 Hz et 125 Hz. Le Shom opère, dans le cadre de la DCSMM, un réseau de surveillance acoustique (MAMBO) qui permet la mesure long-terme du bruit ambiant en différents points de la ZEE française. L'estimation du bruit ambiant anthropique nécessite de dissocier les contributions du champ lointain et du champ proche. Cela implique la mise en place d'un algorithme de détection acoustique des bateaux proches du mouillage. Cet algorithme permet d'une part d'estimer la composante lointaine et d'autre part de croiser les données acoustiques aux positions des navires (AIS) afin d'identifier la source à l'origine du pic acoustique et ses caractéristiques (taille, vitesse, motorisation etc.). Une étude statistique du bruit ambiant peut aussi être menée au regard des conditions environnementales, afin d'analyser les contributions des variables océaniques et météorologiques sur le bruit ambiant dans l'ensemble de la bande de fréquence (< 17 kHz). Une étude préliminaire est en cours sur plusieurs stations situées dans le golfe de Gascogne et des corrélations entre les conditions environnementales, notamment avec la vitesse du vent, et le niveau du bruit ambiant ont été établies menant à des modèles de dépendance linéaire en fonction des bandes de fréquences.*

Contact : [cecile.delabathie@gmail.com](mailto:cecile.delabathie@gmail.com)

## **Premier aperçu de la réponse des coquilles Saint Jacques (*Pecten maximus*) aux activités de forage réalisées dans le cadre de la construction d'un parc éolien offshore - E. Retailleau (SOMME)**

*D'importantes lacunes subsistent concernant les réactions des invertébrés aux sons et vibrations générés par la construction des parcs éoliens offshore. Avec le développement récent de tels projets à proximité de gisements de coquilles Saint Jacques (*Pecten maximus*) en France, une attention particulière a été accordée à cette espèce d'importance économique. Dans ce contexte, nous avons suivi l'activité de 30 coquilles lors d'opérations de forage associées à la construction du parc de Saint Briec. Équipées de valvomètres (capteurs à effet Hall), les coquilles ont été déployées à trois distances du point de forage (300, 600, et 3000m) pendant trois semaines, couvrant l'arrivée du navire et les opérations de forage. Deux bouées de mesure acoustique ont également été déployées (400 et 3000m) afin d'évaluer l'exposition des coquilles au bruit de forage. Les données d'ouverture valvaire acquises, ont permis de mettre en évidence un cycle circadien associé à une activité nocturne (plus ouvertes la nuit que le jour) pour la majorité des individus (82%). Les individus suivis ont maintenu ce cycle tout au long de la période de forage, quelle que soit la distance au point de forage. Aucune différence n'a été observée en termes d'ouverture moyenne. Une augmentation du nombre de mouvements de grande amplitude a cependant été identifiée*

*pour les coquilles situées à 300m du navire de forage lors de son installation. Bien que l'interprétation de cette observation soit délicate, cet effet semble limité dans le temps et l'espace. D'un point de vue technique, cette étude démontre la pertinence de l'utilisation de valvomètres autonomes pour étudier les effets d'activités offshore sur les bivalves en conditions réelles. D'autres études impliquant des mesures supplémentaires (sismique, mouvement particulière, etc.) sont nécessaires pour mieux comprendre l'effet de ces activités sur cette espèce.*

*Contact : [retailleau.somme@orange.fr](mailto:retailleau.somme@orange.fr)*

### **CETIROISE – Mise en place d'un observatoire acoustique des cétacés au sein du Parc naturel marin d'Iroise 2021-2023 - F. Samaran, M. Torterotot, J. Beesau, C. Gicquel (ENSTA Bretagne - Lab-STICC)**

*Le Parc naturel marin d'Iroise accueille des populations résidentes de grands dauphins mais constitue également une zone d'importance pour l'accueil d'autres cétacés : dauphins communs, marsouins communs, rorquals communs, dauphins de Risso, globicéphales noirs, etc. Pour beaucoup de ces espèces, les observations visuelles restent rares. Afin de mieux les inventorier et de connaître la fréquence avec laquelle elles utilisent la mer d'Iroise, le Parc naturel marin d'Iroise et l'ENSTA Bretagne ont lancé, en 2021, le projet d'observatoire acoustique CETIROISE, financé dans le cadre du plan France Relance. Chaque espèce de cétacé émet différents types de sons et utilise des gammes de fréquences qui lui sont propres. Le suivi par acoustique passive est un dispositif visant à enregistrer les sons émis par les cétacés et à les analyser afin d'acquérir des connaissances sur leur écologie. Il est ainsi possible d'identifier les espèces présentes sans les déranger aux moyens d'hydrophones implantés sur des sites de mouillages en mer. CETIROISE prévoit le déploiement de 7 hydrophones sur le secteur nord du Parc pendant une année complète à partir de mai 2022. Chaque mouillage est équipé de 2 types d'instruments, l'un permettant d'enregistrer tous les sons dans une gamme de fréquence allant jusqu'à 64 kHz et l'autre dédié uniquement aux clics d'écholocation de très hautes fréquences.*

*Contact : [flore.samaran@ensta-bretagne.fr](mailto:flore.samaran@ensta-bretagne.fr)*

### **Caractérisation de la diversité spécifique des cétacés au large des îles St Paul et Amsterdam (Océan Indien) par un glider acoustique - M. Torterotot, F. Samaran et J. Beesau (ENSTA Bretagne - Lab-STICC)**

*Dans le contexte d'extension de la réserve naturelle des Terres Australes et Antarctique Française autour des îles St Paul et Amsterdam, nous y avons déployé un glider pour surveiller en continu le paysage acoustique, du 28 février au 5 avril 2019. Les données ont été visualisées sous forme de spectrogrammes pour détecter la présence de vocalisations de mammifères marins sur toute la largeur du spectre. Des sons de cétacés ont été détectés dans plus de 75 % des fenêtres temporelles de 10 minutes. La grande diversité de vocalises de mysticètes et d'odontocètes mesurée le long de la route du glider a montré que les eaux des îles St Paul et d'Amsterdam sont un habitat privilégié pour de nombreuses espèces. Combiné à d'autres programmes scientifiques sur les caractéristiques pélagiques et*

océanographiques de cette zone, ce travail a servi de canevas pour la définition des nouvelles limites des zones de protection renforcée de la réserve.

Contact : [maelle.torterotot@ensta-bretagne.fr](mailto:maelle.torterotot@ensta-bretagne.fr)

**ÉTUDE DU PAYSAGE ACOUSTIQUE DU SAINT-LAURENT À LA STATION MARS**  
J.Mérindol<sup>1</sup>, P. Cauchy<sup>1</sup>, G. St-Onge<sup>1</sup>, C. Gervaise<sup>1,2</sup> <sup>1</sup> Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER), Université du Québec à Rimouski. <sup>2</sup> Directeur Institut de recherche associatif CHORUS et Président SENSEAFR SAS.

*L'estuaire du Saint-Laurent est reconnu pour l'abondance et la diversité des mammifères marins qui le fréquentent et contribuent à son paysage sonore sous-marin. Cette région est également une importante voie maritime reliant les Grands Lacs à l'océan Atlantique. Ces autoroutes maritimes ont des impacts négatifs, notamment l'exposition au bruit sous-marin et les collisions avec les mammifères marins. Dans le contexte actuel de développement durable et de protection des espèces en péril au Canada, comme la baleine noire de l'Atlantique Nord (*Eubalaena glacialis*) et le béluga (*Delphinopterus leucas*), il est nécessaire de mener des recherches pour déterminer objectivement les effets du bruit sur les mammifères marins.*

*Le projet MARS est un projet de recherche appliquée qui vise à comprendre et mesurer le bruit sous-marin émis par les navires et à proposer des méthodes pertinentes pour le réduire.*

*Une station d'enregistrement acoustique a été déployée au centre du chenal Laurentien pour mesurer la signature acoustique des navires et fournir des mesures continues du bruit ambiant sous-marin. Dans ce contexte, j'étudie le paysage sonore sous-marin, enregistré d'août à octobre*

*2021 : les chants des baleines qui contribuent de façon saisonnière à la biophonie ; les bruits dépendants du vent et de la pluie, audibles sous l'eau, qui constituent la géophonie ; et le bruit du trafic maritime, qui contribue à l'anthropophonie.*

*Je me concentre sur l'analyse du bruit ambiant mesuré à la station, l'identification des contributeurs (naturels ou anthropiques), et la comparaison des niveaux de bruit observés avec le comportement acoustique rapporté des espèces de cétacés locales. L'analyse de la contribution relative du bruit du vent et du trafic au niveau sonore aux fréquences pertinentes pour la communication des cétacés permet d'estimer la portée de perturbation d'un navire, et sa dépendance aux conditions météorologiques. Une telle analyse du paysage sonore fournit des informations précieuses à des fins de conservation. La vitesse du vent et la répartition des navires peuvent être utilisées pour estimer les effets du bruit du trafic sur les conditions de communication des cétacés. L'exposition sonore cumulée peut être comparée aux seuils de tolérance des cétacés rapportés par la littérature scientifique, afin d'estimer les effets sur les populations de cétacés utilisant l'habitat du Saint-Laurent.*

Contact : [jeanne.theuriot@gmail.com](mailto:jeanne.theuriot@gmail.com)

**Analyse de l'impact de la perturbation du trafic maritime sur les cartes de bruit - M. Lajaunie (SHOM)**

Contact : [m.lajaunie@hotmail.fr](mailto:m.lajaunie@hotmail.fr)

**Classification des cartes de bruit selon les propriétés de la propagation - D. Dellong (SHOM)**

*Contact : [david.delong@shom.fr](mailto:david.delong@shom.fr)*

## Session 2 « La physique, la tomographie et l'inversion géoacoustique »

### **Hydroacoustic observations of a seismic cluster at Melville Fracture Zone along the Southwest Indian Ridge in 2016-17 - V.V. Ingale (IUEM, Lab Geo Ocean, UMR6538)**

*Seismic clusters of volcanic and tectonic events along mid-oceanic ridges are inherent to seafloor spreading. Due to the rapid attenuation of seismic waves in the solid Earth, land-based seismic networks lack the low-level seismicity associated with such clusters. However, regional studies using autonomous underwater hydrophones overcome this difficulty due to their sensitivity to low-frequency hydroacoustic waves, known as T-waves, that travel in the SOund Fixing And Ranging (SOFAR) channel over very long distances with little attenuation. Using hydroacoustic records from the temporary OHASISBIO network and permanent stations of the CTBT Organization, we have examined a seismic cluster near the Melville Fracture Zone (FZ) at 61°E along the ultraslow spreading Southwest Indian Ridge (spreading rate: 14-15 mm/yr).*

*Near 61°E, 259 events were reported in the International Seismological Center (ISC) catalogue between 9th June 2016 and 25th March 2017 in the region of 3 x 3 degrees in latitude and longitude around Melville Transform. Out of them, 17 events display normal faulting mechanisms parallel to the ridge axis (Global Centroid Moment Tensor (GCMT) solutions).*

*In the preliminary analysis, we have detected 22438 hydroacoustic events between 9th June and 27th Nov 2016, vs 214 events in the ISC catalogue, so with ~100-fold increase in the event detections. These events are mostly aligned parallelly to the ridge axis near its intersection with the Melville FZ. The event median uncertainties are ~2.8 km in latitude and longitude, and ~0.8 s in origin time. Their median acoustic magnitude or Source Level (SL) is 224.34 dB.*

*This seismic cluster includes several highly energetic and short duration (~10 s) impulsive events, located on the slopes of seamounts near the FZ at 61.2°E. These events are interpreted as thermal explosions resulting from direct magma supplies on the seafloor. Also, most of the hydroacoustic events are clustered around the same seamounts. There is no evidence for long mainshock-aftershock sequence at the onset of this seismic cluster. These observations point to a magmatic origin for this seismic cluster with an active source located near a chain of seamounts in the vicinity of Melville FZ.*

Contact: [vaibhavvijay.ingale@univ-brest.fr](mailto:vaibhavvijay.ingale@univ-brest.fr)

### **Geoacoustic inversion using simple hand-deployable acoustic systems -**

**J. Bonnel (Woods Hole Oceanographic Institution, MA, USA), A. McNeese (Applied Research Laboratories, UT Austin, TX, USA), P. Wilson (Applied Research Laboratories, UT Austin, TX, USA), S. Dosso (University of Victoria, BC, Canada)**

*This presentation proposes the use of a simple, low-cost, hand-deployable pair of experimental assets to conduct geoacoustic inversion at sea. The system consists of an expendable, fully-mechanical acoustic source called a RIUSS (Rupture Induced Underwater Sound Source) and a new rope-less passive acoustic mooring called a TOSSIT. Used together, RIUSS and TOSSIT enable the collection of acoustic data suitable to perform single-hydrophone geoacoustic inversion. The method is illustrated using data collected on the New England Mud Patch in May 2021 from a relatively small (22 m) and inexpensive chartered fishing vessel. Modal time-frequency dispersion is extracted from the*

*TOSSIT/RIUSS data using warping, and used as input for Bayesian trans-dimensional geoacoustic inversion. The inversion results compare favorably to results obtained with data collected on the same track with traditional assets (e.g. a vertical line array) during the 2017 Seabed Characterization Experiment, even when jointly inverting for the water-column sound speed profile and seabed geoacoustic parameters. This further demonstrates inversion repeatability in a given location using data sets collected years apart, and under different (and potentially unknown) oceanographic conditions.*

Contact : [jbonnel@whoi.edu](mailto:jbonnel@whoi.edu)

### **L'intérêt d'une modélisation numérique full-wave 3D pour caractériser la propagation UBF des ondes par petits fonds marins - N. Favretto-Cristini (CNRS-Lab. de Mécanique et d'Acoustique)**

*La propagation des ondes en environnement marin dans le domaine Ultra-Basses Fréquences (UBF) est actuellement au cœur de bon nombre d'enjeux environnementaux et militaires. La gamme de fréquences considérées, autour de 5-150 Hz, fait voler en éclat le concept d'une propagation plus ou moins confinée à la couche d'eau. En particulier, par petits fonds, le problème doit être considéré comme un problème plus global où l'environnement marin ne se réduit pas à la seule couche d'eau et où les propriétés du sous-sol doivent être pleinement intégrées. L'acoustique UBF tend alors vers la sismo-acoustique et les ondes d'interface peuvent jouer un rôle non négligeable dans la contribution globale des échanges acoustiques. Cette présentation discutera de l'intérêt à modéliser numériquement la propagation des ondes, avec une méthode full-wave qui permet de prendre en compte les phénomènes physiques prépondérants sous-jacents, au travers d'exemples choisis.*

Contact : [favretto@lma.cnrs-mrs.fr](mailto:favretto@lma.cnrs-mrs.fr)

### **NARVAL2019 : Mesures océano-acoustiques en mer de Barents - G. Real (DGA Techniques Navales)**

*The presentation is devoted to the description of an ocean acoustic measurement campaign carried out in October 2019 in the Barents Sea by the CMRE (Center for Maritime Research and Experimentation), DGA Naval Systems (French Defense Procurement Agency), FFI (Norwegian Defence Research Establishment) and SHOM on the N/O Pourquoi Pas ?. Two acoustic sources were moored north (Tx1) and south (Tx2) of the Barents Sea Polar Front, alternatively transmitted waveforms composed of LFM and CW signals between 1 and 14 kHz.*

*The surface temperature was measured during a local survey. The Polar Front was hence located precisely.*

*Various acoustic receivers were deployed south of the front in order to sample the propagated sound waves in a strongly range-dependent environment:*

- *a three-hydrophone recorder was moored 10m from the seafloor 7.8 km from Tx2 ;*
- *two self-recording hydrophones were moored at depth 75m and 90m, 13.4 km from Tx2 ;*
- *a six-element acoustic array spanning the water column was moored 21.7 km from Tx2.*

*A 32-hydrophone acoustic array was also towed across the Polar Front during two non-consecutive 10h periods. Complementary to the acoustic assets, a 24-element thermistor chain was deployed on the Tx2 mooring, and a WireWalker was operated north of the Tx2 mooring to provide vertical temperature (and also salinity and density) measurements. Our focus is on the understanding of the dynamics between the oceanographic process and the acoustic propagation [1-3]. The evolution of the temperature was measured by the thermistor chain and showed evidence of tidal evolutions, as well as displacement of the Polar Front and possibly non-linear internal waves. From the acoustic standpoint, the CIR between Tx2 and the CMRE5 hydrophones is of particular interest: the influence of the fluctuations near the southern end of the front (as shown by the thermistor string), is expected to be important.*

*Contact : [gaultier.real@intradef.gouv.fr](mailto:gaultier.real@intradef.gouv.fr)*

### **Narval 21 : propagation dans le Front Islande Féroé - F. Le Courtois (SHOM), G. Real (DGA Technique Navales) & B. Kinda (SHOM)**

*La campagne Narval 21, portée par la collaboration entre Shom et DGA TN, est motivée par l'importante dynamique observée à la frontière entre les eaux de l'Océan Atlantique et celles de la Mer de Norvège. Les essais ont eu lieu dans le front thermohalin entre l'Islande et les îles Féroé en juillet 2021. La frontière entre les eaux de l'Océan Atlantique et celles de la mer de Norvège implique une dynamique très forte. La campagne a pour objectif de monitorer les propriétés océanographiques et leurs fluctuations, ainsi que la propagation acoustique au travers du front. Ces travaux présentent la configuration expérimentale déployée, la fluctuation environnementale et les premiers résultats de l'analyse de la propagation.*

*Contact : [florent.le.courtois@shom.fr](mailto:florent.le.courtois@shom.fr)*

### **Localisation de la présence d'ondes internes linéaires : application aux données ALMA 2017 - G. Beaumont (DGA Techniques Navales)**

*Ces travaux proposent d'identifier la présence d'ondes internes linéaires en utilisant des mesures d'acoustique passive. L'identification est double ici: l'identification de la présence d'ondes internes par mesures in-situ (ici via l'utilisation de mesures de chaîne de thermistance) et l'observation de leurs influences sur le moment d'ordre 4 du signal acoustique mesuré par une antenne. Ces travaux s'inscrivent dans une volonté de proposer des moyens d'évaluer de manière discrète le milieu de propagation, ici ses fluctuations. Pour s'assurer de la présence d'ondes internes, nous procédons d'abord à une identification par analyse spectrale des variations de déplacement vertical afin d'y reconnaître un spectre de référence: le spectre de Garrett-Munk. Une fois la présence de fluctuations observée, nous nous attacherons à comparer ce spectre avec le spectre de variations d'une grandeur statistique décrivant la dégradation du signal: la cohérence verticale. Bien que ces quantités soient reliées dans la littérature par des formules nécessitant la connaissance détaillée du milieu, nous cherchons ici à savoir si, à certaines profondeurs données et dans certaines gammes de fréquences, une identification de la présence d'ondes internes en observant uniquement la cohérence verticale était possible.*

*L'objectif est alors de démontrer que, par analyse spectrale des mesures in situ et de l'évolution de la cohérence du signal, la détection et l'identification des ondes internes est possible via la mesure acoustique passive.*

Contact : [guillaume.beaumont@intradef.gouv.fr](mailto:guillaume.beaumont@intradef.gouv.fr)

### **Etude de l'influence des petites échelles océaniques sur la propagation acoustique : application à la campagne ALMA2017 - A. L'Her (ENSTA Bretagne, THALES DMS)**

*La fluctuation océanique est présente à de nombreuses échelles spatio - temporelles. Nous nous intéressons aux fluctuations produites par les ondes internes et les vagues de surface, qui ont une variabilité temporelle allant de la minute aux heures. Les ondes internes créent des fluctuations verticales qui provoquent des variations de la vitesse du son, et donc impactent fortement la réception acoustique d'une manière difficile à prévoir. Il est alors nécessaire de considérer des méthodes stochastiques pour lier la propagation acoustique et la dynamique du milieu de propagation dans les régions de forte activité d'ondes internes.*

Contact : [alexandre.lher@ensta-bretagne.org](mailto:alexandre.lher@ensta-bretagne.org)

## **SESSION 3 : « Les paysages sonores sous-marins »**

### **Réseau de surveillance MAMBO - B. Ollivier (SHOM)**

*Les sources acoustiques provenant des interactions et interférences humaines dans l'environnement marin sont reconnues comme une pollution sonore.*

*Dans le but d'évaluer le bon état écologique, un réseau acoustique sous-marin est déployé dans les eaux françaises dans le cadre de la Directive Cadre Stratégie Marine (2008/56/EC) (MSFD).*

*Ce réseau a pour fonction d'assurer en premier lieu l'acquisition de séries temporelles de longue durée et en second lieu de fournir des niveaux de références pour la calibration et la fusion des cartographies issues des modèles numériques de bruit ambiant.*

*L'objectif est ici de présenter le réseau d'observation à l'heure actuelle, à travers les moyens matériels et opérationnels, le calendrier et les zones monitorées, les données récoltées (plus de 20000 heures à ce jour) et les observations acoustiques (bateaux, mammifères marins...). Enfin, l'ensemble des travaux et analyses sur ces données sera brièvement introduit, ainsi que l'évolution du réseau MAMBO, aussi bien en termes de mise en œuvre opérationnelle que de traitement de la donnée.*

Contact : [benjaminollivier\\_9@gmail.com](mailto:benjaminollivier_9@gmail.com)

### **Prédiction de la pollution sonore dans les fjords en Arctique : importance de la propagation acoustique tri-dimensionnelle - G. Richard (SOMME)**

*Avec la fonte des glaces en Arctique, de nouvelles routes maritimes sont en train de s'ouvrir. L'activité anthropique dans ces zones va s'intensifier, entraînant une augmentation des sons anthropiques. Les écosystèmes arctiques étant jusqu'à présent largement préservés de cette*

*pollution sonore, il est important de pouvoir prédire quelles seront les zones d'impacts anthropiques. Pour cela, l'utilisation de modèles de propagation acoustique permet de réaliser des études prédictives et de simuler différents scénarios d'impacts potentiels sur la faune locale. Cependant une bonne modélisation de la propagation est cruciale, d'autant plus dans des zones présentant une géographie complexe et une bathymétrie abrupte, telles que les fjords. En effet, les études d'impacts acoustiques potentiels utilisent majoritairement des modèles de propagation acoustique spatiale simplifiés en plusieurs plans (Nx2D) au lieu d'utiliser des modèles de propagation 3D complet pourtant plus adaptés aux fjords.*

*L'objectif de cette étude est de comparer les empreintes acoustiques du bruit de navires dans un fjord au Svalbard obtenus par un modèle traditionnel (Nx2D) et un modèle 3D complet. Nos résultats montrent une différence significative entre les deux modèles pour l'évaluation des impacts acoustiques à l'échelle du fjord. En effet, le modèle de propagation Nx2D sous-estime les aires impactées par les sons anthropiques, ce qui peut avoir des conséquences majeures dans des plans de gestion de l'espace maritime.*

Contact : [richard.somme@orange.fr](mailto:richard.somme@orange.fr)

**Projet LIFE PIAQUO : s'adapter au trafic maritime en fonction de la sensibilité acoustique des écosystèmes marins – Bilan et résultats de 2ans d'écoute - J. Lossent, M. Magnin, R. Foucher, C. Gervaise (Institut de recherche CHORUS & SENSEA FR)**

*Le Projet LIFE PIAQUO vise à réduire l'impact acoustique du trafic maritime et à pouvoir s'adapter en temps réel aux écosystèmes traversés. Ce 2ème objectif d'adaptation du trafic en fonction de la sensibilité acoustique des écosystèmes marins au bruit en relation avec leur cartographie se fait par Monitoring par Acoustique Passive. Ce GOAL est notamment mis en œuvre sur les milieux côtiers (bruit et poissons) au sein de 2 AMP : Parc National des Calanques et Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls associée au Parc Naturel Marin du Golfe du Lion. La charge utile pour évaluer la sensibilité de l'écosystème au bruit est triple : un enregistreur acoustique passif fixe à long terme, des bouées acoustiques dérivantes à court terme et une caméra intelligente pour produire des informations de type AIS pour les petits bateaux. Pour chaque AMP nous avons identifié 3 à 6 sites avec un gradient de situations en termes de poissons (Mérrou brun, Corb), de statut de protection et d'activités anthropiques. Chaque site est échantillonné pendant 6 mois de mai à novembre sur 4 années consécutives (2020 à 2023). Nous présenterons les premiers résultats des données de 2020 et 2021.*

*Pour rendre compte des liens état-pression, nous présentons nos résultats sous la forme de matrice de sensibilité d'un écosystème marin au bruit anthropique. Pour quantifier la sensibilité acoustique d'un compartiment biologique face aux activités anthropiques, nous proposons de présenter le paysage acoustique d'un site suivant deux axes. L'axe horizontal quantifie l'état éco-acoustique du compartiment biologique, soit ici le nombre de vocalises de poissons, et l'axe vertical quantifie l'anthropophonie à laquelle le compartiment animal est confronté. Puisque la biophonie et l'anthropophonie peuvent varier dans le temps, un environnement (compartiment biologique x activités humaines) est décrit par plusieurs points dans la matrice, chaque point correspondant à une période donnée.*

Contact : [julie.lossent@chorusacoustics.com](mailto:julie.lossent@chorusacoustics.com)

## **Les OBS et leur perception du paysage acoustique en UBF - Richard Dreo (IPGP)**

Contact: [dreo@ipgp.fr](mailto:dreo@ipgp.fr)

## **Étude de l'évolution des conditions météo-océanographiques à méso-échelle à l'aide de signaux OBS - X. Demoulin (MAREE)**

*La propagation UBF (Ultra Basse Fréquence) à grande distance reste un sujet d'étude actuel, surtout lorsque les capteurs (émission et/ou réception) sont posés au fond. Dans ce cas, des conversions entre différentes natures d'ondes existent et il est nécessaire de recourir à des simulations calculant toutes les composantes des vitesses. En tirant parti du réseau public d'OBS (Ocean Bottom Seismometer) Alparray déployé au large des côtes méditerranéennes Françaises entre juin 2017 et février 2018, des tirs de contre-minage produits sur la côte varoise ont pu être extraits. Le travail présenté consiste en une analyse comparative entre ces mesures et des simulations de la propagation réalisée à l'aide de logiciels de propagation existants.*

Contact: [xdemoulin@maree.fr](mailto:xdemoulin@maree.fr)

## **Application de la bioacoustique pour le suivi de rejets d'émissaire - E. Blin (SUEZ)**

*Suez met en place des suivis acoustiques en temps réel dans les milieux aquatiques avec la solution Seadvanced Sound. Sur plusieurs mois, une écoute permanente a été effectuée dans la baie de Cortiou à Marseille en face des rejets de la rivière Huveaune et des rejets des eaux usées traitées de la station d'épuration Géolide. Les variations des descripteurs acoustiques de l'activité biologique ont été analysées lors de différents événements de pluie. Un classement de ces événements par rapport à leur impact sur les descripteurs de la biophonie a été établi permettant de suivre l'évolution future des impacts événementiels par rapport aux actions menés sur le territoire Marseillais.*

Contact: [eric.blin@suez.com](mailto:eric.blin@suez.com)

## **Paysages sonores et biophonie en eaux douces - M. Magnin (SENSEA FR), E. Blin (SUEZ), R. Richoux (SIAAP – Direction Innovation), E. Garcia Gonzalez (SIAAP – Direction Innovation), S. Guérin (SIAAP – Direction Innovation), V. Rocher (SIAAP – Direction Innovation), J. Lossent (SENSEA FR) & C. Gervaise (SENSEA FR)**

*Une station de mesure acoustique a été installée sur la Seine lors du projet Sein'acoustique mené en 2021 par SUEZ et le SIAAP. En plus des descripteurs automatiques produits, les données sonores ont fait l'objet de recherche de signatures biologiques propres au milieu eau douce par SENSEA. L'étude approfondie des signaux a permis de déterminer une trentaine de signatures - dont une dans les ultrasons – dans les catégories invertébrées, poissons et environnement. Des corrélations positives ont été montrées entre l'intensité de plusieurs signaux bioacoustiques et les variations de qualité des eaux, ce qui montre l'intérêt de la bioacoustique dans le suivi des eaux douces.*

Contact: [cedric.gervaise@senseafr.com](mailto:cedric.gervaise@senseafr.com)

## SESSION 4 : « L'acoustique sous-marine appliquée à l'observation de la biodiversité »

### À l'écoute de l'évolution de la biodiversité mammifère marin en Arctique Pacifique - K. Stafford (Oregon State University)

*L'Arctique tel que nous le connaissons, est en train de changer rapidement à cause de la réduction de l'étendue spatiale et temporelle de la glace de mer Arctique.*

*Face à ces changements, il existe des preuves d'altérations dans la phénologie des espèces arctiques et d'invasions d'espèces subarctiques. La pression croissante des enjeux économiques dans la région met en évidence le besoin urgent d'observations à long terme dans l'océan Arctique, y compris des changements de la biodiversité. La surveillance par acoustique passive est un des moyens les plus efficaces pour déterminer ces changements, surtout chez les mammifères marins, dans cette région où la couverture de glace de mer est importante, où les conditions météorologiques sont souvent mauvaises et où la nuit polaire dure de nombreux mois. Deux mouillages situés dans la mer de Chukchi, l'Observatoire de l'écosystème de Chukchi (71,6 N) et l'Arctic Ice Mooring (75,1 N), ont été équipés d'hydrophones depuis 2014 et 2008, respectivement, pour observer la présence de mammifères marins acoustiquement actifs. Les instruments ont été programmés pour enregistrer des données acoustiques de 10 Hz à 8 kHz pendant 25% du temps. Lors de la récupération, les données ont été examinées visuellement et auditivement pour déterminer la présence/l'absence de vocalisations de mammifères marins. Les espèces arctiques (principalement les baleines boréales et les bélugas ainsi que les phoques et les morses) ont été enregistrées de façon saisonnière chaque année aux deux endroits. Au fil du temps, le nombre d'espèces subarctiques a augmenté, tout comme leur temps passé dans le Grand Nord. Les espèces subarctiques comprennent les baleines à bosse, les rorquals communs et les épaulards. La surveillance par acoustique passive durant 10 années complètes a amélioré notre compréhension de la façon dont les changements de la biodiversité et la présence de l'Homme affectent même le très haut Arctique.*

Contact : [kate.stafford@oregonstate.edu](mailto:kate.stafford@oregonstate.edu)

### Autonomous Harbor Porpoise detector T. Bertet, S. Coatelan, & C. L'Her (SERCEL)

*Maritime activities require more and more often to assess the population of cetaceans in large areas, leading to deploy numerous sensors that generate a lot of data to analyze. In some cases, real-time processing allows to mitigate effects of acoustic disturbances on cetaceans. The QuietSea™ technology, initially designed for the seismic industry and now mature, has been developed to automatically process large amounts of data in real time with high integration constraints such as consumption and user link speed. The technology is then well suited to be used on buoys or drones for domains such as Renewables energy and Defense.*

*We present transparently the algorithm and associated performances of the harbor porpoises detector that has been developed.*

Contact : [christophe.lher@sercel.com](mailto:christophe.lher@sercel.com)

## **Semi real-time passive acoustic classification and localization of marine mammals using a fleet of SeaExplorer gliders (AUVs) - R. Emmetiere (ALSEAMAR)**

*The last past 50 years, estimates indicate that the underwater ambient noise in the Mediterranean Sea has increased by 20dB. The noise radiated by the marine traffic is, by far, the main contributor to this increase. Within this context, the European life project PIAQUO aims to reduce the acoustic impact and adapt in real-time the marine traffic to the ecosystem it crosses. Regarding the offshore ecosystem, ALSEAMAR proposes to use a fleet of 4 SeaExplorer gliders carrying an acoustic system in order to passively detect, classify and localize two iconic Mediterranean's whale species, namely the sperm whales and the fin whales. Each detection is timestamped in real-time and the classification results are regularly sent to the shore (at each surfacing of the gliders) for further processing. The difference in the frequency content of the vocal signatures of the two target species leads to the implementation of dedicated strategies in order to address the localization. More precisely, only the sperm whales produce high frequency vocalizations (clicks around 10kHz) whose Direction of Arrival (DoA) of each individual click can be estimated in real-time by performing a beamforming using the 6-channels acoustic arrays carried by the gliders. The DoAs are also sent to the shore. The on-shore platform aims to localize in space (longitude-latitude) the detections by performing 1) a Time Difference of Arrival (TDoA) algorithm for fin whale detections and 2) a cross-DoAs algorithm for sperm whale detections. The final results might be used to map the mammals and adapt in semi real-time the marine traffic.*

Contact : [REMMETIERE@alseamar-alcen.com](mailto:REMMETIERE@alseamar-alcen.com)

## **Signal Processing and Valvometry: from instrumentation to description of a biological state - J. Mars (Gipsa-Lab), S. Reynaud (Gipsa-Lab), A. Chauvaud (SOMME), E. Retailleau (SOMME), S. Chauvaud (SOMME) & L. Chauvaud (SOMME)**

*In order to obtain descriptors of the ocean state this internship focused on characterizing king scallops, *Pecten maximus*, behaviour. This works presents the development of tools to analyse automatically accelerometry and valvometry signals acquired from new sensors fixed on scallops. These tools are developed on data acquired during a two weeks experiment aiming at studying scallops in a stable environment. First the conditions of this experiment are presented. A calibration process to obtain valve distance signal (millimeter) from the original valvometry data (millivolt) is explained and validated. Cycle analysis using Power Spectral Density is performed in order to see if light variations have an influence on scallops behaviour. To describe the behaviour more precisely a movement detection algorithm based on the scalogram of the valve distance signal is developed. Then the movements are analysed. Jumps are identified thanks to a k-means clustering on specific features of the movements. All this information is used to compute behaviour descriptors. These descriptors are of two types : number of movements descriptors and base opening descriptors. Further development should focus on the combination of valvometry distance and accelerometry signals and on movement classification.*

Contact : [jerome.mars@gipsa-lab.fr](mailto:jerome.mars@gipsa-lab.fr)

## **Effet du sous échantillonnage temporel : le cas des données acoustiques de grandes baleines dans l'océan Indien. M. Michel, M. Torterotot & F. Samaran (ENSTA Bretagne - Lab-STICC).**

*La surveillance acoustique passive fixe à long terme des populations de cétacés est un défi logistique et technologique exigeant. Il est parfois nécessaire d'augmenter la durée de vie de la batterie ou d'optimiser la capacité de stockage en utilisant des schémas de sous-échantillonnage pour prolonger la période de déploiement. De telles stratégies d'enregistrement doivent donc être considérées en relation avec les questions de recherche et les espèces étudiées. Cette étude vise à explorer les effets de différents schémas de sous-échantillonnage temporel sur plusieurs métriques qui décrivent les patrons de présence saisonnière, la richesse spécifiques et le taux d'appel quotidien de trois populations de rorquals bleus dans trois sites de l'océan Indien. Les données acoustiques continues composées de trois longs chants réguliers et d'un court appel irrégulier ont été temporairement sous-échantillonnées via trois pourcentages de duty cycle différents : 50 %, 33 % et 25 % avec des périodes d'écoute allant de 1 minute à 8 heures. Les résultats montrent que la réduction du pourcentage de temps d'enregistrement a un impact négatif sur la précision avec laquelle les modèles saisonniers sont représentés ainsi que sur l'estimation du taux d'appel quotidien et de la richesse spécifique du site. Pour un pourcentage spécifique de duty cycle, de courtes périodes d'écoute (5 min à 30 min) sont à privilégier. Les effets du sous-échantillonnage sont plus prononcés lorsque les espèces ont une faible activité vocale ou de courtes périodes de présence. Ces résultats démontrent l'importance de prendre des décisions conscientes en accord avec les espèces cibles avant de choisir un duty cycle pertinent.*

## **SESSION 5 : « Les outils de traitement de signal pour l'acoustique sous-marine »**

**Segmentation des fonds marins par Deep Learning - C. Noel (SEMANTIC TS.), S. Marchetti (SEMANTIC TS.), J.M. Temmos (SEMANTIC TS.), L. Pibre (TETIS - Inrae, AgroParisTech, Cirad, CNRS, Université de Montpellier & AMIS, Université de Montpellier 3), J. Pasquet (TETIS - Inrae, AgroParisTech, Cirad, CNRS, Université de Montpellier & AMIS, Université de Montpellier 3) & V. Douzal (TETIS - Inrae, AgroParisTech, Cirad, CNRS, Université de Montpellier)**

*Le projet ADELE, réalisé avec le concours financier de la DGA (RAPID), ambitionne de fournir de nouvelles technologies permettant grâce à une meilleure segmentation des fonds marins d'optimiser la détection d'objets immergés. Ces problématiques majeures sont communes à de nombreux domaines de la recherche civile et militaire. L'objectif du projet est de proposer de nouveaux systèmes de détection de changement de l'environnement marin littoral petits fonds, tant pour les applications civiles de suivi de l'écosystème marin, que pour les applications militaires. Ces dernières trouvent un intérêt dans le contexte de la guerre des mines, mais aussi de la connaissance de la topographie des très petits fonds marins pour les opérations de débarquement. D'autre part, les technologies testées visant à être embarquées sur drone sous-marin, opérant à une altitude proche du fond, pourront servir les besoins de connaissance par grands fonds.*

*Le projet ADELE cherche à rendre ces avancées possibles via le développement de méthodes d'apprentissage profond (Deep Learning). Il exploite les jeux de données acoustiques (bathymétrie et sonar latéral) associées aux vérités terrain que SEMANTIC TS recueille depuis plus de 15 ans au travers de campagnes de cartographie acoustique multi-capteurs des fonds marins. Ces données acoustiques, complétées par la vérité terrain recueillie, sont labellisées et exploitées en collaboration avec les chercheurs de l'UMR TETIS spécialisés*

*dans le développement de modèles à base de Deep Learning. La boucle itérative de mise au point du modèle neuronal est présentée ainsi qu'une analyse des performances des résultats du réseau de neurones.*

Contact : [noel@semantic-ts.fr](mailto:noel@semantic-ts.fr)

### **Effet des canaux acoustiques sous-marins sur les signaux cyclostationnaires - F.X. Socheleau (IMT Atlantique)**

*Les processus cyclostationnaires appartiennent à une classe particulière de signaux non stationnaires qui sont aléatoires par nature mais qui présentent des statistiques périodiques. Les bruits d'hélice de navires, les clics d'odontocètes ou les signaux de communication sont quelques exemples de sources acoustiques sous-marines (ASM) cyclostationnaires. L'estimation des périodes "cachées" dans de tels processus peut s'avérer très pertinente pour détecter des signaux d'intérêt, les classifier, atténuer des interférences, estimer le canal ou encore faire de la séparation de sources.*

*Bien que très populaires pour l'analyse de signaux acoustiques ou radiofréquences aériens, les méthodes d'analyse cyclostationnaire ont été utilisées de façon assez sporadique en ASM. Les effets des canaux ASM sur les caractéristiques des signaux cyclostationnaires seront discutés dans cet exposé. On s'intéressera plus particulièrement aux canaux multi-trajets multi-échelles (MTME) sur lesquels les sources acoustiques mobiles et large bande transmettent ainsi qu'aux canaux dispersifs résultant de la propagation modale à basse fréquence et en eau peu profonde. On montrera notamment que les canaux MTME peuvent transformer les signaux cyclostationnaires en une somme de processus dont les propriétés statistiques sont modulées en fréquence alors que les canaux dispersifs préservent les périodicités originales mais atténuent les périodes les plus courtes et étalent les corrélations. Les résultats théoriques seront illustrés avec des données réelles dans un contexte d'analyse aveugle de signaux de communication.*

Contact : [fx.socheleau@imt-atlantique.fr](mailto:fx.socheleau@imt-atlantique.fr)

### **Méthode bayésienne de traitement de données acoustiques en environnement incertain - H. Pihan-Le Bars (SHOM)**

*L'impact des activités humaines sur les écosystèmes marins est devenu une préoccupation internationale majeure. A l'échelle de l'Union Européenne, la « Directive-Cadre Stratégie pour le Milieu Marin » (DCSMM) finance des programmes de surveillance des pressions anthropiques et d'évaluation de l'état écologique des écosystèmes. Dans le domaine acoustique, cette directive prévoit l'étude du bruit ambiant sous-marin, notamment de sa composante anthropique (continue et transitoire), ainsi que son impact éventuel sur des populations de mammifères marins. En France, le réseau de surveillance dédié (MAMBO), permet à la fois le suivi des niveaux de bruit générés par le trafic maritime, et l'étude des transitoires acoustiques, anthropiques et biologiques. Outre les volumes importants de données générés par la surveillance du bruit ambiant, la complexité de l'environnement marin (propriétés physiques, dynamique spatio-temporelle, répartition des écosystèmes et des activités industrielles) et des paysages sonores qui en résultent (sources nombreuses à des distances variées) complique singulièrement l'estimation des niveaux de bruit, en particulier de la contribution anthropique, ainsi que les tâches de détection des signaux transitoires. Nous avons développé un algorithme conjoint d'estimation du bruit et de détection de signaux en environnement incertain, basé sur une approche bayésienne et*

*réursive qui s'intègre dans les processus de traitement mis en œuvre au Shom pour l'exploitation des données du réseau MAMBO.*

*L'objectif est d'étudier d'une part le bruit ambiant dans sa composante continue, et d'autre part de détecter des transitoires non-spécifiques, avec pour contrainte d'opérer continuellement en l'absence d'information sur la présence ou l'absence ces transitoires et en tenant compte du caractère généralement non-stationnaire inhérent à la mesure.*

*Outre l'approche méthodologique, nous présentons ici les possibilités d'exploitation ouvertes en matière de suivi du bruit ambiant, et d'extraction et de caractérisation des signaux transitoires, notamment des signaux impulsifs qui est la première étape de nos développements en matière d'extraction.*

Contact : [helene.pihan-le.bars@shom.fr](mailto:helene.pihan-le.bars@shom.fr)

## **SESSION 6 : « Les technologies, l'instrumentation et les mesures »**

### **Un flotteur MERMAID pour l'écoute pluridisciplinaire des océans - S. Bonnieux (GEOAZUR)**

*Les flotteurs profileurs Argo sont utilisés depuis des dizaines d'années pour étudier le rôle des océans sur le climat, et inversement. Plus récemment, des flotteurs appelés MERMAID, et équipés d'hydrophones, sont utilisés comme stations sismologiques dans les océans. Un réseau d'observation global de plusieurs centaines de flotteurs permettrait d'imager l'intérieur de la terre par tomographie. L'organisation internationale Earthscope-Ocean, qui associe plusieurs laboratoires de recherche en géosciences, a déployé plus de 50 flotteurs dans l'océan pacifique ainsi que plusieurs dizaines en Méditerranée et en mer de Chine; elle cherche à collaborer avec différentes communautés scientifiques pour étendre son réseau. La nature acoustique des mesures sismologiques nous rapproche naturellement d'autres domaines comme l'étude des cétacés, de la météorologie ou de l'activité anthropologique.*

*Nous développons actuellement une version pluridisciplinaire du MERMAID capable d'écouter des sons jusqu'à 20 kHz et d'embarquer plusieurs autres capteurs. Les données générées par ces capteurs, et en particulier l'acoustique, doivent être traitées à bord de l'instrument, car les capacités de transmission de données par satellite sont très limitées. Pour permettre à chaque spécialiste d'écrire des applications de traitement de données, nous avons développé un langage de programmation spécifique appelé MeLa. Ce dernier permet d'écrire des programmes tout en prenant en compte les limitations de l'instrument (e.g., temps de calcul, énergie) et permet d'installer plusieurs applications sur un même instrument. Nous recherchons des collaborateurs pour écrire, ou nous aider à écrire, des applications pertinentes pour la communauté scientifique. Cela nous permettra d'adapter le langage de programmation en fonction des besoins scientifiques. Les applications développées seront installées sur un flotteur pluridisciplinaire qui sera déployé en Méditerranée en 2023. De plus, les applications pourront être mises à jour après déploiement grâce à un système de reprogrammation à distance et un système de communication satellite amélioré.*

Contact : [bonnieux@geazur.unice.fr](mailto:bonnieux@geazur.unice.fr)

**Localisation de drones par antennerie acoustique en milieu maritime : premiers résultats et perspectives - V. Baron, M. Bonotto, J. Dumon (MicrodB) & J. Mars (Gipsa-lab)**

*Les drones sont de plus en plus utilisés sur des théâtres d'opérations militaires pour menacer des intérêts stratégiques. Afin de réduire ces menaces, de nombreux systèmes anti-drones ont été développés ces dernières années, en utilisant différentes modalités physique de détection comme le radar, la vidéo, ou les radio-fréquences. Mais du fait des évolutions très rapide dans ce domaine, chacune de ces modalités prise séparément ne suffit plus à assurer une protection efficace dans tous les scénarios possibles.*

*Etant donné que la plupart des drones ciblés sont des quadrirotors qui produisent un bruit important à cause de la rotation de leurs pâles, la modalité acoustique a été logiquement étudiée. Elle a l'avantage de fonctionner de nuit, en présence de brouillard, ou encore de détecter des drones autonomes, mais elle permet aussi d'identifier ces drones par leur signature acoustique. Cependant, la localisation par l'acoustique dépend directement du bruit de fond ambiant dans lequel le capteur est placé, qui peut être très bas en milieu rural à élevé en milieu urbain. Alors que ces environnements ont déjà été étudiés, un milieu dans lequel les forces armées sont largement présentes ne l'a pas été : le milieu maritime.*

*Dans cette présentation l'objectif est de combler cette absence de données grâce à l'analyse spectrale de signaux acoustiques enregistrés dans une zone côtière. Le bruit de fond de la zone est comparé aux signaux issus des drones pour comprendre leurs différences de contribution. Puis une méthode de localisation de sources basées sur l'algorithme MUSIC est testée dans ce contexte difficile car bruyant, pour évaluer ces performances. Enfin, des pistes de travail sont évoquées pour améliorer la distance de détection des menaces que représentent ces drones.*

*Contact : [valentin.baron@microdb.fr](mailto:valentin.baron@microdb.fr)*

**News about OSMOSE: a scientific interest group on methods and applications around underwater passive acoustics - D. Cazau (ENSTA Bretagne - Lab STICC), G. Dubus (ENSTA Bretagne - Sorbonne Université) & M. Torterotot (ENSTA Bretagne - Lab STICC), J. Beesau (ENSTA Bretagne - Lab STICC), F. Samaran (ENSTA Bretagne - Lab STICC)**

*Current world-wide ocean observatories bring a severe increase in the quantity of deployed sensors, collected data as well as objects to be monitored on the long-term. In particular, Underwater Passive Acoustic (UPA) data poses major issues in terms of management and information extraction because of their large volume, heterogeneous nature and large spatial integration of multiple facets of the marine environment. Furthermore, new processing challenges for PAM emerge towards on-board algorithms in Autonomous Underwater Vehicles and its integration into global ocean observing systems (e.g. GOOS). This seminar aims to 1) highlight challenges related to these (r)evolutions and 2) present our first coordinated efforts to address them within the OSmOSE project.*

*Contact : [dorian.cazau@ensta-bretagne.fr](mailto:dorian.cazau@ensta-bretagne.fr)*

## **Autonomous Laboratory Vessel for bioacoustics - A. Thebaud (SEAPROVEN)**

*SeaProven conçoit et opère des flottes de Navire Autonomes de Surface qu'elle souhaite développer pour tendre vers un concept opérationnel de constellations océaniques. Dotés d'une autonomie océanique de 10 mois et capable de collecter une cinquantaine de paramètres différents, ces navires illustrent le dynamisme et le leadership de la « french ocean tech ».*

*SeaProven travaille en partenariat avec le Laboratoire d'Informatique et Systèmes (LIS) CNRS et son équipe spécialiste en Bioacoustique et IA de l'Université de Toulon (Lauréate de la Chaire Intelligence Artificielle / Bioacoustique 2020-2024 avec l'agence de L'innovation / DGA) pour le développement des instruments de mesure et l'analyse des signaux acoustiques.*

*L'association de ces deux technologies (ASV + instruments d'acoustique passive) permettent d'écouter la mégafaune jusqu'à -3500 m et dans un rayon de 6 km (Glotin 2020), et les delphinidés au moins à 1 mile ou ½ miles suivant les espèces. Les campagnes de mesure de la faune (Glotin 2020) sont en pentaphonie par chaque drone, et maintenant par trois antennes distantes de plusieurs miles nautiques (une sur chaque drone). Cette flottille forme un véritable observatoire acoustique de plusieurs miles de largeur, avec une très bonne synchronisation et positionnement des antennes (GPS multiples et Pulse par seconde, précis à la nanoseconde par satellite sur chaque antenne). Ce dispositif forme un véritable observatoire acoustique unique au monde permet ainsi aux scientifiques d'étudier et d'estimer la densité de population des animaux marins sans avoir ni à les approcher, ni à les déranger sur de très longues périodes de temps (jusqu'à 10 mois). Enfin, ces navires étant complètement silencieux en dérive, ils ne polluent pas les mesures réalisées.*

*Plusieurs missions "Sphyrna-Odysee", utilisant ces technologies, ont été réalisées en 2018, 2019, 2020 en mer Méditerranée. Une nouvelle mission va être lancée à l'été 2022 dans le Golfe de Gascogne. [www.sphyrna-odysee.com](http://www.sphyrna-odysee.com)*

*Contact: [at@seaproven.com](mailto:at@seaproven.com)*

## **Dori, enregistreurs acoustiques sous-marins - C. Magnier (Abyssens)**

*Abyssens propose la gamme d'enregistreurs acoustiques sous-marins DORI avec de grandes performances acoustiques (110 dB de dynamique, une écoute jusqu'à 250 kHz) et une grande capacité de stockage maximale jusqu'à 16 To. Grâce à un bruit propre inférieur à mer zéro et à une plage dynamique élevée, le bruit ambiant peut être étudié en parallèle de la surveillance des sources sonores de niveau acoustique élevé.*

*Ces enregistreurs acoustiques sous-marins sont dédiés pour des déploiements en mers de 15 jours (modèle S), 3 mois (modèle M) et 6 mois (modèle L). La version XS est alimentée par une source externe d'énergie et est pensée pour être intégrée à bord de véhicules ou pour être utilisé comme observatoire câblé avec un câble fourni sur demande.*

*Contact: [caroline.magnier@abyssens.fr](mailto:caroline.magnier@abyssens.fr)*

## Séminaire national sur le bruit sous-marin

**Quantification de l'impact du bruit anthropique sur le comportement des Cétacés - Dr C. Curé (CEREMA)**

*Contact :* [charlotte.cure@cerema.fr](mailto:charlotte.cure@cerema.fr)

**Impacts des bruits anthropiques sur l'écologie larvaire des invertébrés marins benthiques - F. Olivier (MNHN - UMR BOREA - IRP BeBEST)**

*Contact :* [frederic.olivier@mnhn.fr](mailto:frederic.olivier@mnhn.fr)

### 1. Point sur la réglementation

**International : Point OMI. N. Duron**

*Contact :* [noemie.duron@developpement-durable.gouv.fr](mailto:noemie.duron@developpement-durable.gouv.fr)

**Européen : Point avancement TG Noise. L. Ceyrac (SHOM)**

*Contact :* [laura.ceyrac@shom.fr](mailto:laura.ceyrac@shom.fr)

**Nationale. F. Expert (Ministère de la transition écologique)**

*Contact :* [florian.expert@developpement-durable.gouv.fr](mailto:florian.expert@developpement-durable.gouv.fr)

### 1. Les observatoires du bruit sous-marin

**Présentation de l'observatoire acoustique mis en place dans le cadre de la DCSMM pour le D11 et de la stratégie de suivi acoustique des cétacés pour le deuxième cycle de surveillance DCSMM 2021-2026 - B. Guichard (OFB)**

*Contact :* [benjamin.guichard@ofb.gouv.fr](mailto:benjamin.guichard@ofb.gouv.fr)

**Présentation de l'observatoire national de l'éolien en mer -**

**Présentation de l'observatoire acoustique du trafic maritime au sein du Saint Laurent (Québec) - MARine acoustic Research Station. C. Gervaise (Institut de recherche CHORUS)**

*Contact :* [cedric.gervaise@chorusacoustics.com](mailto:cedric.gervaise@chorusacoustics.com)

### 2. Méthodes scientifiques en soutien des politiques publiques

**Approche probabiliste de l'évaluation du bruit sous-marin comme outil d'aide à la décision - L. Ceyrac, D. Dellong, F. Le Courtois (SHOM)**

*Contact :* [laura.ceyrac@shom.fr](mailto:laura.ceyrac@shom.fr)

**Définition d'un Index Sonore comme outil d'aide à la décision dans le cadre de la DCSMM : cas d'étude en Atlantique Nord - D. Clorennec, A. Caillard, A. Levaufre, R. Chavanne, L. Bourven, R. Gallou & T. Folegot (Quiet-Oceans)**

*Contact :*

**Système de contrôle du bruit sous-marin en temps-réel mis en œuvre lors d'un battage de pieux - A. MAGLIO & A. Drira (Sinay)**

*Contact :*

### **3. Focus sur les enjeux côte Atlantique**

**Mesures de bruit des activités de construction du parc éolien en mer de Saint Brieuc : sources sonores et effets potentiels sur la faune marine - D. Mathias (Bureau d'étude SOMME)**

*Le développement récent de l'éolien en mer sur les côtes françaises génère une activité accrue en termes de trafic maritime et de travaux en mer, et par conséquent une augmentation du bruit ambiant. Il apparaît donc indispensable de caractériser les sons émis par les différentes activités liées à ces constructions en mer : bruit des travaux (ensouillage, forage, battage de pieux, ...) et des navires associés. Les effets potentiels sur la faune marine peuvent ensuite être étudiés à partir de simulations acoustiques et d'expérimentations in-situ ciblées sur des espèces à enjeu. Des bouées de mesures acoustiques équipées d'un enregistreur acoustique ( $F_s = 156$  kHz) et d'un hydrophone large-bande (Colmar GP1516) ont été déployées à 400 m du navire (Aeolus) réalisant les travaux de forage des fondations des éoliennes et du poste en mer du parc éolien en mer de Saint Brieuc. Ces bouées ont permis de réaliser un suivi continu du bruit émis en 2021 et 2022 par les activités de forage sur différents types de substrats. Les résultats montrent que les niveaux sonores émis sont fortement corrélés à l'utilisation des systèmes hydrauliques, avec un SPLrms médian estimé à la source compris entre 177 dB et 189 dB re 1 $\mu$ Pa. Le statut des têtes de forage (vitesse de rotation, profondeur, ...) ne modifie pas le spectre et les niveaux sonores mesurés. Le bruit généré par les manœuvres d'installation de l'Aeolus se caractérise par une forte composante basse fréquence (100Hz -1 kHz), typique des bruits de navire, avec des niveaux sonores associés plus élevés que le bruit de forage dans cette bande de fréquence. L'augmentation des niveaux reçus associée aux systèmes hydrauliques et sonars seront présentés. Les implications en termes d'empreinte acoustique du projet et le suivi comportemental de coquilles Saint-Jacques à proximité des travaux de forage seront également abordés.*

*Contact :* [mathias.somme@orange.fr](mailto:mathias.somme@orange.fr)

**Forage et battage de pieu à St-Brieuc : l'impact acoustique des chantiers offshore sur les larves de coquilles St-Jacques - M. Gigot (CNRS)**

*En Europe, la stratégie de transition énergétique mise beaucoup sur la solution éolienne, en particulier offshore car plus efficace et moins restreinte en espace. Le fonctionnement d'une éolienne ne produit guère plus de bruit qu'une petite embarcation mais sa fixation sur le fond marin nécessite de lourds travaux de battage de pieu et le forage. Ces travaux génèrent des sons basse-fréquence de niveaux très importants, qui se propagent sur des centaines de kilomètres. Depuis les dernière décennies, l'attention est largement focalisée sur les grands mammifères marins et les poissons, mais les invertébrés eux aussi sont sensibles aux sons. Les aires d'implantation d'éolienne coïncident avec des zones où la biodiversité des fonds marins est riche, et parfois même avec des zones de pêche. C'est le cas à St-Brieuc, où le projet d'Ailes Marines est d'installer un parc éolien sur un gisement de coquilles St-Jacques. Nous nous sommes intéressés aux stades larvaires de cette espèce car ils sont déterminants pour le renouvellement des populations. Pour cela, le laboratoire BeBest a développé un bac expérimental adapté à l'étude acoustique des larves. Nous avons caractérisé finement les caractéristiques acoustiques de ce bac, avec une attention particulière à l'atténuation de la résonance. Nous avons ensuite mené une série d'expériences sur l'impact du battage de pieu et du forage sur les larves de coquilles St-Jacques, en mesurant des paramètres tels que leur survie, leur croissance, leur développement ou leur contenu énergétique.*

Contact : [mathilde.gigot.pro@gmail.com](mailto:mathilde.gigot.pro@gmail.com)

### **Premier aperçu de la réponse des coquilles Saint Jacques (*Pecten maximus*) aux activités de forage réalisées dans le cadre de la construction d'un parc éolien offshore - E. Retailleau (Bureau d'étude SOMME)**

*D'importantes lacunes subsistent concernant les réactions des invertébrés aux sons et vibrations générés par la construction des parcs éoliens offshore. Avec le développement récent de tels projets à proximité de gisements de coquilles Saint Jacques (*Pecten maximus*) en France, une attention particulière a été accordée à cette espèce d'importance économique. Dans ce contexte, nous avons suivi l'activité de 30 coquilles lors d'opérations de forage associées à la construction du parc de Saint Brieuc. Équipées de valvomètres (capteurs à effet Hall), les coquilles ont été déployées à trois distances du point de forage (300, 600, et 3000m) pendant trois semaines, couvrant l'arrivée du navire et les opérations de forage. Deux bouées de mesure acoustique ont également été déployées (400 et 3000m) afin d'évaluer l'exposition des coquilles au bruit de forage. Les données d'ouverture valvaire acquises, ont permis de mettre en évidence un cycle circadien associé à une activité nocturne (plus ouvertes la nuit que le jour) pour la majorité des individus (82%). Les individus suivis ont maintenu ce cycle tout au long de la période de forage, quelle que soit la distance au point de forage. Aucune différence n'a été observée en termes d'ouverture moyenne. Une augmentation du nombre de mouvements de grande amplitude a cependant été identifiée pour les coquilles situées à 300m du navire de forage lors de son installation. Bien que l'interprétation de cette observation soit délicate, cet effet semble limité dans le temps et l'espace. D'un point de vue technique, cette étude démontre la pertinence de l'utilisation de valvomètres autonomes pour étudier les effets d'activités offshore sur les bivalves en conditions réelles. D'autres études impliquant des mesures supplémentaires (sismique, mouvement particulière, etc.) sont nécessaires pour mieux comprendre l'effet de ces activités sur cette espèce.*

Contact : [retailleau.somme@orange.fr](mailto:retailleau.somme@orange.fr)

**Synthèse de la connaissance scientifique des effets acoustiques des éoliennes flottantes sur la faune marine - C. Gervaise, J. Lossent, (Institut de recherche CHORUS), A. Gigou (OFB)**

Contact : [cedric.gervaise@chorusacoustics.com](mailto:cedric.gervaise@chorusacoustics.com)

**Prédiction de la pollution sonore dans les fjords en Arctique : importance de la propagation acoustique tridimensionnelle - G. Richard (Bureau d'étude SOMME)**

Contact : [richard.somme@orange.fr](mailto:richard.somme@orange.fr)

#### **4. Sensibilisation et actions des ONG**

**Présentation d'IFAW sur le lancement de leur campagne sur le bruit - A. Morin (IFAW)**

*La France, l'Espagne, l'Italie et Monaco souhaitent soumettre un dossier de désignation de Zone Maritime Particulièrement Vulnérable (ZMPV) pour la protection des cétacés dans le Nord-Ouest de la Méditerranée auprès de l'Organisation Maritime Internationale pour le MEPC 79 de décembre 2022. IFAW et OceanCare présenteront leurs recommandations relatives à ce projet.*

Contact : [amorin@ifaw.org](mailto:amorin@ifaw.org)