

SERENADE

Surveillance, Etude et Reconnaissance de l'Environnement marin par Acoustique Discrète

Comité scientifique

- Flore SAMARAN & Angélique DREMEAU (ENSTA Bretagne / Lab-STICC (UMR CNRS 6285))
- Myriam LAJAUNIE (Shom)
- Florent LE COURTOIS & G. Bazile KINDA (DGA Techniques navales)
- Julien BONNEL (Woods Hole Oceanographic Institution)
- Gaultier REAL (CMRE)
- Julie LOSSENT (Institut de recherche CHORUS)
- Jacques PIAZZOLA (Sea Tech)



CENTRE FOR MARITIME RESEARCH AND EXPERIMENTATION



Lundi 10/06/2024

08 :30 Accueil

09 :00 – 11 :00 Tutoriel : Initiation à l'analyse de données Distributed Acoustic Sensing (DAS) pour les signaux acoustiques en Python

Léa Bouffaut

K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics, Cornell Lab of Ornithology, Cornell University

11 : 00 Ouverture du séminaire

Session : Les paysages sonores sous-marins

Chairs : G. B KINDA, M. LAJAUNIE

11 :20 – 12 :00 Plénière 1 : Le monde du silence mérite-t-il son appellation ?

CF Vincent Magnan, (*directeur du Centre d'Interprétation et de reconnaissance acoustique*), **TSEF Martial Lemoine** (*expert en renseignement acoustique*)

L'environnement sous-marin est propice à de multitudes d'activités de tous types dont l'accroissement est manifeste. Dans ce contexte, de plus en plus de bruits sont présents, eux-mêmes détectés par de plus en plus de capteurs ou performances de plus en plus élevées. C'est dans ce contexte que ceux que l'on appelle les « oreilles d'or » exercent leur métier, en associant la mise en œuvre de leurs talents aux nouvelles technologies chargées de les soutenir dans leur tâche.

12 :00 – 13 :40 Pause déjeuner au CROUS

13 :40 – 14 :20 Plénière 2 : The global hydroacoustic component of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization's (CTBTO) International Monitoring System : installation, sustainment and data applications

Mario Zampolli¹, *Georgios Haralabus*¹, *Ata Can Corakci*¹, *Dirk Metz*¹, *Michelle Grobbelaar*¹, *Mark K. Prior*², *Tiago Oliveira*²

¹CTBTO IMS/ED, ²CTBTO IDC/SA

The CTBTO International Monitoring System (IMS) consists of 337 facilities distributed around the world, of which more than 90% are already certified. Data are recorded 24/7 and sent in real time to the International Data Centre (IDC) in Vienna, where they are processed to detect signs of nuclear tests. The hydroacoustic (HA) component of the IMS comprises 6 stations with triplets of moored hydrophones suspended in the SOFAR channel, and 5 near-shore seismometer stations designed to detect hydroacoustic phases that couple to the earth's crust near the coast where the seismometer is located, referred to as T-phase stations. In addition to Treaty verification, IMS raw sensor data are

available for civil and scientific studies, with hydroacoustic topics encompassing ocean acoustic propagation and tomography, submarine earthquakes and volcanism, ocean soundscapes, marine mammal acoustics and disaster response. This presentation provides an overview of the IMS and its HA component, and the engineering and operational challenges that come with the installation and sustainment of the hydrophone stations, located in some of the most remote parts of the world's oceans. The most recent HA station, HA04 Crozet Islands (France) will be presented. Examples of IMS HA data shown include (i) arrivals from the September 2017 announced DPRK underground nuclear test recorded by the hydrophones of the IMS, (ii) HA recordings associated with the loss of the Argentine submarine ARA San Juan in 2017 and (iii) hydroacoustic arrivals associated with the explosive eruption of the Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcano in 2022 and the passage of tsunami waves over IMS HA hydrophones. The procedures for obtaining access to the data for research purposes are briefly explained.

14 :20 – 14 :40 Estimation de la vitesse de vent de surface à partir de données d'acoustique passive issues d'éléphants de mer bioglogés.

Anatole Gros-Martial, Dorian Cazau (ENSTA Bretagne), Sara Bazin (Univ-Brest GeoOcean), Christophe Guinet (CEBC)

L'obtention d'estimations de la vitesse du vent au-dessus des océans, en particulier dans l'océan Austral, reste un défi. Les sources météorologiques actuelles comprennent des observations in-situ rares à travers des bouées ou des navires et des données de télédétection provenant de scatteromètres. Cependant, la météorologie acoustique offre une bonne alternative et elle a été significativement développée au cours des dernières décennies avec des techniques de régression et d'apprentissage profond fournissant de bonnes estimations de la vitesse du vent en surface à partir d'enregistrements acoustiques passifs sous-marins. Le principal défi concernant la météorologie acoustique est la généralisation des modèles à de nouveaux sites, la relation entre la vitesse du vent en surface et le niveau de bruit ambiant variant d'une étude à une autre. Les données acoustiques provenant d'éléphants de mer de Kerguelen et de la péninsule Valdès balisés permettent d'obtenir des estimations in-situ de la vitesse du vent en surface dans l'océan Austral avec une erreur absolue moyenne entre 1 et 2 m/s en utilisant des modèles à faible complexité lorsqu'ils sont entraînés sur des données de réanalyse provenant d'ERA5. De plus, le déplacement des animaux et donc la variabilité des données auxiliaires (bathymétrie, profondeur, distance à la côte et autres paramètres) permet d'évaluer leur impact sur la relation entre le niveau de bruit ambiant et le vent en surface. Cela ouvre des perspectives pour mieux choisir les données d'entraînement des modèles pour les rendre plus robustes et améliorer la généralisation sur de nouveaux jeux de données.

14 :40 – 15 :00 Noise Notch

*Real Gaultier¹, Berbey Nino², Pihan-Le Bars Hélène³, **G. Bazile. Kinda⁴***

¹CMRE ; ²DGA Techniques Hydrodynamiques ; ³Shom ; ⁴DGA Techniques Navales

For underwater acoustic detection, knowledge of the characteristics of ambient noise is critical. In particular, for mid-frequency signals (above 1 kHz), the vertical directionality of ambient noise is of great interest. In presence of sound speed profile with a negative gradient, the sources of noise in this

frequency band (surface agitation and local shipping) contribute considerably less to the ambient noise level. The resulting shape of the vertical noise directionality exhibits therefore a « notch », usually located around the horizontal direction. While previous studies show examples of observation of the noise-notch, they also demonstrate that relatively long period of stationary observations are required to evaluate its characteristics (depth and width). In this study, we propose a processing scheme allowing : first to beamform the data in the time domain, second to remove the transient components of the ambient noise, using Percentile Controlled Recursive Averaging (PCRA) on each formed beam. PCRA is a Bayesian method which recursively evaluates clean signal and noise components from the estimation of a conditional signal presence probability in the time-frequency domain. In our case, it is used to remove the transient signals. The method was evaluated on a dataset recorded during the ALMA2018 campaign. During this multi-site at-sea trial, an irregularly sampled planar array was deployed and recorded several hours long samples of ambient noise in various environments. For the sake of simplicity, the array was considered as a Vertical Line Array (VLA). Comparisons with full 2D frequency-domain beamforming without PCRA are also provided. The results show the capability of the proposed method to filter out the transient signals and benefits from long stationary samples to highlight the presence of a noise notch.

15 :00-15 :20 Localisation passive de source Ultra-Basses Fréquences par grands fonds utilisant des sources d'opportunité. Baptiste Menetrier

B. Menetrier¹, V. Labat¹, G. B. Kinda^{1,2}, S. Pinson¹, A. Boudraa¹

¹Institut de Recherche de l'école navale, ² DGA, Techniques Navales

La localisation passive de sources acoustiques présente un intérêt majeur dans divers domaines, civils comme militaires. Les travaux présentés étudient la faisabilité de la localisation de navires à partir des signaux Ultra-Basses Fréquences (UBF), de 0 à 50 Hz, enregistrés par le réseau d'OBS (Ocean Bottom Seismometer) RHUM-RUM autour de l'île de la Réunion (2000 à 6000 mètres de profondeur) en utilisant des sources d'opportunité.

De nombreuses méthodes de localisation de la littérature dérivent du Match-Field Processing (MFP). Elles consistent à comparer une grandeur signante extraite des mesures acoustiques à un dictionnaire de répliques générées par un modèle de propagation pour un ensemble de positions possibles. Cependant, ces méthodes sont sensibles aux inadéquations du modèle environnemental, ce qui les rend inadaptées au contexte étudié. En effet, les incertitudes sur l'environnement (modèle numérique de terrain, nature du fond et bathycélérimétrie) font de la modélisation de la propagation UBF un défi d'envergure dans notre contexte d'étude. Pour surmonter ces limites, nous proposons d'étendre une méthode de MFP basée sur un champ de répliques mesurées, initialement développée pour des petits fonds et avec des capteurs éloignés de 500 m, au contexte grands fonds. Le principe consiste à utiliser les navires repérés par les données AIS (Automatic Identification System) comme sources d'opportunité pour construire le dictionnaire qui servira de référence. Cette approche vise à exploiter la complexité de l'environnement de propagation pour construire des répliques spécifiques à la position de la source.

L'étude est menée sur un jeu de données simulées pour un couple de capteurs distants de 35 km et un relief accidenté. Différentes métriques de similarité sont étudiées pour différents rapports signal à bruit. Les premiers résultats sont prometteurs et montrent la faisabilité de la méthode en grands fonds dans le contexte type RHUM-RUM.

15 :20 – 16 :00 Pause

16 :00 – 16 :20 Classification de signaux acoustiques sous-marins par réseaux de neurones convolutifs issus du traitement d'images : opportunités et limites.

Marc Michau, Rémi Emmetière, ALSEAMAR

Les planeurs sous-marins tels que le SeaExplorer d'ALSEAMAR sont des drones dont l'autonomie peut dépasser un mois. Ces vecteurs sont silencieux et particulièrement adaptés aux applications acoustiques telles que la surveillance du trafic maritime, la détection de moyens militaires et le recensement de mammifères marins. Ils communiquent par lien satellite quand ils sont à la surface : ils peuvent alors transférer les résultats d'algorithmes temps réels embarqués.

A cause de la propagation du son dans l'eau, les signaux enregistrés sont la plupart du temps composés de bruits provenant de multiples sources : parmi différentes fonctions, les solutions de détection et de classification automatique des signaux sous-marins sont particulièrement étudiées. Une base de données a été construite à partir de signaux enregistrés par des planeurs durant des missions en mer Méditerranée, puis annotés selon différentes classes. Cette base de données a permis de construire un cas d'étude pour le développement de solutions de classification de signaux. Deux approches sont comparées : (1) L'utilisation d'un réseau de neurones convolutif (CNN) déjà entraîné pour la reconnaissance d'images, en amont duquel les signaux acoustiques sont transformés en spectrogrammes. En aval du modèle, une technique de « Transfer Learning » est réalisée pour adapter le modèle au cas d'étude. (2) L'utilisation d'un réseau de neurones à très faible complexité, mais prenant en entrée des paramètres construits spécifiquement pour ce cas d'étude.

Outre les performances atteintes en précision, les temps d'inférence et les contraintes liées à l'intégration sur cible embarquée faible consommation sont discutées.

16 :20 – 16 :40 Modèle de propagation acoustique pour l'étude des mammifères marins

Gaetan Patenôtre¹, Hervé Glotin¹, Sébastien Paris¹, Stéphane Jaspers²

¹Université de Toulon, LIS, CIAN, ²DGA Techniques Navales

L'étude des cétacés est complexe du fait de l'inaccessibilité du milieu marin et de sa faible visibilité. L'acoustique passive est la solution la plus prometteuse pour les étudier de manière non invasive. Aujourd'hui, la détection et la classification des espèces enregistrées sont réalisées de manière automatique avec une bonne précision, notamment grâce à des méthodes IA. Cependant, utiliser de telles méthodes pour localiser les animaux est encore imprécis, à cause du manque de données sur leurs déplacements réels.

Pour pallier cela, nous travaillons à la création d'un modèle complet de scènes acoustiques, nommé SeGaMas (Serious Game for Marine (mammals) Survey). Ce modèle inclut la génération de trajectoires réalistes de cétacés, l'émission régulière d'un signal sonore, la modélisation de la propagation et l'atténuation de ce signal dans un environnement réel jusqu'à sa réception par un capteur. En entrée, le modèle recevra les données bathymétriques, océanographiques et le bruit ambiant moyen, ainsi

que des paramètres liés au scénario à définir. En sortie, il fournira les trajectoires des animaux, le signal reçu et le trajet parcouru par ce signal.

Actuellement, nous travaillons sur un modèle de propagation du son en lancer de rayon, valide seulement pour les hautes fréquences. Ce modèle devrait bientôt fonctionner en 2 dimensions dans un environnement réel, avec l'hypothèse d'un océan uniforme horizontalement, sans phénomènes d'interférences ni de diffraction. Les premiers modèles sont testés en Arctique sur 2 espèces d'odontocètes au cours des missions Adapredat et Chaire IA bioacoustique ADSIL.

Les données simulées par SeGaMas seront ensuite utilisées pour améliorer nos estimateurs de TDoA et d'angles d'émission, puis pour créer des estimateurs de position et trajectoire par Machine Learning. Nous souhaitons aussi utiliser SeGaMas pour positionner de manière optimale nos capteurs. Enfin, ce modèle nous fournira une meilleure compréhension de ce que les cétacés peuvent dire et entendre

Session : Speedtalk des posters

Chairs : G. B. KINDA, M. LAJAUNIE

16 :40 – 18 :00 Speedtalk des posters

Towards Source Localization : Analysing the Influence of the System Configuration

Gussen Camilla, ENSTA Bretagne

Acoustic signals from all frequency ranges are presented in the underwater environment. A myriad of sources generate these signals that may fluctuate according to the time, location, or water depth.

In this context, we aim to localize unknown sources transmitting noisy signals inside a boat. More specifically, the objective is to estimate the number of unknown sources, including their localization and frequency.

In the signal array processing literature, there are two main approaches for solving this problem: the scanning methods (e.g. beamforming) and the "global" methods. The global methods estimate the source's contribution considering their combinatorial complexity, i.e., the problem is modeled based on a generative matrix. This matrix is composed of beam steering vectors, which depend on the system configuration. As the global methods require a full rank matrix, and our case cannot be modeled as a direction of arrival problem, it is essential to comprehend how the system design influences the matrix rank. Hence, this work investigates the correlation between the beam steering vectors. In addition to that, we analyze the matrix rank as a function of the frequency and as a function of the source grid spacing. As a result, we show the need for a minimum spacing in the source grid for low-frequency values. To exemplify the impact of this system parameter, we compare the performance of a global method algorithm for distinct source grid spacing values.

Modelling noise maps using different sound speed dataset

David DELLONG¹, ***Roger GALLOU***², ***Dominique CLORENNEC***², ***Thomas FOLEGOT***², ***Myriam LAJAUNIE***¹

¹Shom, 13 rue du Chatellier, 29200, Brest, France

²*Quiet-Oceans, 525 avenue Alexis de Rochon, 29280 Plouzane, France*

Methodological advancements for the assessment of underwater continuous noise pollution were introduced in the last decades, especially in noise mapping performed through modelling. Within the Marine Strategy Framework Directive's (MSFD) D11 evaluation for achieving good environmental status in its seas, the EU and stakeholders require reliable information for assessing this pollution extent and impact on marine ecosystems and thus taking relevant actions.

Currently, the estimation of noise pollution from continuous anthropogenic sources heavily depends on modelling, introducing inherent uncertainties. This process relies significantly on a comprehensive understanding of the environmental parameters. In coastal regions, acoustic propagation in shallow waters is particularly contingent on limited knowledge of seabed characteristics and sound speed profiles (SSP) in the water column.

In this study, two SSP datasets derived from modelled oceanic temperatures are compared. The noise maps generated using these distinct SSP data sources are then compared to each other and to acoustic measurements collected in the same coastal areas and timeframe. The other model parameters and inputs are kept identical.

This work offers valuable insights into how critical the choice of input data is and especially SSP are in the noise mapping computation process. This exploration enhances our understanding of the sensitivity of noise mapping models to input parameters and choices, contributing to improved environmental assessments and decision-making processes.

Élaboration d'un catalogue d'évènements avec les stations hydroacoustiques du Système de Surveillance International

Hugo Fauvel¹, Sara Bazin², Dorian Cazau³, Sentia Oger¹, Julien Vergoz¹,

¹CEA, DAM, DIF, F-91297, Arpajon, France ; ²Univ Brest, CNRS, Ifremer, IUEM, UMR6538 Geo-Ocean F-29280 Plouzané, France ; ³Lab-STICC (CNRS UMR 6285), ENSTA Bretagne, Brest, France

Dans le cadre du Traité d'Interdiction Complète des Essais Nucléaires (TICEN), six stations hydroacoustiques ont été installées. Bien que peu nombreuses, elles enregistrent des ondes acoustiques sous-marines se propageant sur de longues distances via le canal SOFAR (« SOund Fixing And Ranging »). Ces signaux basses fréquences (<40 Hz) sont détectés automatiquement par la méthode PMCC (« Progressive Multi-Channel Correlation »). Quarante évènements par jour sont ainsi recensés en moyenne, sans qu'aucun analyste disponible n'en fasse la révision. Un catalogue d'évènements robustes est actuellement élaboré dans l'objectif de classifier les évènements par type de source avec un modèle d'apprentissage automatique supervisé pour l'aide à la surveillance opérationnelle.

Nous analysons les évènements des stations des océans Indien (HA01W, HA04N, HA04S, HA08S) et Atlantique (HA10N) sur une période s'étendant de janvier 2023 à janvier 2024. Les détections présentant une énergie au moins supérieure à 15 dB relativement au bruit ambiant sont extraites. La majorité des sources associées à ces détections sont sismiques, volcaniques, anthropiques ou cryosphériques. Nous appliquons des critères sur la localisation de l'évènement et sur des indices acoustiques pour les discerner. Ces critères sont choisis de sorte à maximiser le nombre de vrais positifs sous la contrainte de garantir un nombre de faux positifs nul.

La localisation des évènements situés dans l'océan austral permet d'identifier plus d'un millier de sources cryosphériques. Plusieurs centaines d'évènements avec des durées supérieures à 30 s et avec des rapports d'énergie entre les bandes [5, 12] Hz et [66, 73] Hz supérieurs à 20 dB sont considérés comme d'origine sismique, tandis que quelques dizaines d'explosions (e.g. volcaniques, anthropiques) sont repérées avec des rapports d'énergie négatifs entre ces deux mêmes bandes de fréquences. L'application d'indices acoustiques caractérisant plus fidèlement ces sources reste à explorer. Une analyse des enregistrements antérieurs est prévue.

Hydroacoustic monitoring of submarine lava flows: the eruption of Fani Maoré volcano offshore Mayotte, Indian Ocean

Lavayssière Aude, Sara Bazin, Jean-Yves Royer,

Geo-Ocean, Université de Bretagne Occidentale

With the vast majority of our planet volcanism occurring in the Oceans, moored networks of hydrophones have become efficient tools to monitor, and therefore better understand, underwater volcanic eruptions. As these instruments can record sounds from thousands of kilometers away, they are particularly relevant to detect earthquakes and volcanic eruptions remotely, allowing better geohazards assessment. In 2018, a major seismic and volcanic crisis gave rise to the Fani Maoré underwater volcano at 3500 m below sea level, ~50 km east offshore Mayotte, in the North Mozambique channel. The MAHY hydroacoustic network has been deployed in October 2020 to monitor the eruption and investigate the oceanic soundscape in the area. It consists of four hydrophones moored in the SOFAR channel in the water column around the volcano. Since their deployment, the hydrophones have continuously recorded all low-frequency sounds (0-120 Hz), particularly hundreds of impulsive signals resulting from the interaction between hot lava and cold seawater. An automatic detection method of these specific signals on spectrograms has been developed to investigate in details the spatio-temporal evolution of the new lava flows. This technique could be used worldwide to remotely detect and monitor active submarine eruptions in the absence of local monitoring networks or regular near-bottom seafloor surveys.

Using passive acoustic to better understand dolphins' behaviour around fishing nets in bycatch context

M. Dupont, V. Lagarde, V. Loirat, B. Guichard, F. Samaran

ENSTA Bretagne

Bycatch due to fishery interactions is considered as the main threat to common dolphins (*Delphinus delphis*) in European waters. Some solutions are being investigated such as the use of pingers to prevent incidental captures. However, little is known as for the nature of these interactions and more interestingly on the circumstances of captures. This lack of knowledge implies a more challenging implementation of appropriate and effective means for mitigation of small cetaceans. Passive Acoustic Monitoring (PAM) represents a cost-effective and reliable solution to monitor how small cetaceans behave around nets using their acoustic behaviour. Whistles are typically associated with communication behaviour whilst clicks and buzzes are associated with foraging behaviour.

The aim of the APOCADO project is to address this question and to provide an insight on interactions between delphinids and fishing nets in the Iroise Sea (Brittany, France). Acoustic data was collected

using SoundTraps (ST300 / ST400) directly deployed on the fishing nets. They were recording continuously at a sampling frequency of 144 kHz. During one year (May 2023 - April 2024) seven recording campaigns involving five different fishing vessels and different type of fishing nets have been conducted cumulating 3700 hours of acoustic data.

Various whistles, clicks and buzzes are reported throughout the recordings. Automatic detection tasks have been assigned to PAMGuard software for whistles and click trains have been detected through a custom detector. The occurrence of common dolphins and their associated acoustic behaviour around the nets were monitored at each step of the fishing activity (setting, soaking and hauling). Results were compared with other criteria such as the type of net used (gillnet, trammel), the location of the fisheries or the season. To draw additional conclusions results were also correlated with relevant auxiliary data such as tidal coefficients, ambient noise or night-time/daytime periods.

CoralSoundExplorer : analyse non-supervisée d'écosystèmes marin par intelligence artificielle

***Rouch Jérémy**, ENES Université de saint-étienne*

L'étude des écosystèmes et leur surveillance par l'éco-acoustique non ou peu supervisée vise à la recherche de similarités et de dissemblances entre les paysages sonores. Croisées avec la localisation géographique des enregistreurs acoustiques et la période d'enregistrement, ces similarités et dissemblances permettent ainsi d'obtenir une vision spatio-temporelle de l'organisation des paysages sonores et de détecter d'éventuelles perturbations de l'écosystème. Les indices acoustiques classiquement utilisés dans ce cadre sont souvent peu dédiés et mal adaptés à l'étude des paysages sonores sous-marins. En raison de leur capacité d'analyse plus générale, certaines approches basées sur des méthodes d'apprentissage profond représentent une alternative intéressante pour étudier divers types de paysages sonores, notamment ceux des écosystèmes aquatiques. Ces méthodes demandent cependant un traitement adapté d'extraction d'informations, différent en partie de celui habituellement mis en œuvre lorsque les indices acoustiques classiques sont utilisés.

Nous proposons ici d'introduire CoralSoundExplorer, un logiciel libre et ouvert développé à l'Université de Saint-Étienne (Laboratoires ENES & Hubert Curien) et dédié à l'analyse des paysages sonores sous-marins à partir d'apprentissage profond. Nous exposerons l'ensemble du processus de traitement des enregistrements effectué par ce logiciel ; de l'extraction des descripteurs acoustiques par réseau de neurones à l'extraction de métriques quantitatives après transformation de l'espace de représentation des signaux. À partir d'un exemple d'un jeu d'enregistrements réalisés sur 3 jours et sur 3 sites dans le lagon de l'île de Bora-Bora, nous présenterons les résultats qui peuvent être attendus d'un tel outil pour comparer les paysages sonores de récifs coralliens entre différents sites et leurs évolutions sur la journée.

Localisation spatiale de canalisations enterrées par méthode inverse à partir de vibrations acoustiques.

***Xerri William**, DGA Techniques Navales*

La localisation des canalisations en polyéthylène enterrées est un problème important pour les gestionnaires de réseaux. Cette étude se concentre sur une méthode acoustique. Le principe est de faire vibrer la conduite et d'observer l'onde acoustique reçue par des récepteurs placés à la surface du sol. Une méthode couramment utilisée en géo-détection est de mesurer l'énergie du signal reçue avec

un capteur à la surface du sol. Le passage de la canalisation est estimé en repérant la position du récepteur pour laquelle le maximum d'énergie est mesuré. Cette méthode permet de suivre le cheminement de la canalisation mais ne donne aucune information sur la profondeur. Nous avons développé une méthode multi-capteurs qui permet d'estimer la profondeur tout en étant non-invasive et non-destructive et sans information a priori sur le milieu de propagation. Nous avons adapté l'algorithme MUSIC afin d'estimer la profondeur et la vitesse de propagation dans les milieux traversés par l'onde, variable importante dans notre problématique. Cet estimateur est adapté à notre choix de modélisation. Dans cette étude, nous présentons deux modèles de temps de parcours de l'onde acoustique qui sont représentatifs de situations que nous avons observées lors d'essais terrain. Le premier représente le cas où le sous-sol est faiblement hétérogène afin de considérer une vitesse moyenne de propagation dans le milieu. Le second représente le cas où le changement de milieu entre intérieur et extérieur de la tranchée est suffisamment marqué pour considérer une vitesse moyenne de propagation différente à l'intérieur et à l'extérieur de celle-ci. Dans le but de discuter théoriquement sur la précision des variables suivant la modélisation, nous nous sommes intéressés à la borne de Cramér-Rao. Afin de montrer la faisabilité de la méthode, nous présentons certaines de nos prises de mesures expérimentales ainsi que des résultats obtenus sur les données réelles. Le but étant de définir un protocole de mesures fiable. Ce protocole vise à fournir un résultat rapide afin de permettre son utilisation par des agents de terrain.

Une enquête anthropologique sur les représentations acoustiques du milieu sous-marin dans le contexte du développement de l'éolien en mer : projet en démarrage

Cogez Antoine, CIREN-CNRS-EHESS, 45bis Av. de la Belle Gabrielle, 94130 Nogent-sur-Marne

Dans le cadre d'un large projet en sciences sociales (Eolenmer) visant à suivre le développement des éoliennes en mer, je vais m'intéresser à la façon dont les questions acoustiques sont mises en discussion et proposent une représentation du milieu sous-marin. D'une part, je souhaite comprendre la façon dont la chaîne de transduction du signal acoustique rend audible et propose des interprétations du milieu et des espèces qui le peuplent, et comment les scientifiques se saisissent de la question du bruit dans les projets éoliens. Je souhaite pour cela réaliser une immersion dans un laboratoire de recherche, en suivant la méthode de l'observation participante courante dans ma discipline, l'anthropologie. D'autre part, je suivrai depuis un territoire, celui du parc pilote des Éoliennes Flottantes du Golfe du Lion (EFGL), la mise en place des éoliennes et comment les questions du milieu et de l'acoustique sont mises en discussion, sont politisées, et peuvent constituer des controverses. Pour cela je serai en immersion entre autres au Parc Naturel Marin du Golfe du Lion (PNMGL), et dans une ONG qui réalise des observations de cétacés avec une méthode alternative. Je m'intéresserai à la façon dont des pratiques différentes peuvent produire des formes de savoirs différents, comment ces derniers communiquent, et ce que ces projets nous disent de notre conception de l'agentivité animale, de la communication interspécifique, de l'anthropomorphisme... Enfin, avec des artistes, je proposerai une installation immersive/balade sonore, permettant de susciter des réactions sur l'ensemble de ces questions, et ainsi prolonger l'enquête ethnographique auprès d'un public plus large.

Les flotteurs MERMAID Argo pour l'observation acoustique passive des océans

Bonnieux Sébastien¹, Yann Hello¹, Frédéric Rocca², Isabel Reinicke³, Karin Sigloch¹,

¹GéoAzur, Université Côte d'Azur, CNRS, OCA, IRD, Valbonne, France ; ²OSEAN SAS, Le Pradet, France ;

³Universität Duisburg-Essen, Duisburg/Essen, Germany

Les flotteurs MERMAID sont actuellement utilisés par les sismologues pour l'enregistrement des tremblements de terre ; l'organisation Earthscope-Ocean a déployé plus de 50 flotteurs au milieu de l'océan Pacifique, de la mer Méditerranée et de la mer de Chine. Nous travaillons sur une nouvelle version haute fréquence, jusqu'à 20 kHz, qui permettra une l'observation acoustique passive des océans.

Le flotteur traite les données en temps réel pour réduire la quantité de données à transmettre par satellite. De nouveaux algorithmes peuvent être développés grâce à un langage de programmation spécifique appelé MeLa, similaire à Python, pour permettre la programmation des flotteurs avec une connaissance limitée des systèmes embarqués.

Nous avons mis en œuvre quatre applications pour la sismologie, la détection de rorquals communs, et la mesure des précipitations et du vent. La programmation par voie aérienne permet de mettre à jour ou d'installer des applications même lorsque le flotteur est déployé en mer. Le premier essai en mer Méditerranée aura lieu en 2024, toute collaboration est bienvenue.

Première tentative de création d'un mini data challenge de type DCASE pour la bioacoustique marine

Dorian Cazau¹, Gabriel Dubus², Paul Nguyen³, Bruno Padovese⁴, Fabio Soares⁵, Nicolas Farrug¹, Axel Marmoret¹, Olivier Adam²

¹Lab-STICC, ENSTA Bretagne ; ²Institut d'Alembert, Sorbonne Université ; ³Centre for Marine Science and Technology, Curtin University ; ⁴School of Environmental Science, Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada ; ⁵Faculty of Computer Science, Dalhousie University

Depuis 20 ans, le workshop DCLDE invite la communauté internationale à présenter des travaux de recherche en acoustique passive sous-marine pour la détection et la classification d'émissions vocales de mammifères marins. Sans aucun doute, DCLDE est le lieu incontournable où devrait être développé l'état de l'art de ces méthodes. Malgré ces efforts à long terme, DCLDE montre un certain retard par rapport à d'autres communautés sur l'adoption des meilleures pratiques dans le développement et l'évaluation de ces méthodes. Une comparaison avec le workshop DCASE (<https://dcase.community/>) (10 ans plus jeune) a permis de mettre en évidence certaines pratiques déficientes voir absentes. Premièrement, l'absence de tâches de référence (associées à des questions scientifiques spécifiques, des jeux de données, des protocoles d'évaluation...) rend difficile le benchmarking des méthodes sur le long terme. Deuxièmement, les tâches et le formatage des matériaux associés (comme les jeux de données, le pipeline de téléchargement, la baseline, le protocole d'évaluation...) ne sont pas bien définis et/ou standardisés. Aussi, les tâches proposées sont souvent trop vagues et les jeux de données trop volumineux, tandis que dans DCASE, les tâches sont définies avec un vocabulaire et une ontologie orientés machine learning.

Dans le cadre de SERENADE 2024, nous présenterons notre tentative de construction d'un data challenge de type DCASE pour la bioacoustique marine. Actuellement, notre challenge a mis en place trois tâches principales, une pour chacune des trois grandes familles de modèles d'apprentissage automatique : les modèles supervisés, semi-supervisés et non supervisés. Nous passerons en revue toutes les normes et pratiques DCASE que nous avons suivies de près, telles que des descriptifs de tâches exhaustifs et techniques, le formatage des données orienté IA et la centralisation de tous les documents sur des pages Web dédiées.

Comparing F-POD delphinid and porpoise click detections with ground truth manual annotation

J. Béésau, M. Torterotot, C. Gicquel, F. Samaran, ENSTA Bretagne

Long-term passive acoustic monitoring (PAM) of cetacean populations is often challenged by the limited power autonomy or storage capacity of broadband recorders. This is particularly the case with small delphinids and / or porpoises monitoring, as their clicks can reach very high frequencies (up to 200 kHz for porpoises). The F-POD is an echolocation-click logging device developed by Chelonia Limited and commonly used to monitor dolphins and porpoises in PAM projects. It overcomes the broadband recorders' autonomy restrictions by not storing the raw data and can therefore be deployed for longer periods than a broadband recorder programmed to monitor odontocete clicks. However, the downside is that once the click detections are extracted from the F-POD, there is no way of double-checking the detector' performances.

For one year (May 2022 - May 2023), seven F-PODs were paired with broadband recorders (Sylence, RTSys) on moorings deployed in the Iroise sea for the CETIROISE project (funded under the French economic recovery plan), which aimed at monitoring marine mammal presence within the Iroise Marine Natural Park. The broadband recorders were sampling at $F_s = 128\text{kHz}$, allowing dolphin clicks to be recorded. F-POD delphinid clicks detections were manually compared with broadband spectrograms, using APLOSE, a web-based annotation platform. For one month, a F-POD was also paired with a Sylence programmed to sample at $F_s = 512\text{kHz}$, to be able to compute the performances of the F-POD porpoise click detector.

We found that for delphinid clicks, the F-POD has a conservative behaviour, i.e. it misses most of the clicks, but almost all detections are true positives. We will also present the results on this comparison on harbour porpoise clicks and discuss the implications on the interpretation of the F-POD detection results to monitor marine mammals.

Mardi 11/06/2024

Session : Les outils de traitement de signal pour l'acoustique sous-marine

Chairs : A. DREMEAU, F. LE COURTOIS

09 :00 – 09 :40 Plénière : Les activités du CMRE concernant la guerre des mines.

Yann Pailhas, CMRE

09 :40 - 10 :00 Sécuriser les transmissions acoustiques sous-marines en s'inspirant de la physique de propagation.

François-Xavier Socheleau, Christophe Laot, Sébastien Houck,

IMT Atlantique, Lab-STICC

La sécurité des communications fait référence aux mesures prises pour garantir la confidentialité, l'intégrité et la disponibilité des canaux de communication et des informations qu'ils transportent. Elle comprend des mesures telles que le chiffrement, qui empêche les personnes non autorisées d'accéder aux informations, mais aussi des mesures de sécurité de la transmission (TRANSEC) visant à prévenir les attaques par brouillage ou à empêcher les oreilles indiscretes de collecter des renseignements (sans nécessairement avoir cassé le chiffrement). Avec le développement actuel des systèmes acoustiques sous-marins (ASM) pour des applications critiques, industrielles ou de défense, il devient essentiel d'améliorer la sécurité des communications. Malgré les progrès récents sur ces questions, les formats actuels de modulation restent vulnérables aux attaques par analyse de cyclostationnarité. La cyclostationnarité fait référence au comportement périodique des propriétés statistiques d'un signal. Ce type d'analyse permet notamment de collecter des renseignements en procédant à une rétro-ingénierie de la couche physique du signal intercepté.

Dans cet exposé, nous présenterons un module d'extension TRANSEC développé à IMT Atlantique qui peut être ajouté à n'importe quelle forme d'onde ASM existante. Ce module s'inspire des déformations naturelles apportées par le canal de propagation. Plus précisément, avant la transmission, nous proposons d'appliquer un filtre linéaire variant dans le temps particulier pour distordre très fortement la signature cyclostationnaire perçue par un intercepteur. Ce filtre peut se décrire comme l'agrégation de deux transformations : une distorsion pseudo-aléatoire de l'axe temporel combinée à un filtrage dispersif. En plus de son efficacité contre les attaques par analyse de cyclostationnarité, on montrera sur des données réelles que ces transformations peuvent être facilement inversées par le récepteur coopératif sans pertes significatives de performances.

10 : 00 – 10 :40 Pause

10 :40 – 11 :00 Segmentation en temps réel des fonds marins par Deep Learning.

Claire Noël¹, Simon MARCHETTI¹, Jean-Marc TEMMOS¹, Jérôme PASQUET², Lionel PIBRE², Eric BAUER¹, Guillaume HERPIN¹, Michel COQUET³

¹SEMANTIC TS ; ²TETIS Inrae, AgroParisTech, Cirad, CNRS, Université de Montpellier & AMIS, Université de Montpellier ; ³CartOcean

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.

Le projet ADELE cherche à rendre ces avancées possibles, via le développement de méthodes d'apprentissage profond (Deep Learning).

Sur les zones connues pour la variabilité de leurs fonds marins, SEMANTIC TS a réalisé des levés multi-capteurs avant et après événement climatique, et à différentes saisons. 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 d'IA Deep Learning. Elles alimentent l'apprentissage des réseaux de neurones pour les détections de changement topographique, sédimentaire, de couverture végétale et de présence d'objets posés sur le fond.

Un modèle neuronal est mis au point dans le but de permettre une segmentation multi-sources prenant en compte la temporalité et d'assurer une robustesse face à des données brutes. Une fois entraînés, les modèles sont optimisés pour assurer une transmission fluide des données vers le réseau afin de permettre une approche en temps réel.

Un environnement logiciel a ensuite été développé, permettant de prendre en entrée plusieurs sources de données directement en sortie de capteurs et d'effectuer sur ces entrées une analyse temps réel utilisant les modèles développés. Il nécessite une parfaite synchronisation avec le matériel effectuant les acquisitions.

Ce dispositif permet de qualifier les performances et la faisabilité de réaliser la segmentation des fonds marins en temps réel.

11 :00 – 11 :20 Hydroacoustic geophony automatic detection : an open benchmarking framework.

Pierre-Yves Raumer¹, Sara Bazin¹, Dorian Cazau², Jean-Yves Royer¹

¹*Geo-Ocean, Univ Brest, CNRS, Ifremer, UMR6538, F-29280 Plouzané, France ;*

²*Lab-STICC, ENSTA-Bretagne, UMR6285, F-29200, Brest, France*

Underwater seismic events such as earthquakes are known to produce not only seismic waves but also hydro-acoustic waves. Indeed, seismic waves arriving at the ocean bottom convert into acoustic waves in the water column. Other events, such as hot lava-seawater interactions or icequakes, also generate water-born acoustic signals. Monitoring these different signals with moored hydrophones proved to be useful and very efficient thanks to the little attenuation of acoustic waves propagating in the Sound Fixing and Ranging (SOFAR) channel. This led to the deployment of wide-range moored hydrophone networks to monitor active seafloor-spreading ridges in the world ocean. However, analyzing year-round data recordings from several stations is a cumbersome, user-dependent and most importantly time-consuming task. Despite some efforts to develop automatic detection algorithms, the community still lacks efficient and available off-the-shelf tools, as well as open datasets and benchmarks against

which they could be compared objectively. To address this problem, we are glad to make publicly available three partially-annotated hydroacoustics datasets consisting of recordings from Atlantic and Indian oceans, with a total of ~60,000 hours. We propose a benchmark of models on a first task of binary classification, and an original convolutional neural network (CNN) model called TISSNet showing promising results. To maximize the reliability of the evaluations, two datasets have been carefully and exhaustively annotated to serve as evaluation datasets. The getting started codes have also been made available on GitHub. We wish the datasets and benchmarks will be used as references upon which the state-of-the-art could be developed in a collaborative way. In the future, the best model, used as an automatic or semi-automatic detection framework, will be applied to larger datasets, and combined with multi-stations association and trilateration techniques to output nearly complete catalogs of geophonic events (source type and location, with signal characteristics).

11 :20 – 11 :40 Séparation de source en UBF par factorisation en matrices non-négatives appliquée au spectrogramme.

Jean Lecoulant, Abdel Boudraa

Institut de recherche de l'École navale

Les ultra-basses fréquences (< 50 Hz) présentent une diversité de sources (navires, séismes, mammifères marins) qu'il est important de classifier pour améliorer notre compréhension de l'environnement marin. Ces différentes sources peuvent émettre des sons au même moment sur la même gamme de fréquence, conduisant à un mélange fréquentiel et temporel. Il n'est alors pas possible d'isoler chaque signal par un simple fenêtrage temporel ou par un filtre passe-bande. Malgré ce mélange, les motifs produits par les différents signaux dans une représentation temps-fréquence restent clairement distincts pour un observateur humain. Nous mettons en œuvre la factorisation en matrices non-négatives, une technique qui permet d'isoler les parties d'une image de façon analogue à la perception humaine. À partir du spectrogramme, elle produit deux matrices : l'une contient des motifs fréquentiels et l'autre leur amplitude en fonction du temps. On fait l'hypothèse que chacune des composantes de ces deux matrices est dominée par une seule source, mais plusieurs composantes peuvent être nécessaire pour reconstituer un signal source et on ignore a priori lesquelles. Nos détecteurs s'appuient sur les propriétés temporelles ou fréquentielles des composantes de ces deux matrices pour attribuer chacune à un type de source (navires, séismes, appel en Z des baleines bleues). On résout ainsi ce qu'on appelle le problème de permutation. Grâce au produit matriciel des composantes séparées, on obtient des spectrogrammes ne contenant chacun que du signal provenant d'un seul type de source. Nous évaluons les performances de cette technique de séparation et montrons comment les signaux séparés permettent la localisation de la source.

11 :40 :12 :00 Noyaux de sensibilité réciproques : un outil pour le positionnement des sources/recepteurs. Alexis Bottero

Alexis BOTTERO¹, Cédric BELLIS²

¹DGA Techniques Navales ; ²LMA

Dans leur formulation classique, les noyaux de sensibilité visent à évaluer les points où une variation infinitésimale des propriétés du milieu affecterait le plus une mesure de pression (ou de déplacement)

à un endroit donné. Ces noyaux présentent des formes typiques de cigares, avec une sensibilité caractéristiquement faible sur le chemin direct.

Dans cette présentation, la même approche est appliquée au problème réciproque, où nous voulons évaluer, à une position constante de la source (ou du récepteur), quels points sont les plus (ou les moins) sensibles à un changement de modèle donné.

Ces noyaux réciproques présentent des formes évasées centrées sur les zones où le modèle est perturbé.

12 :00 – 12 :20 Déconvolution de la réponse modale pour la localisation de source UBF.

Florent Le Courtois¹, G. Bazile Kinda¹, Myriam Lajaunie², Dominique Fattaccioli¹

¹DGA Techniques Navales ; ²Shom

La déconvolution de la réponse d'antenne est largement utilisée en acoustique aérienne pour l'imagerie des sources. Nous proposons de l'appliquer au problème de localisation ultra basse fréquence par une antenne horizontale. Les résultats sont illustrés sur une campagne de mesures et des données DAS.

12 :20 – 14 :00 Pause déjeuner au CROUS

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

Chairs : G. B. KINDA, B. MARCAILLOU

14 :00 - 14 :40 Plénière : Construction d'un observatoire sismologique offshore dans le centre du Chili à l'aide de câbles de télécommunications sous-marins.

***Diane Rivet**, Observatoire de la Côte d'Azur, Géoazur*

14 :40 - 15 :00 Simulations numériques "full-wave" dans le domaine temporel pour l'acoustique sous-marine : quelques exemples basés sur une méthode d'éléments finis spectraux prenant en compte l'élasticité des sédiments marins.

***Paul Cristini**, Nathalie Favretto-Cristini, Vadim Monteiller*

CNRS-LMA

L'objectif de cette présentation est de passer en revue quelques avancées récentes dans le domaine de la simulation numérique "full-wave" i.e. sans approximation de la propagation des ondes en acoustique sous-marine avec comme objectif une meilleure prise en compte de l'élasticité des sédiments marins. Ces simulations nous ont permis d'obtenir des évaluations de la répartition de l'énergie acoustique dans la colonne d'eau dans différentes configurations réalistes montrant l'importance de cette prise en compte.

Nous présenterons quelques résultats obtenus avec une méthode d'éléments finis spectraux pour différents types d'applications en acoustique sous-marine. Des simulations 2D et 3D illustreront l'intérêt de réaliser de telles simulations. La propagation par petits fonds, la propagation par grands fonds, la propagation des ondes dans les sédiments, le bruit généré par le battage de pieux, l'évaluation de la pollution sonore ainsi que la diffraction par des objets enfouis dans les sédiments feront partie des sujets abordés.

15 :00 - 15 :20 Modélisation acoustique à partir d'un modèle océanographique compressible : de la perte de cohérence de propagation acoustique au bruit rayonné par la dynamique océanique.

***Pierre-Antoine Dumont**¹, Francis Auclair², Yann Stéphan¹, Franck Dumas¹*

¹SHOM, ²LAERO

La nouvelle génération de modèles numériques non hydrostatiques et compressibles de l'océan peut simuler explicitement les ondes acoustiques lorsque la résolution spatiale et temporelle est adaptée. Nous montrons que ces modèles peuvent par conséquent propager avec précision des ondes et des modes acoustiques dans un océan stratifié à surface libre évoluant simultanément dans l'espace et le temps, ce qui les place à la pointe de l'art de la modélisation de la propagation acoustique. Le coût numérique et l'empreinte mémoire peuvent limiter dans une certaine mesure leur champ d'application, mais ils constituent un outil sans précédent pour évaluer de manière déterministe les effets de la variabilité océanique sur la propagation acoustique à basse fréquence dans un océan

évoluant de manière réaliste. Ils offrent également l'opportunité d'évaluer la signature acoustique de la dynamique océanique

15 :20 – 15 :40 Étude océano-acoustique de la campagne NARVAL 21

Alexandre L'Her¹, David Dellong², Angélique Drémeau¹, Yann Stéphan²

¹ENSTA Bretagne ; ²SHOM

Divers phénomènes peuvent provoquer des fluctuations dans l'environnement sous-marin, tels que les ondes internes, les fronts ou les tourbillons. Leur influence sur l'acoustique pouvant être significative, il est nécessaire de les étudier afin de caractériser correctement la propagation dans certaines régions de l'océan. Récemment, les campagnes NARVAL ont été réalisées afin d'enrichir la connaissance de l'influence des fronts océaniques sur l'acoustique sous-marine.

En particulier, nous nous intéressons à la campagne NARVAL 21. Elle a été réalisée en juillet/août 2021 par le SHOM et DGA TN à l'est de l'Islande sur le front Islande-Féroé, séparant les eaux Atlantiques des eaux de la mer de Norvège. Dans ce travail, nous montrons les premiers résultats de l'étude statistique concernant l'effet du front sur la propagation acoustique dans la zone d'étude à partir des données in-situ.

15 :40 – 16 :20 Pause

16 :20 – 16 :40 Simulation en temps réel des séries temporelles de réverbérations sur les capteurs d'un sonar en mouvement.

Xavier Cristol, Nathan Ivkovic, Xavier Cristol, Iannis Bennaceur

THALES

La simulation rapide des séries temporelles sur les hydrophones individuels d'un sonar en mouvement présente un grand intérêt pour le développement et la mise en œuvre de nouveaux algorithmes de sonar, d'applications embarquées ou dans des contextes de formation. Dans le cas particulier des sonars actifs basse fréquence ASW, les interférences dominantes sont la réverbération et le clutter provenant de l'environnement sous-marin. La modélisation réaliste de cet effet clé est une tâche difficile en termes de complexité de calcul et de temps, surtout si l'on considère les formes d'onde modernes sensibles à l'effet Doppler. Cet article présente une nouvelle méthode pour générer efficacement des séries temporelles de réverbération sur les hydrophones, basée sur une représentation parcimonieuse de la réponse impulsionnelle entre le sonar et les facettes réverbérantes du fond de la mer ou de sa surface (méthode « TAMAR » pour « Technique for Accelerating the Modeling of Acoustic Reverberation »). La technique est conçue pour traiter dans le domaine voie-temps-fréquence diverses formes d'ondes sensibles à l'effet Doppler, la géométrie du réseau, l'effet Doppler auto-induit et le mouvement du sonar. La propagation sous-marine est modélisée à l'aide d'un module de calculs par rayons propre à Thales : RAMSES, qui fait appel divers paramètres environnementaux, tels que le profil de vitesse du son, des cartes de la profondeur du fond marin et de la nature des sédiments, etc. Nous évaluons les avantages de la méthode en simulant un ensemble de données limitées par la réverbération provenant de la littérature ouverte. La comparaison avec les données réelles indique un niveau raisonnable de similarité avec la distribution

d'énergie des signaux simulés, en particulier dans l'analyse fine des imagerie voie-fréquence (« zones A, B et C »). En outre, la validation statistique de l'enveloppe de réverbération à filtre adapté permet de contrôler les taux de fausses alarmes de manière réaliste.

17 :00 – 17 :20 Les mesures DAS pour observer, localiser et comprendre l'origine des ondes T

Anthony Sladen¹, *Martijn van den Ende*¹, *Itzhak Lior*²

¹*laboratoire Géoazur, Observatoire Côte d'Azur ;* ²*Université hébraïque, Jérusalem, Israël*

Les ondes T sont des ondes sismiques générées par la conversion d'ondes hydroacoustiques le long des marges continentales. La faible atténuation de ces ondes hydroacoustiques, notamment quand ces ondes se propagent via le canal SOFAR, les a rendues utiles pour suivre l'activité sismique sur le fond marin et dans les régions du monde faiblement instrumentées. Mais, notamment par manque d'observations denses dans l'océan, on ne comprend toujours pas bien comment l'énergie sismique générée à la source du séisme se propage à travers l'interface entre le fond marin et l'océan, et inversement quand elle arrive à la côte. Ainsi, la relation entre les paramètres de la source du séisme et l'amplitude des ondes T enregistrées aux stations n'est pas directement connue.

La mesure acoustique distribuée (DAS) appliquée aux câbles telecom fond de mer permet de créer des réseaux de capteurs sismo-acoustiques denses idéalement situés à l'interface océan-fond marin pour détecter ces ondes T et comprendre leur origine.

Sur la base de mesures DAS acquises le long du câble LSPM, situé au large de Toulon, on montre qu'il est possible de détecter les ondes hydroacoustiques générées par des séismes dans l'ouest de la Méditerranée et de suivre leur conversion depuis le fond de la Méditerranée jusqu'à la côte. La densité de capteurs DAS permet, par traitement d'antenne et inversion des temps de trajet, de localiser ces événements. La capacité DAS est d'autant plus remarquable que ces séismes sont trop petits pour être détectés par les réseaux sismiques du nord de la Méditerranée. Si la plupart des événements détectés par DAS sont liés à l'activité sismique sur la marge nord-ouest algérienne, certains sont localisés au centre du bassin méditerranéen, loin des frontières de plaques tectoniques.

17 :20 – 17 :40 Contributions des flotteurs sismo-acoustiques autonomes dans les océans à la localisation des tremblements de terre et à l'étude de la structure de la terre solide.

Karin Sigloch¹, *Dalija Namjesnik*¹, *Sébastien Bonnieux*¹, *Joel Simon*², *Thomas Garth*³, *James Harris*³, *Dmitry Storchak*³, *Yann Hello*¹, *Frederik Simons*²

¹*Université Côte d'Azur, CNRS, Observatoire Côte d'Azur, CNRS, IRD, Géoazur, Sophia Antipolis ;*

²*Princeton University, Princeton, New Jersey, U.S.A. ;* ³*International Seismological Centre, Thatcham, UK*

Le laboratoire Géoazur a conçu des flotteurs sismo-acoustiques destinés à combler le déficit d'instrumentation de la sismologie dans les océans, et les a construits en collaboration avec OSEAN, une petite société d'ingénierie. Une fois déployé à partir d'un navire d'opportunité, un flotteur "MERMAID" dérive passivement dans les courants à ~1500 m de profondeur. Un algorithme embarqué recherche en permanence des signaux de tremblement de terre, c'est-à-dire des ondes sismiques qui ont été converties en ondes acoustiques lorsqu'elles ont heurté le fond marin par le bas. Si un signal suffisamment pertinent est détecté, le flotteur remonte à la surface pour envoyer sa position et son

hydrogramme via une connexion satellite Iridium. Chaque flotteur est équipé de batteries lui permettant de fonctionner de manière autonome pendant environ 5 ans, soit environ 250 cycles hebdomadaires de remontée et de redescente. Aucune récupération du flotteur n'est nécessaire, ce qui élimine le besoin de temps précieux des navires et rend ce concept d'instrumentation évolutif. L'objectif est de déployer des milliers de flotteurs, en suivant l'exemple de l'océanographie physique qui a couvert les océans avec une flotte de ~4000 flotteurs profileurs "Argo".

Environ 80 flotteurs "MERMAID" sont en opération, la plupart dans le Pacifique Sud dans le cadre de l'expérience internationale SPPIM, dont le résultat central est une tomographie du manteau entier. Nous présentons l'ensemble des données acquises par SPPIM depuis 2018, ainsi que les résultats d'un cas d'utilisation complémentaire de cet ensemble de données. En collaboration avec le International Seismological Centre (ISC) et l'Université de Princeton, nous avons étudié les améliorations que les pics de temps de parcours "MERMAID" peuvent apporter à la capacité du ISC à localiser les tremblements de terre lointains, régionaux et locaux dans la région du Pacifique Sud.

17 :40 – 18 :00 Seismo-hydroacoustic monitoring of the Astrolabe glacier, Terre Adélie. Guilhem Barruol

Guilhem Barruol¹, Tifenn Le Bris¹, Florent Gimbert¹, Richard Dréo²

¹Institut des Géosciences de l'Environnement, IGE, CNRS, Université Grenoble Alpes

²Institut de Physique du Globe de Paris, IPGP, CNRS, Université de Paris

Dans le cadre du projet SEIS-ADELICE soutenu par l'IPEV et l'ANR BRUIT-FM, des réseaux sismologiques temporaires et semi-permanents ont été déployés depuis janvier 2022 sur et autour du glacier de l'Astrolabe en Antarctique de l'est pour enregistrer son activité cryosismique, caractériser sa structure et sa dynamique. Plusieurs déploiements de stations sismologiques et hydroacoustiques de fond de mer (OBS, Ocean Bottom Seismometers) ont été effectués en zone côtière, à proximité de l'extrémité de la langue flottante du glacier de l'Astrolabe. Ces déploiements sous-marins ont duré entre 2 semaines et 1 année. Ils ont pour objectifs d'étudier la déformation du glacier soumis à son déplacement et à ses interactions avec l'océan, de suivre les événements de vêlage, l'activité des icebergs, de la glace de mer en période hivernale et potentiellement de la vie animale. La détection automatique d'événements sismiques a été mise en œuvre et met en évidence un important forçage des marées sur l'activité cryosismique du glacier. Les résultats montrent une nette augmentation de la sismicité glaciaire corrélée à la hauteur de marée et dans certains cas un dédoublement de cette sismicité avec un pic à marée montante et un autre à marée descendante, ce qui suggère une relation directe avec les vitesses de marée. L'analyse des longues séries temporelles disponibles nous donne accès aux variations saisonnières de cette sismicité et nous permet de quantifier l'influence de la banquise hivernale sur l'activité du glacier et des icebergs alentour.

Mercredi 12/06/2024

Session : L'acoustique sous-marine appliquée à l'observation de la biodiversité & Les paysages sonores sous-marins

F. SAMARAN, J. LOSSENT

08 :40 – 09 :20 Plénière : Biodiversité et communautés acoustiques chez les poissons.

Frédéric Bertucci, MARine Biodiversity, Exploitation & Conservation (MARBEC), IRD

09 :20 – 09 :40 « Sein'Acoustic »

Eric Blin¹, Marine Magnin³, Robin Richoux², Erwan Garcia Gonzalez², Sabrina Guérin², Vincent Rocher², Julie Lossent³, Cedric Gervaise³

¹*Suez Eau France, Lyre, 15 avenue Léonard de Vinci 33600 Pessac, +33680242537, eric.blin@suez.com;*

²*SIAAP - Direction Innovation, 82 avenue Kléber 92700 Colombes, +33141195369, sabrina.querin@siaap.fr;* ³*Chorus*

Le projet de recherche pour développer une technologie de surveillance acoustique de la Seine lancé par le SIAAP et SUEZ livre ses premiers résultats. En 2023, La Seine a été dotée de 4 stations de mesure acoustique qui totalisent 819 heures d'écoute cumulées.

Le traitement des données par SENSEAFR a permis de créer la première sonothèque de la Seine qui comprend 132 signatures biologiques. Des vocalises attribuées à des poissons ont été détectées à hauteur de 15 sons/nuit. On a également découvert que de surprenant sons de stridulations (38 types à ce jour) étaient présents dans le paysage sonore du fleuve. Ces sons pourraient être émis par les populations d'invertébrés. Un algorithme basé sur l'IA permet de classifier automatiquement ces signatures acoustiques. Le projet se poursuit en 2024 avec la comparaison des indicateurs bioacoustiques avec les variations de la qualité des eaux et des conditions environnementales.

09 :40 - 10 :00 CETIROISE : un observatoire acoustique pour l'étude des cétacés dans un parc naturel marin français.

Maëlle Torterotot, Julie Beesau, Flore Samaran

Lab-STICC UMR 6285, ENSTA Bretagne

Le projet CETIROISE (financé dans le cadre du plan de relance) visait à étudier la présence des cétacés en mer d'Iroise (Bretagne, France) à l'aide de l'acoustique passive. Les espèces ciblées étaient les marsouins, les delphinidés (notamment le dauphin commun et le grand dauphin) et les grandes baleines à fanons. De mai 2022 à mai 2023, 7 sites ont été équipés dans le secteur nord du parc naturel marin d'Iroise (PNMI). Deux mouillages côtiers (20m de profondeur) et cinq mouillages plus profonds (100m de profondeur) ont été équipés chacun de deux enregistreurs : le F-POD (Chelonia Limited), un

détecteur de clics d'écholocation, et le Sylence LP (RTSys), un enregistreur large bande échantillonnant à 128 kHz.

Les sifflements des delphinidés ont été détectés avec le 'whistle and moan detector' de PAMGuard, tandis que les clics des delphinidés et des marsouins ont été directement traités à partir des détections du FPOD. De l'annotation manuelle a aussi été réalisée via la plateforme d'annotation en ligne APLOSE. Les annotations ont été utilisées pour évaluer les performances de détection des clics et des sifflements des delphinidés et pour détecter les vocalisations des baleines à fanons dans les basses fréquences très bruitées. Les résultats mettent en évidence la présence annuelle continue de delphinidés, en particulier sur les sites les plus éloignés de la côte. Mais ces résultats soulignent également la nécessité de développer des outils permettant de discriminer les espèces de delphinidés à partir de leurs sons. Les marsouins ont été enregistrés dans une moindre mesure, mais ils semblent également habiter cette région pendant la majeure partie de l'année. Parmi les baleines à fanons, seuls quelques vocalisations de petits rorquals ont été détectées.

10 :00 – 10 :40 Pause

10 :40 – 11 :00 Détection de grandes baleines à fanons sur leur intervalle inter-cris.

Richard Dréo¹, Wayne Crawford¹, Guilhem Barruol², Sara Bazin³, Jean Yves Royer³, Flore Samaran⁴

¹Institut de Physique du Globe de Paris ; ²Institut des Géosciences et de l'Environnement ; ³Institut Universitaire Européen de la Mer ; ⁴ENSTA Bretagne

Plusieurs espèces de baleines à fanons, telles que les baleines bleues et les rorquals communs, émettent des chants stéréotypés de fort niveau caractérisés par un intervalle inter-cris (ICI) régulier dans les Ultra Basses Fréquences (UBF) (inférieures à 50-100 Hz). Généralement, la présence de ces espèces est évaluée par des détecteurs complexes focalisés sur le contenu spectral du cri. Dans cette étude, nous proposons une approche alternative basée sur la seule détection de l'ICI, sans tenir compte de l'aspect de la vocalise. Autrement dit, pour chaque espèce, l'objectif du détecteur est de mettre en évidence la présence d'un individu par une simple recherche d'un rythme caractéristique dans la bande de fréquence de la vocalise. Cette méthode de détection relativement simple et robuste, repose sur le fait que chaque espèce possède un rythme qui lui est propre, et tire avantage que peu de sources autres que les baleines sont capables de générer des signaux réguliers et stéréotypés dans l'UBF.

La méthode est appliquée au réseau sismique et hydroacoustique REVOSIMA (Réseau de surveillance volcanologique et sismologique de Mayotte) dans la partie nord du canal du Mozambique, dans l'océan Indien. Grâce au déploiement long terme à la fois des hydrophones SOFAR (réseau MAHY) et des sismomètres de fond de mer (OBS) (réseau MAYOBS), les patrons saisonniers de quatre espèces de baleines à fanons (les baleines bleues Antarctiques, les baleines bleues pygmées de Madagascar, les petits rorquals et les rorquals communs) ont été établis pour la première fois dans cette zone sur près de 5 ans (2019-2023). Les performances de cette méthode de détection ont été évaluées à l'aide d'annotations manuelles sur un grand échantillon de données représentatives (enregistrées par MAHY et MAYOBS) et réalisées sur la plateforme d'annotation en ligne APLOSE.

11 :00 – 11 :20 Supervised contrastive learning pour la détection automatique de vocalisations de grandes baleines dans l'hémisphère sud

Gabriel Dubus¹, Olivier Adam¹, Dorian Cazau²

¹LAM - Institut Jean le Rond d'Alembert (Sorbonne Université, CNRS) ; ²ENSTA Bretagne - LabSTICC

L'utilisation de l'acoustique passive sur de très longues périodes temporelles est un outil clé pour le suivi des grands cétacés. Le volume colossal de données acoustiques collectées nécessite des méthodes automatiques pour la détection et la classification des événements acoustiques. Des progrès récents ont été réalisés dans ce domaine grâce à l'application de modèles par apprentissage profond, faisant état de l'art il y a quelques années dans la communauté de traitement d'image (i.e. ResNet, AlexNet, VGGish...). Les bases de données d'entraînement représentent toujours un facteur limitant pour les capacités de généralisation des modèles développés : il est difficile de regrouper dans un même jeu de données la grande diversité des sons d'intérêt, des paysages sonores, des sources de bruit ou encore des systèmes d'enregistrement. De plus, ces sets d'entraînement ont besoin d'être annotés manuellement, mais discerner des caractéristiques acoustiques peu familières peut s'avérer complexe. Le processus d'annotation est laborieux, chronophage et sujet à la subjectivité humaine.

Récemment, les méthodes de supervised contrastive learning ont montré de grandes performances dans la détection automatique et la classification d'images et de sons, et surpassent l'apprentissage supervisé classiquement utilisées par la communauté, notamment dans le cadre d'utilisation de jeux de données bruités fortement déséquilibrés, fréquents dans les ensembles de données d'acoustique passive. L'objectif est d'entraîner un encodeur permettant de représenter les données dans un espace latent organisé, dans lequel les échantillons de données similaires sont regroupés, tandis que les échantillons dissimilaires sont éloignés les uns des autres. Dans un second temps, la tâche de détection/classification est effectuée à partir de cet espace latent.

Dans cette étude, nous explorons l'intérêt potentiel de ces méthodes pour l'acoustique passive sous-marine appliquées aux vocalisations basse fréquences des grands cétacés en Antarctique, en utilisant un des plus grands jeux de données public et annoté dédié à ces espèces (Miller, et al., 2021). Le supervised contrastive learning est comparé aux méthodes les plus couramment utilisées dans la communauté DCLDE. Cette application est réalisée en utilisant des sets de validation divers, provenant de différentes zones géographiques afin d'évaluer au mieux la capacité de généralisation de cette méthode.

11 :20 – 11 :40 Time-Frequency Exploration of the Repertoire and Evolution of Humpback Whale Songs in the Caribbean Sea.

Séphane Chavin¹, Jérôme COUVAT^{2,3}, Hervé GLOTIN^{1,3}

1Université de Toulon, Aix Marseille Univ, CNRS, LIS, Marseille, France ; 2Agoa Sanctuary, French Agency of Biodiversity, Trois-Ilets, Martinique, French West Indies ; 3CIAN, Centre d'Intelligence Artificielle en Acoustique Naturelle, Toulon, France.

Humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) around the world exhibit complex and organized vocalizations into a song form [1]. Traditional manual annotation methods for studying whale songs are labor-intensive and time-consuming. In this paper, we worked on the humpback whales in the breeding area of the Caribbean Sea and introduced an innovative time-frequency annotation method to use the YOLOv5 neural network [2, 3] in order to automate the detection and analysis of humpback whale vocalizations.

Our approach addresses the limitations of existing methods, providing a streamlined and accurate solution for long-term surveys. We present the methodology, including dataset details, YOLOv5 configuration, data augmentation and adaptations for Caribbean Sea humpback whales. The results showcase the model's performance metrics and visualizations of annotated time-frequency spectrograms. Additionally, we unveil a part of the vocalization repertoire of Caribbean Sea humpback whales, classifying and describing 28 song unit types observed during the survey and their proportion for each recording station.

Then we interpret the findings in the context of existing research, highlighting the implications of YOLOv5 for advancing humpback whale vocalization studies. We conclude by summarizing key contributions and suggesting avenues for future research in marine mammal acoustics. This study presents a novel and accessible approach, leveraging artificial intelligence to enhance our understanding of humpback whale communication in the Caribbean Sea.

We thank AGOA and all the precious and numerous partners of CARIMAM <https://interreg-caraibes.eu/download/file/5867>.

We thank EUROPAM Biodiversa project, ANR grants ADSIL ANR-20-CHIA-0014 and ULPCochlea ANR-21-CE04-0020 received by H. Glotin.

[1] Payne, Roger and Scott McVay. "Songs of Humpback Whales." *Science* 173 (1971): 585 - 597.

[2] Glenn Jocher et al. (2022) "ultralytics/yolov5: v7.0 - YOLOv5 SOTA Realtime Instance Segmentation".

[3] Deloustal Nicolas, Chavin Stéphane and Glotin Hervé (2022), "Suivi et identification temps-fréquence bioacoustique par transfert deep learning sur YOLO : gestion des chorus" http://sabiod.lis-lab.fr/pub/YOLO_DYNI.pdf

11 :40 – 12 :00 Sonar du Globicéphale : Classification automatique. Nicolas Deloustal

Nicolas Deloustal, Adeline Paiement, Sébastien Paris, Hervé Glotin

CIAN - Centre International d'Intelligence Artificielle en Acoustique Naturelle, Toulon

Université de Toulon, Aix Marseille Univ, CNRS, LIS, Toulon, France

The long-finned pilot whale (*Globicephala melas*) uses methods based on acoustic signals to perceive the environment and communicate due in part to the low visibility in this environment. Studying these acoustic signals enables us to better identify and understand these animals. To describe an acoustic signal, there are different methods, one of which involves using transformations to represent signal variations according to time and amplitude modulations. These representations are called time-frequency representations (TFRs). However, the TFR method usually used (by short-time Fourier transform) to study cetaceans is not suitable for all types of emitted signals. It is shown here that the TFR generated with the Pseudo Wigner-Ville Distribution (PWVD) offers much higher time and frequency resolution than the traditional method. It is also shown that the Ambiguity Function (AF), described as the dual transform of WV, is a representation that provides a good representation of

transient signals in terms of Doppler shift and time delay. The results obtained support the hypothesis that there are characteristics within the animal's click that are linked to its age/sex. This work opens the door to more advanced analyses such as the ability to monitor populations, to differentiate between juveniles, males and females, and to improve our knowledge of these cetaceans, which are still little known to the general public.

14 :00 – 14 :40 Plénière : Capteurs, traitements embarqués, et vecteurs pour l'observation efficace de l'environnement marin.

Christophe L'Her, SERCEL

14 :40 – 15 :00 MOBI, Bouée de surveillance acoustique en temps réel.

Caroline Magnier, Rémi Coquelin

ABYSSENS

MOBI est une bouée dédiée au suivi en temps réel des bruits sous-marins. Des performances acoustiques élevées sont aux rendez-vous avec des données brutes enregistrées sur 24 bits, une dynamique de 110 dB, une écoute jusqu'à 200 kHz et un bruit propre en dessous de l'état de mer zéro. En parallèle de l'enregistrement, une analyse en embarqué est réalisée afin de permettre la transmission en temps réel des niveaux acoustiques et des alertes en cas de dépassement de seuils réglementaires. Avec une longue portée de transmission de données (> 23 km) sans frais d'abonnement supplémentaires, une autosuffisance énergétique et une grande capacité de stockage allant jusqu'à 16 To, MOBI est dédié aux applications côtières ou en haute mer, pour des missions de surveillance acoustiques PAM (Passive Acoustic Monitoring) courtes ou de longue durée.

15 :00 – 15 : 20 UMISAS 120 un nouveau sonar à antenne synthétique (SAS) pour l'exploration des fonds marins.

Léo Seyfried, Bastien Lyonnet, Marc Pinto

Exail Robotics SAS.

Exail a mis au point un nouveau sonar à antenne synthétique (SAS) appelé UMISAS 120, intégré à son véhicule sous-marin autonome (AUV) A18-M. Le développement de ce nouveau système ouvre des perspectives pour l'exploration des fonds marins et les géosciences marines.

La conception du sonar, avec deux bandes de fréquences (VHF à 330 kHz et HF à 250 kHz) permet de réaliser des images du fond marin à très haute résolution, de l'ordre du centimètre, et avec une couverture horaire (ACR) de plus 0,5Nm²/h. De plus, un effort important a été effectué pour maîtriser l'amplitude mesurée dans les images SAS, en tenant compte de la géométrie du problème, de l'équation du sonar et de la connaissance détaillée du système d'antenne. Le design du sonar permet également de réaliser des mesures bathymétriques par interférométrie sur les antennes physiques et synthétiques (InSAS), permettant d'atteindre une résolution inégalée.

De nombreuses campagnes de mesures ont été réalisées dans la baie de Hyères entre 2022 et 2024 pour mettre au point UMISAS 120. Ces campagnes nous montrent les possibilités du SAS : détection d'objet sur le fond marin, classification de la nature des fonds, bathymétrie et micro-bathymétrie. Cette présentation explore ces différentes possibilités de l'imagerie SAS, ainsi que les premiers

résultats de l'InSAS. De nombreuses applications du SAS, dans les géosciences marines, reste encore à co-construire avec les acteurs du secteur ; cette présentation ouvre cette perspective.

15 :20 – 15 :40 MERMAID-BOBS : un nouveau type de sismomètre pour observer les séismes.

Sébastien Bonnieux¹, Karin Sigloch¹, Dalija Namjesk¹, Yann Hello¹, Isabel Reinicke², Frédéric Rocca³, Olivier Philippe³

¹GéoAzur, Université Côte d'Azur, CNRS, OCA, IRD, Valbonne, France ; ²Universität Duisburg-Essen, Duisburg/Essen, Germany ; ³OSEAN SAS, Le Pradet, France

Les zones de sismicité les plus actives se situent dans les océans, aux limites de convergence et divergence des plaques tectoniques. L'étude de ces zones nécessite des sismomètres fonds de mer (i.e., OBS). Les tout premiers OBS développés dans les années 70 étaient équipés d'hydrophones, ce n'est qu'à partir des années 90 que des sismomètres ont été ajoutés. La technologie est maintenant mature, mais sa mise en œuvre requiert encore l'utilisation de navires de recherches onéreux. Les flotteurs profileurs lagrangiens MERMAID ont vu le jour dans les années 2010 avec un objectif de réduction des coûts de mise en œuvre permettant la création de grands réseaux d'observation (e.g., EarthScope-Oceans). Seulement, ces flotteurs ne sont équipés que d'hydrophones et nous projetons d'y installer des sismomètres ! Nous présenterons les contraintes techniques et développements à venir pour ces MERMAID-BOBS.

15 :40 – 16 :20 Pause

16 :20 – 16 :40 Évaluation de l'impact de la longueur de gauge sur la réponse en fréquence du DAS pour les vocalisations des grandes baleines.

Léa Bouffaut, Holger Klinck

K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics, Cornell Lab of Ornithology, Cornell University

En connectant un interrogateur à la fibre optique d'un câble de télécommunication sous-marin, le Distributed Acoustic Sensing (DAS) permet de créer une antenne de capteurs virtuels capable de détecter des sources acoustiques, notamment les sons basses fréquences des rorquals communs (*Balaenoptera physalus*) et baleine bleues (*B. musculus*). Le DAS est instrumenté depuis le rivage, collecte des données en quasi temps réel sur des dizaines de kilomètres. Ainsi, cette technologie pourrait offrir une opportunité unique pour faire le suivi des grandes baleines à des échelles spatiales et temporelles d'intérêt pour leur écologie et leur conservation.

En pratique, l'interrogateur DAS envoie des signaux laser dans la fibre et interprète la rétrodiffusion de Rayleigh, générée par des défauts répartis de manière aléatoire le long de la fibre. Sous l'effet d'une onde de pression incidente, ces défauts se déplacent, introduisant un retard de phase dans les signaux laser reçus par l'interrogateur. Le retard de phase moyen est estimé sur de courtes sections de fibre (i.e., la longueur de gauge) à intervalles réguliers le long de la fibre, créant ainsi des voies virtuelles. Ce déphasage est alors converti en signaux temporels de contrainte pour chaque section de fibre correspondante, générant des données échantillonnées à la fois dans le temps et dans l'espace.

La réponse en fréquence du DAS aux ondes acoustiques est spécifique à une combinaison fibre/interrogateur et dépend de multiples facteurs. La longueur de jauge introduit une réponse dépendante de la longueur d'onde apparente, et est donc un paramètre critique de l'acquisition de données. En sismologie, elle est généralement fixée de l'ordre d'une dizaine de mètres pour améliorer le rapport signal/bruit ce qui limite la résolution fréquentielle. Cette présentation s'intéresse à l'impact de la longueur de jauge sur la réponse en fréquence du DAS, estimée à partir de signaux de grande baleines.

16 :40 – 17 :00 Vers une standardisation nationale des métadonnées en acoustique passive sous-marine.

Timothée Maison¹, Laura Ceyrac¹, Mathieu Dupont², Cédric Gervaise³, Clément Graffard³, Myriam Lajaunie¹, Julie Lossent³, Elodie Morin², Yaëlle Pihan¹, Hélène Pihan-Le Bars¹, Eddie Rousselet³, Flore Samaran², Maëlle Torterotot²

¹Service Hydrographique et Océanographique de la Marine ; ²Lab-STICC UMR 6285, ENSTA Bretagne ; ³CHORUS

La multiplication des campagnes de mesures le long des côtes françaises, notamment dans le cadre du programme de surveillance de la DCSMM et de l'implantation de parcs éoliens offshore, ainsi que l'augmentation de l'autonomie et des capacités de stockage des enregistreurs, produisent une quantité de données sans cesse croissante. Le manque de standards sur les métadonnées, visant premièrement à établir un « vocabulaire commun » pour identifier et décrire les enregistrements, freine considérablement la reproductibilité, le partage et la comparaison des résultats. A l'échelle internationale, plusieurs propositions de standardisation ont déjà été formulées au sein de projets comme Tethys ou Meridian, piloté respectivement par le SCRIPPS (USA) et l'université de Dhalousie (Canada). De tels projets ont notamment permis le développement de portails web de visualisation et d'exploration de données au sein de programmes nationaux comme l'Integrated Ocean Observing System (USA), l'Ocean Network Canada (Canada) et l'Integrated Marine Observing System (Australie), rendant la donnée d'acoustique passive visible et accessible aux différentes communautés d'océanographie observationnelle.

Une récente collaboration entre le SHOM, l'ENSTA Bretagne et CHORUS vise à porter une initiative similaire de standardisation de métadonnées en France, selon les principes FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable). Les premiers résultats de cette collaboration incluent la production d'un schéma de représentation de métadonnées et la création d'une interface web de visualisation des campagnes d'enregistrement de nos différents instituts. Ces outils sont actuellement construits sur la base d'une synthèse critique des systèmes existants, en interrogeant leurs éventuelles limites. A long-terme, des développements originaux de standards sur les outils d'évaluation de qualité de la donnée, de ses traitements et de son annotation manuelle et/ou automatiques seront proposés.

Ce projet vise essentiellement à poser les bases d'une initiative collaborative de standardisation qui se veut la plus large possible sur la scène nationale : toute nouvelle contribution est encouragée.

17 :20 – 17 :40 Etat des lieux des outils de traitement OSEkit et APLOSE au sein du projet collaboratif OSmOSE

Samaran Flore, Elodie Morin, Dorian Cazau, Julie Béseau, Mathieu Dupont, Maëlle Torterotot

ENSTA Bretagne Lab-STICC - UMR CNR 6285, Brest

Le suivi par acoustique passive est de plus en plus utilisé pour monitorer l'environnement marin. Que ce soit pour évaluer une activité anthropique, prendre des mesures in situ de l'océan ou encore suivre la présence acoustique de cétacés, les études sont de plus en plus nombreuses.

Le traitement de cette donnée est très variable selon les objectifs auxquels on souhaite répondre et il existe peu ou pas de standards. Or les traitements évoluent vite et il peut être parfois intéressant de rejouer des analyses sur des jeux de données. Les suivis sont de plus en plus long-terme et pour comparer les études et appréhender correctement les évolutions d'un phénomène il semble nécessaire de conserver certains traitements ou métriques standardisés. Enfin, le développement récent et inévitable de l'IA met en évidence que pour l'acoustique passive les bases de données annotées font défaut et la mise en place de benchmarks est nécessaire.

Dans ce contexte, le projet collaboratif OSmOSE (Open Science meets Ocean Sound Explorers, osmose.ifremer.fr), lancé en 2018 à Brest, œuvre au développement de pratiques et d'outils respectant les principes FAIR de la science ouverte. Après une présentation générale de notre projet, nous décrirons plus en détails comment ces principes sont concrétisés à travers l'implémentation d'une suite d'outils de gestion et traitement de la donnée (package python OSEkit, <https://github.com/Project-OSmOSE/OSEkit>) et d'une interface web de visualisation et d'annotation de données (APLOSE, <https://github.com/Project-OSmOSE/osmose-app>)

17 :40 – 18 :00 Optimisation méta-heuristique de réseaux acoustiques hétérogènes.

Ronan Serré, David Dellong, Myriam Lajaunie, Hélène Pihan-Le Bars

Shom

Les océans sont le siège du développement d'une activité économique et industrielle intense, accentuée par les enjeux récents et futurs des énergies marines renouvelables. Les espaces maritimes sont donc un environnement de compétitions entre différents acteurs de la mer. Ces activités économiques ont aussi un impact sur les écosystèmes marins et la planification de l'espace maritime doit tenir compte des espèces marines présentes. Par ailleurs, l'océan est un excellent support pour la propagation des ondes acoustiques, qui peuvent se propager sur des distances considérables en fonction de la fréquence, du niveau de la source et des propriétés physiques statiques (nature du fond, bathymétrie) et dynamiques (conditions hydrologiques) de l'environnement marin. L'application de réseaux acoustiques peut donc être largement favorisée à des fins de surveillance ou de localisation, que ce soit pour le suivi des populations marines, ou pour la détection de cibles sur des théâtres d'intérêt par exemple. Mais les performances de réseaux de suivi acoustique dépendent de ses caractéristiques intrinsèques et de l'environnement marin. On se propose donc de prendre en compte l'environnement physique et ses incertitudes pour étudier l'optimisation par des méthodes méta-heuristiques de réseaux acoustiques hétérogènes. Cela inclut un ensemble de simulations réalistes en phase amont de déploiement de réseaux distribués fixes, constitués de capteurs ayant des caractéristiques différentes, et de réseaux mobiles en intégrant des capacités de traitement embarqué.

18 :00 – 18 :20 Surveillance hydroacoustique des volcans et dorsales océaniques.

Sara Bazin¹, Jean-Yves ROYER¹, Pierre-Yves RAUMER^{1,2}, Vaibhav Vijay INGALE^{1,3}, Aude LAVAYSSIÈRE¹, Jonathan TANRIN¹,

¹*Geo-Ocean/IUEM/UBO* ; ²*Lab-STICC* ; ³*Scripps Inst Oceanography*

Les dorsales médio-océaniques sont des limites de plaques divergentes où les processus volcaniques et tectoniques interagissent pour créer le plancher océanique. Cette interaction complexe donne lieu à de nombreux séismes de faible magnitude ($M \leq 4$), qui échappent souvent aux réseaux sismiques terrestres en raison de l'atténuation rapide des ondes sismiques dans la croûte. Néanmoins, ces séismes génèrent des ondes T dans la colonne d'eau à partir de la conversion de l'énergie sismique en ondes hydroacoustiques basse-fréquence au niveau du plancher océanique ; celles-ci se propagent sur de grandes distances avec une faible atténuation à travers le canal SOFAR (Sound Fixing And Ranging). Le réseau d'hydrophones OHA-SISBIO (2010-2023), déployé pour enregistrer ces ondes T dans l'océan Indien, a couvert trois dorsales médio-océaniques aux vitesses d'expansion contrastées : la dorsale sud-ouest Indienne ultra-lente, la dorsale centrale Indienne lente et la dorsale sud-est Indienne à taux intermédiaire. À partir de ces données acoustiques continues, nous avons pu établir un catalogue de 38 910 événements sur une sélection de 15 essaims sismiques répartis le long des trois dorsales. Cinq d'entre eux comprennent de nombreux événements impulsionnels de courte durée (10-15 secondes) et de haute énergie jusqu'à 60 Hz, que nous attribuons à des interactions entre laves éruptives et eau de mer. En 2020, dans le cadre du réseau de surveillance REVOSIMA du nouveau volcan sous-marin, découvert 50 km à l'est de l'île de Mayotte dans le canal du Mozambique, nous avons installé un réseau de 4 hydrophones (MAHY) afin de suivre l'intense activité sismique, toujours en cours, et notamment détecter les signaux impulsionnels témoins de nouvelles coulées de lave. Dans cette optique, nous avons développé un outil IA pour détecter ces signaux automatiquement en complément des outils de détection des cris de baleines. Et pour simplifier les opérations logistiques, nous allons y déployer de nouveaux hydrophones (HYDROBS) dotés de messagers pour récupérer les données à la demande, sans avoir à relever les mouillages. Enfin, depuis février 2024 et pour 3 ans, un nouveau réseau hydroacoustique (OHA-GEODAMS) a été déployé autour du plateau de Saint-Paul Amsterdam, dans l'océan Indien, en conjonction avec un observatoire acoustique géodésique en fond de mer pour mesurer in-situ les déformations et la sismicité associées à l'ouverture de la dorsale sud-est Indienne (65 mm/an), et aussi surveiller ce point chaud en termes de bioacoustique.