

CNRS - LABORATOIRE LIS, EQUIPE DYNI  
UNIVERSITE DE TOULON



Etude cofinancée par la Fondation Engie

---

---

Observations Stéréophoniques sur 4 ans de la Bouée BOMBYX au Sud du Parc

National de Port-Cros :

Mégafaune et pollution anthropophonique.

LOT 2 : Le cas du rorqual et du globicéphale

---

H. Glotin, M. Poupard, P. Best, M. Ferrari

Université de Toulon, CNRS, Aix Marseille Univ., LIS, Dyni, International Center  
of Bioacoustics, France - [glotin@univ-tln.fr](mailto:glotin@univ-tln.fr)

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Abstract</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>La mégafaune cible de l'étude lot2 de la Fondation Engie</b>	<b>2</b>
3.1	Le rorqual <i>Balaenoptera physalus</i> . . . . .	2
3.2	Le globicéphale ( <i>Globicephala melas</i> ) . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Méthode et résultats de BOMBYX pour le Rorqual</b>	<b>4</b>
4.1	Détection acoustique de la présence de rorquals . . . . .	5
4.2	Détection acoustique des rorquals et bruit de fond . . . . .	5
4.3	IPI et type de pulses . . . . .	6
4.4	Discussion sur les résultats de Rorqual . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Méthode et résultats de BOMBYX pour le globicéphale</b>	<b>10</b>
5.1	Détection acoustique des vocalises . . . . .	10
5.2	Catalogue de vocalisation de globicephales . . . . .	10
<b>6</b>	<b>Publications sur Bombyx remerciant la Fondation Engie</b>	<b>12</b>
6.1	Revue internationale de rang A+ . . . . .	12
6.2	Séminaires et thèse de doctorat . . . . .	13
6.3	Chapitres de livre . . . . .	13
<b>7</b>	<b>Remerciements</b>	<b>14</b>

# 1 Abstract

This report demonstrates results on Fin whales and pilot whales survey by BOMBYX1, the Sonobuoy built by DYNI's team and placed in 2015 for 4 years in front of Port-Cros, with the help of IUF, Engie foundation, PNPC and PELAGOS. The first part of this report shows that BOMBYX1 was able to segregate and count the fin Whales 20 km to 30 km around it. BOMBYX1 also assessed the dB levels and reaction of the fin Whales to anthropophony. The second part of this report, shows first results of pilot Whales detection with the same sonobuoy and same period, yielding to another pattern. We finally discuss on the extension of BOMBYX1 to BOMBYX2, based on this strong know-how, into the framework of the European FEDER GIAS project. BOMBYX2 is equipped of 5 hydrophones, and innovative sound card integrating Artificial Intelligence for automatic detection and classification of the sounds. It also estimate localisation of the whales. Then when Sperm Whales or Fin Whales are detected, BOMBYX2 goes up to the surface using its ballast, to emit a report to the CROSSMED or other authorities, and MIRACETI NGO, which finally send information to the marine traffic for whale-ship collision mitigation.

# 2 Introduction

"Le déploiement de l'énergie pour tous ne peut se faire sans conscience écologique. Pour préserver l'environnement, il est indispensable de sensibiliser les citoyens aux enjeux environnementaux". Cette citation de la Fondation Engie va dans le sens des travaux de l'équipe DYNI au sein du laboratoire LIS de l'université de Toulon.

L'ensemble des travaux conduits dans le cadre de cette convention remercie explicitement la Fondation Engie pour son co-financement, par son logo et par écrit dans la section 'Acknowledgments' des publications.

Les publications sont listées en dernière section de ce rapport.

La bioacoustique passive enregistre et traite l'environnement audio, tandis que la bioacoustique active émet des sons et enregistre les échos produits par ce son. Le contrôle de la source (temps d'émission, puissance, signal, ...) augmente la quantité d'informations obtenues permettant de collecter certaines données clés (par exemple la distance à la cible). Cependant la bioacoustique active présente l'inconvénient d'émettre du son. Cela implique une pollution sonore, une perturbation potentielle du comportement animal, et éclipse les émissions animales simultanées, et de fait est contre productive pour de nombreuses études. Enfin parmi les méthodes bioacoustiques passives, on trouve l'utilisation de DTAG, qui sont de petits appareils d'enregistrement avec des ventouses qui sont placées sur les animaux, cependant cette technique peut potentiellement aussi perturber le comportement animal, par le stress engendré à la pose, puis des pathologies si le DTGA est tenu par petit harpon.

La visibilité sous-marine est limitée à une portée comprise entre 20 m et 60 m, tandis que certaines espèces comme les cachalots, peuvent être entendues à 5 ou 10 km. Dès lors, la bioacoustique passive est idéale pour surveiller de nombreux mammifères marins. Dans le cas des cachalots, qui émettent des clics à la fois lors de l'écholocation et des interactions sociales, la bioacoustique passive permet d'obtenir des informations sur leur comportement de chasse, d'enregistrer la séquence de clics qu'ils émettent pour communiquer et d'estimer leur taille.

L'étude de ce rapport porte sur l'évolution et le déplacement du rorqual commun face à un des plus grand port français, Toulon, à la porte du sanctuaire Pelagos. Ce sanctuaire est un espace maritime de 87 500 km<sup>2</sup> faisant l'objet d'un Accord entre l'Italie, Monaco et la France pour la protection

des mammifères marins (15). Huit espèces de mammifères marins fréquentent ses eaux, allant du dauphin bleu et blanc (odontocète, baleine à dents) jusqu'au rorqual commun (mysticète, baleine à fanons). Puis nous présentons les premiers résultats sur l'étude des vocalises des globicephales de Méditerranée.

La bouée BOMBYX a été décrite dans le rapport du Lot 1. Des exemples de sons pour les trois espèces étudiées (cachalot, globicephales et rorquals) sont disponibles à l'adresse suivante : [http://sabiiod.lis-lab.fr/pub/engie\\_sound/](http://sabiiod.lis-lab.fr/pub/engie_sound/).

## 3 La mégafaune cible de l'étude lot2 de la Fondation Engie

### 3.1 Le rorqual *Balaenoptera physalus*

Le rorqual commun (*Balaenoptera Physalus*) se trouve couramment dans le bassin occidental de la mer Méditerranée, avec une population estimée à environ 3500 individus (17). En tant que cétacés, ce sont des animaux très vocaux, tirant le meilleur parti de la propagation sonore sous-marine favorable (en particulier par rapport à la propagation de la lumière). Leurs vocalisations peuvent servir la cohésion du groupe (21; 31), la signalisation alimentaire (26) et l'attraction du partenaire (3). Ce sont tous des sons à très basse fréquence, certains autour de 20 Hz, à peine perceptibles à l'oreille humaine.

L'étude de la fonction des chants des rorquals communs de l'Atlantique et du Pacifique est très probablement applicable à la population de Méditerranée. Cependant, ce n'est pas le cas pour l'étude de la structure des chansons. En effet, comme d'autres espèces de cétacés, les rorquals communs montrent une différenciation acoustique géographique, supposée culturelle dans certains cas. L'hypothèse culturelle est démontré uniquement si le phénomène est appris et enseigné par des pairs, non génétiquement déterminé, et non déclenché uniquement par l'environnement facteurs. De plus, les comportements culturels sont spécifiques à une communauté et ne peuvent pas être trouvés dans une espèce entière. L'écart des chansons de mysticètes dans différentes populations sont vraisemblablement le résultat de dérives émergent de la conformité et de la créativité contraintes de la production du chant. De plus, la théorie du déplacement de caractère avec des chansons servant de marqueur de discrimination pour les populations allopatriques a été émise pour les rorquals communs de l'Atlantique Nord par (5).

Quant à la population Méditerranéenne, il a été démontré qu'elle est résidente et génétiquement dissociée de la population de l'Atlantique Nord, ainsi que leur chant, en particulier l'IPI (Intervalle Inter Pulse). Les rorquals communs de Méditerranée ne suivent pas les schémas de migration ou les périodes de reproduction de leurs congénères océaniques, de sorte que leur chant peut être entendu toute l'année.

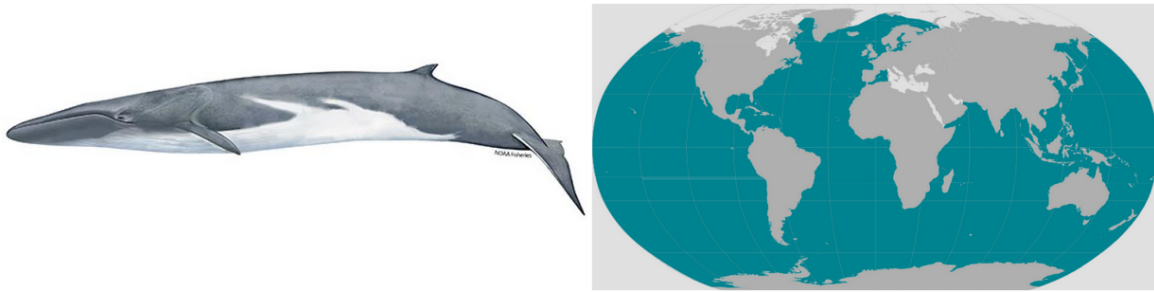


FIGURE 1 – Représentation du rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) associée à sa répartition géographique. Source : (14).

Avec la pollution, le trafic important en mer Méditerranée fait partie des menaces principales d'origine humaine concernant les rorquals (4), tous comme elle l'est chez la plupart des mammifères marins (8; 19). De plus, ces dernières ont été amplifiées à cause du nombre de bateaux de plus en plus important (13). Cette menace s'exprime principalement sous forme de collision, mais la pollution acoustique générée par ce trafic est aussi un facteur impactant les baleines (25; 6; 10). Réduire la vitesse des bateaux, a minima dans des zones où les rorquals sont présents, a donc un double effet positif, aussi bien sur les collisions que sur le stress généré par l'acoustique.

### 3.2 Le globicéphale (*Globicephala melas*)

Le globicéphale noir fait partie des huit espèces de cétacés communes en mer Méditerranée occidentale. Vivant en groupe, il est possible de rencontrer de 10 à 60 individus (voir Fig. 2). Le régime alimentaire est majoritairement composé de céphalopodes, qu'il va chasser à plus de 600m de profondeur. En Méditerranée nord-ouest, les effectifs sont estimés de 2 000 à 10 000 individus. Son observation est régulière, surtout l'été.

Ils sont actuellement classés dans la catégorie Données insuffisantes sur la Liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) (29).

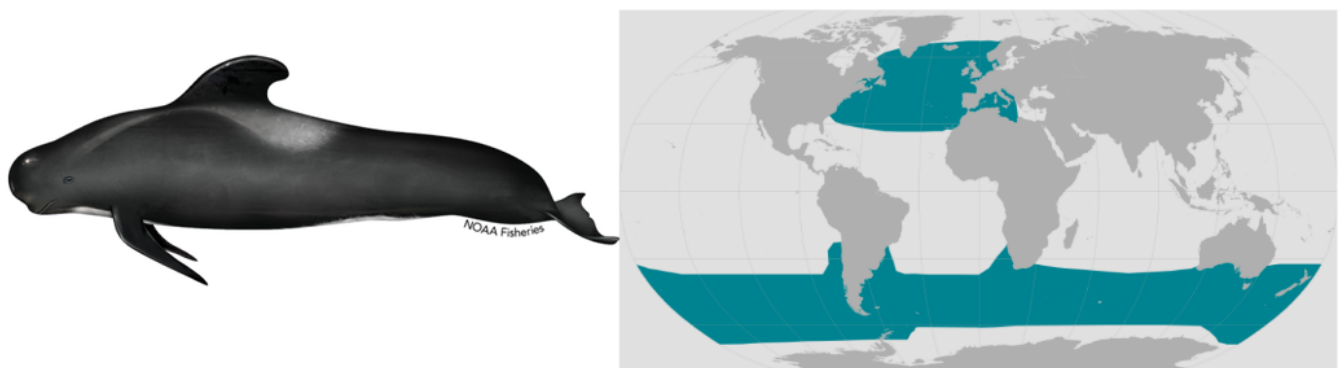


FIGURE 2 – Représentation du globicéphale (*Globicephala melas*) associée à sa répartition géographique. Source : (14).

Cette espèce produit différents types de sons, comme des clics, des sifflements ou encore des vocalisations. Ces dernières sont utilisées principalement pour la socialisation. Comme les orques,

les globicéphales possèdent un répertoire de vocalises bien défini, qui pourrait correspondre à un groupe précis ou encore à des comportements particuliers (7; 30).

(32) a notamment montré que chez les globicéphales, il y avait une relation significative entre les sons émis et leurs comportements de surface, avec des vocalises de "contact" utilisées pour coordonner le groupe.

La bouée BOMBYX, devrait nous permettre à terme, d'identifier les vocalises présentes, de réaliser un "catalogue" de ces dernières, pour pouvoir, par la suite comprendre comment la communication intra-groupe évolue chez cette espèce.

## 4 Méthode et résultats de BOMBYX pour le Rorqual

Un processus d'annotation itératif a été mené pour rassembler une base de données de pulse de rorquals commun sur laquelle des modèles d'apprentissage automatique ont été entraînés. La tâche est la détection des impulsions de 20 Hz dans le signal, ou en d'autres termes, la classification binaire du signal entre les impulsions de 20 Hz et tout autre son. Avant la création du modèle de classification, certains traitements ont été réalisés. La figure suivante montre un spectrogramme d'une séquence de pulses de rorqual. La ligne pointillée grise indique le seuil de discrimination entre les types d'impulsions A et B, à 20 Hz.

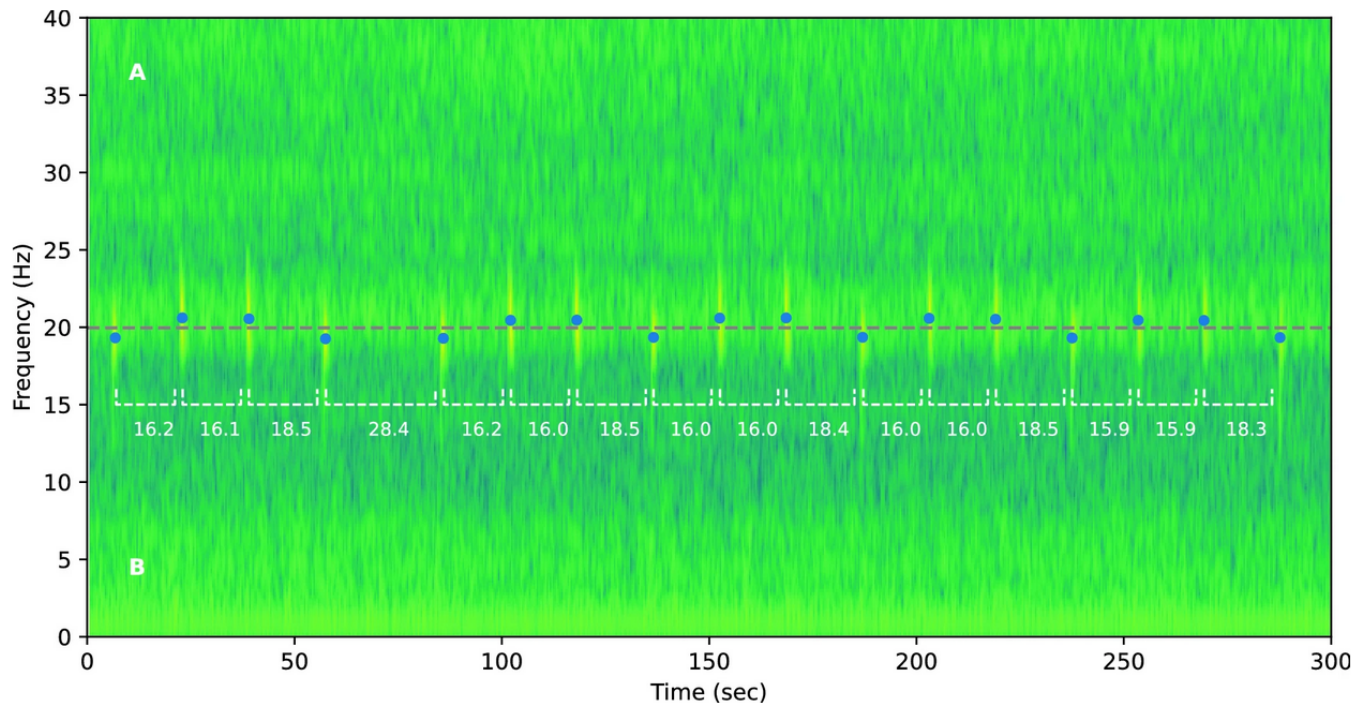


FIGURE 3 – Spectrogramme de pulses de rorqual enregistrés sur BOMBYX

Nous décrivons dans la section suivante chaque étape depuis le chargement de la forme d'onde sonore jusqu'au passage avant réel du CNN. Nous sélectionnons d'abord une fenêtre de 5 secondes entourant l'annotation et la sous-échantillons à 200 Hz (en utilisant la méthode de Fourier). Les pulses du rorqual commun se situant autour de 20 Hz, une fréquence de nyquist de 100 Hz est suffisante pour décrire le pulse dans son ensemble. De plus, le spectre jusqu'à 100 Hz



peut contenir des informations qui aident à discriminer les annotations négatives. L'inclusion de fréquences plus élevées serait plus coûteuse en calcul et pourrait amener le réseau à sur apprendre des caractéristiques qui ne sont pas liées aux pulses des rorquals communs. La forme d'onde est ensuite normalisée (en soustrayant la moyenne et en divisant par l'écart type), ce qui rend l'entrée du réseau relativement stable en niveau d'exposition sonore (SEL).

Pour imposer la généralisation et de meilleures performances à faible rapport sur bruit, nous ajoutons du bruit brun aux signaux d'entrée au moment de l'entraînement. Le bruit brun a été choisi pour sa similitude avec le bruit ambiant de la mer. Nous standardisons le bruit brun généré et le multiplions par 1,41 avant de l'ajouter au signal d'entrée. Cela signifie, en considérant le SEL comme la variance du signal, que le SNR résultant est de -3dB ( $10 \log_{10}(\frac{1}{1.41^2}) \approx -3$ ).

Nous calculons ensuite la transformée de Fourier à court terme (STFT) de la forme d'onde en utilisant une taille de fenêtre et une taille de saut de 256 et 32 points respectivement. Nous appliquons une transformée de Mel au spectrogramme résultant en 128 cases de fréquence espacées logarithmiquement allant de 0 à 100 Hz. Cette transformation est utile pour la détection de vocalisations animales dans des fréquences plus élevées car elle donne des représentations pertinentes du spectre. Pour cette gamme de fréquences, elle a un impact négligeable.

Nous appliquons finalement  $\log_{10}(1 + x * 10^a)$  avec  $a$  étant un paramètre entraînable du modèle (inspiré (11)). L'image 128x24 résultante est ensuite groupée et fournie comme entrée au modèle. Nous avons conçu une architecture CNN de complexité relativement faible (de 6 à 40 mille paramètres selon le nombre de caractéristiques et la taille du noyau) en utilisant 3 couches de convolution en profondeur. Ce modèle est présenté en détail dans un article accepté à Scientific Report Nature Ed. (2), et a été lancé sur les enregistrements de BOMBYX.

## 4.1 Détection acoustique de la présence de rorquals

Le détecteur de pulses de rorqual a été lancé sur la base de données. Les résultats sont présentés Figure 4. Sur ce calendrier, les cases de jaune à noires présentent les jours avec des rorquals (de 1 à 5 passages), celles en grises des enregistrements sans détections de rorquals, et les cases blanches les périodes sans enregistrement.

La Figure 8 représente l'évolution du nombre de pulses détectés en fonction des heures de la journée. On peut voir sur ce graphique qu'il existe un cycle d'environ 7h où le nombre pulses devient plus important, puis rediminue ensuite. Les pics sont à 3h, 10h, 18h.

## 4.2 Détection acoustique des rorquals et bruit de fond

Les bruits anthropiques influencent négativement les mammifères marins en affectant leur abondance, leur comportement, et de nombreux processus importants pour leur bien-être (orientation, reproduction, communication). Cette influence dépend de plusieurs caractéristiques acoustiques, notamment l'intensité, la bande passante ou la durée de l'exposition. Dans cette étude, nous avons comparé l'évolution du niveau de pression acoustique en fonction de la présence/absence de rorquals.

A ce jour, la comparaison des statistiques journalières de présences des rorquals communs avec le bruit de fond ne permettent pas de conclure de manière ferme sur une relation de causalité. La chute du taux de présence des rorquals communs aux alentours de 20h est potentiellement liée à un comportement d'alimentation lors des remontées planctoniques à la tombée de la nuit.

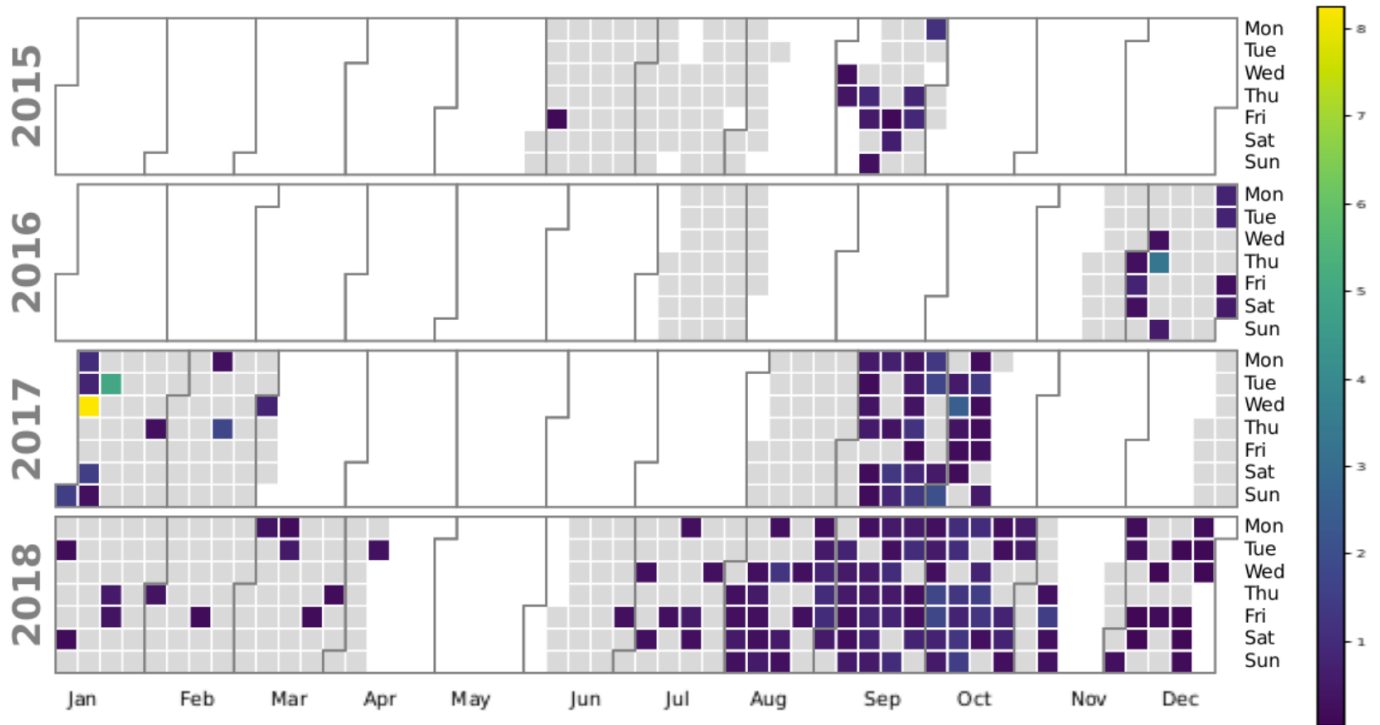


FIGURE 4 – Effort des enregistrements de la bouée BOMBYX (cases blanches) et le nombre de rorquals détectés par jour sur la bouée (de 0=gris à 5=noir). crédits figure : Phd Best Paul et Best et al. 2022

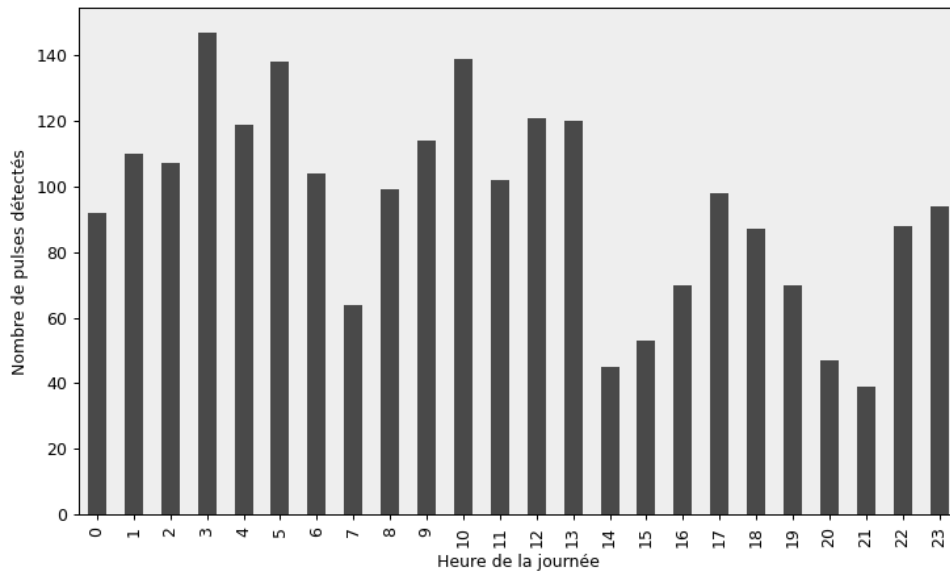


FIGURE 5 – Nombre de pulses de rorquals détectés au cours des heures de la journée

### 4.3 IPI et type de pulses

Le temps entre une deux pulses consécutifs (IPI) semble être fortement déterminé par leur type (A ou B, Fig. 9). L'intervalle typique pour un bigramme « AB » était de 2 s plus long que celui



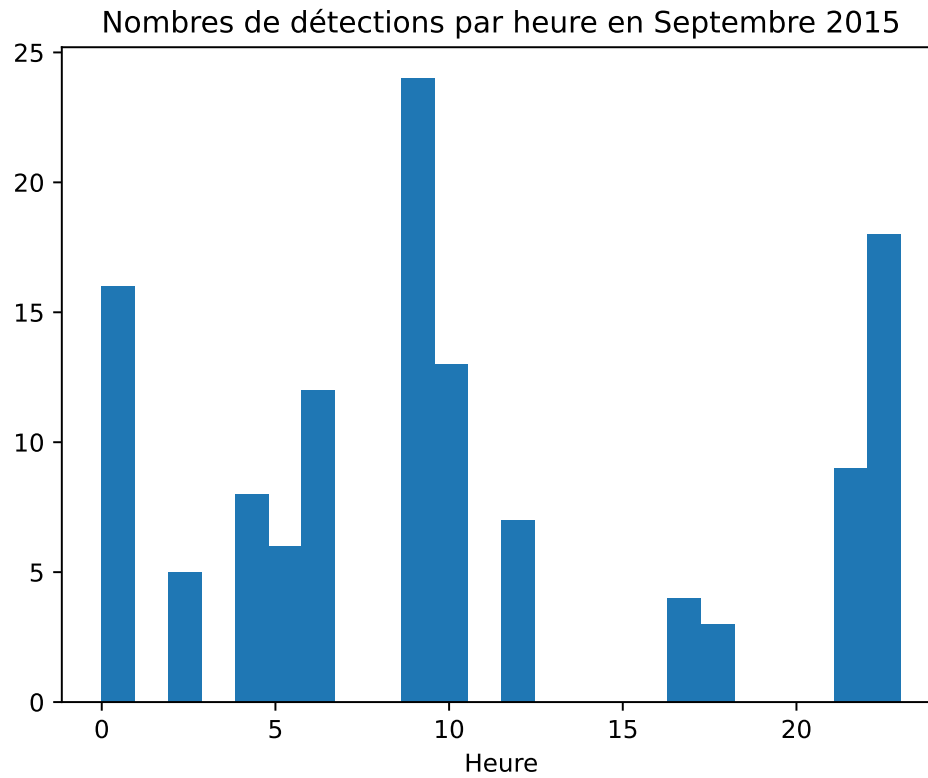


FIGURE 6 – Nombre de pulses de rorqual détectés au cours des heures de la journée en Septembre 2015

de « AA » ou « BA ». En revanche, les paires « BB » (moins fréquentes mais toujours courantes) étaient en moyenne plus longues de 11 s.

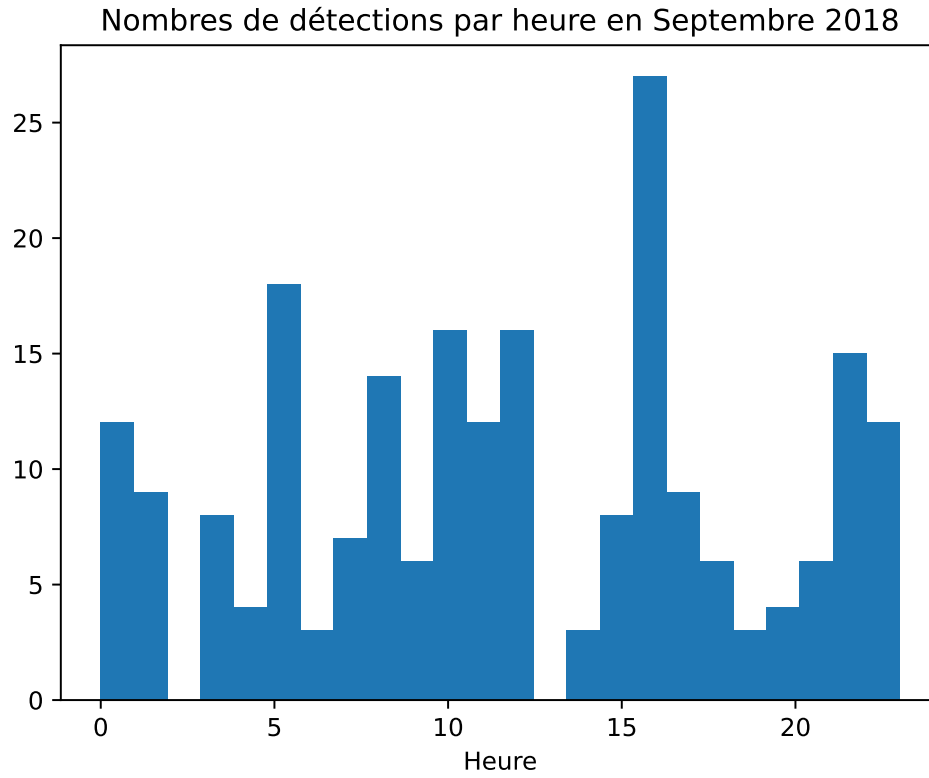


FIGURE 7 – Nombre de pulses de rorqual détectés au cours des heures de la journée en Septembre 2018

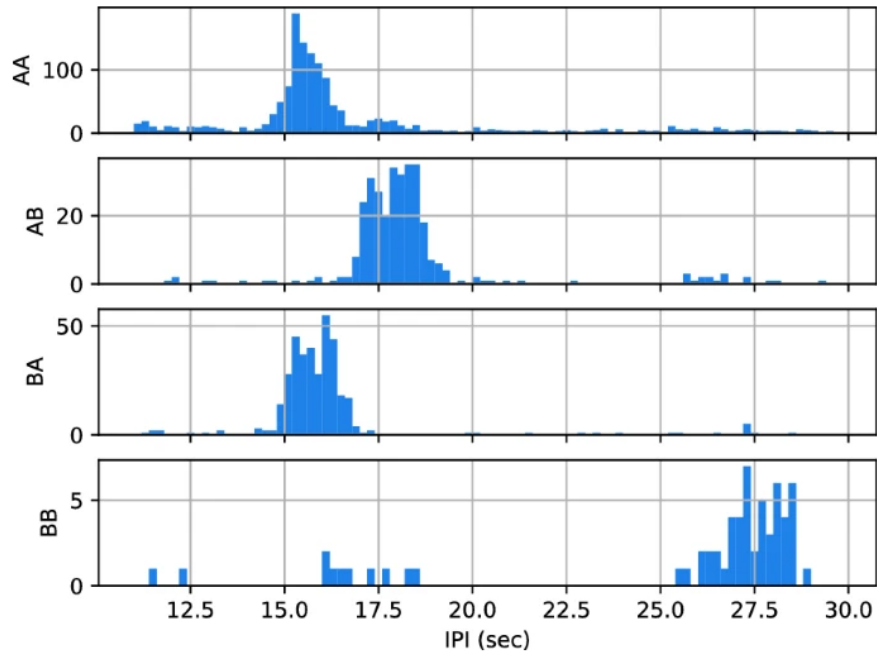


FIGURE 9 – Histogramme des IPI pour chaque séquence (AA, AB, BA, BB)

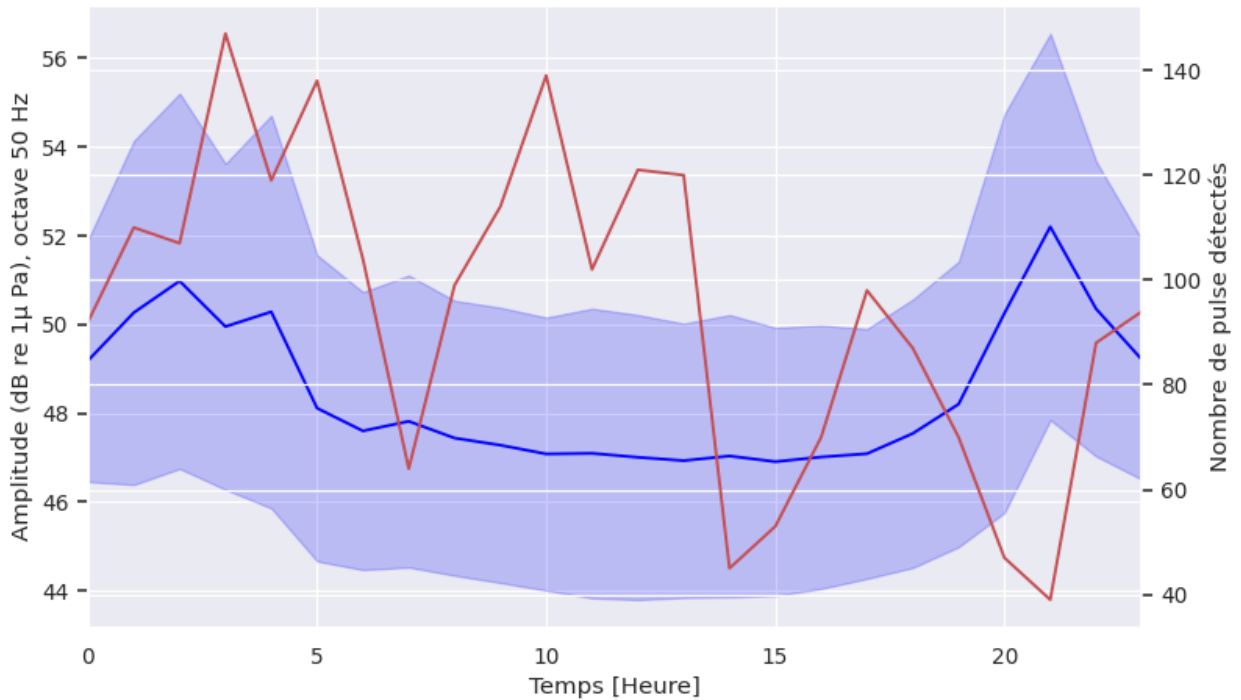


FIGURE 8 – Nombre de pulses de rorquals détectés durant au cours des heures (courbe rouge) associé au niveau de bruit sur l’octave 50Hz

#### 4.4 Discussion sur les résultats de Rorqual

La répartition des rorquals en mer Méditerranée a été étudiée grâce à diverses méthodes comme la photo-identification ou encore l’acoustique (16; 20). Ces différents travaux ont montré que les animaux étaient présents au Nord de la Méditerranée de Juillet à Décembre. Les vocalisations des rorquals communs sont en effet connues pour augmenter pendant la saison de reproduction au cours des mois d’automne et d’hiver (28; 18).

Concernant le cycle journalier dans le comportement acoustique des rorquals communs, l’étude récente de (22) a montré que les rorquals communs étaient d’avantages détectés pendant le jour. Ce résultat peut être expliqué par la migration dans la colonne d’eau de leur principale proie (*Meganctiphanes norvegica*) faisant surface pendant les heures sombres. Il est donc probable que les rorquals communs prédatent cette espèce de zooplancton principalement pendant la nuit, diminuant leurs activités vocales tout en augmentant l’activité de communication pendant la journée. Concernant nos enregistrements, aucune différence significative de détection acoustique nuit/jour n’a été constatée.

Le détecteur utilisé nous a permis de détecter des types de pulses différents (A et B). L’unité de base des chants, l’impulsion de 20 Hz, est partagée par tous les rorquals communs. Ces impulsions se produisent en séquences qui durent généralement plusieurs heures, avec des intervalles d’impulsion très réguliers entre 10 et 40 s. Ces résultats sont en accord avec la bibliographie (33; 12).

## 5 Méthode et résultats de BOMBYX pour le globicéphale

L'objectif de cette étude est de détecter automatiquement les vocalises de globicéphales présentes dans les enregistrements de la bouée BOMBYX, de les classer afin de créer un répertoire de vocalise de la population présente. Une telle étude n'avait jamais été réalisée en Méditerranée.

### 5.1 Détection acoustique des vocalises

Cette étude est encore en cours, nous vous présentons ici les méthodes qui ont été testées sur notre base de donnée. Nous avons utilisé un détecteur de vocalises d'orques (fréquences identiques que les globicéphales) développé dans la publication (23) afin de détecter des vocalises de globicéphales (Fréquence comprise entre 1.5 kHz et 8kHz). Cette étape nous a permis de détecter quelques vocalises présentes dans les enregistrements. Cette notion est plus communément appelée "Active Learning", et est décrite dans la figure suivante. L'utilisateur entraîne un modèle, puis le "Forward" sur la base de données, les positifs vont servir pour un deuxième entraînement etc...

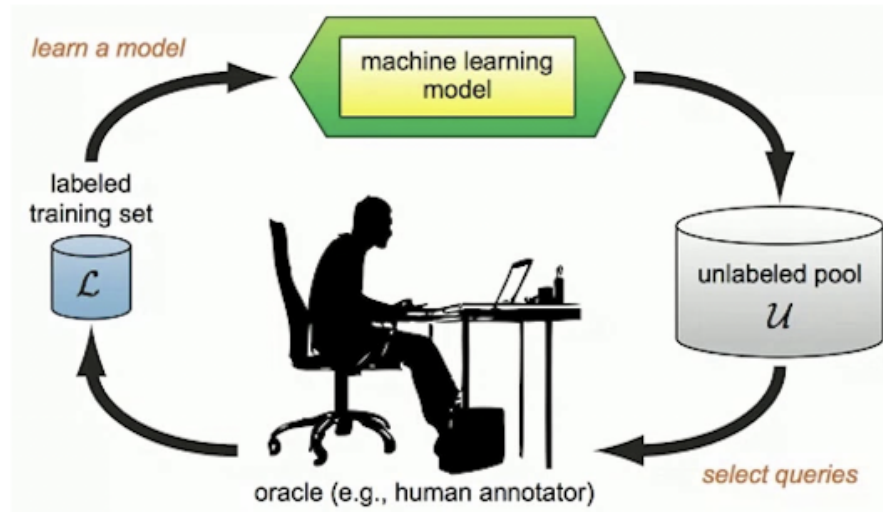


FIGURE 10 – Active Learning Pipeline

Puis, avec ces quelques vocalises détectées et également une base de donnée provenant de Norvège, nous avons pu mettre au point un détecteur automatique (CNN) de signaux de globicephales. Ce dernier nous a permis de détecter 94 vocalises de globicephales sur la bouée BOMBYX (voir exemple figure 11).

### 5.2 Catalogue de vocalisation de globicephales

Une fois les vocalises détectées il a été nécessaire de faire leur contours afin de les différencier et de construire un catalogue de ces dernières. Pour cela, l'équipe DYNI a testé différentes méthodes comme :

- 1. Le Dynamic Time Warping qui va faire le contour de la vocalise.
- 2. DECAV est un algorithme basé sur la crosscorrélacion du signal, développé par DYNI pour faire le contour des sifflements de dauphins (1; 24).

- 3. Autoencodeur qui a déjà été utilisé par l'équipe pour classifier les vocalises de baleines à bosse dans les Caraïbes (9).

Les méthodes .1 et .2 ont été testées et ne sont malheureusement pas robustes au bruit.

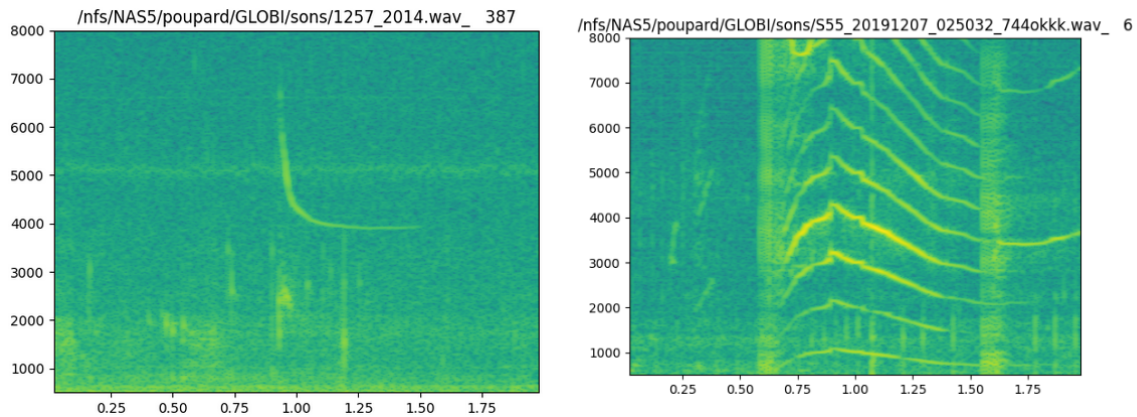


FIGURE 11 – Exemple de spectrogramme deux vocalises de globicephales

Nous sommes donc entrain d'explorer la piste des Autoencoders. Ce dernier est un type de réseau neurone qui va permettre de réduire les dimensions du signal d'entrée (ici une vocalise). Il va passer de 256 à 16 dimensions, et de condenser l'information sur ces 16 dimensions, qui seront représentatives de la vocalise. Il va donc encoder, puis décoder l'information pour que la sortie soit le plus proche possible de l'entrée. Les premiers résultats de l'autoencodeur entraîné sont présentés dans la figure suivante.

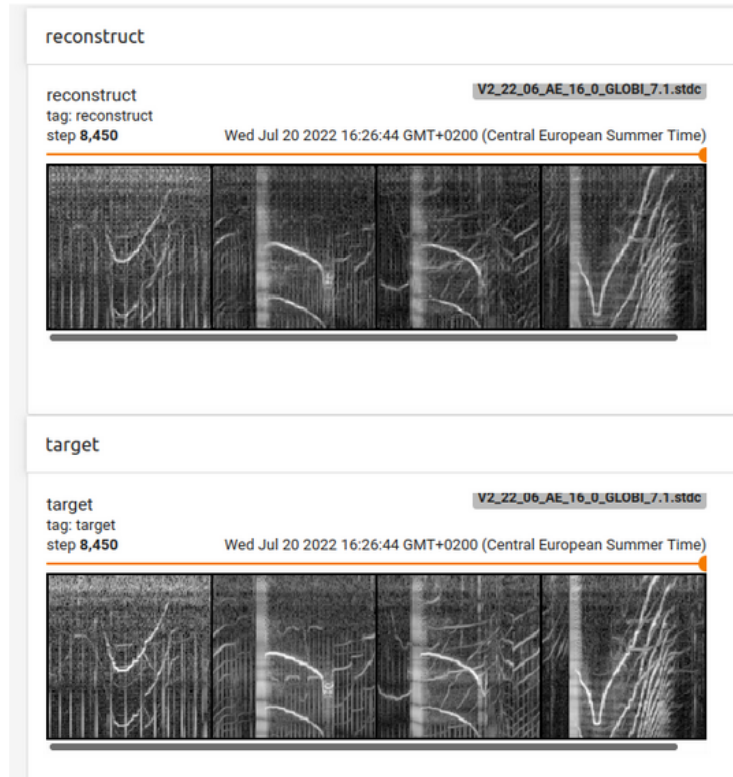


FIGURE 12 – Exemple de l’entrée/sortie de l’autoencodeur. En haut les vocalises données en entrée. Et en bas les vocalises que le modèle à reconstruit

Une fois que le modèle a été entraîné l’objectif sera de récupérer les 16 dimensions produites et de les clusteriser afin de rassembler les vocalises identiques. Cette méthode a déjà été utilisée pour le projet CARIMAM (9). Une fois les vocalises identifiées et classifiées, nous pourrions associer ces dernières à des groupes précis, ou encore des comportements. En effet, grâce à l’association de vocalises avec des comportements précis, nous pouvons essayer de comprendre comment la communication intra-groupe évolue au sein de cette espèce.

## 6 Publications sur Bombyx remerciant la Fondation Engie

### 6.1 Revues internationales de rang A+

Les données de Bombyx ont produit deux articles en édition à la revue éditée par Nature Ed. : Scientific Report.

Le première est :

Marion Poupard, Maxence Ferrari, Paul Best, and Hervé Glotin. Passive acoustic monitoring of sperm whales and anthropogenic noise using stereophonic recordings in the mediterranean north west pelagos sanctuary. Scientific reports, 2021 (<https://www.nature.com/articles/s41598-022-05917-1>).

La seconde a été publiée en août 2022 :

Paul Best, Ricard Marxer, Sébastien Paris, and Hervé Glotin. Temporal evolution of the mediterranean fin whale song. *Scientific reports*, 2022 (<https://www.nature.com/articles/s41598-022-15379-0>).

## 6.2 Séminaires et thèse de doctorat

ENGIE Fondation et son logo ont été cités et présentés en couverture des diapositives aux présentations suivantes :

- CNRS EADM ANR ADSIL en sept 2021
- workshop PPSA de PELAGOS a Bastia en septembre 2021.
- ANR ADSIL le 13 décembre 2021.

Engie Fondation est aussi remerciée dans la présentation de thèse de doctorat de Paul Best dont le jury international est notamment composé de Pr Marie Roch de San Diego University USA, et L. Rendel et Julie Oswald de St Andrews university, UK.

## 6.3 Chapitres de livre

Un Chapitre d'ouvrage de la Mission Interdisciplinaire du CNRS, la MITI, a été sollicité par sa direction sur BOMBYX. Cet ouvrage paraîtra au printemps 2023 et remercie la Fondation Engie. Un livre de 200 pages sur les perturbations anthropophoniques sur la mégafaune, aux éditions scientifiques QUAE, préfacé par la Ministre de la Mer, co-dirigé par H. Glotin et F. Schneider, est publié début 2022, et contient des sections relatives à Bombyx, qui remercient la Fondation Engie (27).

Un livre a été écrit par la Fondation Live Together soutenu par Fondation Prince Albert II de Monaco, et contient une référence à Bombyx et ses remerciements.



## 7 Remerciements

Nous remercions La fondation Engie pour son soutien au programme BOMBYX. Ces recherches sont également soutenues par l'Institut Universitaire de France, TPM, CG83, la Région PACA, le PNPC et Pelagos, et les programmes ANR ADSIL (ANR-20-CHIA-0014-01 national Chair in Artificial Intelligence for Bioacoustics) et SMILES ANR-18-CE40-0014.

## Références

- [1] ABEILLE, R., DOH, Y., DUFOUR, O., GIRAUDET, P., HALKIAS, X., GLOTIN, H., PREVOT, J., RABOUY, C., AND RAZIK, J. Détection et classification sur transect audiovisuel de populations de cétacés du nord pelagos aux îles d'or. Tech. rep., PELAGOS International Sanctuary, 2012. [http://sabiody.org/pub/PELAGOS\\_DECAV.pdf](http://sabiody.org/pub/PELAGOS_DECAV.pdf).
- [2] BEST, P., MARXER, R., PARIS, S., AND GLOTIN, H. Temporal evolution of the mediterranean fin whale song. *[In Review] Scientific reports* (2021).
- [3] CROLL, D. A., CLARK, C. W., ACEVEDO, A., TERSHY, B., FLORES, S., GEDAMKE, J., AND URBAN, J. Only male fin whales sing loud songs. *Nature* 417, 6891 (2002), 809–809.
- [4] DAVID, L., ALLEAUME, S., AND GUINET, C. Evaluation of the potential of collision between fin whales and maritime traffic in the north-western mediterranean sea in summer, and mitigation solutions. *Journal of Marine Animals and Their Ecology Vol 4*, 1 (2011).
- [5] DELARUE, J., TODD, S. K., VAN PARIJS, S. M., AND DI IORIO, L. Geographic variation in northwest atlantic fin whale (*balaenoptera physalus*) song : Implications for stock structure assessment. *The Journal of the Acoustical Society of America* 125, 3 (2009), 1774–1782.
- [6] FARCAS, A., THOMPSON, P. M., AND MERCHANT, N. D. Underwater noise modelling for environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review* 57 (2016), 114–122.
- [7] FORD, J. K. Vocal traditions among resident killer whales (*orcinus orca*) in coastal waters of british columbia. *Canadian journal of zoology* 69, 6 (1991), 1454–1483.
- [8] GANNIER, A., AND MARTY, G. Sperm whales ability to avoid approaching vessels is affected by sound reception in stratified waters. *Marine Pollution Bulletin* 95, 1 (2015), 283–288.
- [9] GLOTIN, H., FERRARI, M., BEST, P., POUPARD, M., THELLIER, N., MONSIMER, A., AND GIRAUDET, P. Cari'mam acoustic survey : Automatic process. Tech. rep., LIS DYNi Univ Toulon. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03629286>, year=2022.
- [10] GORDON, J., AND MOSCROP, A. Underwater noise pollution and its significance for whales and dolphins. *The conservation of whales and dolphins : science and practice. John Wiley & Sons, Chichester, United Kingdom* (1996), 281–319.
- [11] GRILL, T., AND SCHLÜTER, J. Two convolutional neural networks for bird detection in audio signals. In *2017 25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)* (2017), IEEE, pp. 1764–1768.

- [12] HELBLE, T. A., GUAZZO, R. A., ALONGI, G. C., MARTIN, C. R., MARTIN, S. W., AND HENDERSON, E. E. Fin whale song patterns shift over time in the central north pacific. *Frontiers in Marine Science* 7 (2020), 587110.
- [13] LAIST, D. W., KNOWLTON, A. R., MEAD, J. G., COLLET, A. S., AND PODESTA, M. Collisions between ships and whales. *Marine Mammal Science* 17, 1 (2001), 35–75.
- [14] NOAA FISHERIES. National oceanic and atmospheric administration. <https://www.fisheries.noaa.gov/species/fin-whale>, January 2011.
- [15] NOTARBARTOLO-DI SCIARA, G., AGARDY, T., HYRENBACH, D., SCOVAZZI, T., AND VAN KLAVEREN, P. The pelagos sanctuary for mediterranean marine mammals. *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems* 18, 4 (2008), 367–391.
- [16] NOTARBARTOLO-DIDSCIARA, G., ZANARDELLI, M., JAHODA, M., PANIGADA, S., AND AIROLDI, S. The fin whale balaenoptera physalus (l. 1758) in the mediterranean sea. *Mammal Review* 33, 2 (2003), 105–150.
- [17] NOTARBARTOLO-DI-SCIARA, G., ZANARDELLI, M., JAHODA, M., PANIGADA, S., AND AIROLDI, S. The fin whale balaenoptera physalus (l. 1758) in the mediterranean sea. *Mammal Review* 33, 2 (2003), 105–150.
- [18] OLESON, E. M., ŠIROVIĆ, A., BAYLESS, A. R., AND HILDEBRAND, J. A. Synchronous seasonal change in fin whale song in the north pacific. *PloS one* 9, 12 (2014), e115678.
- [19] PANIGADA, S., PESANTE, G., ZANARDELLI, M., CAPOULADE, F., GANNIER, A., AND WEINRICH, M. T. Mediterranean fin whales at risk from fatal ship strikes. *Marine Pollution Bulletin* 52, 10 (2006), 1287–1298.
- [20] PANIGADA, S., ZANARDELLI, M., MACKENZIE, M., DONOVAN, C., MÉLIN, F., AND HAMMOND, P. S. Modelling habitat preferences for fin whales and striped dolphins in the pelagos sanctuary (western mediterranean sea) with physiographic and remote sensing variables. *Remote Sensing of Environment* 112, 8 (2008), 3400–3412.
- [21] PAYNE, R., AND WEBB, D. Orientation by means of long range acoustic signaling in baleen whales. *Annals of the New York Academy of Sciences* 188, 1 (1971), 110–141.
- [22] PINTORE, L., SCIACCA, V., VIOLA, S., GIACOMA, C., PAPALE, E., AND GIORLI, G. Fin whale (balaenoptera physalus) in the ligurian sea : Preliminary study on acoustics demonstrates their regular occurrence in autumn. *Journal of Marine Science and Engineering* 9, 9 (2021), 966.
- [23] POUPARD, M., BEST, P., FERRARI, M., SPONG, P., SYMONDS, H., PRÉVOT, J.-M., SORIANO, T., AND GLOTIN, H. From massive detections and localisations of orca at orcalab over three years to real-time survey joint to environmental conditions. In *e-Forum Acusticum* (2020), pp. 3235–3237.
- [24] POUPARD, M., DE MONTGOLFIER, B., AND GLOTIN, H. Ethoacoustic by bayesian non parametric and stochastic neighbor embedding to forecast anthropic pressure on dolphins. In *OCEANS Conf.* (2019), IEEE, pp. 1–5.

- [25] ROLLAND, R. M., PARKS, S. E., HUNT, K. E., CASTELLOTE, M., CORKERON, P. J., NOWACEK, D. P., WASSER, S. K., AND KRAUS, S. D. Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences* 279, 1737 (2012), 2363–2368.
- [26] ROMAGOSA, M., PÉREZ-JORGE, S., CASCÃO, I., MOURIÑO, H., LEHODEY, P., PEREIRA, A., MARQUES, T. A., MATIAS, L., AND SILVA, M. A. Food talk : 40-hz fin whale calls are associated with prey biomass. *Proceedings of the Royal Society B* 288, 1954 (2021), 20211156.
- [27] SCHNEIDER, F., AND GLOTIN, H. Développement des activités maritimes et protection de la faune marine, 2022.
- [28] TYACK, P. L., AND CLARK, C. W. Communication and acoustic behavior of dolphins and whales. In *Hearing by whales and dolphins*. Springer, 2000, pp. 156–224.
- [29] VERBORGH, P., GAUFFIER, P., ESTEBAN, R., GIMÉNEZ, J., CAÑADAS, A., SALAZAR-SIERRA, J., AND DE STEPHANIS, R. Conservation status of long-finned pilot whales, *globicephala melas*, in the mediterranean sea. *Advances in marine biology* 75 (2016), 173–203.
- [30] VESTER, H. I. *Vocal repertoires of two matrilineal social whale species Long-finned Pilot whales (Globicephala melas) & Killer whales (Orcinus orca) in northern Norway*. PhD thesis, Dissertation, Göttingen, Georg-August Universität, 2017, 2017.
- [31] WATKINS, W. A. Activities and underwater sounds of fin whales. *Sci. Rep. Whales Res. Inst* 33 (1981), 83–117.
- [32] WEILGART, L. S., AND WHITEHEAD, H. Vocalizations of the north atlantic pilot whale (*globicephala melas*) as related to behavioral contexts. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 26, 6 (1990), 399–402.
- [33] WEIRATHMUELLER, M. J., STAFFORD, K. M., WILCOCK, W. S., HILMO, R. S., DZIAK, R. P., AND TRÉHU, A. M. Spatial and temporal trends in fin whale vocalizations recorded in the ne pacific ocean between 2003-2013. *Plos one* 12, 10 (2017), e0186127.