

# **Cétacés en milieux anthropisés : observatoires conjoints Bombyx2, JASON et KM3 autour des îles d'Or**

**RESPONSE A L'APPEL A PROJET 2021-2023**

**Destinatrice :  
Marion Peirache - PNPC**

**Proposant : Pr Glotin, équipe DYNI LIS CNRS  
[glotin@univ-tln.fr](mailto:glotin@univ-tln.fr)**

## **Sommaire**

<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>Bouées Bombyx2</b>	<b>2</b>
<b>Stations JASON sur Stochaedes</b>	<b>5</b>
<b>Tâche du CDD recruté</b>	<b>8</b>
<b>Retombées attendues pour le financeur</b>	<b>8</b>
<b>Références</b>	<b>11</b>
<b>RENSEIGNEMENTS CONCERNANT LE LABORATOIRE</b>	<b>13</b>
<b>Organisme gestionnaire de l'aide financière demandée (35 K€ pour CDD recherche pour l'analyse des données) :</b>	<b>13</b>

## INTRODUCTION

Ce projet a pour objectif l'étude "éthoacoustique", l'identification acoustique des cétacés et de leurs comportements, en présence versus absence de pression anthropophonique (pollution acoustique du trafic maritime et autre) sur un ensemble d'observatoires autour des îles d'Or, nord de Pelagos

Il en résultera une meilleure connaissance des population de Cachalots, Rorquals, Tursiops et Globicéphales. Ce projet participera à continuer l'effort de modéliser leur comportement et présence sur les grands rails de trafic maritime et donc pourra alerter et prévenir les risques de collision entre eux et le trafic maritime qui a un impact économique mesurable et très conséquent [30,31,32].

Le bilan de Bombyx1 [33] bouée (PI Glotin) stéréo au large du PNPC 2015 à 2018, et la construction des algorithmes et embarquement dans la carte QHB SMIoT UTLN durant la thèse de P. Best qui s'achève en 2022, amène à un observatoire de population de cétacés, notamment cachalots [22,3]. Afin d'observer plus en détail le comportement de la mégafaune en milieu anthropisé [18], nous proposons ce projet d'observations et corrélation au contexte, des activités de cétacés sur une zone étendue de Sicié, canyon de Toulon au canyon de Stochaedes.

Cet observatoire est une suite logique de notre projet FEDER GIAS MARITTIMO 2019-2021 (PI UTLN Glotin) qui a permis d'élaborer et construit avec OSEAN SA (Le Pradet) et SMIoT UTLN LIS IM2NP la bouée Bombyx2 nouvelle génération avec 5 hydrophones et transmission 4G des détections des cétacés, permettant leur observation 3D.

De plus H. Glotin est coPI bioacoustique de l'observatoire KM3ENV de mesure astrophysique au large de Toulon, qui remonte les mesures acoustiques à UTLN LIS. Le LIS DYNi a un savoir faire de renom international en suivi de cétacés qu'il étend ici sur ces observatoires Bombyx 3a,3b, puis 4a et KM3ENV [28, 28, 3, 20, 17] pour un suivi continu sur 100 km de falaise Toulonnaise et 20 km face à Cannes.

Ce projet repose sur 3 observatoires dont nous croiseront les mesures pour une analyse continue et affinées des comportements des cétacés.

Il s'agit du réseau Bombyx2 en installation fin 2021 et courant 2022 autour de Toulon, de KM3 et de JASON.

### **BOUÉES BOMBYX2 ET OBSERVATOIRE KM3**

La bouée Bombyx3 disposant de 5 hydrophones pour le suivi en 3D de la faune est similaire au système de drone Sphyrna avec lequel nous avons mis en évidence pour la première fois la chasse en meute de cachalots [17] et le lien de leur présence avec les formes de courants et fronts océaniques.

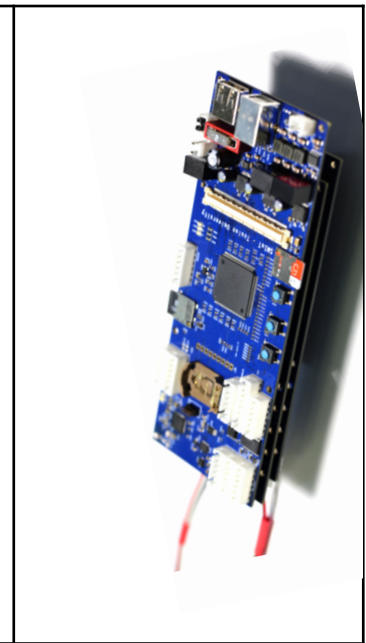


Fig. : (a) Bathymétrie des canyons de la Côte d'Azur & situation des observatoires Toulonnais KM3Env et les bouées BOMBYX, (b) La bouée BOMBYX2 pentaphonique, équipée d'un ballast et d'une antenne 4G et de (c) la carte son avec IA embarquée définie et construite à l'UTLN SMIoT LIS (basse consommation et haute vélocité) [Bar20] qui permet la transmission temps-réel des détections comme définit dans la thèse de P. Best qui finit dans 10 mois [Glo19]. La bouée Bombyx2 est une rupture technologique comme le confirme une experte du domaine (I. Taupier MIO/IFREMER) car à ce jour les bouées de ce type étaient soit en surface mais avec problématiques sévères de mouillage et robustesse aux ouragans (de plus en plus fréquents), ou subsurface statique (Bombyx1) sans moyen de communication temps-réel.

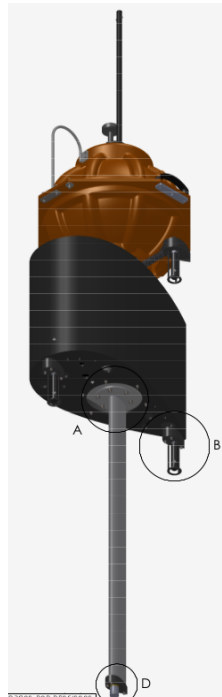


Figure : Schéma de la Bouée GIAS BOMBYX 2, à 5 hydrophones conçue suivant l'expertise en suivi 3D des cétacés [13, 14, 17]. Elle a une connexion 4G ou IRIDIUM en surface. Son ballast lui permet de remonter en 2 minutes à la surface pour émettre au serveur LIS lab les sons et rapports de détections calculés par sa carte IA embarquée développée par SMIoT et LIS (QHB, Barchasz et al 2020)

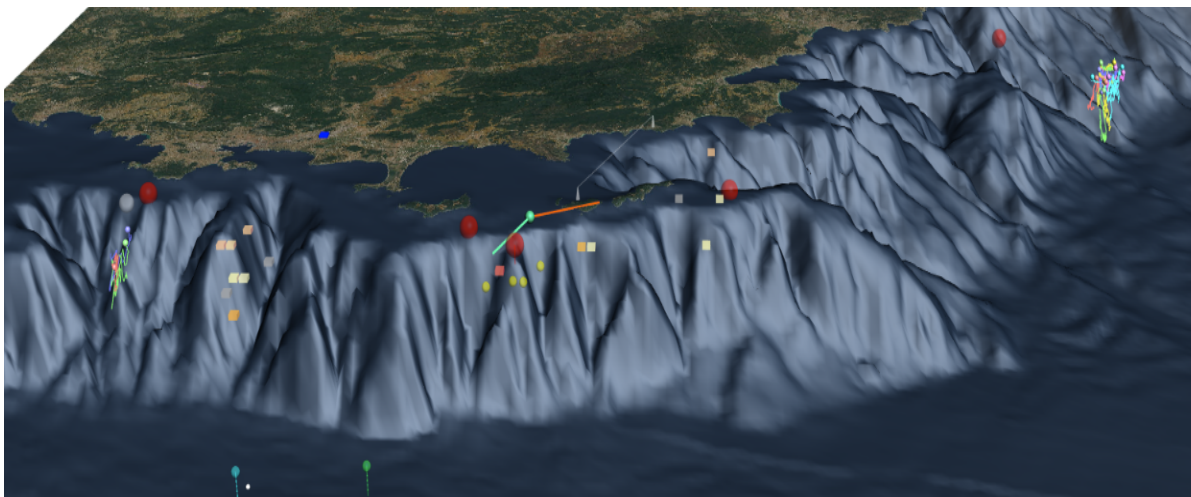
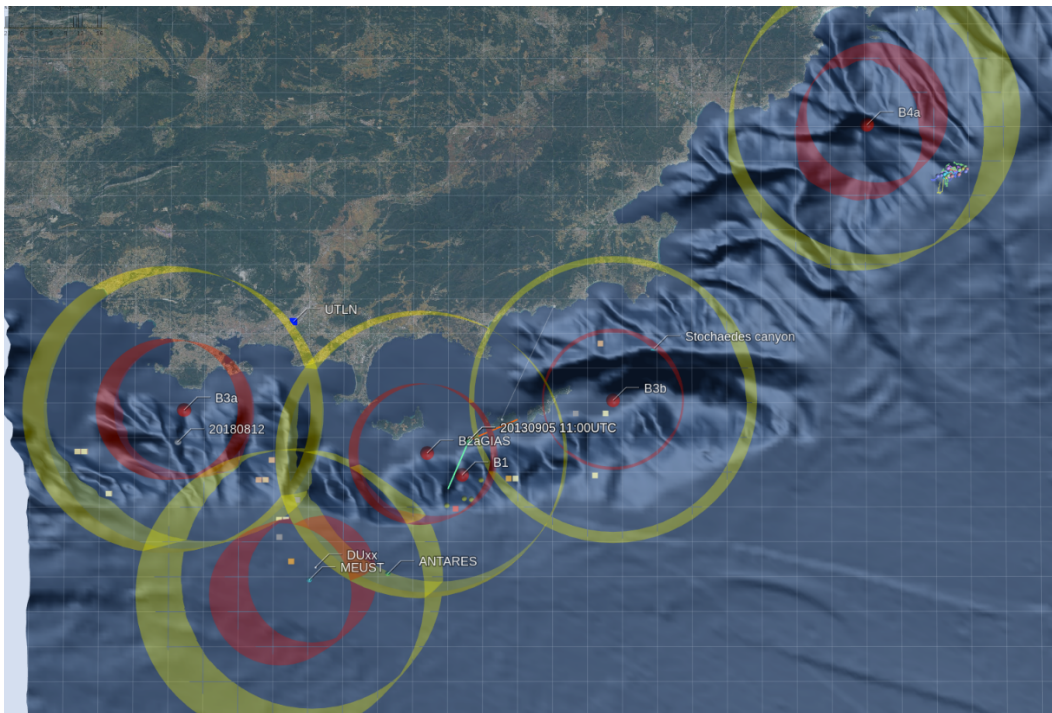


Figure : Illustrations ( <http://sabiiod.univ-tln.fr/vamos> ) de l'observatoire du projet. (Haut) les 4 bouées et le système KM3ENV (PI Glotin pour sa partie bioacoustique). Le rayon de détection 10 et 20 km suivant les espèces. (Bas) Vue 3D avec les pistes de sondes mesurées par Dyni et une antenne 5 hydrophones identiques à Bombyx (Fig3). La bouée Bombyx2a est placée en début 2021 pour 5 ans (projet GIAS FEDER). Les bouées Bombyx3a,b sur Sicié et Bagaud (Levant) sont en demande à cet APOG. la 4ieme bouée sur Mont Mejean (fond Chaire IA ADSIL) serait posée en 2023 après retour d'expérience du debut des traitement des 3 premières.



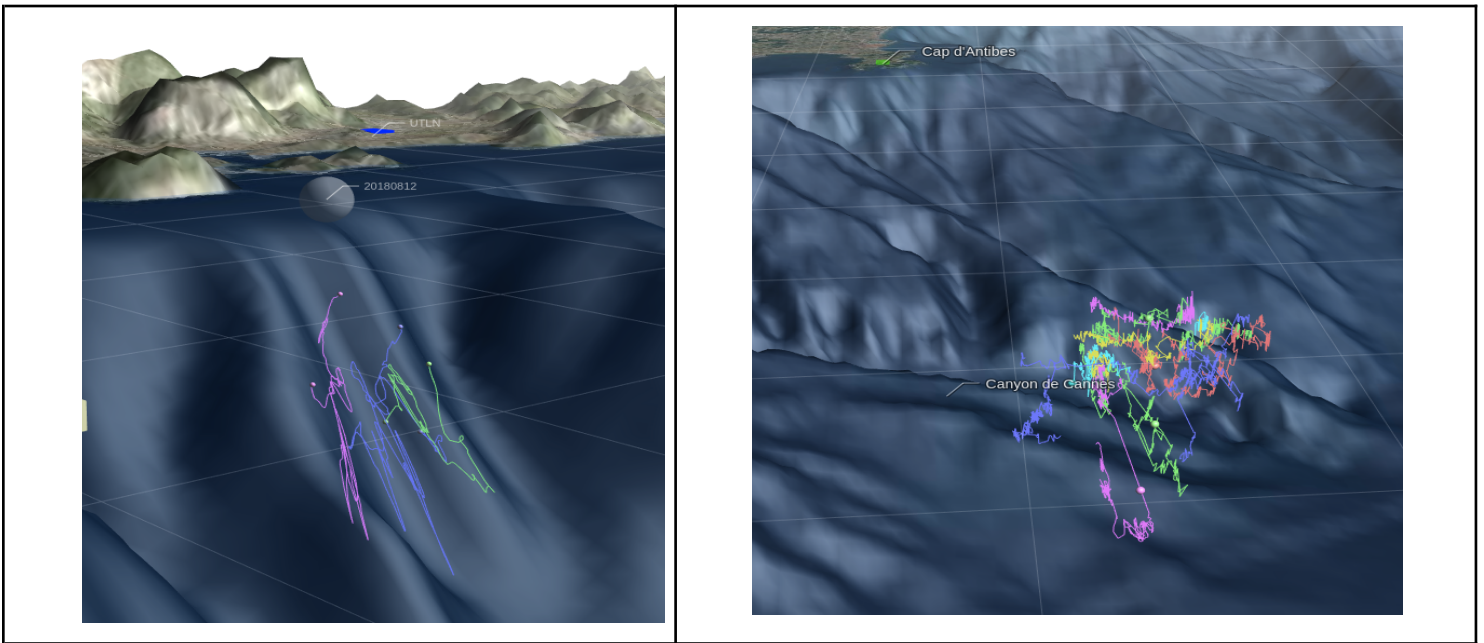


Fig. : sondes 3D calculées par acoustique passive depuis la surface (a) cachalot au cap Sicié [Pou19], (b) meute de 6 cachalots vers Antibes en 2020.01.14. Ces prédateurs sont concentrés 3h au centre d'un vortex (c) à -1km [Glo20].

#### STATIONS JASON SUR STOCHAEDES

Le bilan de Bombyx 1 bouée stéréo au large du PNPC [33], de 2015 à 2019 est très intéressant en terme de suivi de population de cétacés, notamment cachalots.

Afin d'observer plus en détail un milieu très anthropisé (tourisme et pêche) et en présence de plusieurs espèces de cétacés, nous proposons une thèse modélisant les observations des activités de cétacés sur une large zone de la tête du canyon de Stochaedes.

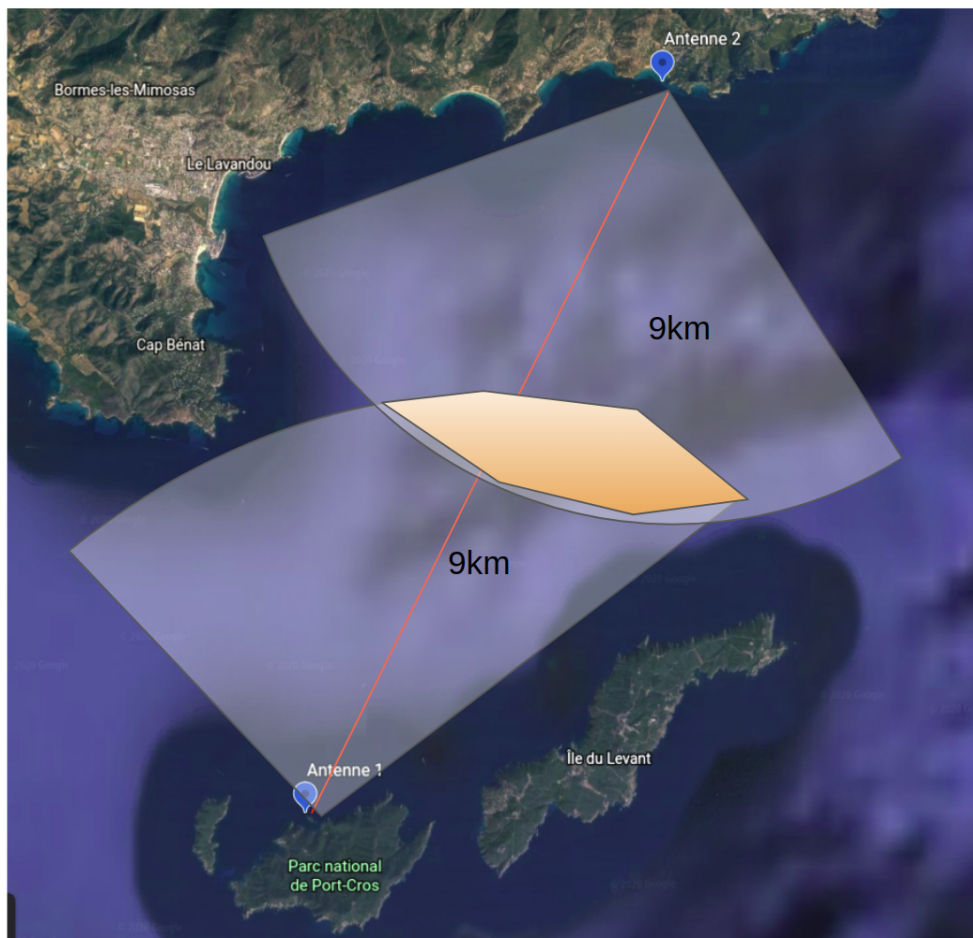
Nous pourrions y mesurer l'activité des Tursiops t., mais aussi les passages dans Stochaedes des cachalots, éventuellement rorquals comme observés en 2020 dans la zone.

Les signaux anthropiques seront expertisés, éventuellement liés aux AIS. Le niveau de pollution anthropophonique, mais aussi simplement la présence et les types de bateaux et leurs parcours, seront corrélés aux déplacements des cétacés sur la zone. Le comportement des cétacés sera modélisé par ethoacoustique, suivant la forme de leurs vocalises et le contexte enregistré, pour caractériser les réponses à la pression anthropique (Poupard et al. Ocean 2019).

Cet observatoire est composé de 2 stations stéréophoniques, plus Bombyx2 mis en place dès janvier 2021 entre PC et PQRL pour un complément à l'Ouest. Une des stations stéréo sera à RASCAS, l'autre sur la plage du RAYOL (testé validé). Les AOT sont acquises depuis juillet 2020. Les poses sont faites en PMT, autonomie 1 mois environ. Poses synchrones pour vues conjointes.

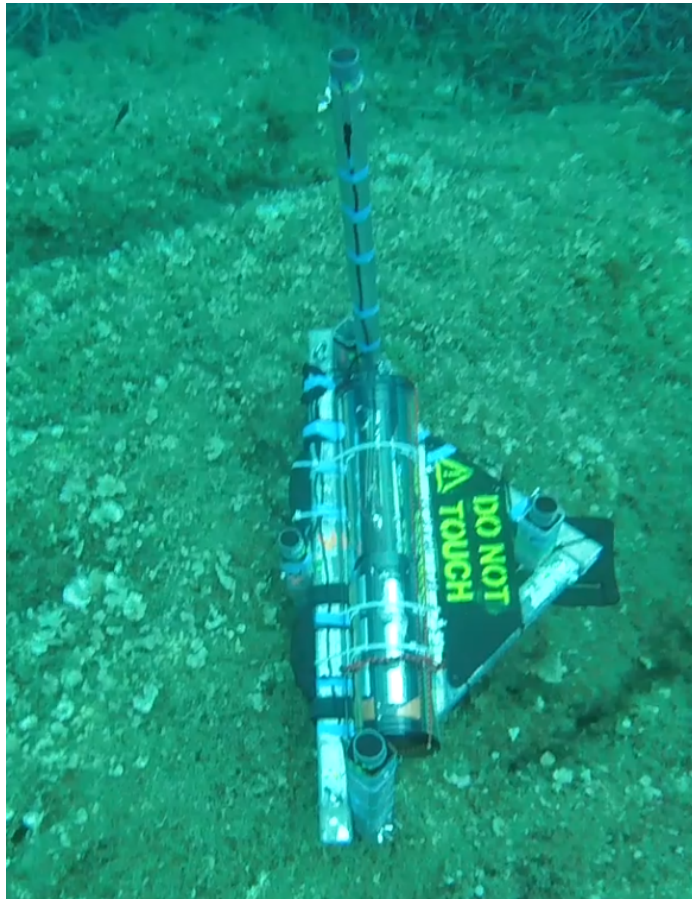
Ces analyses seront complétées par une pose d'antennes au nord et au sud du canyon de Stochaedes. Le passage répété de bateaux peut générer un bruit dont les incidences sur les communautés aquatiques sont méconnues. Le programme Bombyx (à ce jour à sec, remise en eau en 2021) a permis le suivi Sud Port-Cros sur 4 ans de la mégafaune. Nous avons mesuré des passages réguliers entre Port-Cros et Porquerolles de Cachalots, qui seraient détectables depuis la plage du Rayol.

Il serait possible avec cette installation de localiser les cétacés jusqu'à 4km de distance, le tombant de la plage du Rayol étant adéquate (continu jusqu'à la tête du canyon). La direction du Domaine du Rayol accepte la pose de cette antenne. Elle reposera sur le sable du fond, en dehors de tout herbier de Posidonie. Nous avons fait le repérage nécessaire sur la zone et validé cette disposition.



*Figure : Situation générale du site des deux poses. Les deux stations permettent ensemble de compter les passages de cétacés dans la canyon, leur rayon de détection se complétant.*

Ces stations ont été posées en juillet 2021 comme le montre la figure ci-dessous pour Rascass.



*Figure : (haut et bas) Antenne à Rascass regardant sa soeur au Rayol. Illustration de l'antenne JASON posée Est du rocher Rascass PC, en meme temps que sa soeur jumelle sur Rayol, le lundi 19 juillet 2021, relève mi aout 2021. Les poses suivantes seront régulières pour environ 10 rotations sur la durée du projet.*



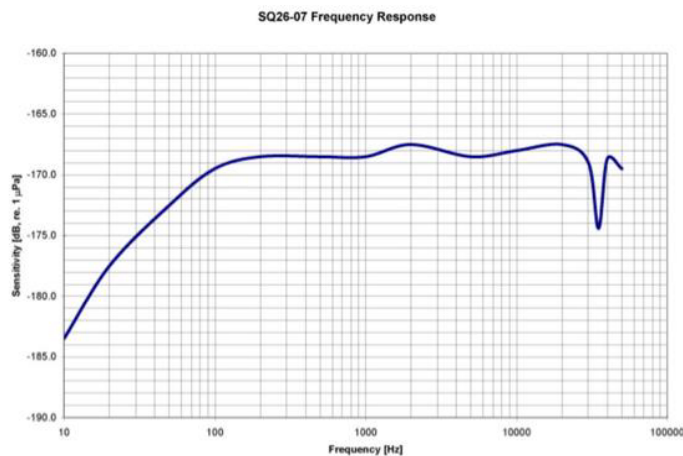
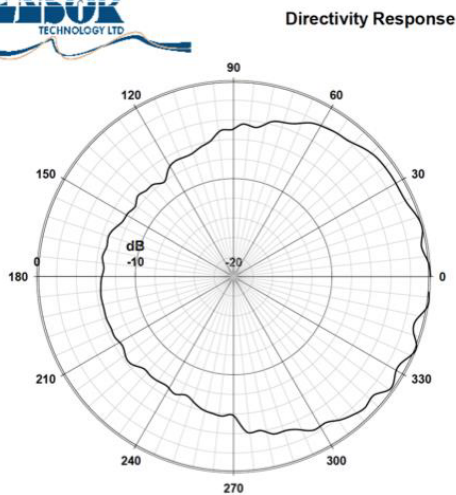


Figure: Réponse de l'hydrophone utilisé (SQ26) sur Antenne JASON et HA de Bombyx2. Bombyx2 a aussi 4 hydrophones haute fréquence.

### TÂCHE DU CDD RECRUTÉ

Le CDD recruté sur ce projet pour un montant demandé de 35 k€ e porte donc sur l'amélioration des algorithmes de détection et de localisation jointe, embarqués, de sources acoustiques à signal faible (à plusieurs km de distance) et de l'analyse des comportements des cétacés en fonction des présence du trafic et des conditions marine (courants, état de mer, saisons...).

Ces algorithmes seront élaborés à partir d'algorithmes d'intelligence artificielle, "deep learning" expertise de DYNI LIS UTLN PI de la Chaire IA bioacoustique 2020-24 <http://bioacoustics.lis-lab.fr> [20]. La présence de cétacés et la carte dynamique des risques de collision sera mise à la disposition des navires dans les zones concernées via la réglementation du CrossMed.

Cet organisme la renverra à tous les organismes concernés, en coordination avec PNPC, Pelagos, et in fine MIRACETI REPCET. De plus les statistiques de détection intégrant plusieurs mois d'observations seront diffusées aux organismes (Pelagos, ACCOBAMS, AFB...) pour contribuer aux connaissances sur les espèces concernées, notamment à la suite de [23,19,16,27,[10, 11, 12, 13, 14, 33].

### RETOMBÉES ATTENDUES POUR LE FINANCEUR

Ce projet est un des objectifs prioritaires pour la connaissance de la faune et des pollutions nuisibles à la biodiversité. Il correspond aux besoins spécifiques et de gestion. Il répond d'une part aux prérogatives des directives nationales et internationales : mieux connaître l'état du milieu marin et sa fréquentation par la mégafaune, gage de sa qualité. Il répond également à la prérogative de la prévention de la collision des cétacés et du trafic maritime, qui impacte une douzaine de grands cétacés par an, provoque des dégâts coûteux sur les navires, en plus du risque de blessures sévères sur les passagers.

L'observatoire et les méthodes développées ciblent des sites de grands risques de collision. L'analyse temps-réel de KM3ENV et embarquée par les bouées BOMBYX2, 3a, 3b, leurs synthèses et transmission en temps-réel est innovante. L'approche de l'équipe de recherche du LIS est centrée sur une méthode Intelligence Artificielle qui a pour objectif d'optimiser le système complet sur les espèces en présence sur chaque site. C'est une approche originale de rang international.

Ce projet se place à l'intersection de la communauté "Machine Listening / Deep learning" et "Bioacoustique", pour le suivi de paysage acoustique et une meilleure connaissance et protection de la biodiversité:

a) une retombée est théorique, en posant conjointement la question de la localisation et de la détection acoustique via un observatoire acoustique et des algorithmes embarqués avec une approche par renforcement / apprentissage, dite aussi 'deep learning', couplée aux conditions marines (trafic maritime, météo marine, courants).

b) une autre est expérimentale avec une validation / implémentation concrète du système complet dans le cadre du projet Marittimo GIAS.

c) une autre est l'information apportée aux gestionnaires (PNPC, PELAGOS, CrossMed et in fine Repcet) pour diminuer le risque de collision.

d) les statistiques de détection et comportement des cétacés et des bruits mesurés sur plusieurs mois permettront de compléter auprès des organismes concernés les connaissances sur les populations de cétacés, leur comportements, et de quantifier la pollution acoustique des sites instrumentés.

e) le risque de collision entre cétacés et le trafic maritime est de plus en plus élevé, avec un impact sur la protection des personnes et de l'environnement. Ce projet vise à améliorer la sécurité de la navigation par l'installation de systèmes de veille acoustique intelligente et de communication placés en subsurface à l'instar de notre prototype Bombyx aux points stratégiques à fort risque de collision.

La zone d'étude de Toulon est très exposée au risque de collision, et c'est une zone clef du sanctuaire de cétacés Pelagos en termes de gestion et de communication, de connaissance sur les populations de cétacés. Les collisions mégafaune / trafic sont un dégât majeur dans la population notamment cachalots et rorqual dans le sanctuaire Pelagos dans le nord-ouest Mer Méditerranée. Leur nombre et les lieux sont inconnus à l'heure actuelle, mais [16] est une étude remarquable montrant que les cachalots sont à haut risque de la part des navires marchands le long des côtes continentales française et italienne.

Les alertes envoyées par 4G vers notre serveur LIS sécurisé pourront être déployées sur deux outils : une application sécurisée sur SIG pour les organismes d'état souhaitant l'information et suivant recommandation de PELAGOS. Des formations et la dissémination des résultats du projet seront organisées dans les clubs nautiques de PACA suivant conseils de PELAGOS, afin de sensibiliser et d'accroître la prise de conscience des risques de la navigation auprès d'un public d'utilisateurs qui naviguent à des fins récréatives. Une action de diffusion des risques potentiels pour la navigation sera également menée dans les milieux nautiques professionnels, afin d'impliquer un plus grand nombre de personnes intéressées par la sécurité de la navigation, même en dehors de la cible principale que constituent les grands navires.



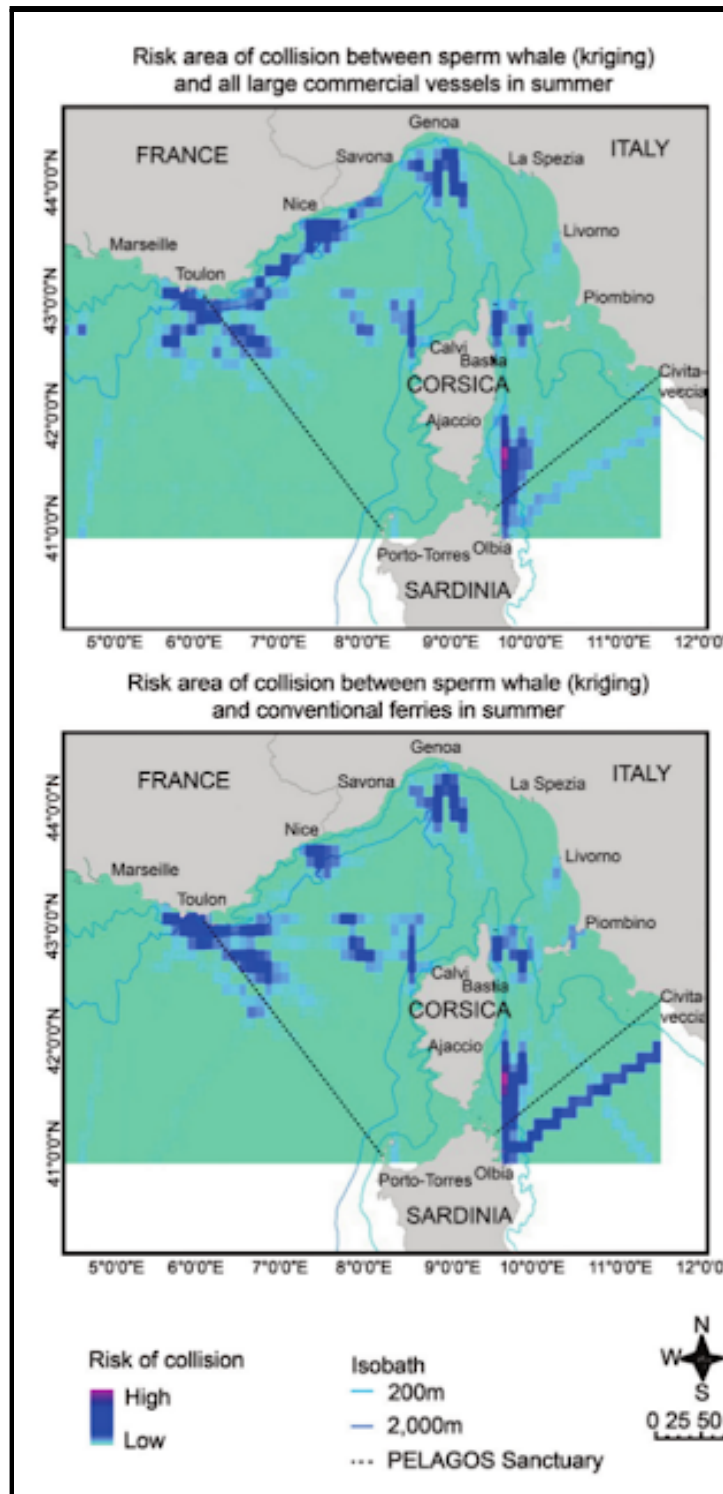


Figure : carte des risques de collision cachalots et grands navires (haut commerce, bas ferry) ([21]).

L'observatoire et les méthodes développées dans ce projet ciblent le front Toulonnais de Sicié au canyon des Stochaedes, mais aussi des sites de grands risques de collision. Ce projet produira des données utiles à la gestion du risque de collision entre les grands cétacés vulnérables et le trafic maritime à croissance exponentielle.

L'analyse temps-réel de KM3ENV et embarquée par les bouées BOMBYX2a,b, leurs synthèses et transmission en temps-réel est innovante. L'approche de l'équipe de recherche du LIS est centrée sur une méthode Intelligence Artificielle qui a pour objectif d'optimiser le système sur les espèces en présence sur chaque site.

- [1] Joly, Goëau, Glotin, Spampinato, Bonnet, Vellinga, et al. Lifeclef, 2017, lab overview: multimedia species identification challenges Int. C. of the Cross-Language Ev.Forum
- [2] Richard, Virtanen, Bello, Ono, Glotin, 2017, Introduction to the special section on sound scene and event analysis, IEEE/ACM Trans on Audio, Speech, and Language Proc 25 (6)
- [3] Poupard, Phd Thesis, Contributions en bioacoustique, dir Glotin, soutenue dec 2020, [http://sabiiod.univ-tln.fr/pub/poupard/cv/m\\_poupard\\_phd\\_08012021.pdf](http://sabiiod.univ-tln.fr/pub/poupard/cv/m_poupard_phd_08012021.pdf)
- [4] Nugraha, Liutkus, Vincent, 2016, Multichannel audio source separation with deep neural networks, IEEE/ACM Trans on Audio, Speech, Language Proc 24, 9, 1652–1664
- [5] Wang, Arora, Livescu, Bilmes, 2015, « On deep multi-view representation learning. » In Proc of the International Conference on Machine Learning (ICML), pp. 1083–1092
- [6] Balestrieri, Roger, Glotin, Baraniuk, 2018, Semi-Supervised Learning via New Deep Network Inversion, arXiv preprint arXiv:1711.04313
- [7] Balestrieri, Cosentino, Glotin, Baraniuk, 2018, Spline filters for end-to-end deep learning, International Conference on Machine Learning, 364-373
- [8] Glotin, LeCun, Artieres, Mallat, 2013, Neural information processing scaled for bioacoustics, from neurons to big data, NIPS Workshop
- [9] Ravanelli, Bengio, 2018, “Interpretable Convolutional Filters with SincNet,” in Proc. of NIPS@IRASL
- [10] Chouchane, Paris, Le Gland, Musso, Pham, 2011, On the probability distribution of a moving target. Asymptotic and non-asymptotic results, Information Fusion int. conf.
- [11] Paris, Jauffret, 2003, Frequency Line Tracking using HMM-based Schemes [passive sonar] Aerospace and Electronic Systems, IEEE Trans. on 39 (2), 439-449, 28
- [12] Giraudet, Glotin, 2008, Real-time 3D tracking of whales by echo-robust precise TDOA estimates with a widely-spaced hydrophone array, Applied Acoustics 67 (11-12), 1106-1117
- [13] Glotin, Giraudet, Caudal, 2014, Real-time robust method for determining the trajectory of one or more cetaceans by means of passive acoustics, US Patent 8,638,641, EU, CA
- [14] Poupard, Ferrari, Schlüter, Marxer, Pavan, Glotin, 2019, ‘Real-time passive acoustic 3D tracking of deep diving cetacean by small non-uniform mobile surface antenna’, IEEE int. conf ICASSP, Brighton
- [15] Vera-Diaz, Pizarro ID Macias-Guarasa, 2020, Towards End-to-End Acoustic Localization using Deep Learning: from Audio Signal to Source Position Coordinates, to appear in Sensors int. J.
- [16] David, Di-Meglio, Monestiez, 2019, Sperm whale ship strikes in the Pelagos Sanctuary and adjacent waters: assessing and mapping collision risks in summer. J of Cetacean Research and Management. 18. 135-147
- [17] Glotin et al. Rapport Mission Sphyrna Odyssey, sept 2020-mars 2021, 2020, CNRS UTLN Ed, <http://sabiiod.org/pub/SO1.pdf>
- [18] Best, Glotin et al., 2020, Rapport Abyssound, FUI, Modèle d’impacts anthropophoniques sur la mégafaune, projet DCNS, FREMER, LMA, LIS
- [19] Silvia, Arcangeli, Mussi, Vivaldi, Ledon, Lagorio, Giacomini, Pavan, Ardizzone. 2018, Habitat suitability modeling in different sperm whale social groups. J of Wildlife Management 82, 5
- [20] Barchasz, ... Glotin, 2020, A novel low-power high speed DAQ for long time biodiversity survey, European Forum Acusticum, [http://sabiiod.univ-tln.fr/pub/QualiHighBlue\\_DAO\\_FA2020.pdf](http://sabiiod.univ-tln.fr/pub/QualiHighBlue_DAO_FA2020.pdf)
- [21] Glotin, Enfon, Balestrieri, Mishchenko, Prevot, Razik, Paris, Patris, 2016, Détection et mesure du cachalot et bruits anthropiques sur les signaux monophoniques d'Antares [DECAN] LIS, DYNI, Pelagos Research Report
- [22] Glotin, Giraudet, Ricard, Malige, Patris, Roger, Prévot, Poupard, ... 2018, VAMOS: Visées Aériennes de Mammifères marins jointes aux Observations acoustiques Sous-marines de BOMBYX et ANTARES : nouveaux modèles en suivis et lois allométriques du *Physeter macrocephalus*, *Ziphius*

- Cavirostris et autres cétacés, LIS DYNI, Pelagos Research Report, <https://www.sanctuaire-pelagos.org/fr/tous-les-telechargements/etudes-scientifiques-studi-scientifici-studies/etudes-francaises/789-14-037-vamos>
- [23] Pernille, Cláudia, Mark, Teglberg 2020, The long-range echo scene of the sperm whale biosonar *Biol. Lett.* 1620200134 <http://doi.org/10.1098/rsbl.2020.0134>
- [24] Ferrari, 2020, Biosonar du cachalot, modèle et analyse, dir Glotin et Asch, Phd thesis nov. 2019
- [25] Abeille, Chamroukhi, Doh, Dufour, Giraudet, Halkias, Glotin, Prévot, Rabouy, Razik, 2012, Détection et classification sur transect audio-visuel de populations de cétacés du nord Pelagos - Iles d'Or (DECAV) Pelagos Research Report, LIS DYNI
- [26] Abeille, Doh, Giraudet, Glotin, Prévot, Rabouy, 2014, Estimation robuste par acoustique passive de l'intervalle-Inter-Pulse des clics de *Physeter macrocephalus* : méthode et application sur le Parc national de Port-Cros, in *Journal of the Scientific Reports of Port-Cros national Park*, V28
- [27] Vassallo et al., 2020, Species-specific distribution model may be not enough: The case study of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) habitat distribution in Pelagos Sanctuary. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*
- [28] Poupard, Ferrari, Schluter, Astruch, Schohn, Rouanet, Glotin, 2018, Passive acoustics to monitor flagship species near boat traffic in the unesco world heritage natural reserve of scandola, *Input Academy: International Conference on Innovation in Urban and regional conservation*
- [29] Poupard, Symonds, Spong, Glotin, 2020, Evidences of Intra-group Orca Call Rate Modulation using a Small-aperture Four Hydrophone Array, submitted to *Nature Scientific Report* [https://assets.researchsquare.com/files/rs-116685/v1\\_stamped.pdf](https://assets.researchsquare.com/files/rs-116685/v1_stamped.pdf)
- [30] Sèbe, Kontovas Christos & Pendleton, A decision-making framework to reduce the risk of collisions between ships and whales *Marine Policy*, Elsevier, 2019, 109
- [31] Sèbe, Kontovas Christos & Pendleton, Reducing whale-ship collisions by better estimating damages to ships *Science of the Total Environment*, Elsevier, 2020, 713
- [32] Sèbe, Kontovas Christos & Pendleton. Using choice experiment designs to evaluate mitigation solutions to reduce whale-ship collisions *Marine Policy*, Elsevier, 2021, 124, pp.104368
- [33] Poupard, Ferrari, Best, Glotin, Passive acoustic monitoring of sperm whales and anthropogenic noise using stereophonic recordings in the Mediterranean North West Pelagos Sanctuary, in review in *Scientific Report Nature Springer*, 2021

**RENSEIGNEMENTS CONCERNANT LE LABORATOIRE**

<b>Sigle :</b>	<b>LIS - UMR 7020</b>
<b>Nom Complet :</b>	<b>Laboratoire d'Informatique et Systèmes</b>
<b>Adresse :</b>	<b>Domaine Universitaire de Saint-Jérôme Avenue Escadrille Normandie-Niemen 13397 MARSEILLE CEDEX 20</b>
<b>Directeur :</b>	<b>Frédéric BECHET</b>
<b>Directeur du projet :</b>	Pr H.Glotin, LIS LAB, et Pr G. Pavan de l'université de Pavia, directeur du centre bioacoustique de PAVIA.
<b>Courriel :</b>	glotin@univ-tln.fr
<b>Téléphone :</b>	04 94 14 28 24
<b>Effectifs du laboratoire :</b>	325
<b>Nombre de doctorants au sein du laboratoire :</b>	120 , dont 5 financés par la Région.

**ORGANISME GESTIONNAIRE DE L'AIDE FINANCIÈRE DEMANDÉE (35 K€ POUR CDD RECHERCHE POUR L'ANALYSE DES DONNÉES) :**

**PROTIS VALOR, en convention LIS :**

Adresse postale : 5-9, boulevard Maurice Bourdet - CS 80501 - 13205 Marseille Cedex 01  
Tél. : +33 (0)4 13 55 02 00 ; Fax : +33 (0)4 13 55 01 99  
email : protisvalor@univ-amu.fr