

## TABLEAU F2

Raison sociale de l'organisme : UNIVERSITE DE TOULON - LABORATOIRE LIS

Numéro du dossier : DOSSIER 2021\_04054

Objet du Projet subventionné : Appel à projets recherche volet plateforme 2021 ETHAC : Cétacés en milieux anthropisés : observatoires et IA pour la détection et l'analyse 3D du comportement des cétacés en Région Sud



# MODELE DE COMPTE RENDU FINANCIER DU PROJET D'INVESTISSEMENT <sup>(1)</sup>/ORGANISME PUBLIC

Cette fiche est à retourner par courrier dans les 6 mois suivant la fin de l'exercice pour lequel la subvention a été accordée.

Représentant de l'organisme : LEROUX Xavier, Président

Nom et Prénom : GLOTIN Hervé

Fonction : Porteur du projet

Signature

Instruire le tableau page 2 au dos

(1) Cf. Arrêté du Premier Ministre du 11 octobre 2006 portant fixation des modalités de présentation du compte rendu financier prévu par le quatrième alinéa de l'article 10 de la loi du 12 avril 2000 relative aux droits des citoyens dans leurs relations avec les administrations

Raison sociale de l'organisme : **UNIVERSITE DE TOULON - LABORATOIRE LIS**

N° du dossier : **DOSSIER 2021\_04054**

Objet du projet subventionné : **Appel à projets recherche volet plateforme 2021 ETHAC : Cétacés en milieux anthropisés : observatoires et IA pour la détection et l'analyse 3D du comportement des cétacés en Région Sud**

☐ HT ☐ TTC **Compte rendu financier du projet d'Investissement**

Charges <sup>(1)</sup>	Prévisions	Réalisations	%	Produits <sup>(1)</sup>	Prévisions	Réalisations	%
<b>Immobilisations incorporelles</b>				<b>Aides publiques</b>			
Etudes				Union européenne			
Concessions et droits similaires, licences, logiciels				Etat : précisez le(s) ministère(s) sollicité(s)			
Autres immobilisations incorporelles							
<b>Immobilisations corporelles</b>							
Terrains				Région(s)	55 300	55 300	
Agencement et aménagements de terrains. Constructions (bâtiments, installations générales, agencements, aménagements de constructions...)							
Construction sur sol d'autrui				Département(s)			
Matériel							
Autres immobilisations corporelles							
				Communes(s) ou groupement(s) de communes			
				<b>Autofinancement</b>			
				Fonds propres UTLN	14 700	14 700	
				Fonds propres Pôle INPS	3 000	3 000	
				Reversement LIS AMU Marseille	1 000	1 000	
				Emprunts (à détailler)			
				Crédit-bail			
<b>Autres (à détailler)</b>				<b>Autres (à détailler)</b>			
Prestations internes (accord Région)	79 000	79 000		PROTISVALOR	5 000	5 000	
<b>TOTAL</b>	<b>79 000</b>	<b>79 000</b>		<b>TOTAL</b>	<b>79 000</b>	<b>79 000</b>	

(1) Ne pas indiquer les centimes d'euros. (2) Les « contributions volontaires » correspondent au bénévolat, aux mises à disposition gratuites de personnes ainsi que de biens meubles (matériel, véhicules, etc.) ou immeubles. Leur inscription en comptabilité n'est possible que si l'organisme dispose d'une information quantitative et valorisable sur ces contributions volontaires ainsi que de méthodes d'enregistrement fiables.

Nom et prénom : .....	Le comptable public certifie conforme :
Qualité du représentant de l'organisme : .....	Nom et prénom : .....
Fait le ..... à .....	Fait le ..... à .....
Signature	Signature
Cachet de l'organisme	Cachet de l'organisme

## TABLEAU F2

Raison sociale de l'organisme : UNIVERSITE DE TOULON - LABORATOIRE LIS

Numéro du dossier : DOSSIER 2021\_04054.

Objet du Projet subventionné : Appel à projets recherche volet plateforme 2021 ETHAC : Cétacés en milieux anthropisés : observatoires et IA pour la détection et l'analyse 3D du comportement des cétacés en Région Sud

# Annexe 1 au compte rendu financier

## I - Veuillez indiquer et justifier les écarts éventuels entre le budget prévisionnel et la réalisation du projet d'investissement :

Il n'y a pas d'écart constaté au niveau financier.

La construction des 2 bouées (investissement) et leur mouillage est complet. Leurs tests et démonstrations ont été également complètes (2023 et 2024). Nous avons présenté les process des bouées dès 2022 à la REMAR. En 2023, nous avons précisé à la Préfecture Maritime le plan initial de déploiement des deux bouées au large de Toulon et de St-Tropez. Nous avons alors reçu les interdictions de pose des bouées vers les tombants, sur la façade de Cassis à St-Tropez, inclue la zone Toulonnaise, suite à l'ordre du commandement des sous-marins (réunions en 2023 et 2024 de M. Pauly avec H. Glotin à la REMAR), du fait des opérations militaires et tensions internationales.

Cela a demandé à réviser le plan de mouillage initial des bouées. Ainsi nous avons en juin juillet août 2024 mouillé un des éléments de bouée dans le secteur du Rayol (zone sans passage de sous-marins) en collaboration avec le Domaine du Rayol à des fins de tests électroniques qui furent très positifs. Puis nous nous sommes rapprochés du Domaine du Rayol et de la métropole de NICE pour y poser nos mouillages.

## II - Quelles sont les contributions volontaires<sup>(1)</sup> en nature affectées à la réalisation du projet d'investissement subventionné?

Les algorithmes d'estimation des distances de détection des cétacés ont été réalisés par H. Glotin et Ing. Morin Pire et notre Ing. Mlle Ing. Mari-Lou Buisson en 2024 et 2025.

## III - Avez-vous des observations à faire sur le compte rendu financier du projet d'investissement subventionné ?

non

Je soussigné(e), (Nom et Prénom) GLOTIN Hervé

Représentant(e) légal(e) de l'organisme : Porteur du projet ETHAC



UNIVERSITÉ DE  
TOULON

Fait le 31 mai 2025

à La Garde

Signature :

<sup>(1)</sup> Les « contributions volontaires » correspondent au bénévolat, aux mises à disposition gratuites de personnes ainsi que de biens meubles (matériel, véhicules, etc.) ou immeubles. Leur inscription en comptabilité n'est possible que si l'organisme dispose d'une information quantitative et valorisable sur ces contributions volontaires ainsi que de méthodes d'enregistrement fiables.

**Raison sociale de l'organisme : UNIVERSITE DE TOULON - LABORATOIRE LIS**

**Numéro du dossier : DOSSIER 2021\_04054**

**Objet du Projet subventionné : Appel à projets recherche volet plateforme 2021 ETHAC : Cétacés en milieux anthropisés : observatoires et IA pour la détection et l'analyse 3D du comportement des cétacés en Région Sud**

## Annexe 2 au compte rendu financier

### Bilan qualitatif

#### **I - Les objectifs du projet d'investissement ont-ils été atteints ?**

Oui : les bouées, et leur IA, montre d'excellentes performances qui ont abouti à publications : à l'UNOC et en Brevet.

Vues leurs performances, les autorités militaires ont contraint le redéploiement des bouées en dehors des zones prévues en 2024.

Ces nouvelles zones sont déterminées : Sud Villefranche et Sud Rayol et en cours de repose en coordination avec la Métropole de Nice et du Domaine du Rayol.

#### **II - Veuillez décrire précisément en quoi a consisté votre projet :**

Ce projet a consisté au design d'un nouveau type de bouée acoustique avec IA embarquée et transmission 4G pour détecter et estimer la distance de passage des cachalots et rorquals au large des côtes de la Région Sud.

Nous avons donc défini (a) une bouée avec une large autonomie énergétique (panneau solaire) (testé validé), (b) un nouveau type d'antenne acoustique permettant un calcul rapide des azimuts et élévation des sources biophoniques (qui a donné lieu à un brevet soumis le 3 juin 2025), la recherche d'un nouvel algorithme d'estimation de distance des sources par cette petite antenne (qui a été publié et présenté à la conférence des Nations Unie à Nice le 3 juin 2025 et le 10 juin 2025 session Pelagos (voir poster en fin du dossier).

#### **III - Quels ont été les date(s) et lieu(x) de réalisation de votre projet d'investissement ?**

Les éléments des bouées ont été dessinées en 2022, leurs composants acheminés et montés en 2024 sur le campus de l'UTLN, bâtiment E.

Les bouées ont été livrées avec leur systèmes de mouillage et les éléments électroniques ont été testés et validés face au Rayol de Juin à Aout 2024.

Les autorités militaires ont interdit les poses des bouées dans les secteurs prévus en 2024.

La direction du Rayol a annoncé son souhait de recevoir une des bouées sur sa zone, ce qui sera fait dans l'été. Idem pour la repose dans la métropole de Nice. Le tout est intégré dans le programme REPCEPT d'évitement des collision des cétacés avec le trafic maritime (réunion de juillet 2024, sept 2024 dans le cadre du projet européen FEDER SeaSTMAR et dans le cadre du projet européen BIODIVERSA EUROPAM.

#### **IV - Quels indicateurs d'évaluation de votre projet d'investissement avez-vous utilisés ?**

Après les tests des éléments électroniques réalisés face au Rayol de juin à Juillet 2024, l'ensemble a été validé, notamment les innovations électroniques et d'intégration.

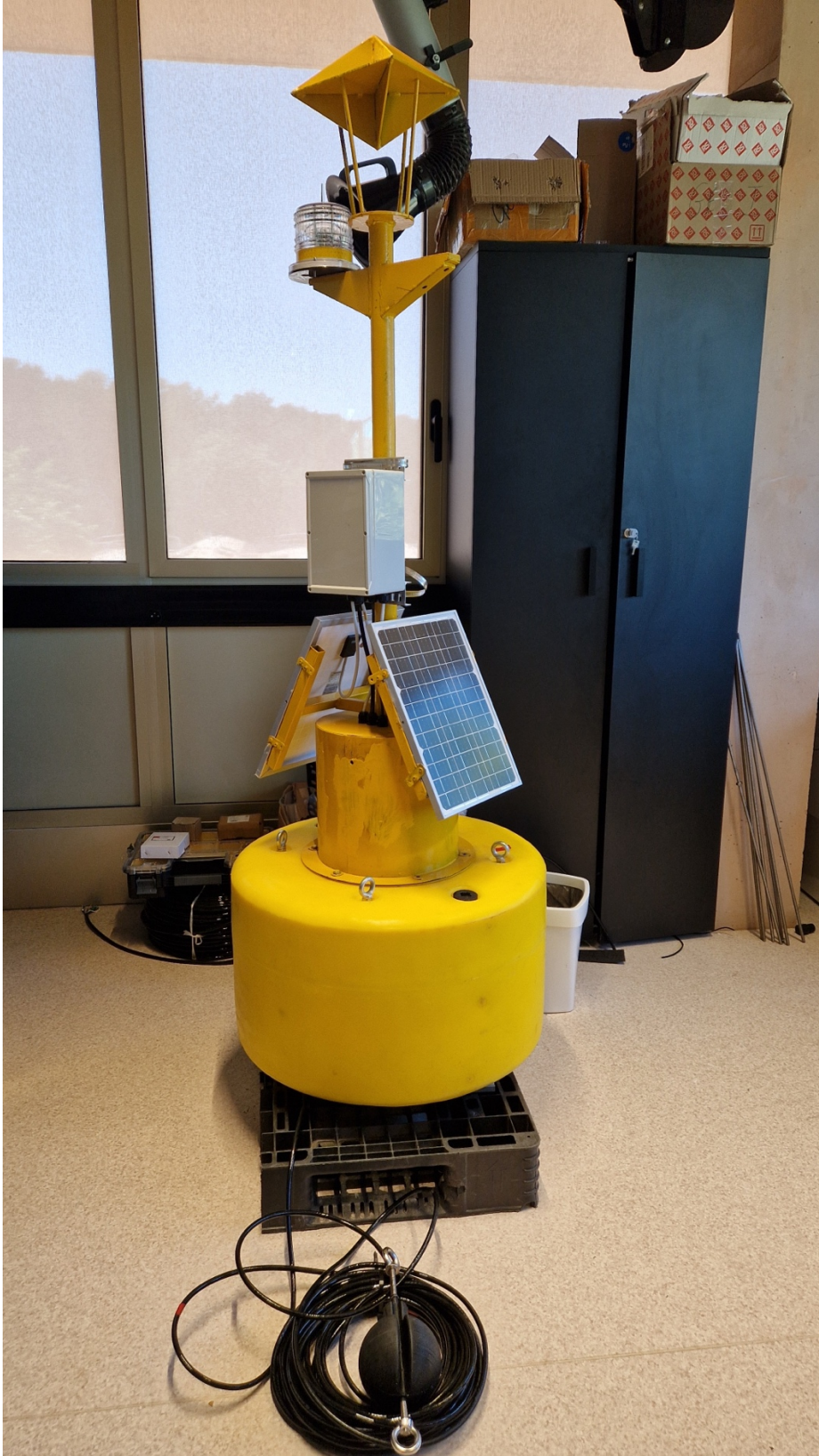
L'indicateur découlant du projet, le plus fort certainement, est le dépôt d'un brevet du système de la bouée ETHAC : rédaction de 2024 à 2025 d'une demande de brevet FR pour des "antennes acoustiques synchronisables en réseau" (num. 1707 - ACOUSTIC TRACKER), posé avec la collaboration de la SATT SE Région SUD le 2 juin 2025, auteurs = Glotin , Gies, Marzetti, Barchasz.

Un autre élément clef est la publication à la conférence des Nations Unies OOSC juin 2025 du modèle IA Transformer d'estimation de la distance de passage (Buisson Glotin) qui a été testé sur les mesures de l'antenne.

Enfin les bouées ETHAC sont intégrées dans le réseau d'alerte REPCEPT MIRACETI, suite aux réunions de juillet 2024, octobre 2024, juin 2025.

Suivent les illustrations des bouées et de leurs innovations.





## TABLEAU F2

Figure 1 : vue globale d'un exemplaire de la bouée ETHAC, avec ses panneaux solaires, batterie montée, réflecteurs, lampe et antenne boule 4 hydrophones s'insérant dans la ligne de mouillage.

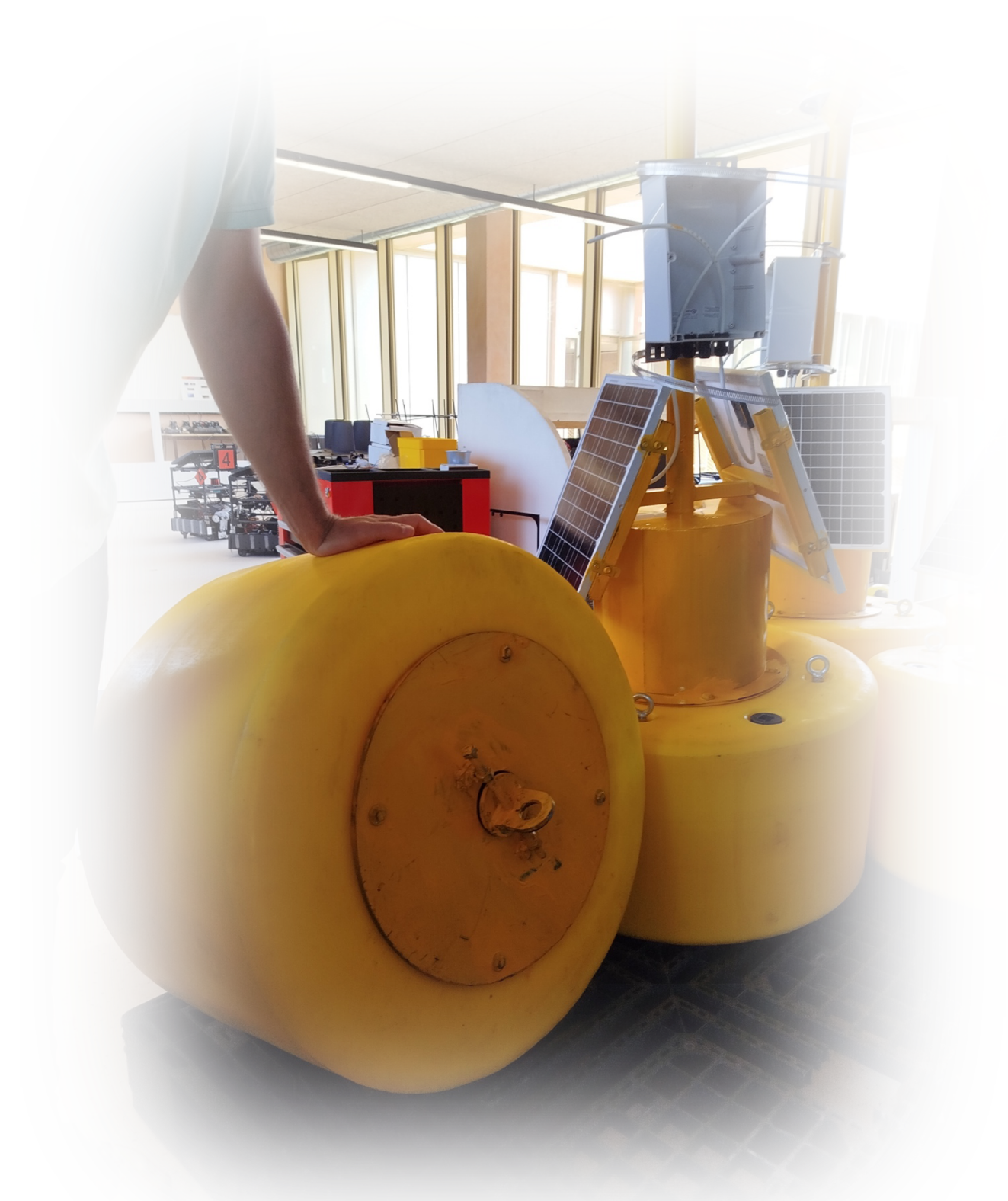




Figure 2 : flotteur des bouées ETHAC, panneaux solaires montés et boîtier recevant carte électronique

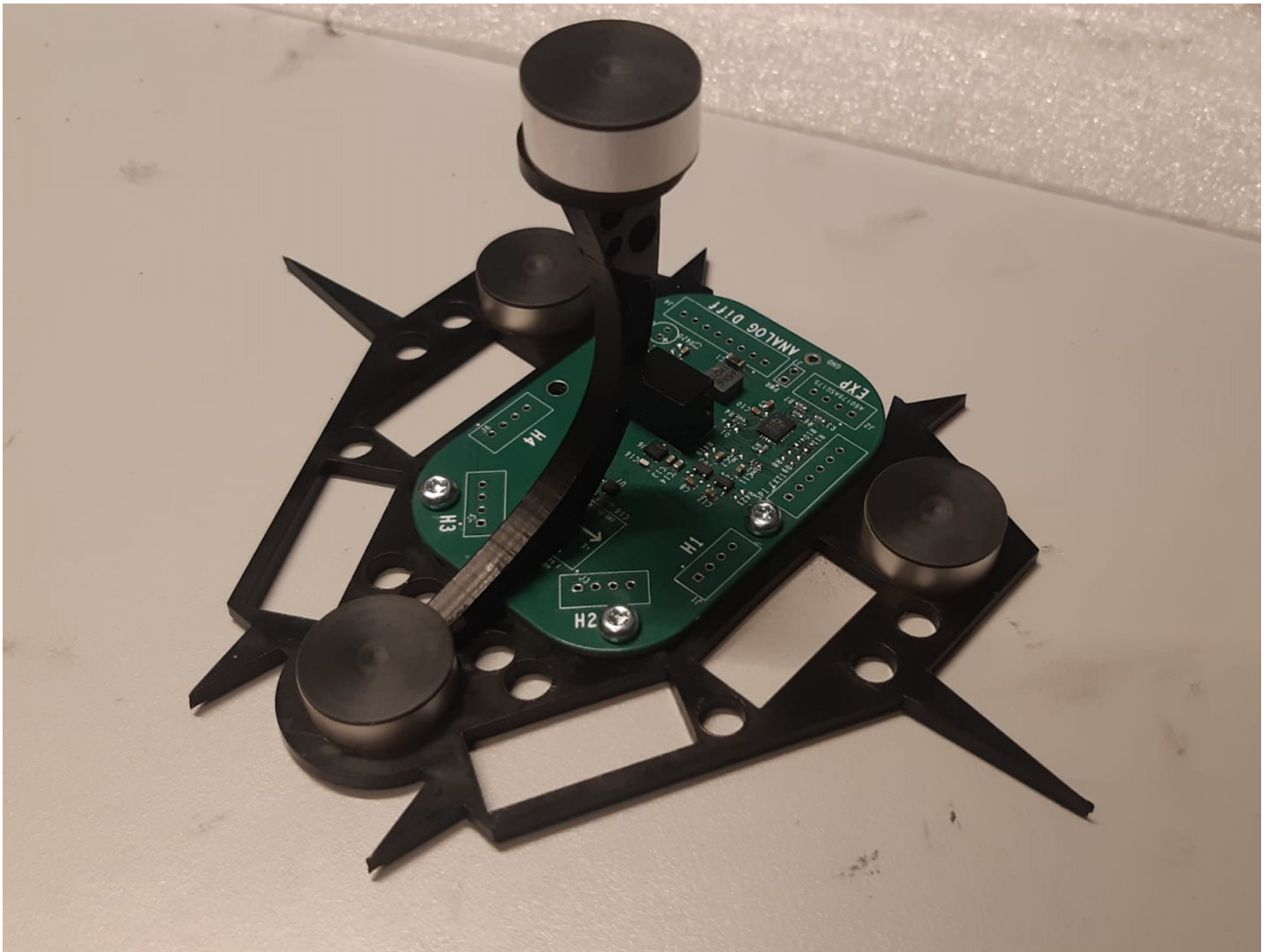


Figure 3 : Le système quadraphonique développé pour la bouée ETHAC et moulé dans la boule. Il inclut 4 hydrophones et une station inertielle gyro3D, accéléromètre 3D, compas 3D pour connaître à chaque 1/100 de seconde l'assiette de l'antenne acoustique de la bouée ETHAC et donc calculer AZIMUTH et ELEVATION des détections acoustiques des cétacés.



Figure 4 : boule recevant les 4 hydrophones et la station inertielle de l'antenne acoustique ETHAC

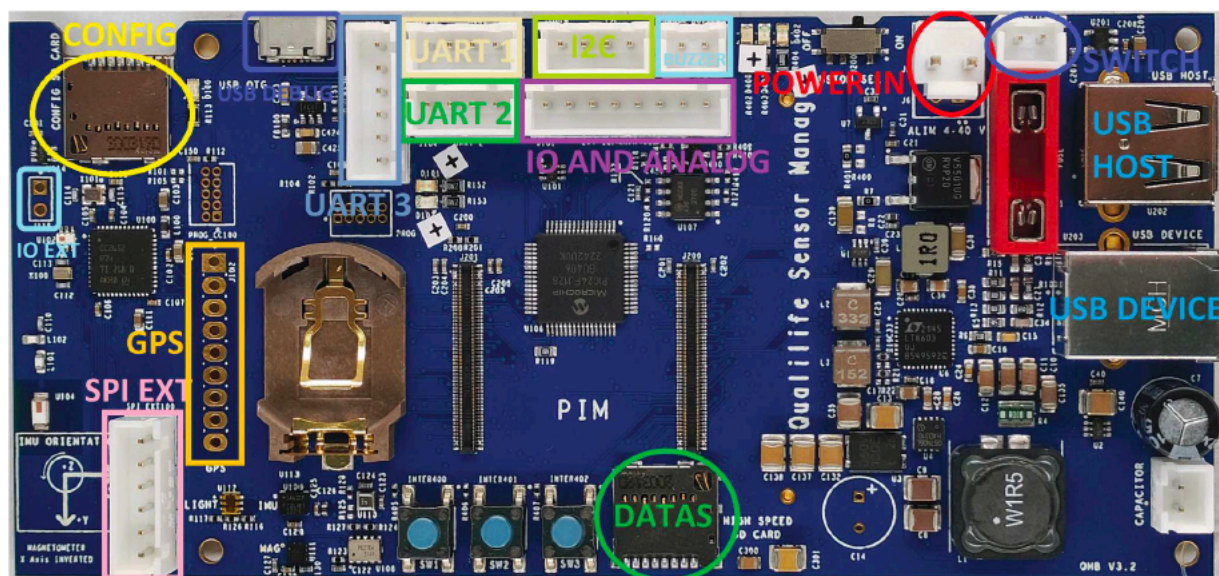


Figure 5 : exemple de la carte électronique développée pour les bouées ETHAC

Figure 6 (page suivante) : le poster de l'algorithme d'estimation par IA des distances de détection des cétacés pour la bouée ETHAC, présenté / publié à l'UNOC NICE juin 2025





# Subsea source range estimation based on Transformer Neural Network

Marie-Lou Buisson<sup>(1)(2)</sup> and Hervé Glotin<sup>(1)(2)</sup>

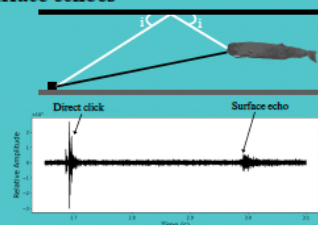
(1) Université de Toulon, Aix Marseille Univ, CNRS, DYNI, LIS, Toulon, France (2) Centre International d'Intelligence Artificielle en Acoustique Naturelle  
author: marie-lou.buisson@lis-lab.fr other contact: glotin@univ-tln.fr

## Introduction

- The underwater behaviour of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) remains poorly understood, including their trajectories
  - Passive acoustics readily estimate their direction, but range estimation remains challenging in case of small hydrophone arrays
  - Existing methods based on time differences of arrival [1] or echoes [2,3] require large hydrophone arrays or lack precision
- Can deep learning provide a way to estimate distances by integrating various observables ?

## Materials and Methods

- To enable comparison with a reference track [1, 2], the deep learning method was first applied in the case of a large-aperture hydrophone array
- Five hydrophones spaced from 3.5km to 7.5km recorded a single individual for 25min and captured clicks with clear surface echoes



- Due to the lack of labeled trajectories for supervised learning, the Transformer model [4] was trained with simulated sources

- Transformer was tested both on simulated sources and large hydrophone array dataset

### Observables:

The 5 time differences due to surface echoes

Azimuth  
Elevation

### Target:

Log10 of the distance from the first hydrophone

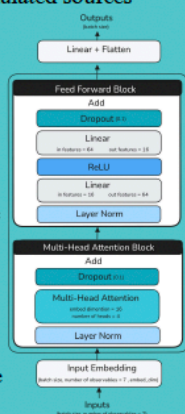


Fig.1: The selected Transformer

## Preliminary Results

- Tested on simulated dataset:

Mean Absolute Percentage Error :

$$\text{MAPE} = 1.41\%$$

Coefficient of determination :

$$R^2 = 99.8\%$$

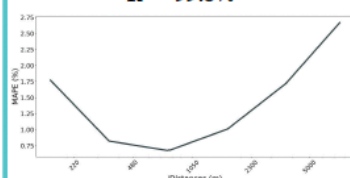


Fig. 2: MAPE across different distance ranges

The best performances are around 700m, due to the weights applied during model training

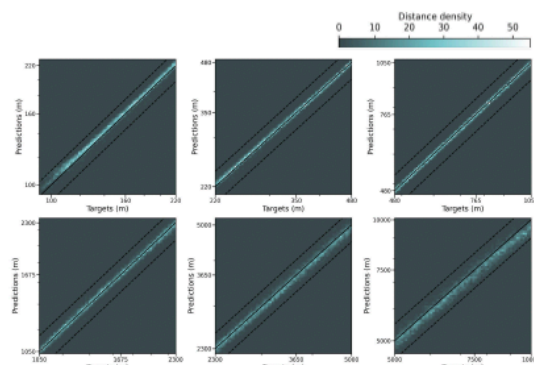


Fig. 3: Predicted vs. true range values for the simulated test dataset. The black line represents the ideal prediction, the dashed lines indicate a  $\pm 10\%$  deviation margin

- Tested on large hydrophone array dataset:

Comparison with reference track [1,2]: MAPE = 5.29%

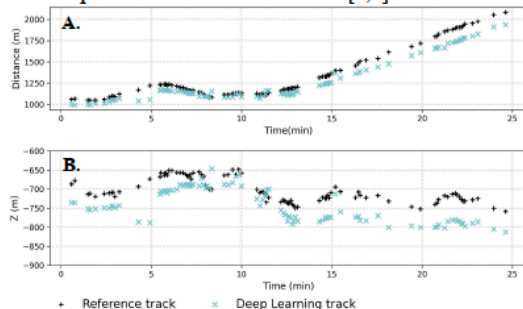
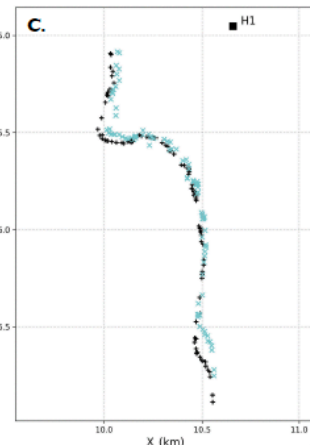


Fig. 4: Comparison between the sperm whale track estimated by our deep learning method (blue) and the multi-validated reference track (black). (A) distance from the first hydrophone, (B) depth profile and (C) 2D horizontal track of the single sperm whale



## Discussion and Perspectives

- The obtained track closely matches the multi-validated track and shows a similar temporal evolution
- These promising results, coupled with a MAPE of less than 10%, support the use of deep learning methods for range estimation in complex scenarios

Is a Transformer model still performant in the case of small-aperture hydrophone array ?

The deep learning method is being tested in a small-aperture array case in the Mediterranean Sea and will be used on Bombyx buoys (ETHAC, EUROPAM)

## References

- [1] Giraudet, P. and Glotin, H. (2006). 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.
- [2] Nosal, E. M. and Frazer, L. N. (2006). Track of a sperm whale from delays between direct and surface-reflected clicks. *Applied Acoustics*, 67(11-12):1187-1201.
- [3] Aubauer, R., et al. (2000). One-hydrophone method of estimating distance and depth of phonating dolphins in shallow water. *Journal of the Acoustical Society of America*, 107(5):2744-2749.
- [4] Vaswani, A., et al. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30:5998-6008.

## Acknowledgements

We thank AUTEC and NUWC for recording and distributing the test dataset. We gratefully acknowledge Pascale Giraudet for sharing the code that enabled the extraction of surface echoes. We would also like to thank Franck Zibi for providing the initial Transformer architecture. We thank ANR for grants ULP-Cochlea ANR-21-CE04-0020 & DGA IAD for AI Chair ADSIL ANR-20-CHIA-0014. We also acknowledge Region Sud PACA (ETHAC project) and EUROPAM Biodiversa for fundings.

**V - Veuillez indiquer les autres informations qui vous sembleraient pertinentes :**

La bouée est en cours de repose au RAYOL suite à autorisation de principe et en formalisation avec le commandement des sous-marinières, cette zone n'étant pas parcourue par les sous-marins, et étant d'un grand intérêt pour le suivi des cachalots en zone anthropisée, ces animaux chassant régulièrement dans ce secteur Est Stochaedes.

La direction de la Transition écologique et de l'Environnement de la Métropole de Nice est intéressée pour recevoir la pose de la seconde bouées Bombyx. Une demande d'AOT est en cours de dépôt. L'Ing Jean-Yves Carval, Responsable Technique, Institut de la Mer de Villefranche, IMEV a été contacté pour discuter des autorisations et site qui serait le plus propice.

Lettre de Mai 2025 de TOLOSA Soledad à IMEV :

Soledad TOLOSA - Chargée de mission Cétacés - Azur Pelagos - DGA Aménagement et Développement Durables - Direction de la Transition écologique et de l'Environnement Métropole Nice Côte d'Azur - 06364 Nice cedex 4, Tél: 04 97 98 20 56 / 07 81 90 72 76  
soledad.tolosa@nicedotedazur.org

« La Métropole de NICE en partenariat avec l'Université de Toulon et M. Hervé Glotin (en copie de ce mail) souhaite lancer une étude acoustique pour évaluer le bruit sous-marin dans son espace maritime et mieux évaluer l'impact sur les cétacés.

Pour cela, nous devons installer une bouée acoustique accrochée à un corps mort de 200 kg. Et nous avons besoin d'un bateau barge pouvant porter ce corps mort, la Sagitta III ( en pj) ?

Fait le 9 juin 2025

à La Garde

Je soussigné(e), (Nom et Prénom) GLOTIN Hervé

~~Représentant(e) légal(e) de l'organisme~~ Porteur du projet ETHAC



UNIVERSITÉ DE  
TOULON