Activité T1.2

Prévention des risques de collision avec les cétacés marins

Livrables T1.2.2

Construction et installation du système de détection en temps réel des mammifères marins

Partenaire responsable: UTLN

date de début et de fin: 01.04.2019-31.10.2022

Version finale, 31.10.2022

Sommaire

Introduction 3
Mise en place de l'apprentissage de l'IA de BOMBYX 3
Apprentissage du système de détection 5
Performance du système de détection 8
Déploiement test de la Bouée en 2021 14
Déploiement de Bombyx2 en 2022 15

Introduction

Ce rapport décrit la construction de la bouée et son apprentissage IA.

Bombyx2 possède un système de variation de flottabilité permettant à la fois l'enregistrement à 20 m de profondeur et la transmission de données sans fil en surface une fois que son IA a détecté des sources d'intérêt.

Elle a une autonomie estimée à 6 mois. Sa transmission de données en temps réel est nécessaire puisque cette bouée acoustique servira de système d'alerte pour la présence de cachalots et de rorquals communs, réduisant les risques de collision via une régulation de vitesse ou une modification de cap.

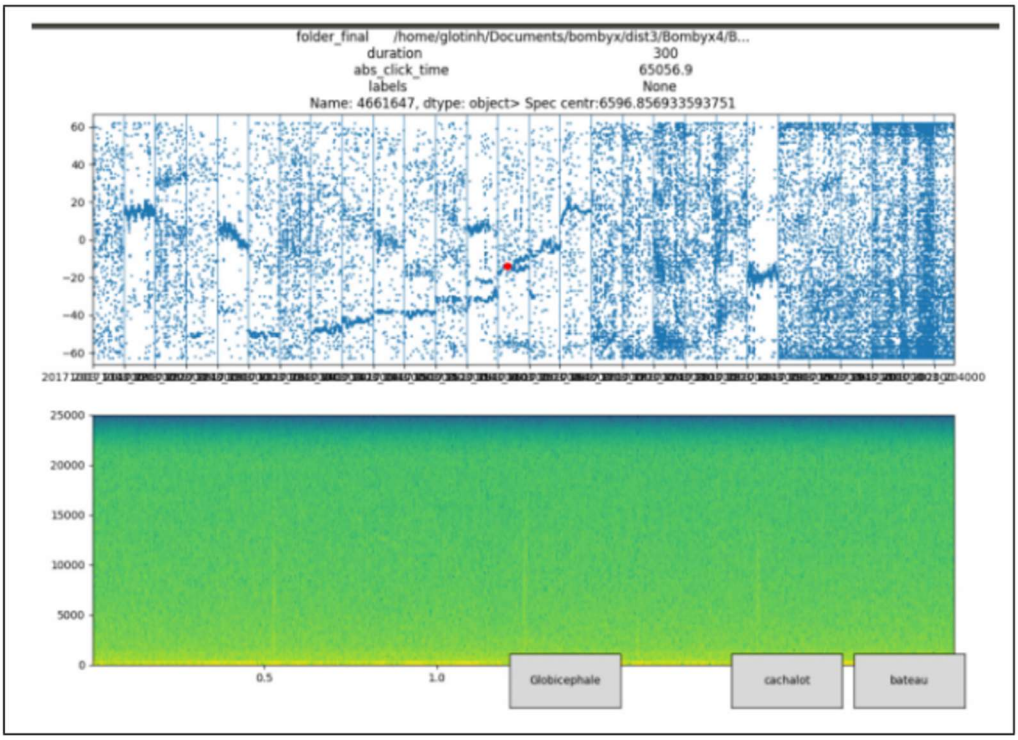
L'antenne d'une BombX est un réseau de 5 hydrophones qui permet non seulement d'estimer l'azimut, mais aussi l'élévation et la distance de la source acoustique. Bombyx-2 est équipé d'un microprocesseur PIC32MZ couplé à la carte son Qualilife HighBLue JASON, permettant l'enregistrement à haute fréquence et les calculs embarqués tels que le passage direct du réseau de neurones convolutifs (CNN), tout en consommant peu d'énergie.

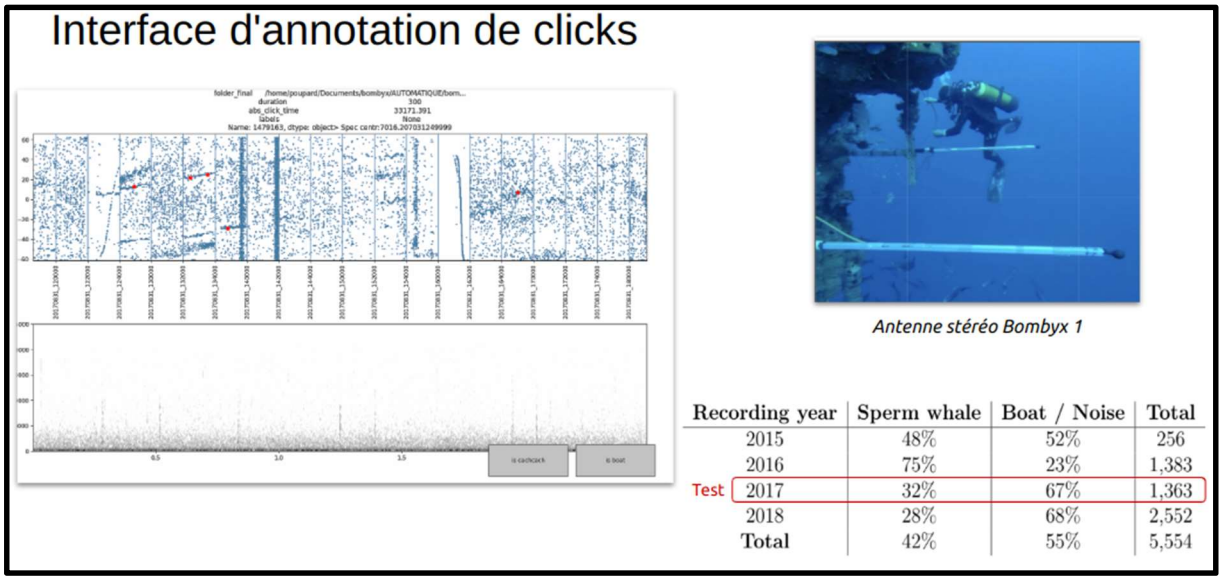
Mise en place de l'apprentissage de l'IA de BOMBYX

Pour permettre l'apprentissage IA efficace parmi la grande quantité d'enregistrements, nous avons développé une interface personnalisée. Cette interface repose d'abord sur un détecteur de clic à rappel élevé mais à faible précision. En appliquant un opérateur d'énergie Teager Kaiser sur le signal après un filtre passe-bande centré à 12,5 kHz, la plupart des clics de cachalot sont détectés, entre autres impulsions acoustiques telles que les clics de globicéphale, les bruits de moteur et autres. Nous avons ensuite calculé la TDoA de ces impulsions détectées entre les deux hydrophones.

Le nuage de points des TDoA dans le temps permet d'identifier les émissions acoustiques en mouvement. Une telle interface permet de parcourir 10 heures de signal en un seul regard, identifiant facilement tout émetteur acoustique mobile potentiel, ce que sont généralement les cachalots. Pour ensuite distinguer les cachalots des autres émetteurs acoustiques mobiles (bateaux ou globicéphales), notre interface permet de sélectionner une impulsion détectée, et de tracer le spectrogramme de son signal environnant ainsi que de l'écouter. Cette interface a permis la construction d'un ensemble de données composé de 2312

échantillons de cachalot, 154 échantillons de globicéphale (G. m.) et 3087 échantillons de bruit. Chacun d'entre eux appartient à des pistes individuelles. Dès lors nous avons pu mettre en place l'IA optimisée de BOMBYX qui différencie les clics de globicéphales des clics de cachalots.





	Recording year	Sperm whale	Boat / Noise	Total
	2015	48%	52%	256
	2016	75%	23%	1,383
Test	2017	32%	67%	1,363
	2018	28%	68%	2,552
	Total	42%	55%	5,554

Figure : interfaces d'annotation pour la construction de la base d'apprentissage de Bombyx2

Dans cette interface, le délai d'arrivée (TDoA) de chaque clic est détecté en fonction du temps. En bas, le spectrogramme du son entourant le clic sélectionné (en rouge). Les 3 boutons servent à annoter le clic sélectionné comme cachalot, globicéphale ou bruit. temps,

Les données collectées et annotées au cours de Bombyx-1 ont servi à optimiser un système de détection analogique ainsi qu'à former un réseau de neurones convolutifs pour la détection des cachalots et de rorquals.

Le système de détection analogique utilise des filtres passe-bande et passe-bas pour comparer l'énergie au-dessus de 8 kHz avec le niveau de bruit de fond. Les pics d'énergie à haute fréquence sont ainsi détectés comme des clics potentiels de cachalots. La durée et la périodicité des pics sont vérifiées par rapport aux plages possibles pour les clics de cachalot à l'aide d'une machine d'état. Ce système de détection analogique a montré une aire sous la courbe ROC de 75% sur les données annotées.

Apprentissage du système de détection

Tous les hydrophones sont pointés dans la même direction (vers le bas), permettant à la méthode de différence de phase de déduire la position tridimensionnelle de la source acoustique à chaque clic. Il faut dans la suite intégrer les positions déduites sur plusieurs dizaines de clics permettant une estimation plus robuste. La bouée remontera alors à la surface et transmettra à notre laboratoire les heures d'arrivée enregistrées ainsi que les signaux échantillonnés via la 4G.

Après vérification humaine, jusqu'à ce que la robustesse du système soit validée, les alertes de présence de cachalot ou de rorqual commun seront transmises aux autorités, et des mesures seront prises pour minimiser le risque de collision en conséquence.

Un réseau de faible complexité d'environ 10 000 paramètres, avec une interface Mel-Spectrum suivie de 3 couches de convolution en profondeur de 64 caractéristiques chacune a été conçu. Le modèle a montré une performance de 98% d'AUC sur l'ensemble d'apprentissage et de 92% d'AUC sur l'ensemble de test. Après validation

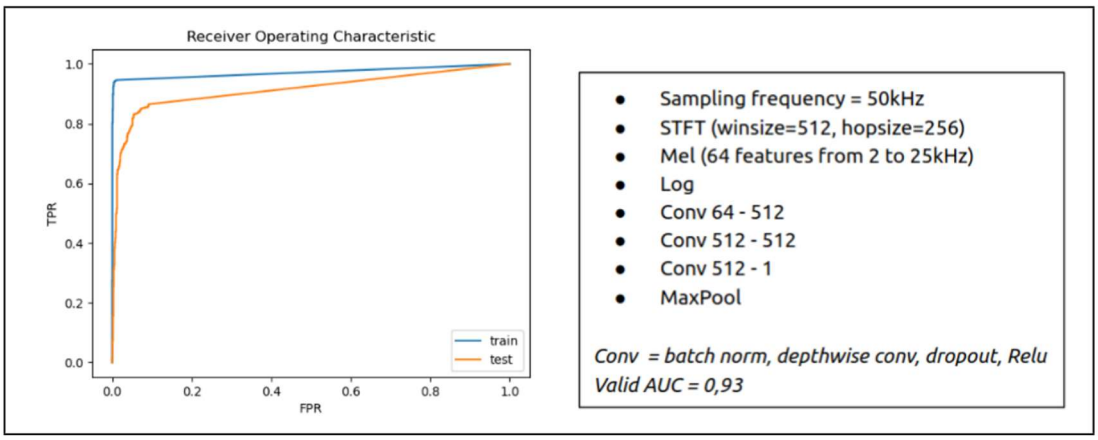
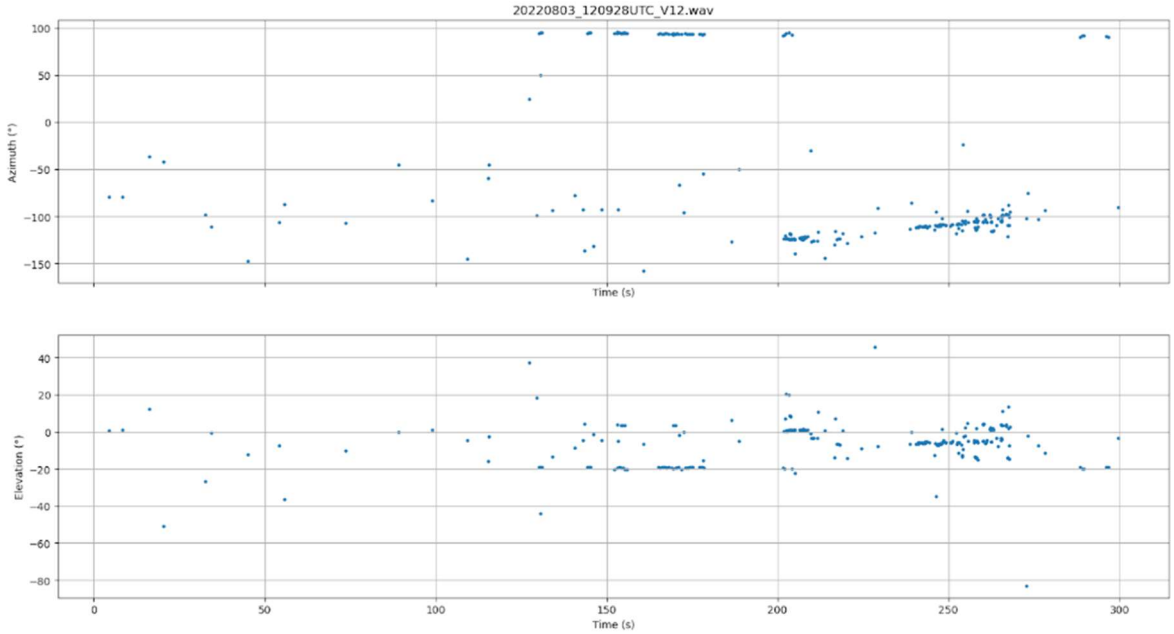


Figure: Courbe ROC gauche du classificateur binaire CNN des Cachalots, topologie droite du CNN.

La topologie du réseau est donnée ci-dessous. L'apprentissage est en active learning avec des passe de contrôle d'experts humains. Les convolutions du réseau sont par bloc afin d'optimiser les temps et la consommation des calculs IA embarqués.



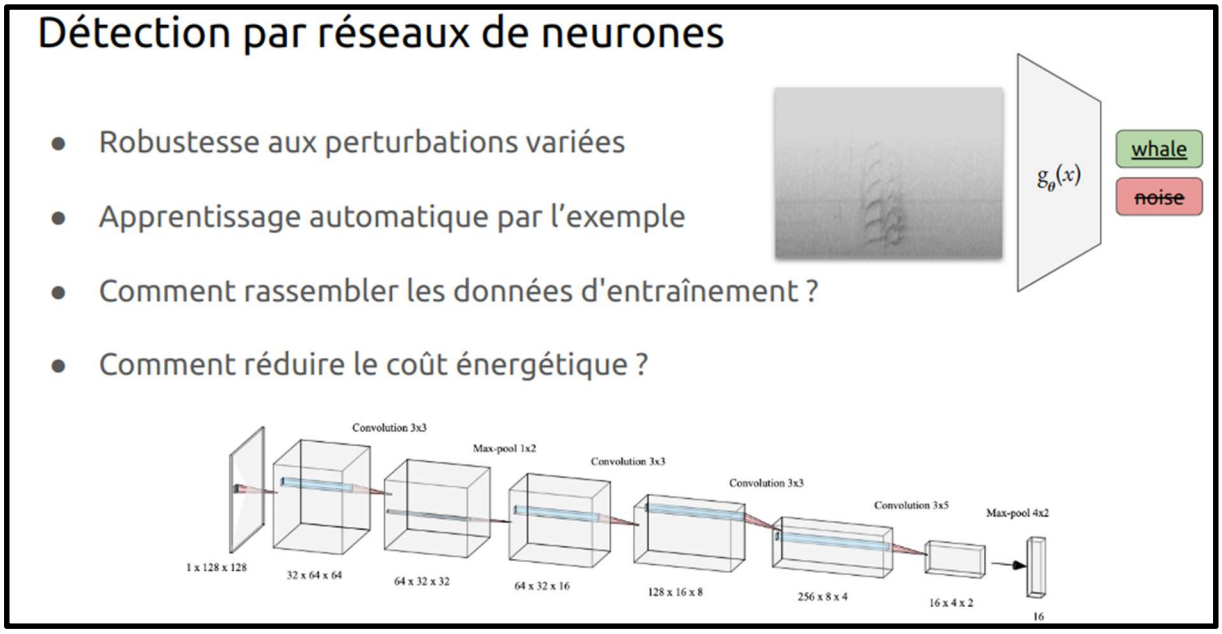


Figure : Topologie et construction du réseau de neurones de la bouée Bombyx2

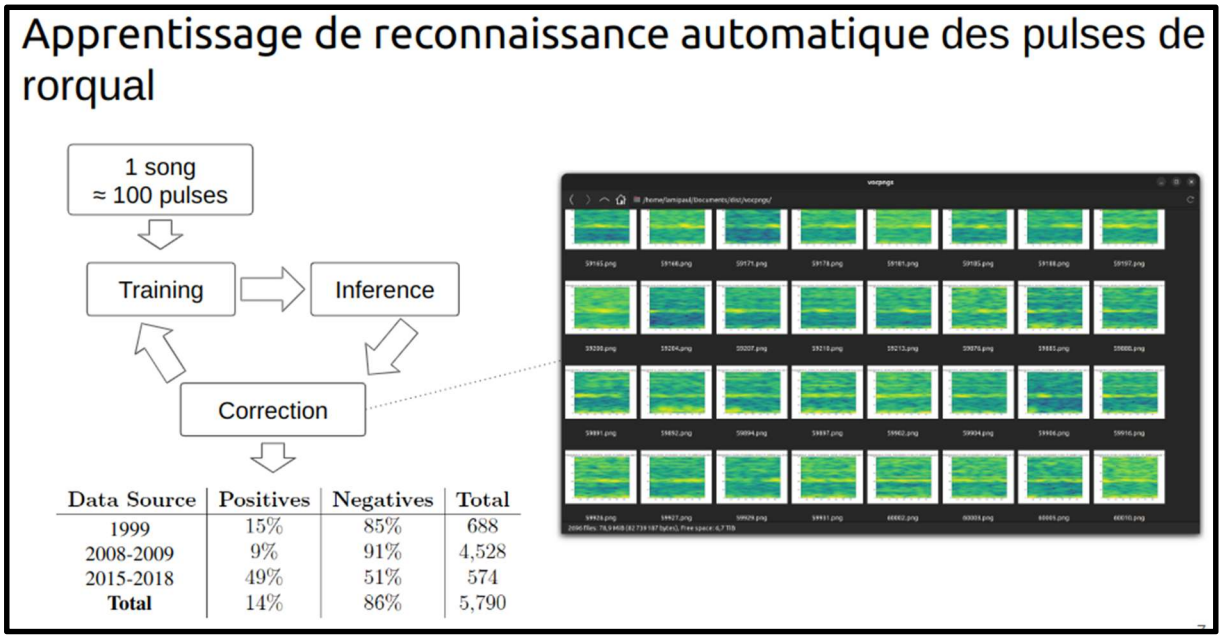


Figure : Apprentissage du réseau de neurones par active learning, l'expert vérifiant les modèles

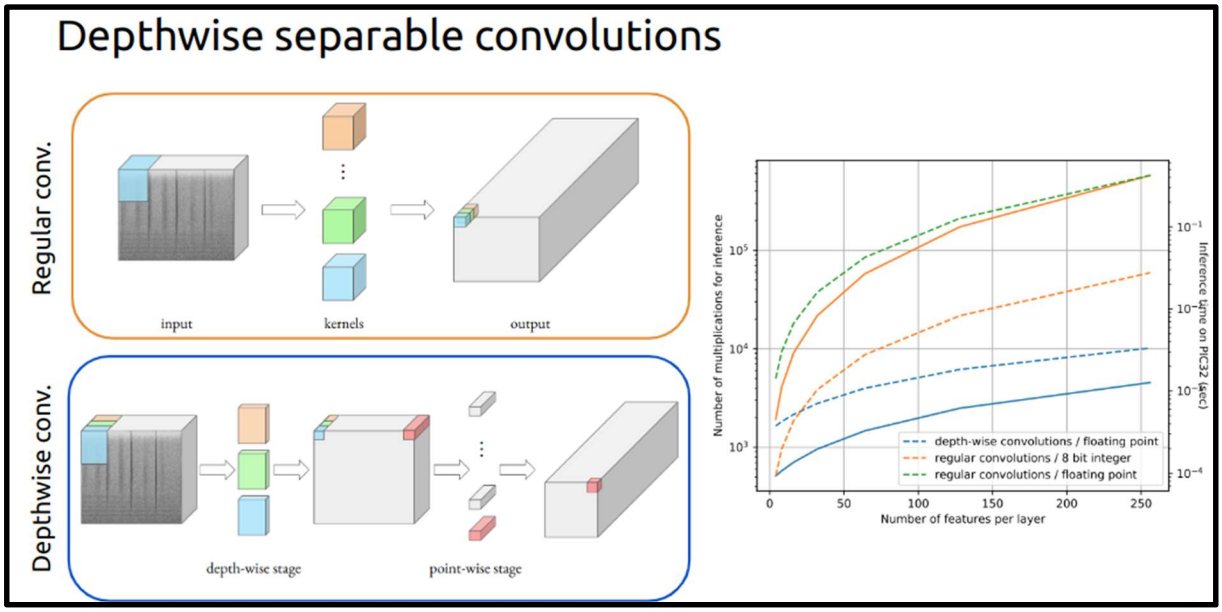
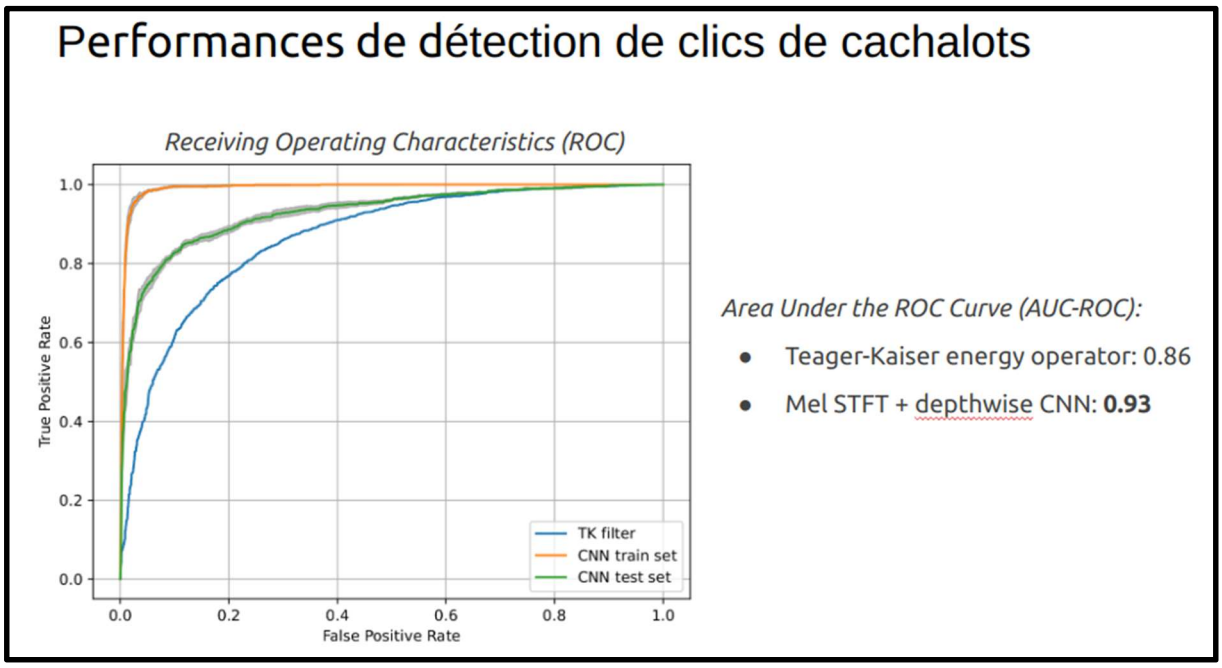


Figure : implémentation IA efficace par bloc de convolution

Performance du système de détection

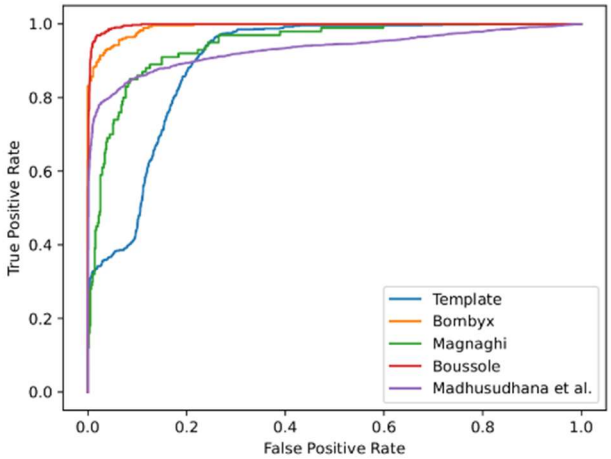


Performances de détection de pulses de rorqual

- Template matching : 0.90AUC-ROC
- Validation en 3-fold
  - split par source de donnée
- Test sur un dataset extérieur

Test set AUC-ROC

1999	0.94
2008-2009	1
2015-2018	0.99
Madhusudhana et al. 2021	0.93



Figures : Qualification des réseaux de neurones construits pour Bombyx2, haut cachalots, bas rorquals.

Nous avons qualifié les construction et test des algorithmes IA de Bombyx2, montrant le temps réel des mesures IA embarquée (ci dessus) qui sont excellentes. De plus les résultats sont temps réel.

Déploiement sur le micro-contrôleur

- PIC32-MZ : microcontrôleur basse consomation
- Portage de l'inférence en language C
- L'inférence du CNN prend 4 secondes

Target signal	Sperm whale clicks	20 Hz fin whale pulse
Signal length (sec)	10	60
Sampling frequency (Hz)	64,000	4,000
FFT window length	512	4096
FFT hop size	256	256
Mel bands	64	64
Mel start (Hz)	2,000	0
Mel end (Hz)	25,000	100
Signal loading (sec)	**1**	**5**
Spectrogram computation (sec)	**12**	**26**
CNN inference (sec)	**4**	**4**

Figure : construction et test des algorithmes IA de Bombyx2, montrant le temps réel des mesures IA embarquée

Construction de la bouée : installation de la carte son avec IA embarquée

Les étapes suivantes ont consisté à construire suivant les plans du rapport T121 les éléments et veiller aux faibles interférences entre la carte son et les instruments de commande de la bouée elle-même. Nous présentons les éléments ci dessous et le niveau de bruit très faibles de la carte en fonctionnement ce qui permettra le bon fonctionnement des mesures en mer.

Figure : La carte JASON QHB développée pour BOMBYX2

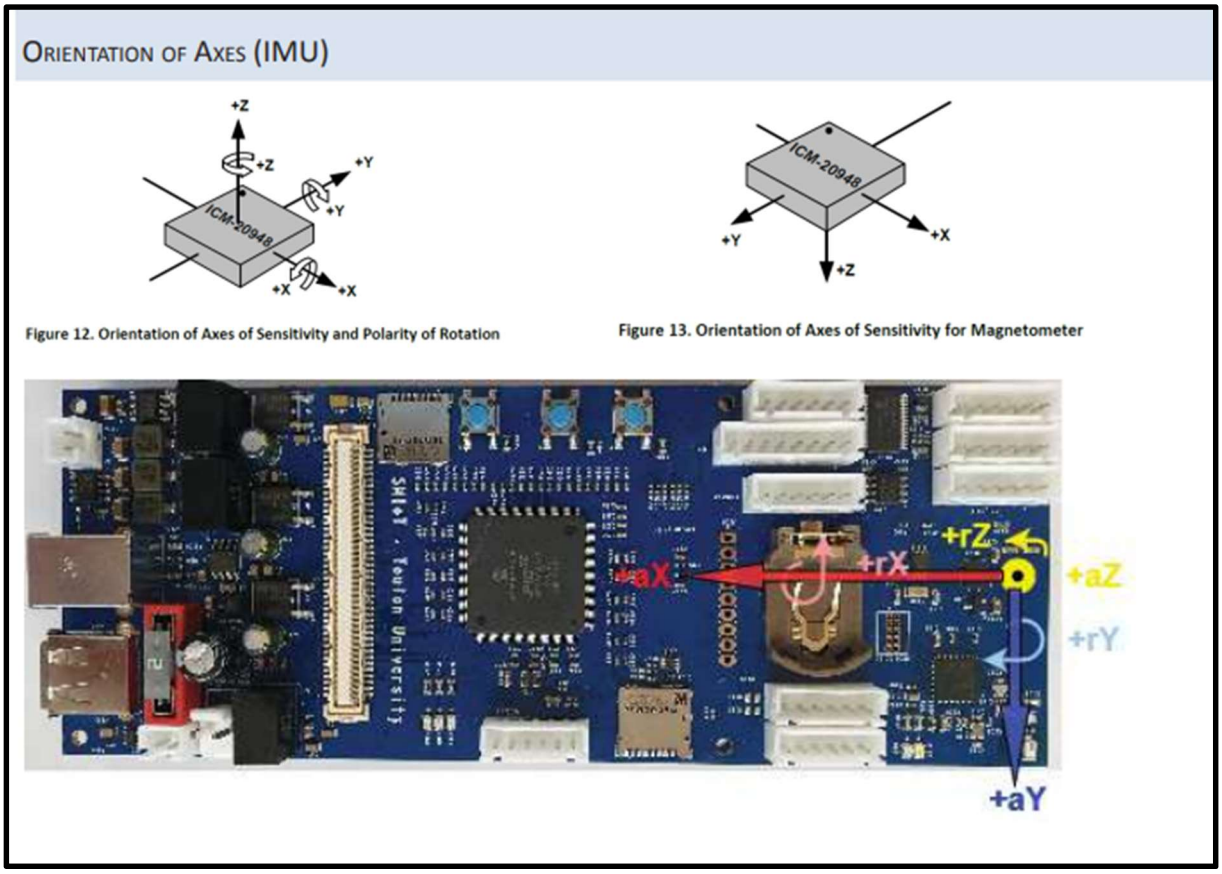


Figure : La carte son QHB et ses actions de mesure en 3D

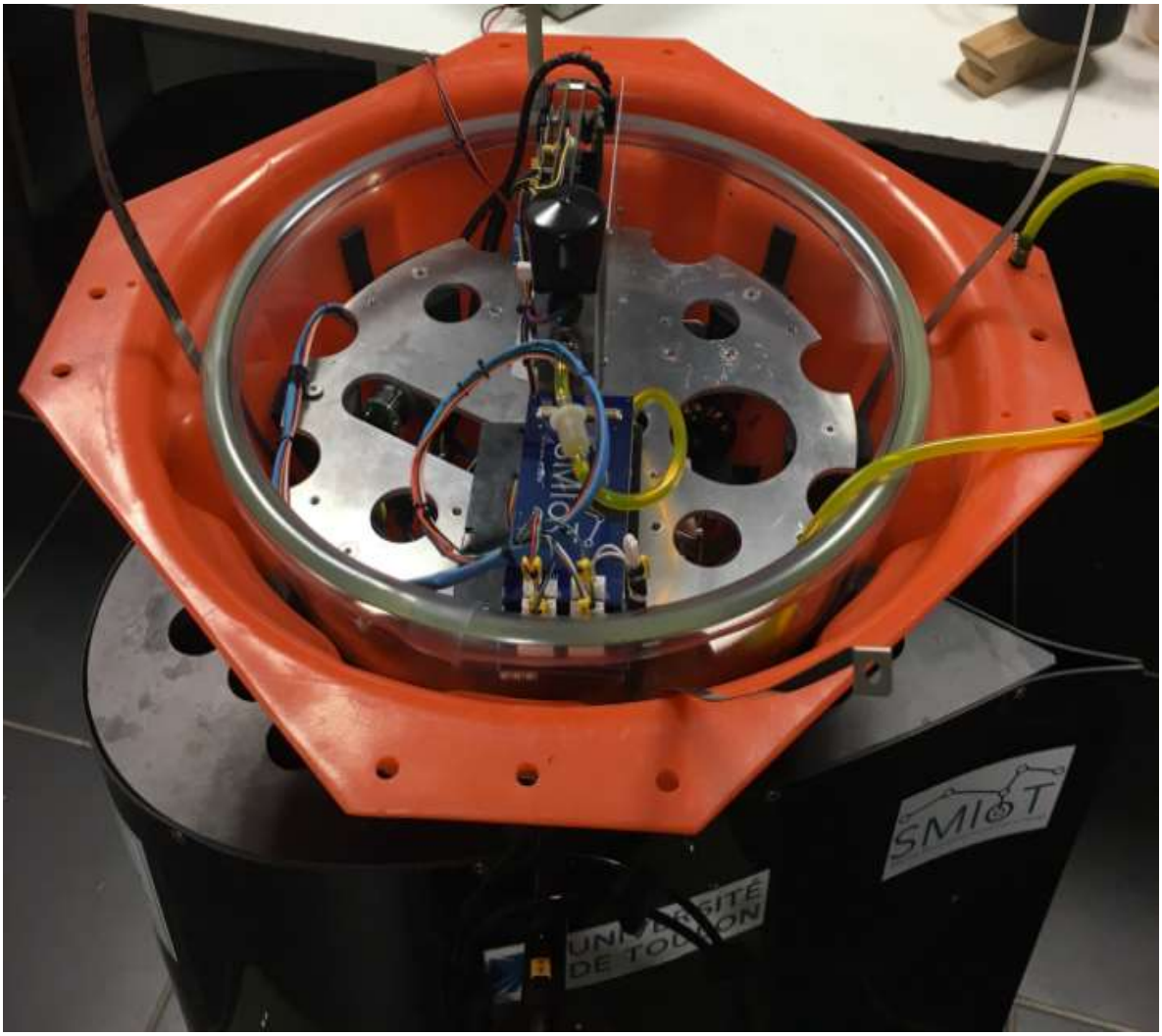


Figure : installation de la carte QHB dans une des bouée Bombyx

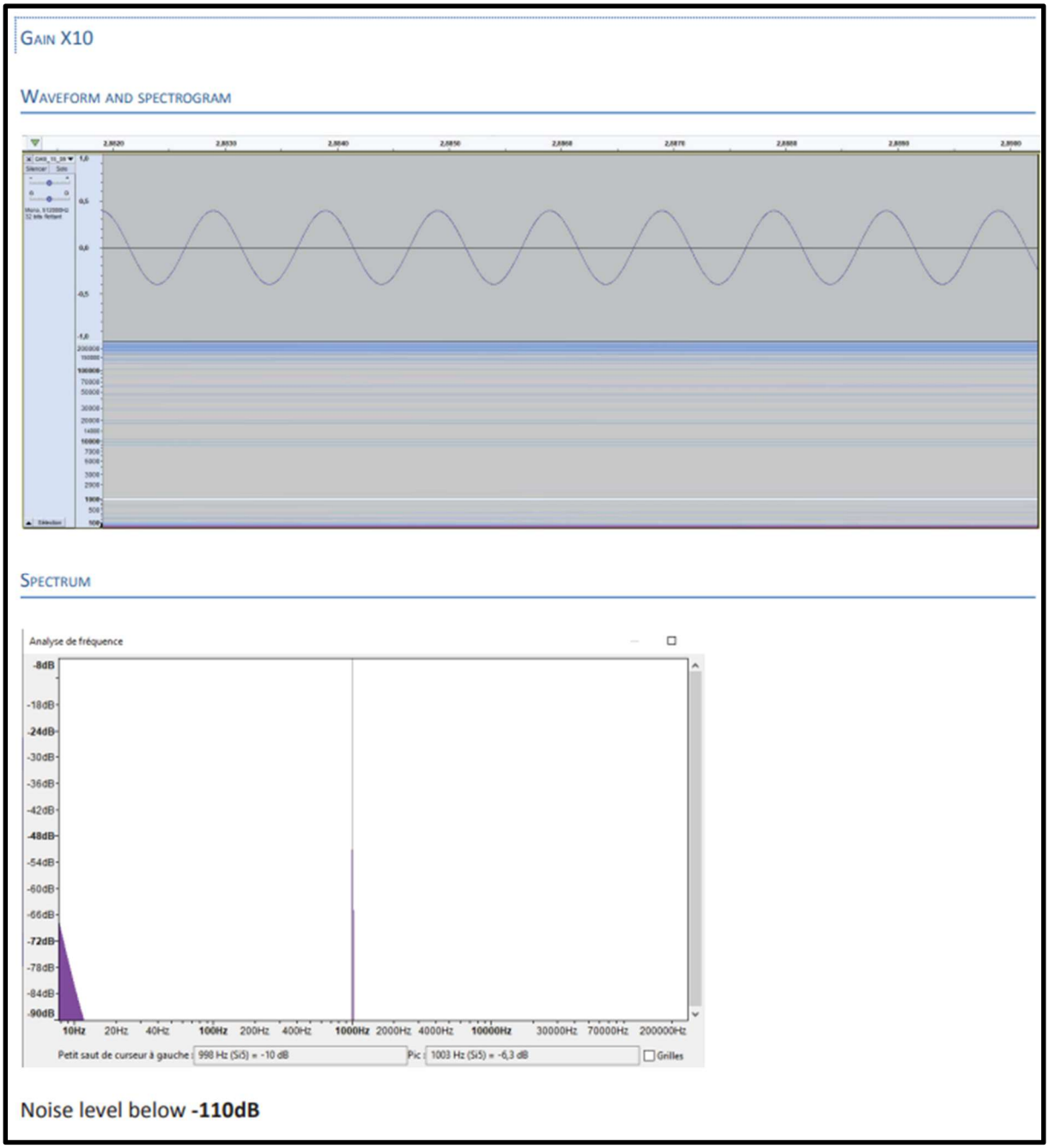


Figure : test de la carte QHB montrant le niveau de bruit en dessous de -110dB

Déploiement test de la Bouée en 2021

Bombyx2 a tout d'abord été testée en Mai 2021 à Hyères, en présence de l'amirauté / Préfecture Maritime comme montrée dans les deux figures ci-dessous, avec succès.

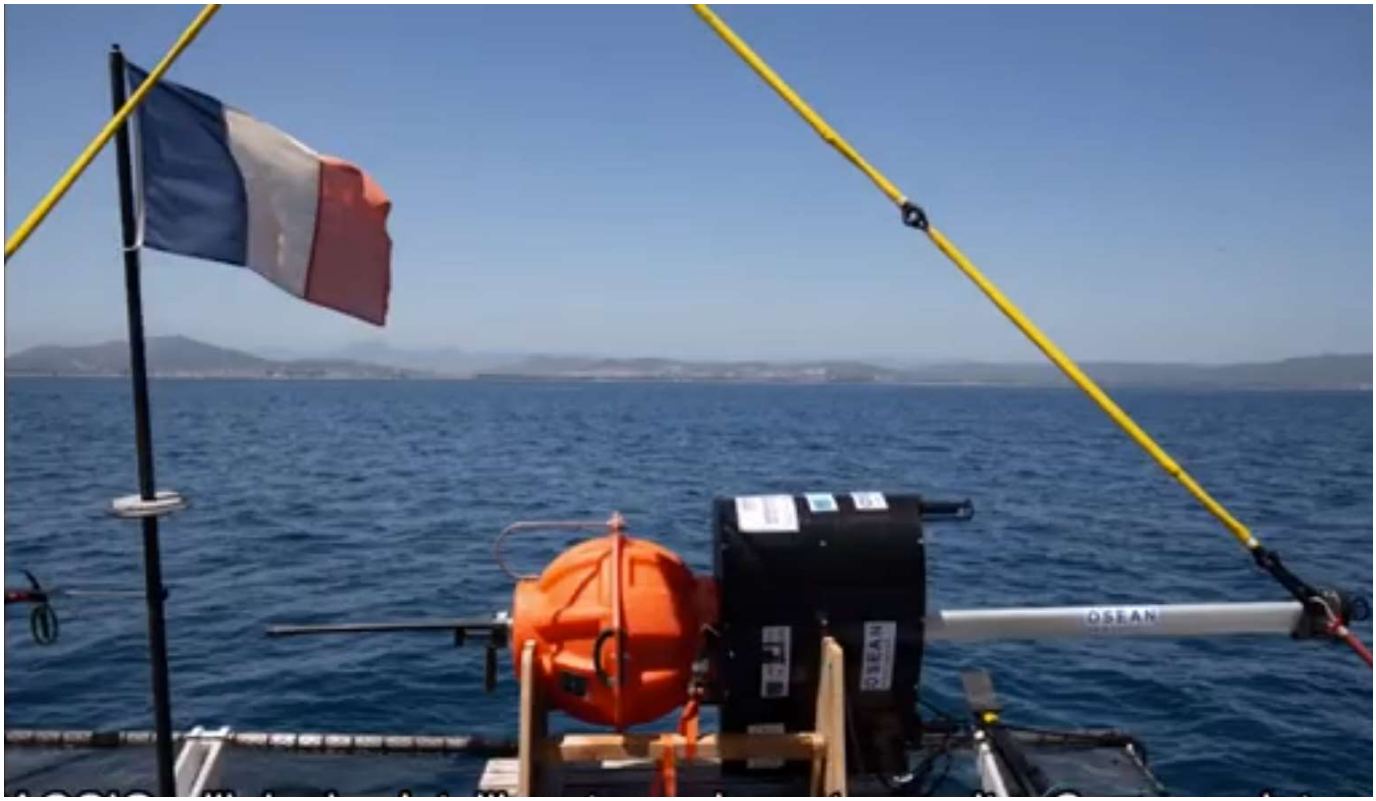


Figure : Phase de test de la bouée en Mai 2021 à Hyères

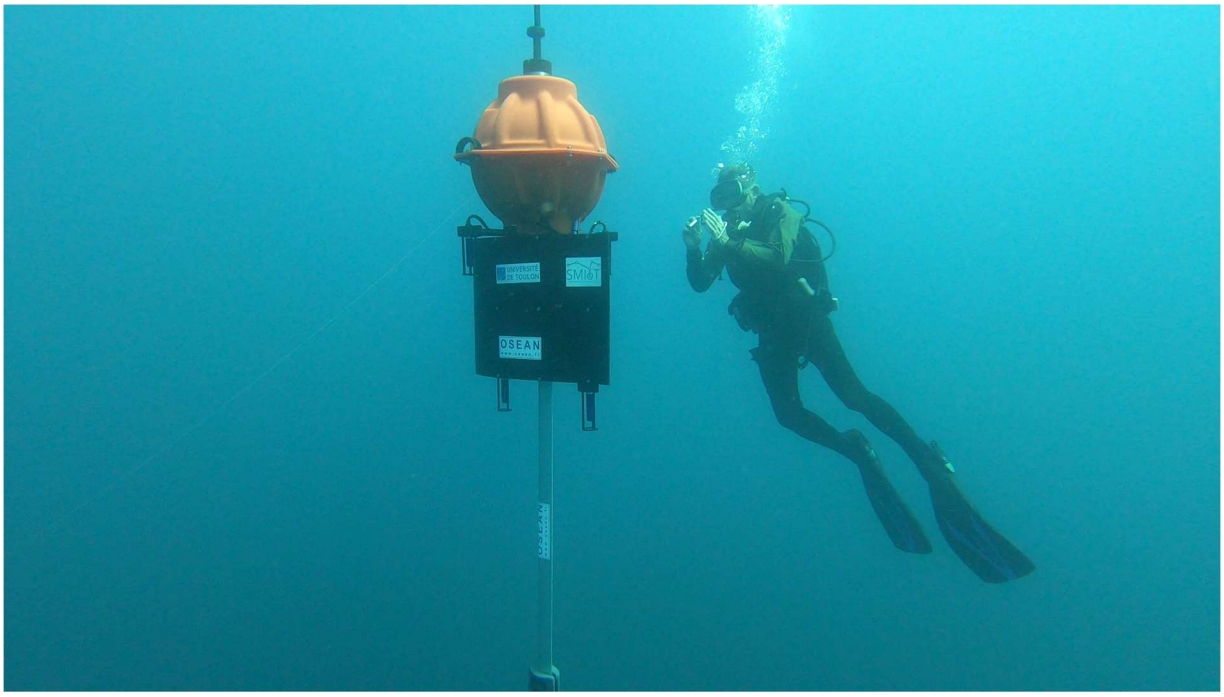


Figure La bouée Bombyx2. Le plongeur F. Sarano teste les 5 hydrophones durant la phase de test de Mai 2021. Extrait de la vidéo http://sabiod.lis-lab.fr/pub/BOMBYX2/videos/GH010484.MP4

Ces tests ont démontré la bonne tenue en mer de Bombyx. Dès lors nous avons travaillé sur la pose finale comme montrée dans la section suivante.

Déploiement de Bombyx2 en 2022

Depuis l'été 2022 cet observatoire est déployé avec les 2 premières bouées sur Monaco. En effet le syndicat des pêches de Cap Martin demanda des contraintes par la suite non compatibles avec le fonctionnement de Bombyx2. Aussi la seconde bouée Bombyx est en rotation avec la première Bouée comme indiqué sur la carte.

Cette configuration a un grand intérêt dans le perfectionnement de l'apprentissage IA embarqué de la bouée. En effet les mesures jointes de deux bouées permettent d'une part un maintien par rotation de maintenance plus rapide pour le changement des batteries et un perfectionnement d'une bouée quand une autre est à l'eau.

Le déploiement est ensuite conjoint avec les deux bouées en opération simultanément. C'est à dire que les angles d'arrivée des sources en azimuth, estimés par les bouées B1 et B2 sont croisés pour estimer la position de la source comme cela sera présenté dans le rapport T123.

Film montrant la pose

= http://sabiod.lis-lab.fr/pub/BOMBYX2/MONACO_2022-07/bombyx2_Monaco_CapMartin_aout_2022b.mp4

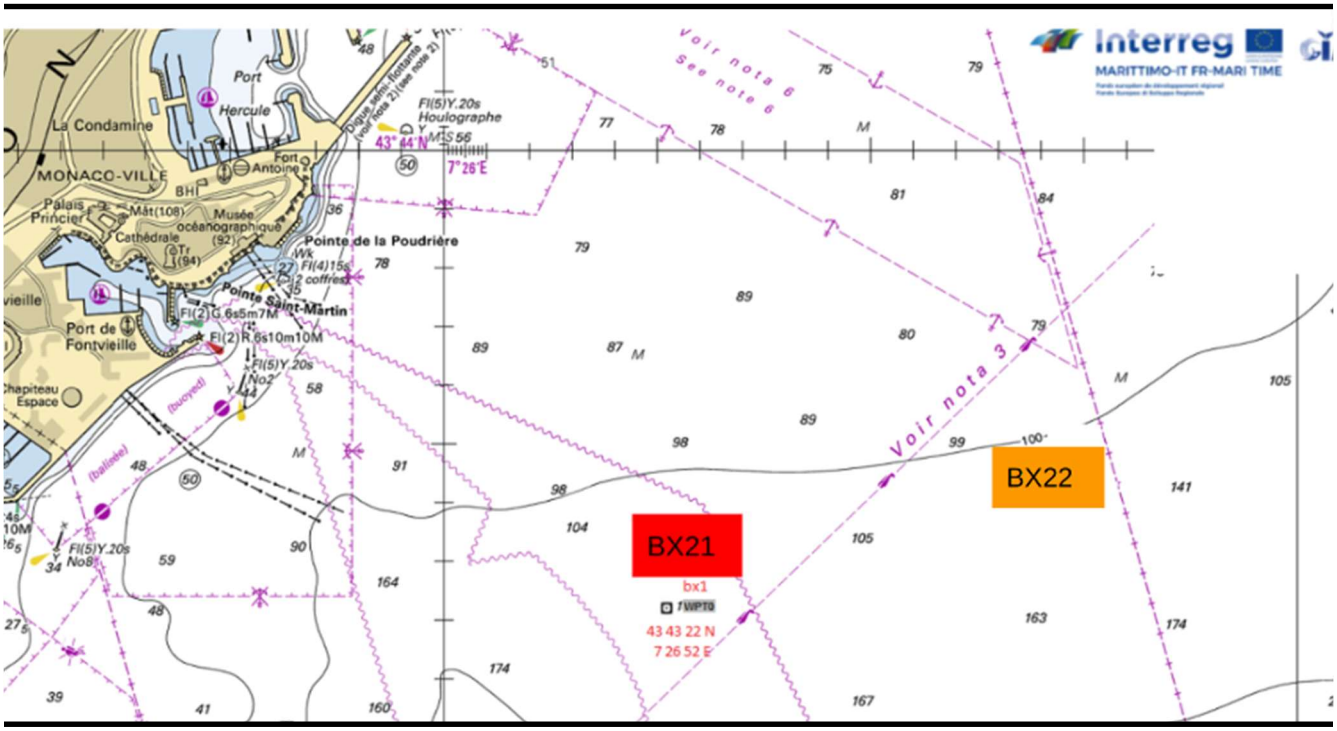


Figure : position des bouées Bombyx2 : le corps mort est posé par -100m,

BX21 en 43°4322N 7°2652E et BX22 ½ mile à l'Est.

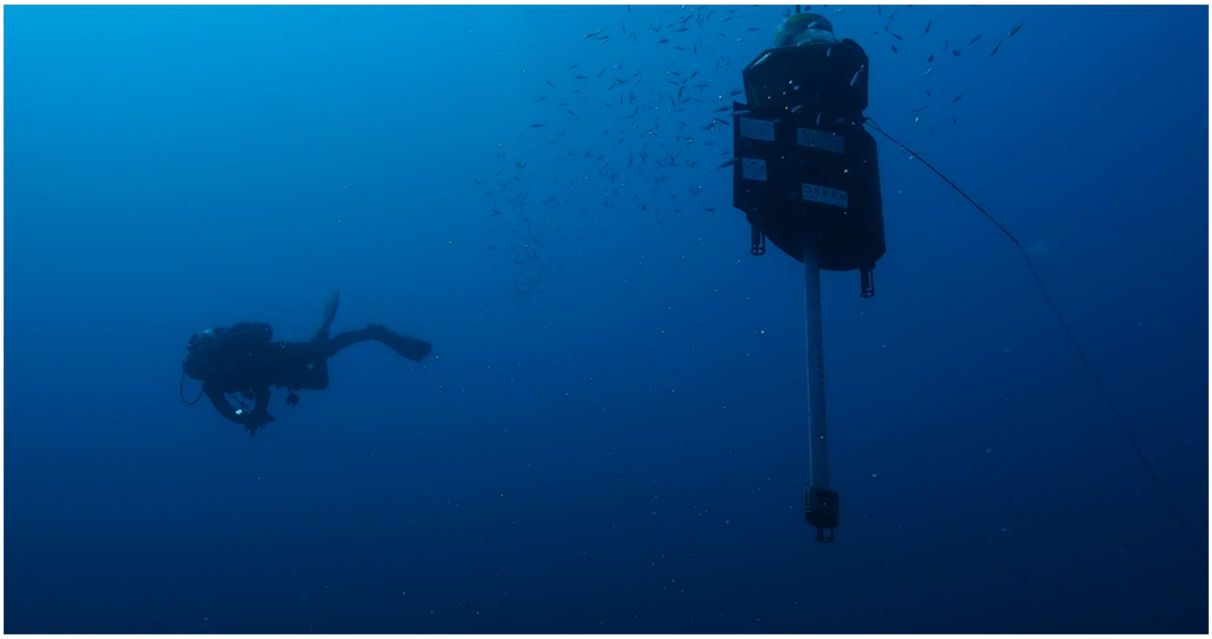


Figure: pose de Bombyx2 par l'équipe de Vincent Gaglio, chef de l'équipe de plongée

Figure: pose de Bombyx2 par l'équipe de Vincent Gaglio, chef de l'équipe de plongée

Figure: pose de Bombyx2 par l'équipe de Vincent Gaglio, chef de l'équipe de plongée