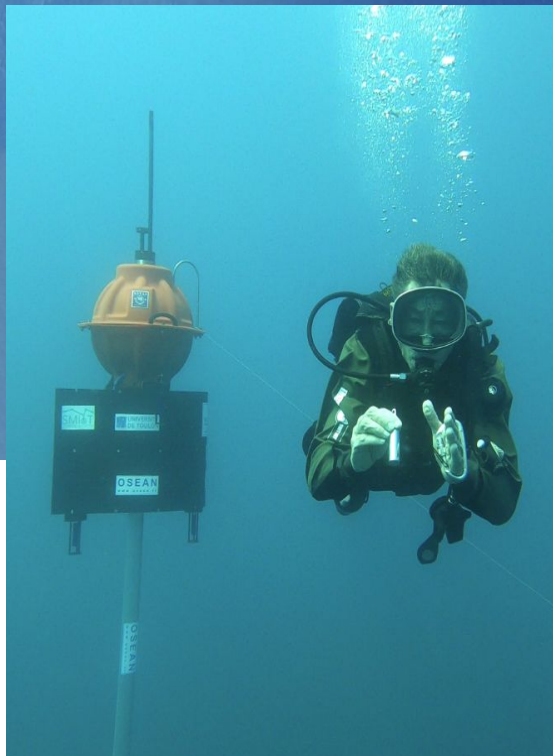


BOMBYX : bouée intelligente pentaphonique anti-collision



Hervé Glotin

glotin@univ-tln.fr

**& Dyni team
UTLN LIS lab
Paul Best,
Maxence Ferrari,
Marion Poupard,
Pierre Mahe...**

Contexte : BOMBYX1 (2015-2018)

Données :

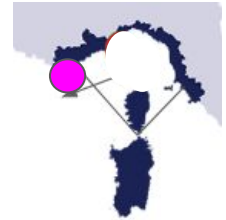
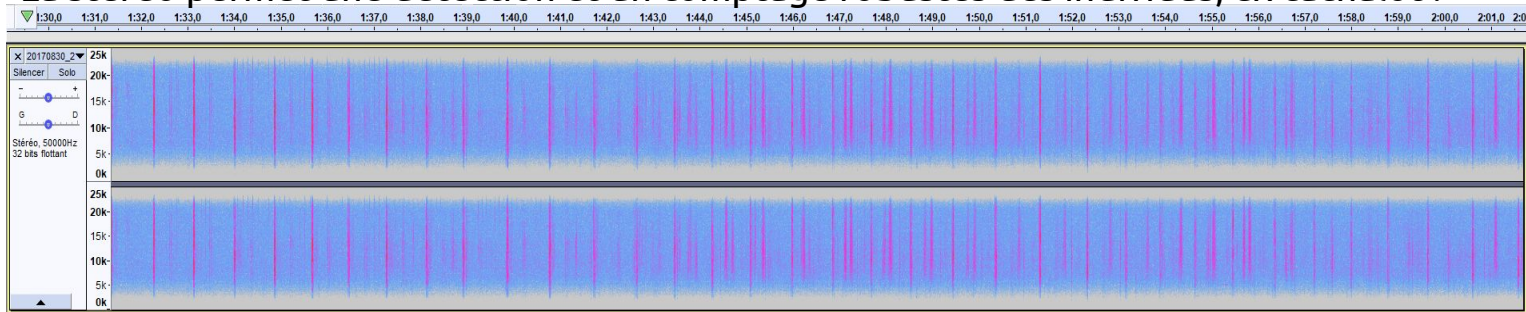
- Enregistrements discontinus de 2015 à 2018
- 2 channels (2 meters wide)
- Échantillonnage : 50kHz
- 25m de profondeur
- Pas d'annotation

Objectifs :

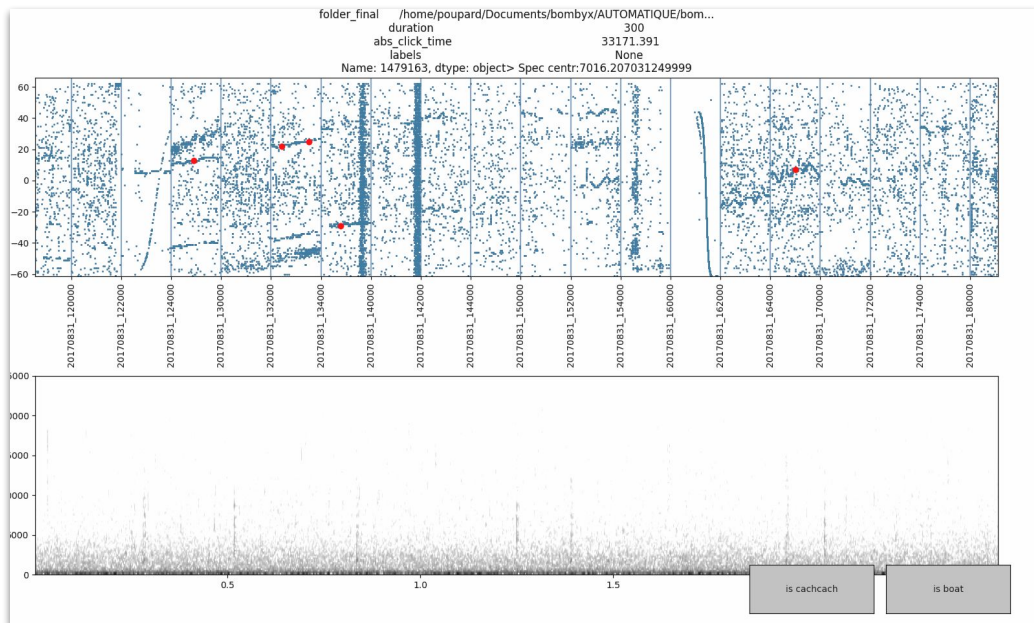
- Détection automatique de cachalots et rorquals



La stéréo permet une détection et un comptage robustes des individus, ex cachalot :



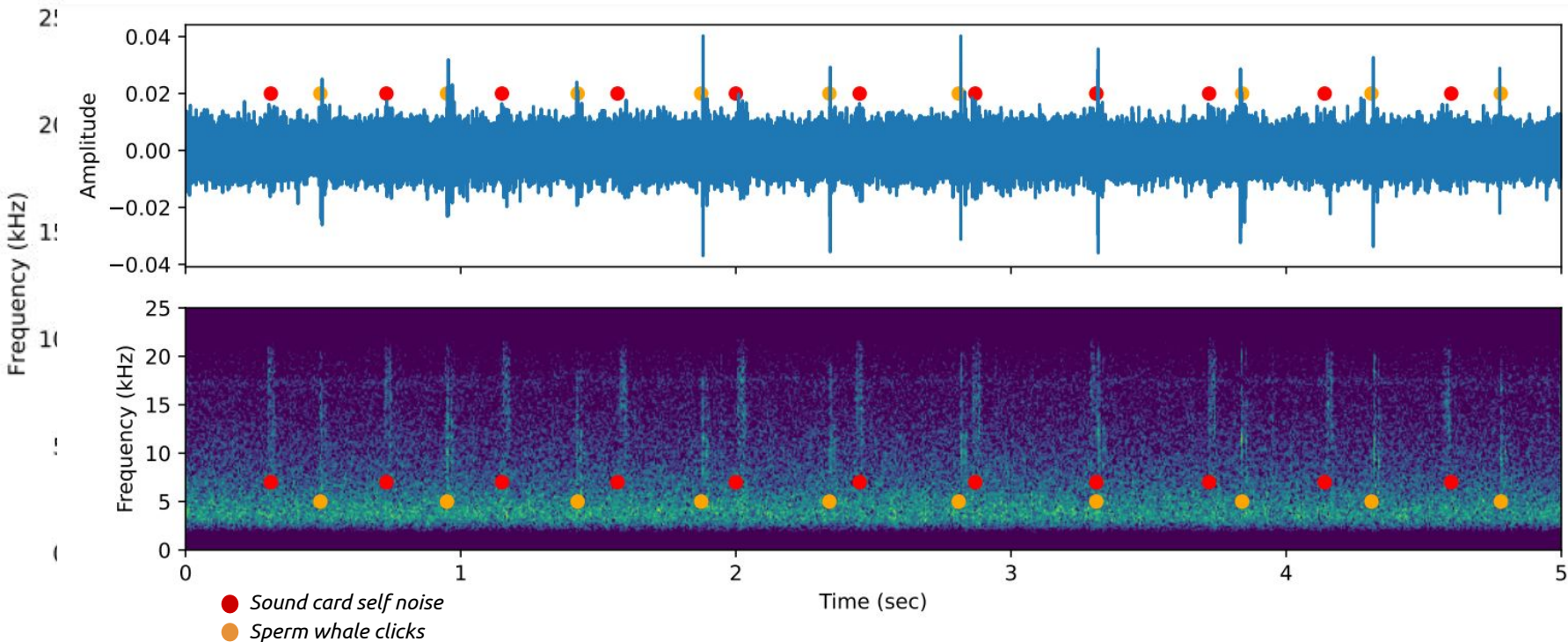
Interface d'annotation de clicks



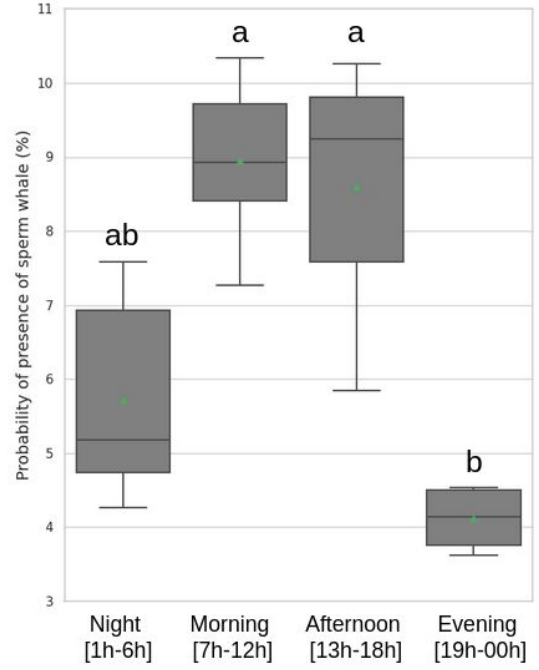
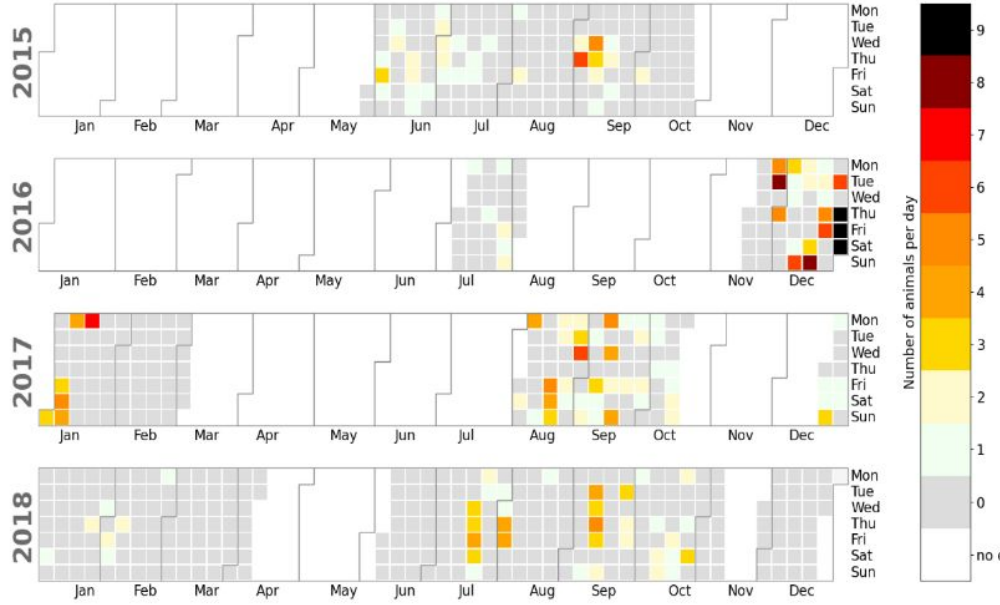
Antenne stéréo Bombyx 1

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

Clicks de cachalots



BOMBYX1 : apprentissage IA détection du cachalot



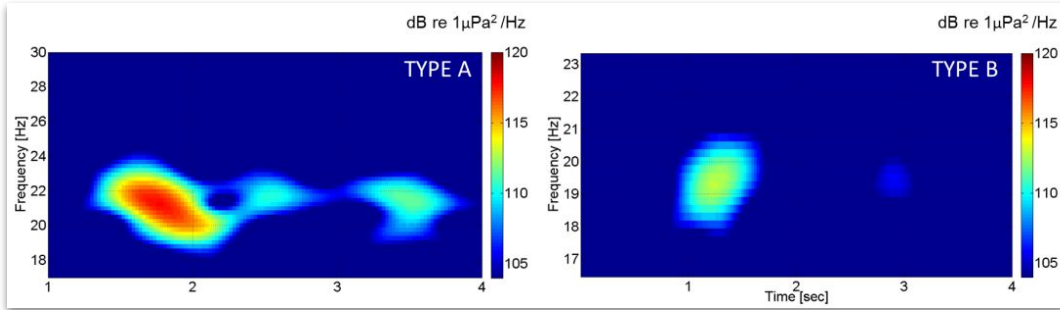
Rayon de
detection
= 30 km

Ed Nature, Scientific
Report, Poupard et al
2021

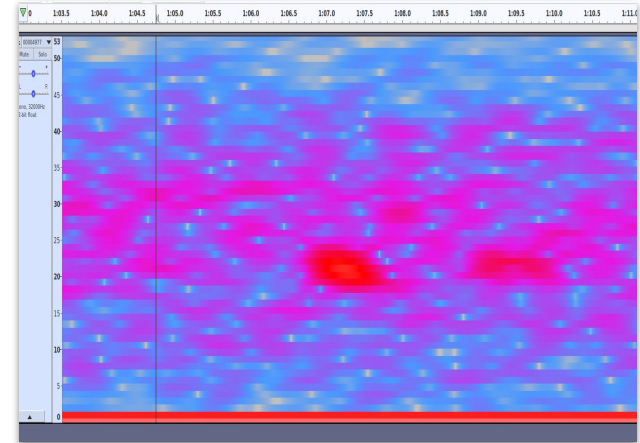
A gauche : Nombre de cachalots détectés par jour pendant les 4 années d'enregistrements (zone blanche : pas d'enregistrement). A droite : Moyenne de la probabilité de présence pour chaque période de la journée.

env: 13 jours positifs à la présence de cachalots en été 2018.

BOMBYX1 : apprentissage IA détection du rorqual



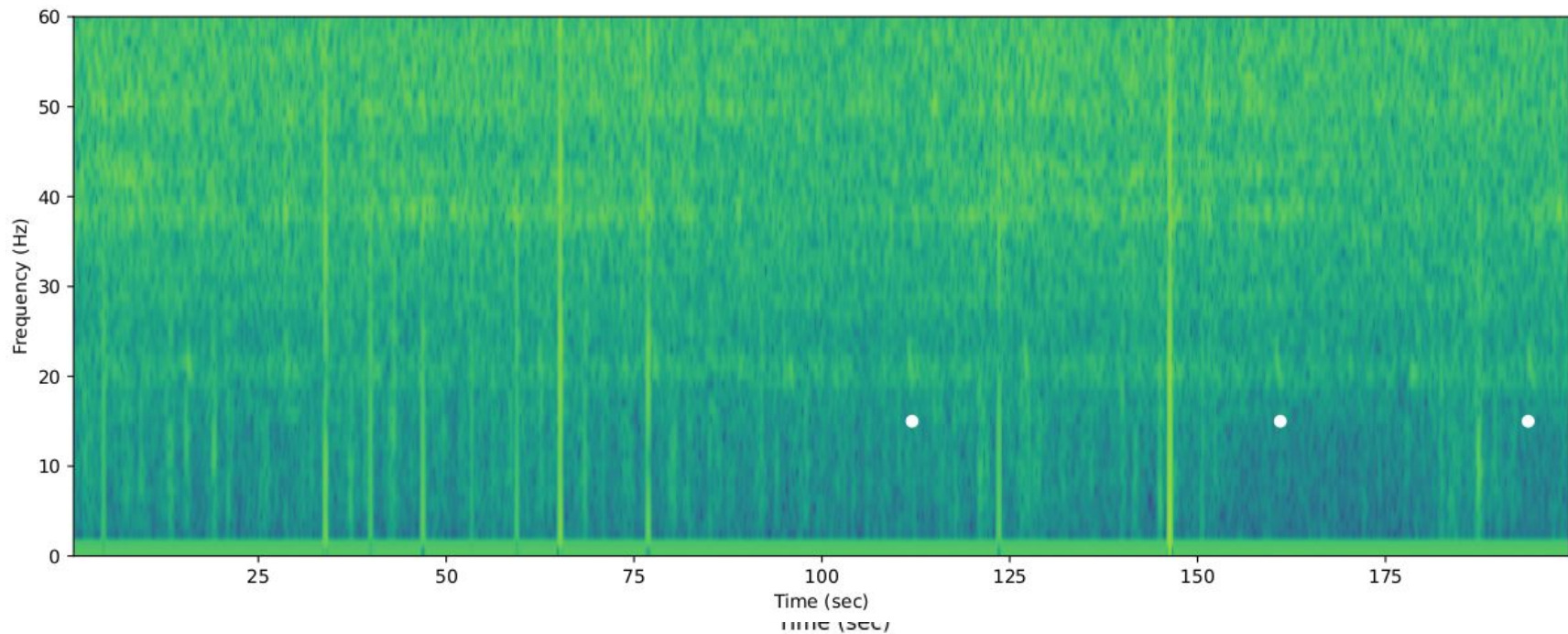
*Surveillance de la présence acoustique des rorquals communs (*Balaenoptera physalus*) au moyen d'un hydrophone sismique basse fréquence en mer Ionienne occidentale - site EMSO. Gianni Pavan*



- Fréquence centroïde basse
- Bande passante : 5-7 Hz
- Durée : 1 sec
- Période : 15-40 sec

Sample from sonobuoy Boussole 2009 dataset

Pulses 20Hz de roqual

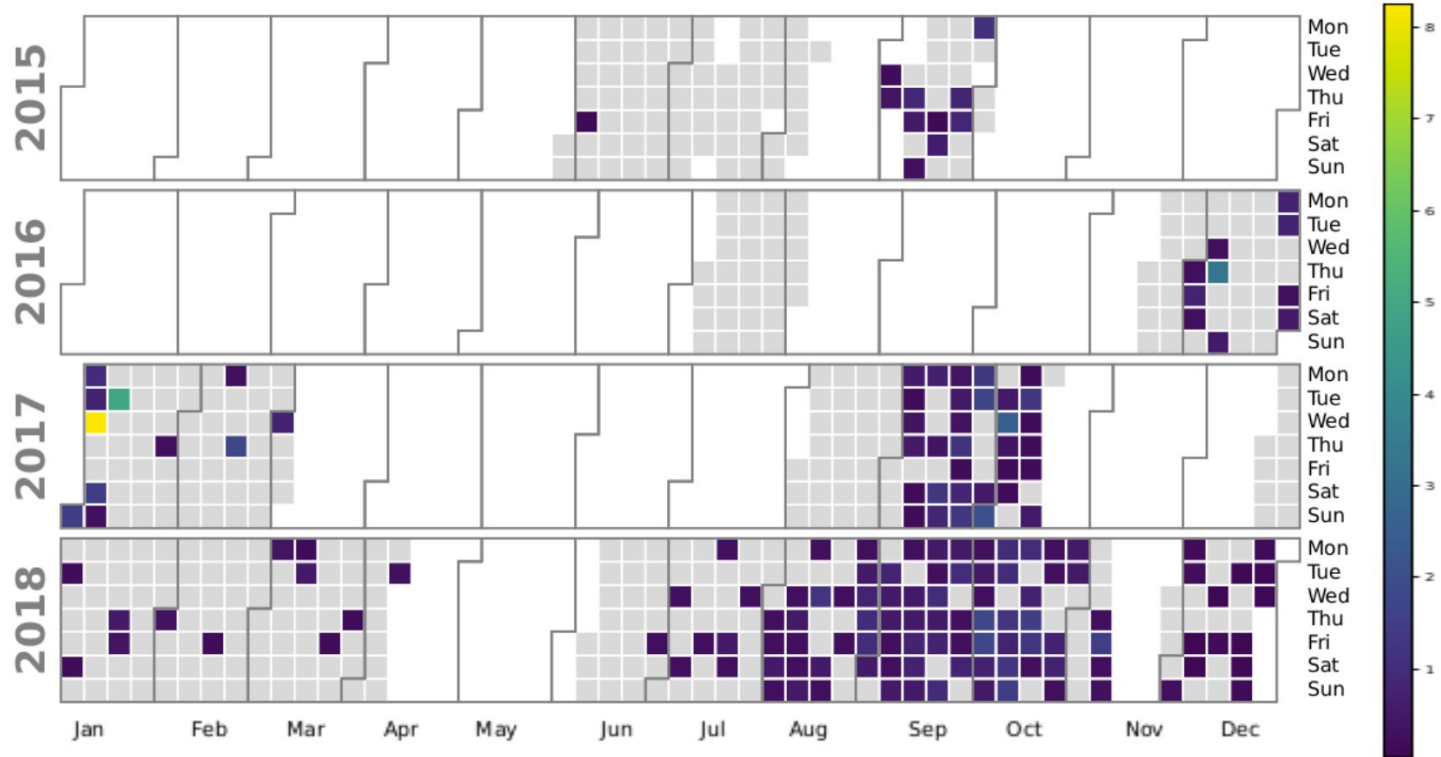


BOMBYX1 : apprentissage détection du rorqual

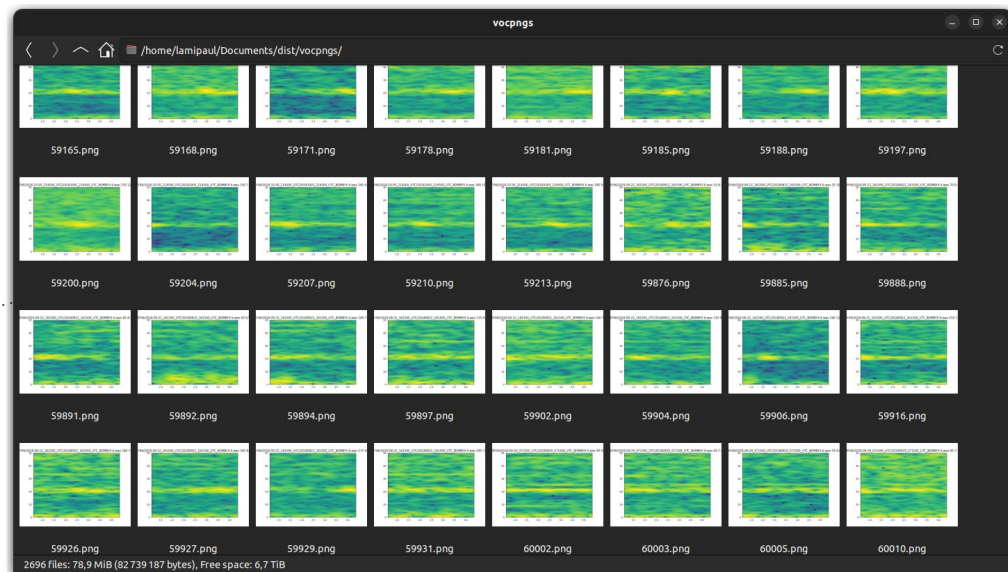
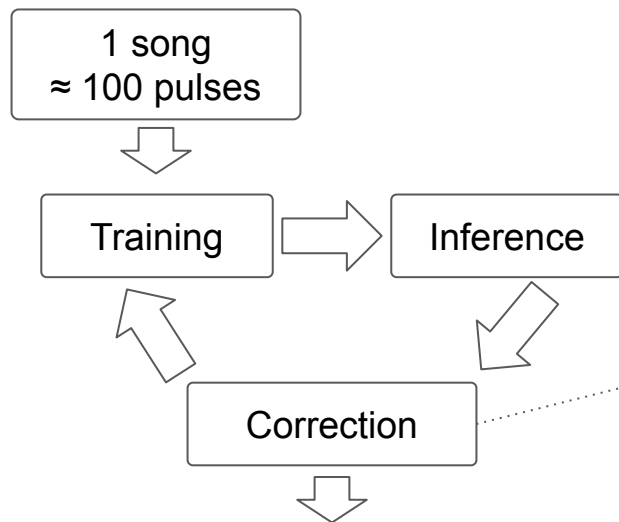
Environ 12 passages sur 1 mois d'été

Rayon de détection

> 30 km

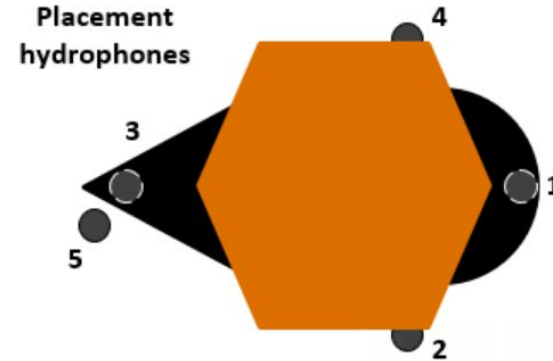
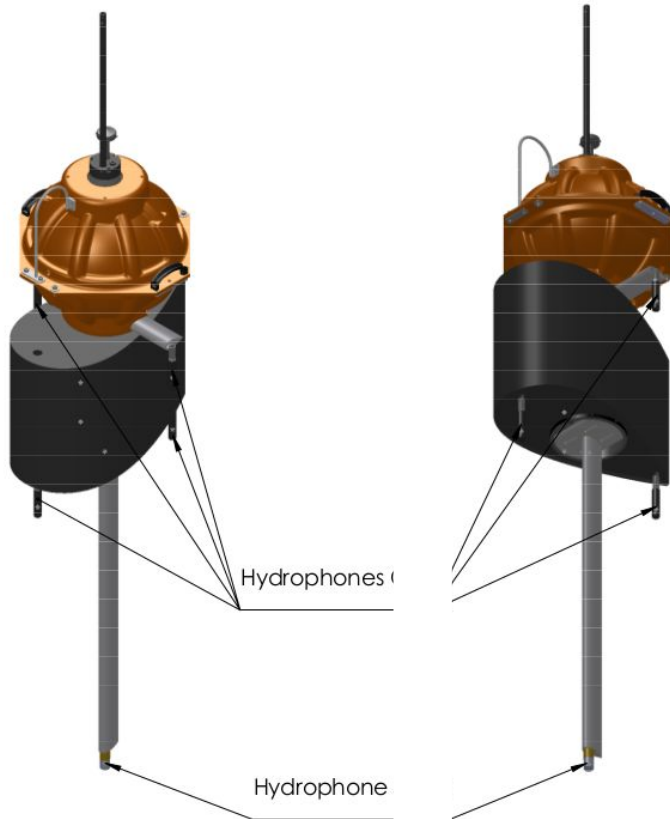


Annotation itérative des pulses de rorqual

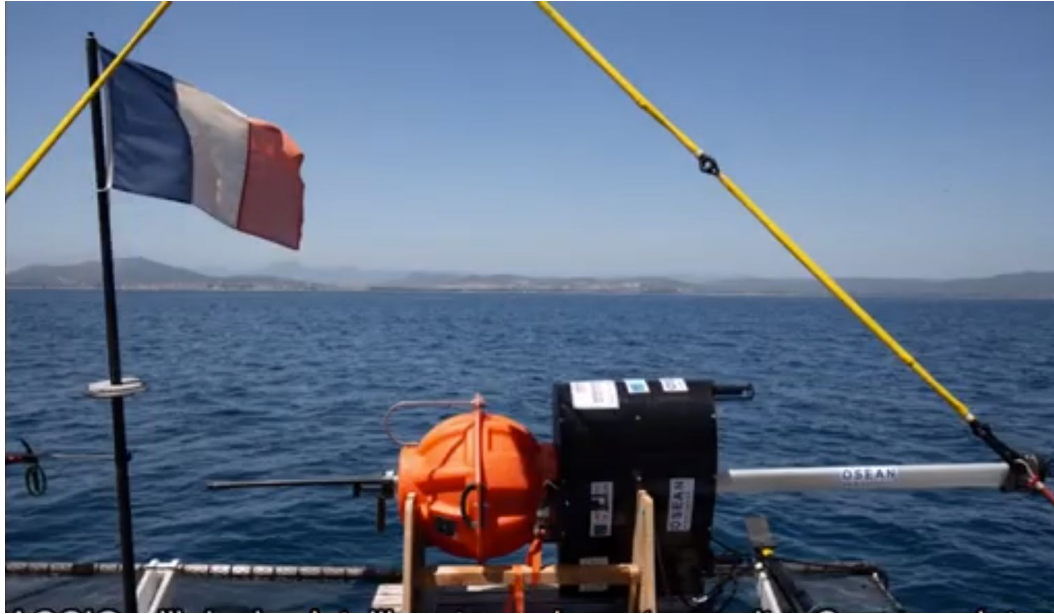


Data Source	Positives	Negatives	Total
1999	15%	85%	688
2008-2009	9%	91%	4,528
2015-2018	49%	51%	574
Total	14%	86%	5,790

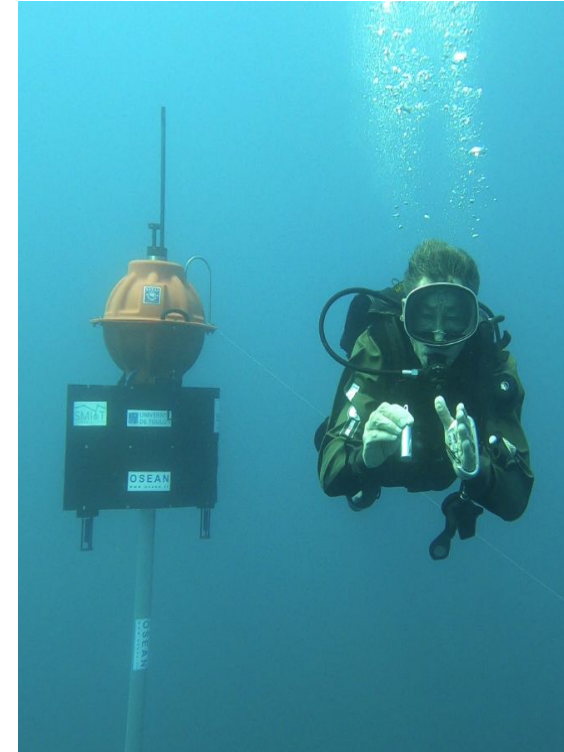
BOMBYX2 : nouvelle bouée avec capacité de calcul IA et d'alerte



Première installation de BOMBYX2 : mai 2021

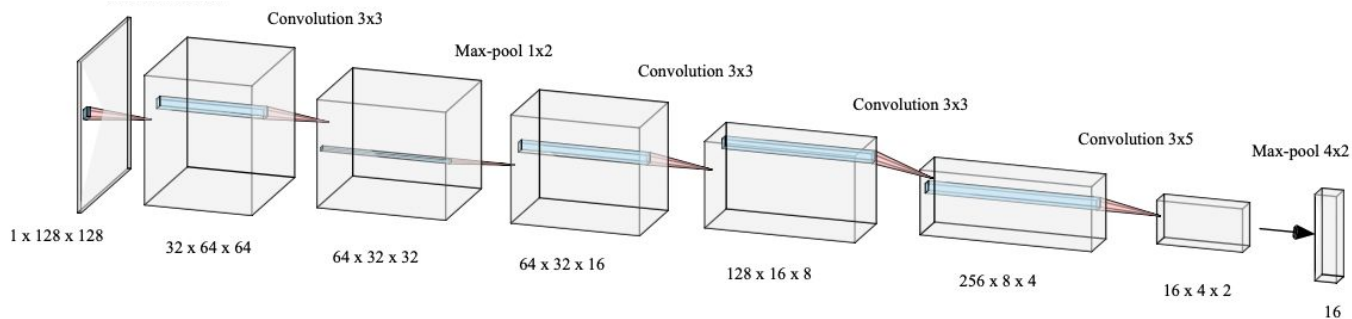
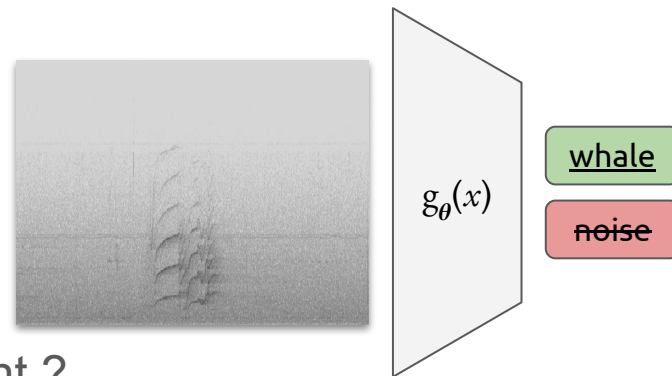


5 hydrophones d'écoute "intelligente"



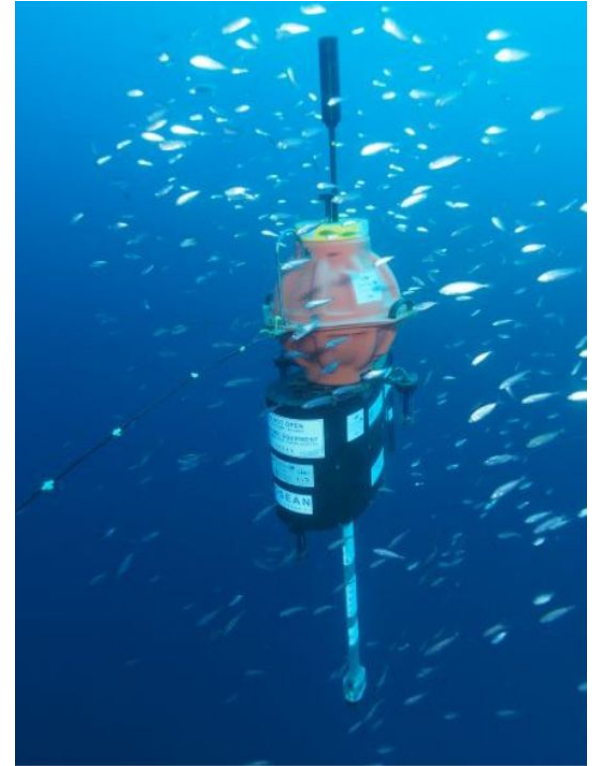
Détection EMBARQUEE dans PIC de la carte son par réseaux profonds de neurones

- Robustesse aux perturbations variées
- Apprentissage automatique par l'exemple
- Comment rassembler les données d'entraînement ?
- Comment réduire le coût énergétique ?



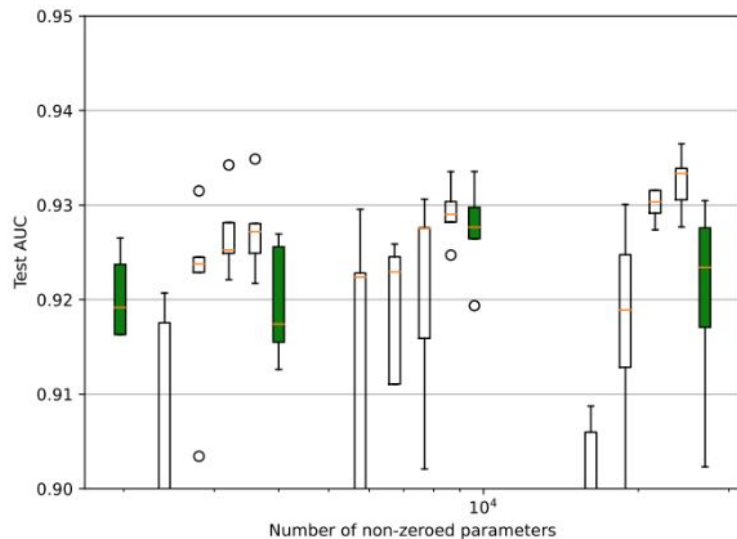
Session d'écoute simple été 2022

- Ajout de signaux positifs
 - 3 passages de cachalot
 - 8 passages de rorqual
- Augmentation des données (positive et négative)
 - Ajout du bruit de fond à RSB variable
 - -> augmentation de la robustesse au bruit "local"

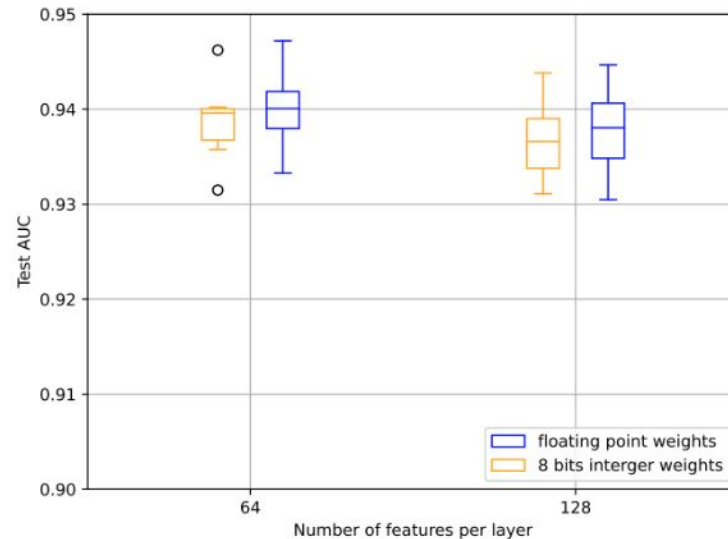


Réduction de la complexité

Weight pruning

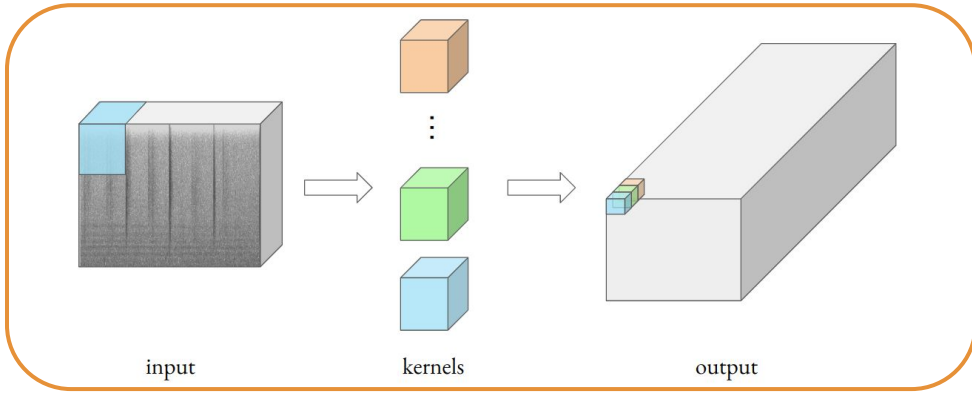


Weight quantisation

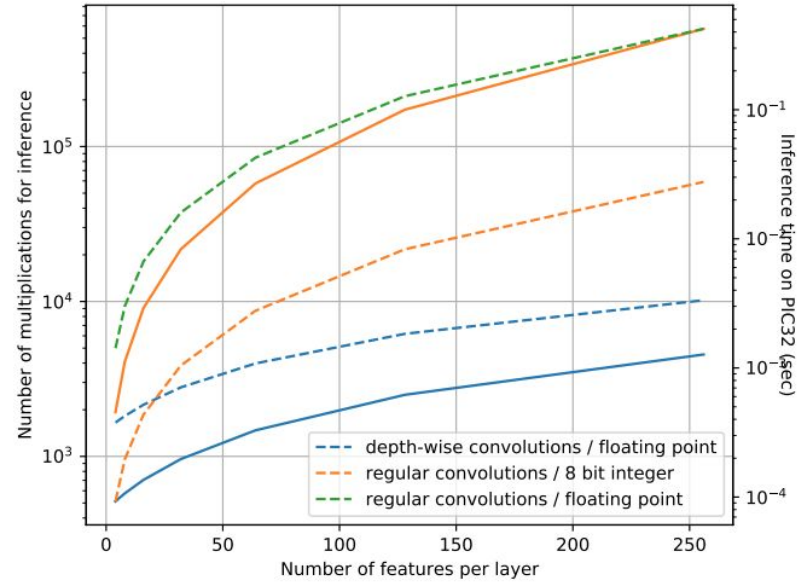
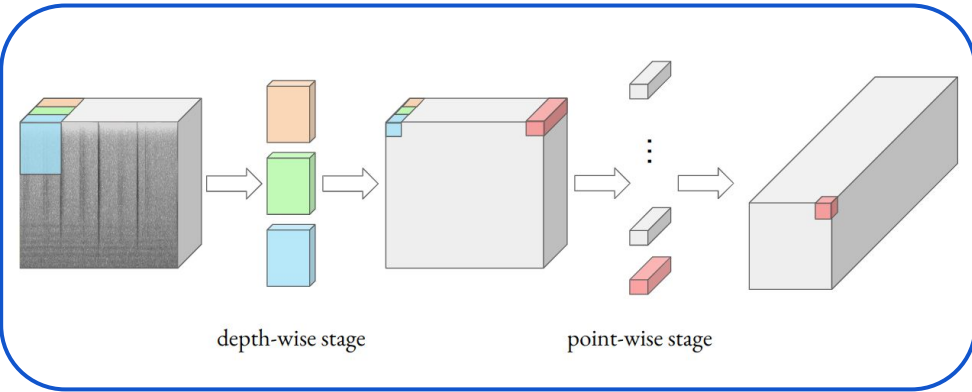


Depthwise separable convolutions

Regular conv.

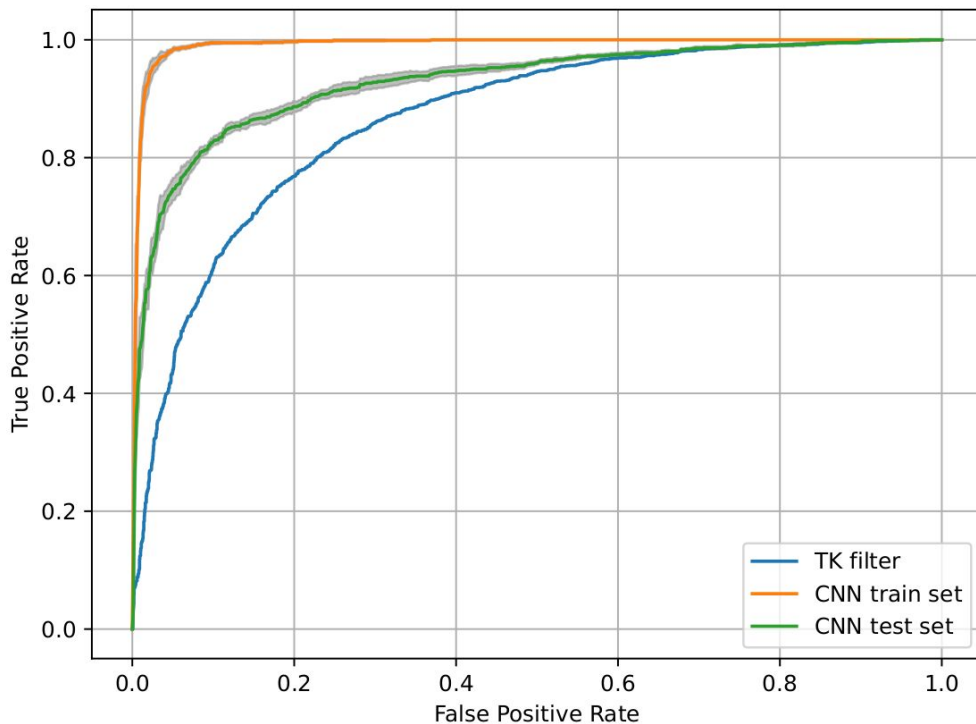


Depthwise conv.



Performances de détection de clicks de cachalots

Receiving Operating Characteristics (ROC)



Area Under the ROC Curve (AUC-ROC):

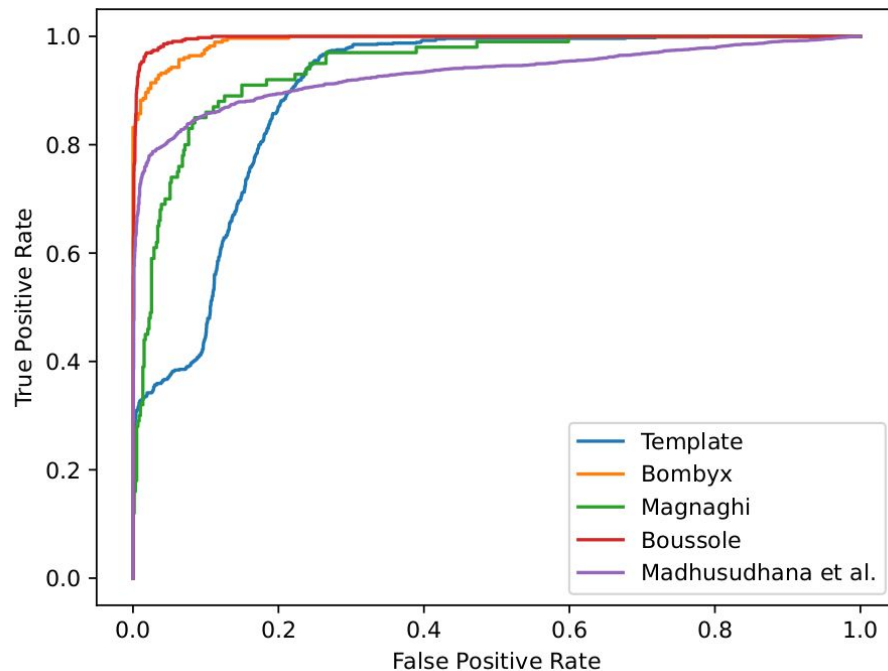
- Teager-Kaiser energy operator: 0.86
- Mel STFT + depthwise CNN: **0.93**

Performances de détection de pulses de rorqual

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

Test set AUC-ROC

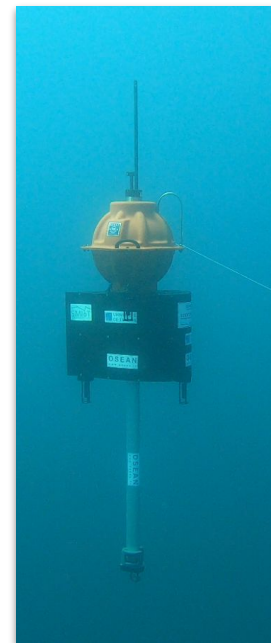
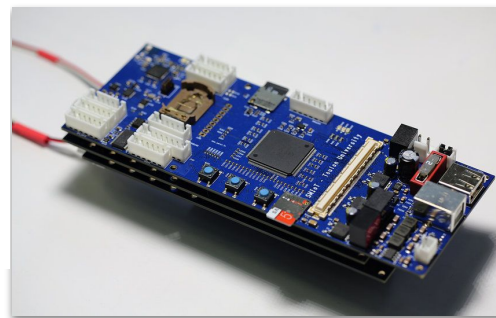
1999	0.94
2008-2009	1
2015-2018	0.99
<i>Madhusudhana et al. 2021</i>	0.93



Déploiement sur le micro-contrôleur

- PIC32-MZ : microcontrôleur basse consommation
- Portage de l'inférence en langage 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



Intelligence artificielle embarquée

Low power micro-processor (PIC) dans BOMBYX2

Analyse pour 5 secondes de signal

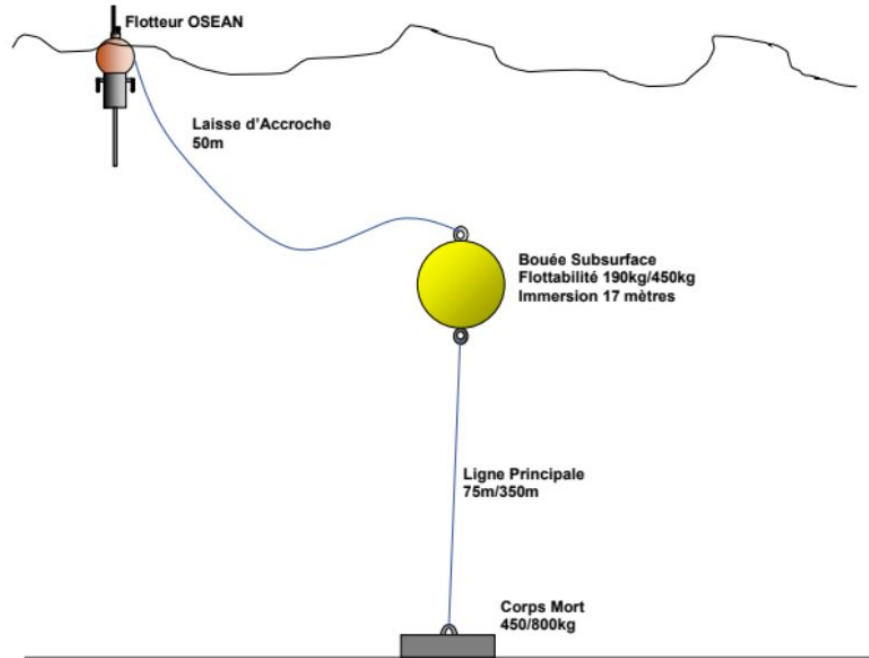
	Fin Whale	Sperm Whale
Sampling rate	200 Hz	50 kHz
Spectrogram size	128 x 46	64 x 974
Spectrogram computation time	0.2 sec	4.5 sec
Forward pass time	0.5 sec	2.1 sec



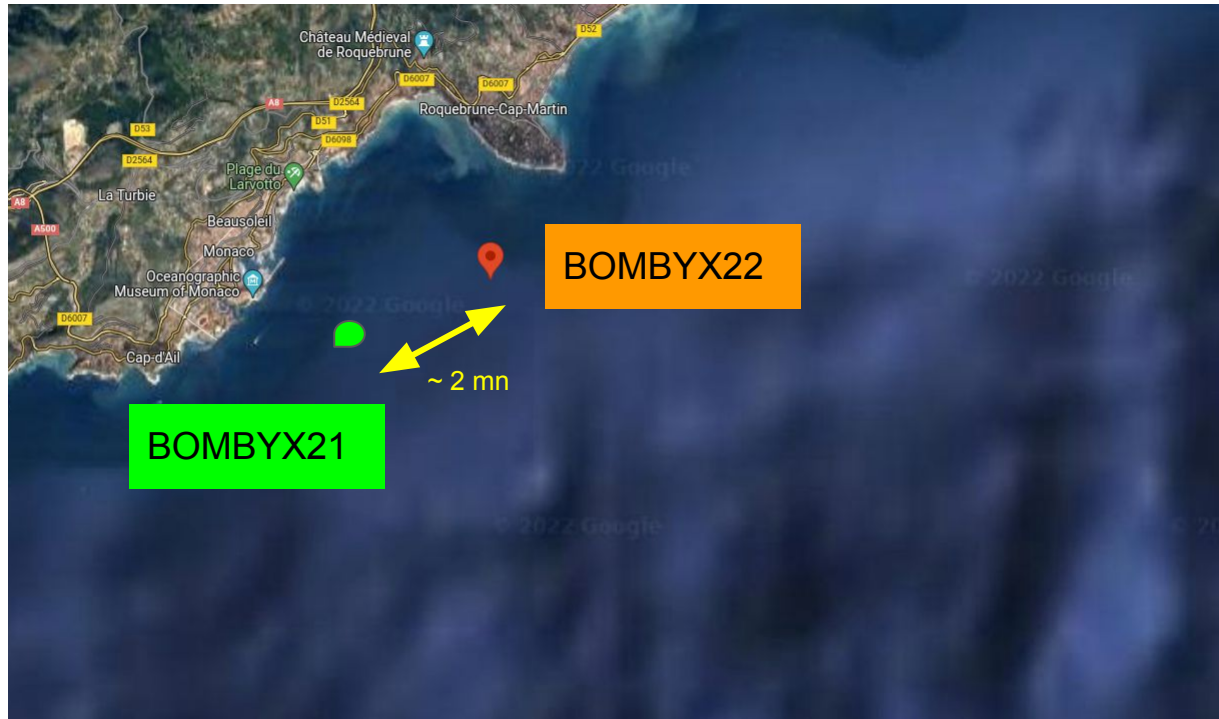
PIC 32MZ by Microchip

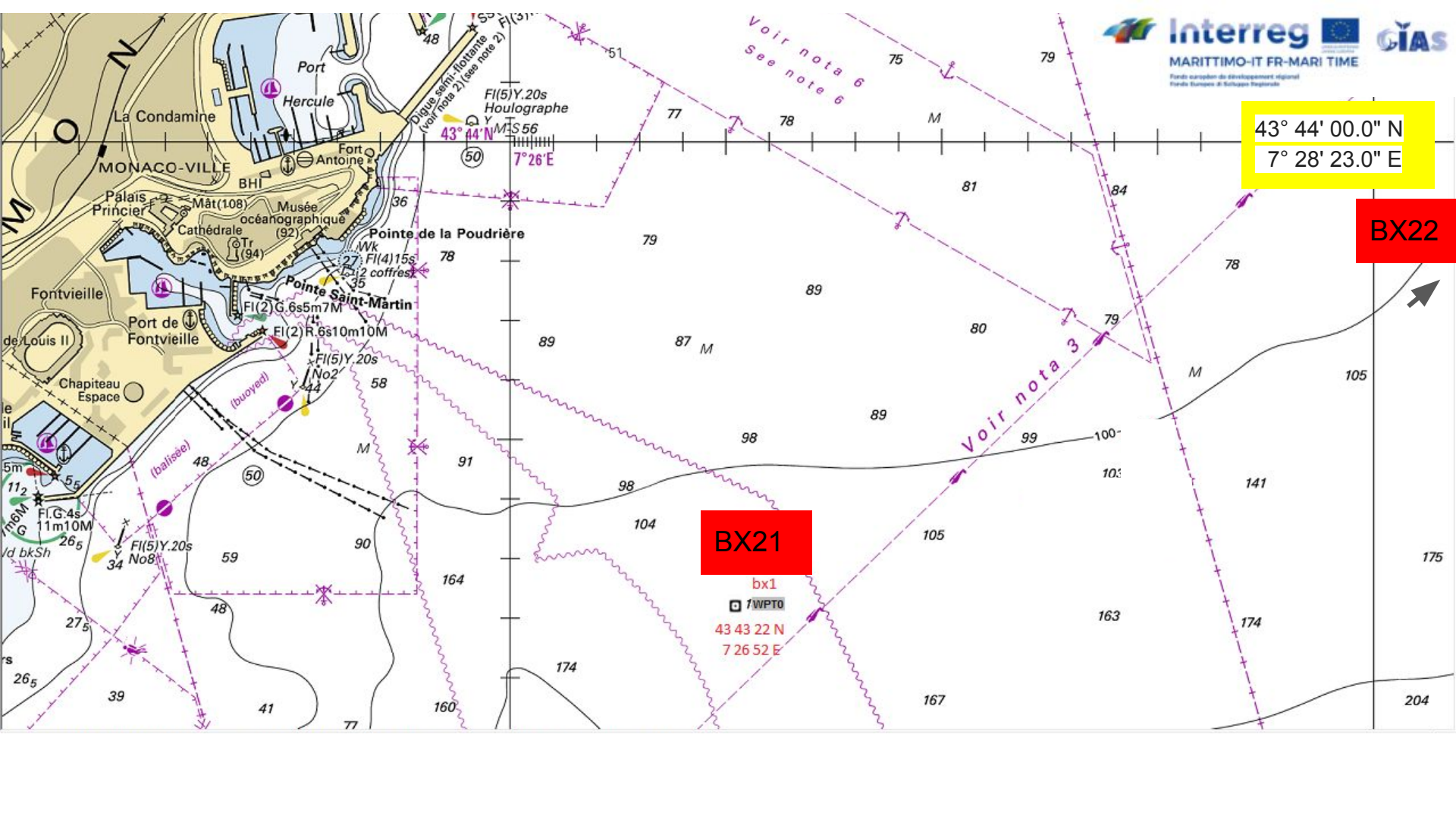
Description du système

- Système de variation de flottabilité
 - enregistrement à -20m
 - communications 4G en surface
- Détection acoustique embarquée
 - clicks de cachalot
 - pulse 20Hz de rorqual commun
- 5 hydrophones
 - estimation de l'Azimuth et de la distance
- Alimenté en batterie (approx. 6 mois)
- Microcontrôleur basse consommation



Positions de BOMBYX2.1 et 2.2





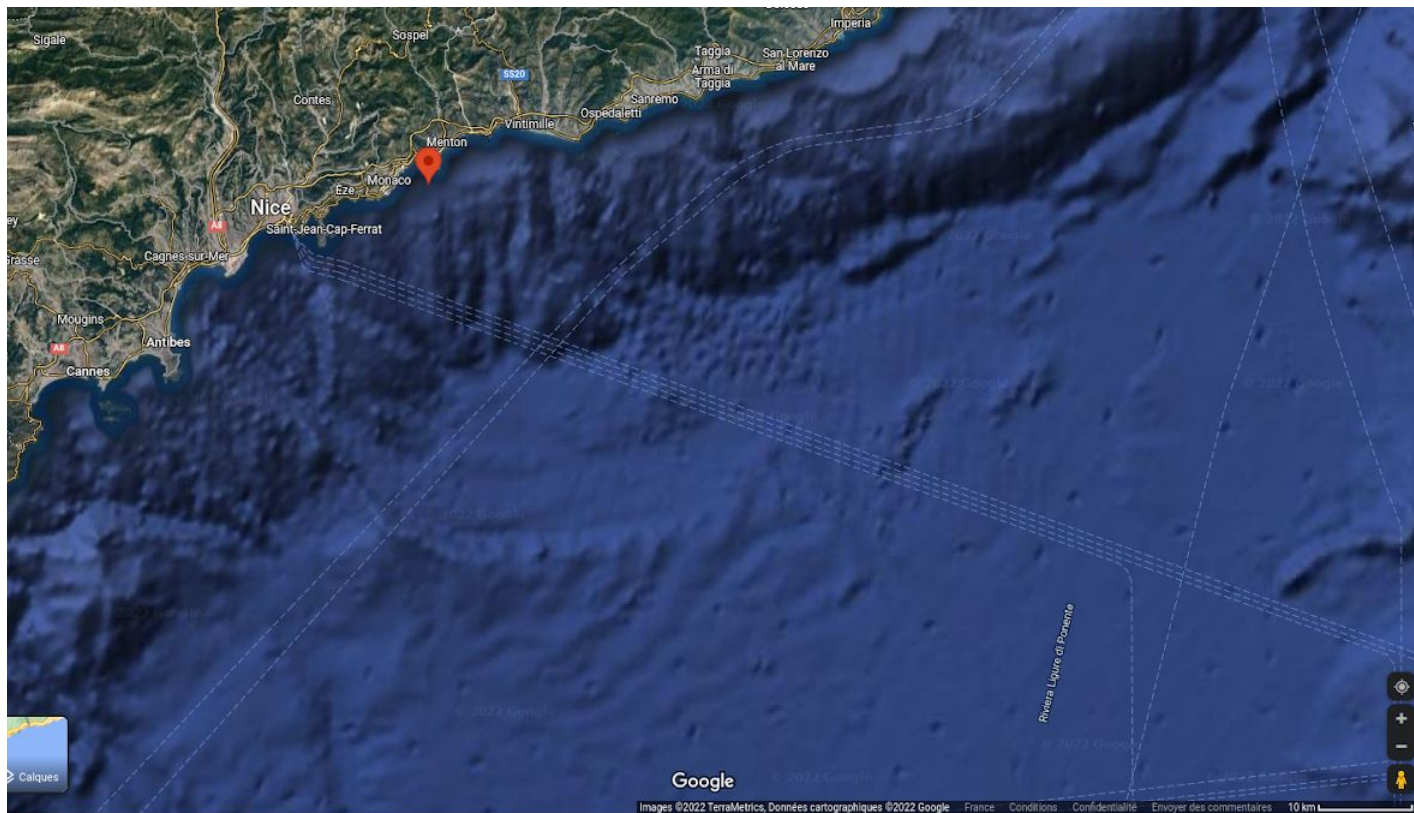
43° 44' 00.0" N
7° 28' 23.0" E

BX22

BX21

bx1
1/WPT0
43 43 22 N
7 26 52 E

Position de la bouée

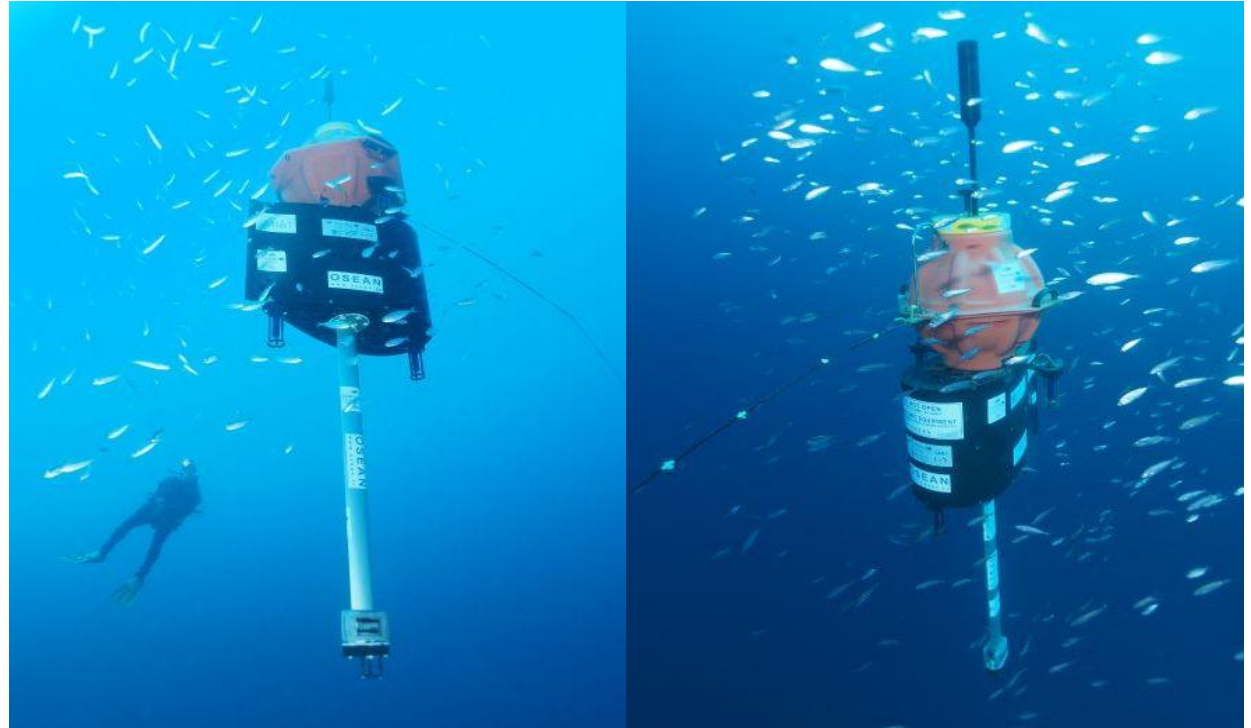


Installation de BOMBYX2

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

Monaco proche Cap Martin
Juillet / Août 2022

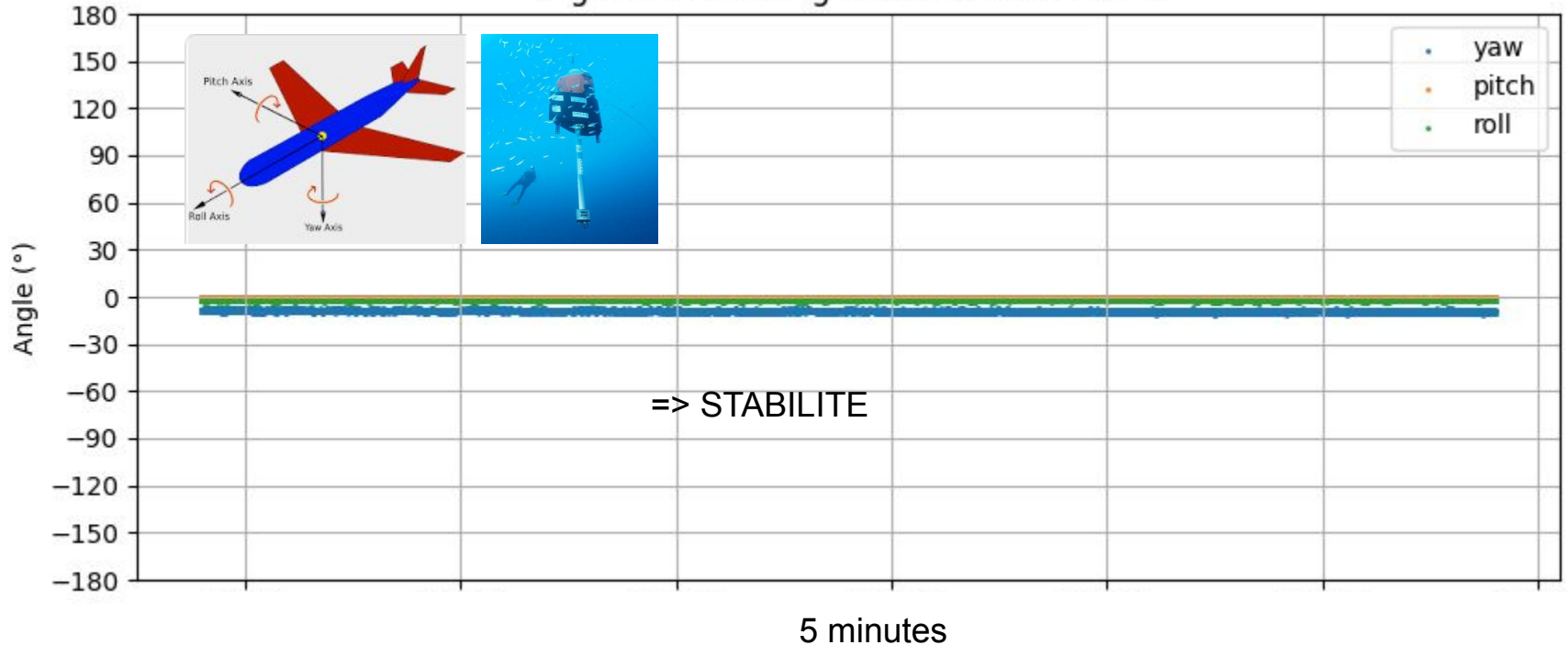
Total:
26 jours de run
52 heures d'enregistrements
451 Go
5 voies



Installation de BOMBYX2 à Cap Martin

Assiette de BOMBYX2 très stable :

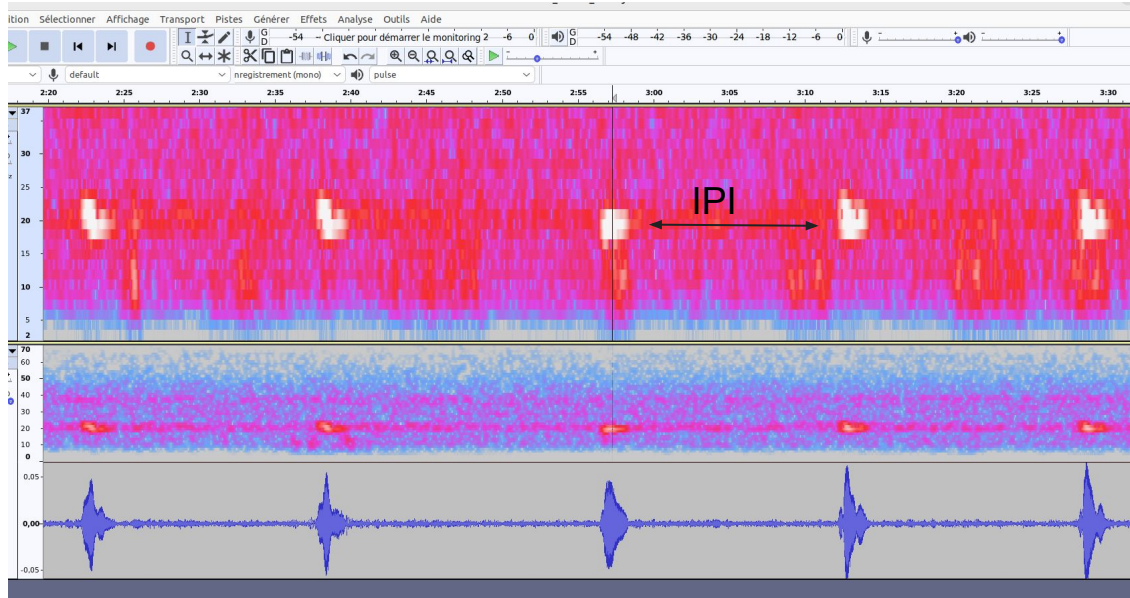
Angles without Magnetometer Calibration



Détection de pulse de Rorqual



- Exemple d'un pulse de rorqual de BOMBYX1 :



IPI= Interpulse Interval

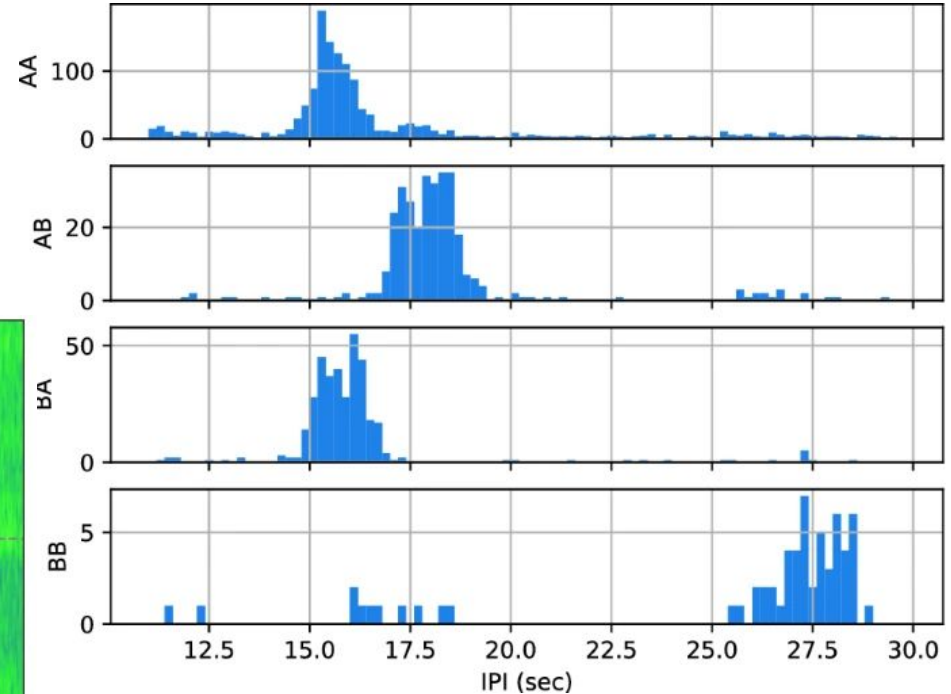
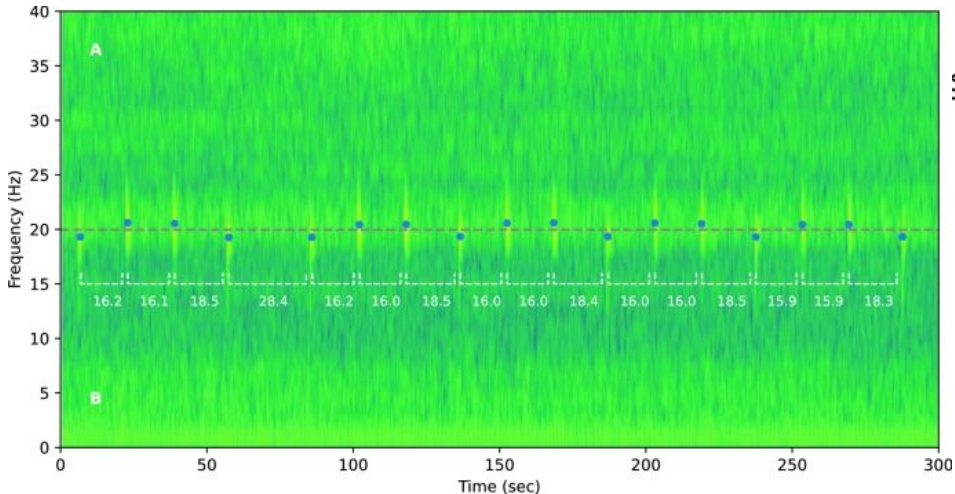
=> Utilisation du modèle de BOMBYX1 pour la détection par BOMBYX2

Détection de pulse de Rorqual



Une fois de modèle mis en place:

- Recherche de pulses (vrais positifs) dans les détections du modèle grâce à l'IPI (InterPulse Interval)
- Beaucoup de "faux positifs"
- Bruits de bateaux à ces fréquences



Détection de pulse de Rorqual



- Définir une sélection des “vrais positifs” pour les pulses de rorqual:

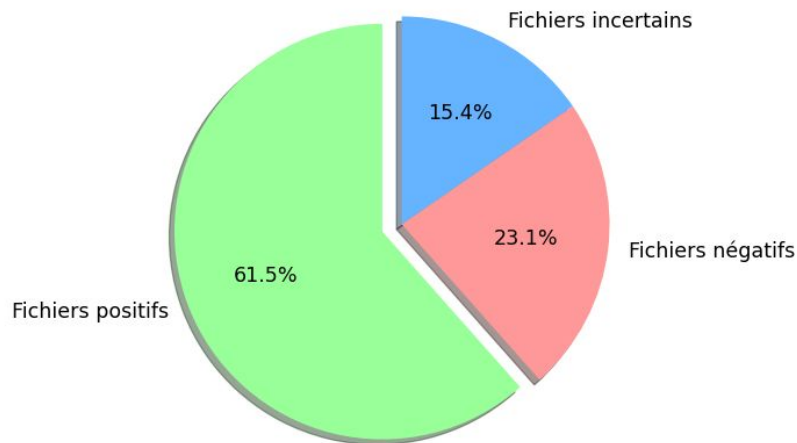
Max Pool sur 3 secondes du signal

Sélection des fichiers avec plus de 10 segments de 3 secondes avec une prédiction > 0.5

Première vérification :

61% de cette sélection = vrais positifs

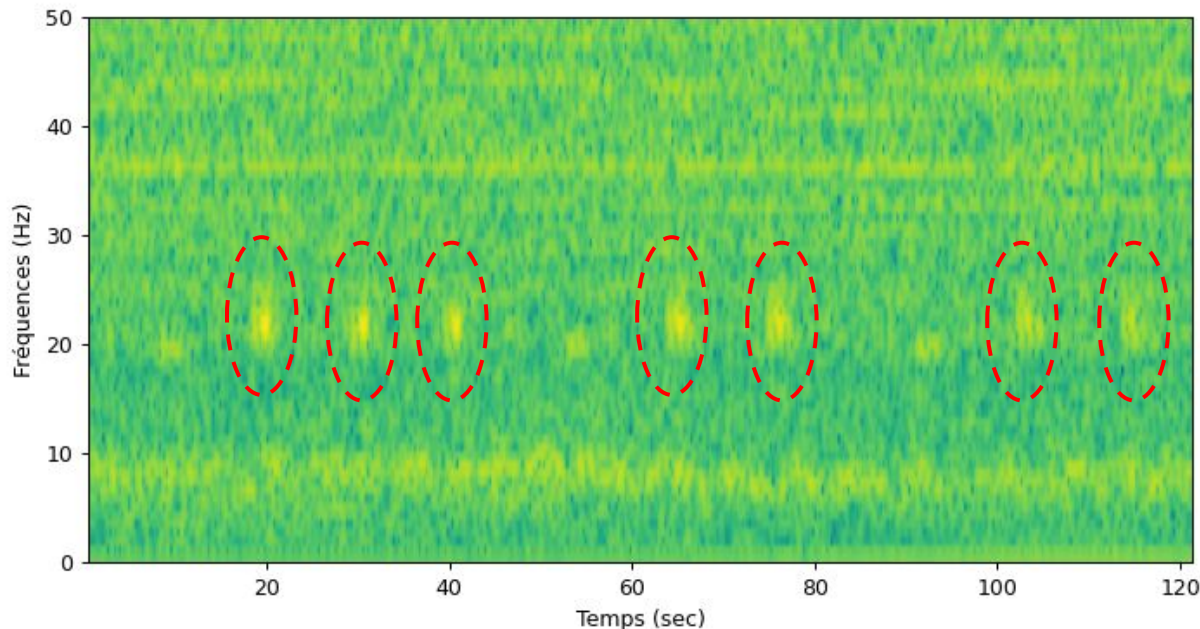
→ Remontée de la bouée



Détection de pulse de Rorqual



Exemple de vrais positifs sur BOMBYX2 :



Total: 8 alertes rorquals
en 26 jours
(moyenne ~ 1 alerte tous
les 3 jours)

	date	proba
	2022-07-29 04:09:19	1
	2022-08-06 21:09:36	1
	2022-08-06 22:09:37	1
	2022-08-07 06:09:37	1
	2022-08-12 13:09:44	1
	2022-08-13 22:09:47	1
	2022-08-20 21:09:48	1
	2022-08-23 05:09:46	1

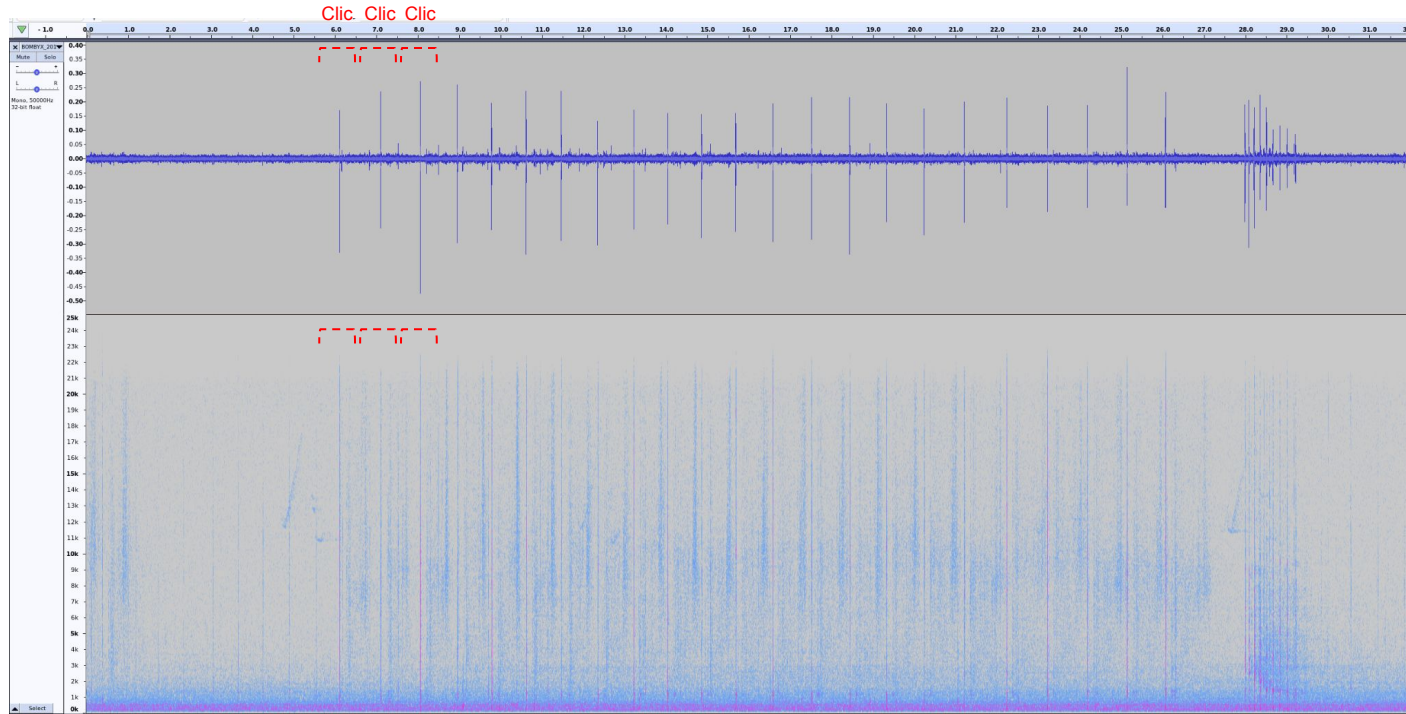
Prochainement: Ré entraînement du modèle avec les détections de Bombyx 2

Détection de clics de cachalot



Comment valider un clic ? Observation d'un train de cachalot (ICI)

20220728_000918UTC



Rapport de détection



Format des rapports envoyés

- Date et Heure
- Probabilité de présence P

date	sec	P(cachalot)
20220728_000918UTC_V12.wav	160	0.3529639
20220728_000918UTC_V12.wav	165	0.017730286
20220728_000918UTC_V12.wav	170	0.343511
20220728_000918UTC_V12.wav	175	0.03539723
20220728_000918UTC_V12.wav	180	0.08584233
20220728_000918UTC_V12.wav	185	0.917102
20220728_000918UTC_V12.wav	190	0.07624311
20220728_000918UTC_V12.wav	195	0.9999893
20220728_000918UTC_V12.wav	200	0.99990165
20220728_000918UTC_V12.wav	205	0.9406052
20220728_000918UTC_V12.wav	210	0.9485358
20220728_000918UTC_V12.wav	215	0.5486088
20220728_000918UTC_V12.wav	220	0.9581965
20220728_000918UTC_V12.wav	225	0.054285493
20220728_000918UTC_V12.wav	230	0.15936567
20220728_000918UTC_V12.wav	235	0.6549609
20220728_000918UTC_V12.wav	240	0.07359292
20220728_000918UTC_V12.wav	245	0.08724517

20220728_000918UTC_V12.wav	215	0.5486088
20220728_000918UTC_V12.wav	220	0.9581965
20220728_000918UTC_V12.wav	225	0.054285493

Compilation des rapports

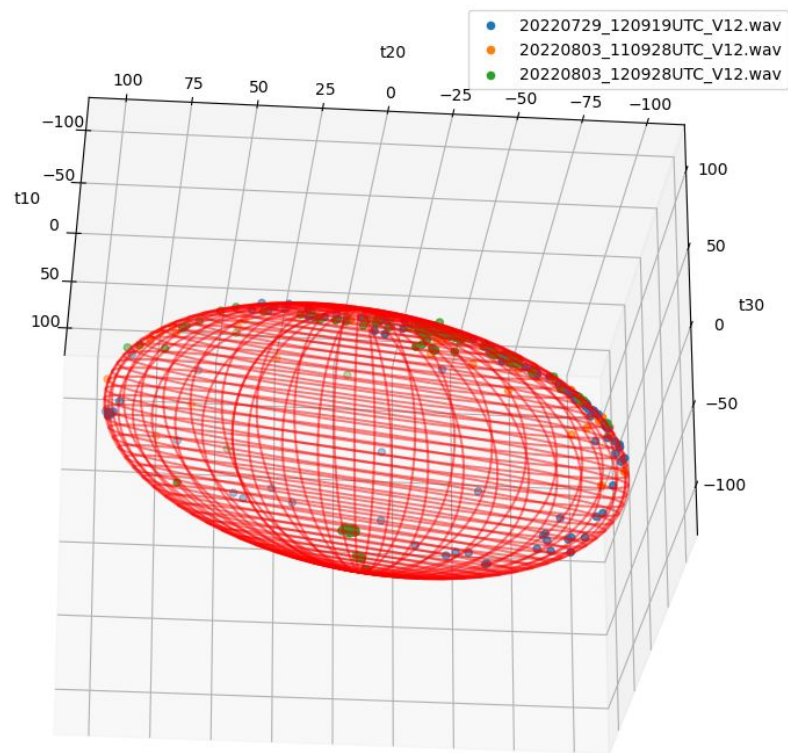
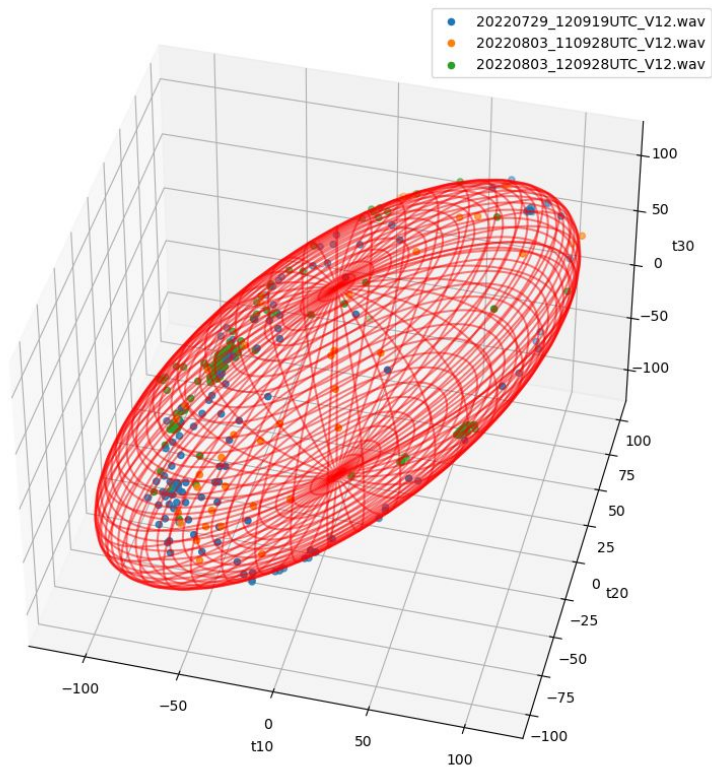
- Situation réelle depuis le 17 novembre 2022
- Remontée par 4G des détections
- Séquence de prédiction complète
- Extraits acoustiques multi-voie

-> Validation par expert

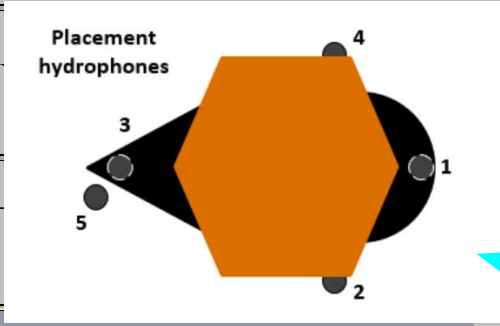
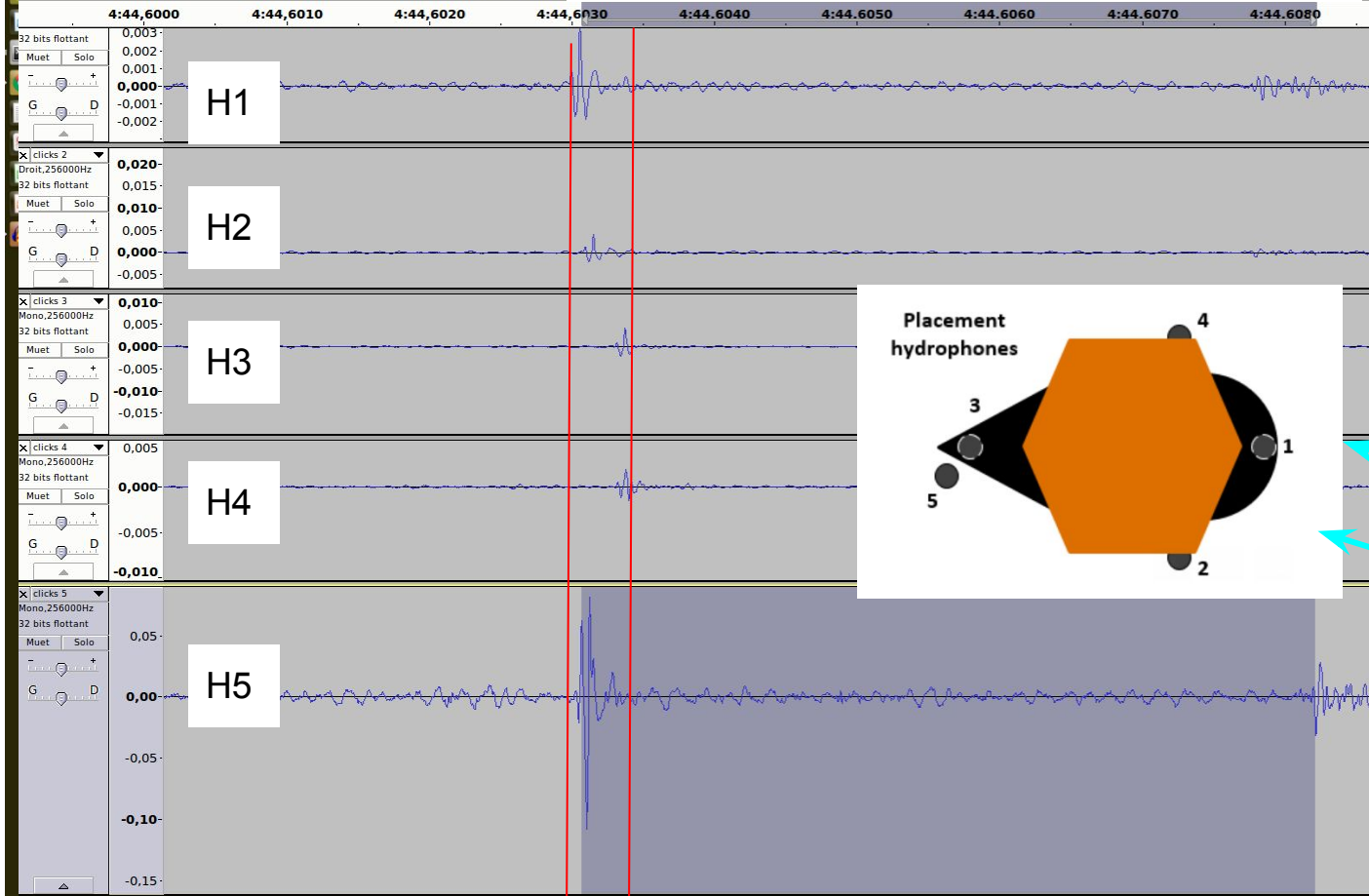
-> Triangulation



Localisation



exemple de MESURE TDoA de CACHALOT



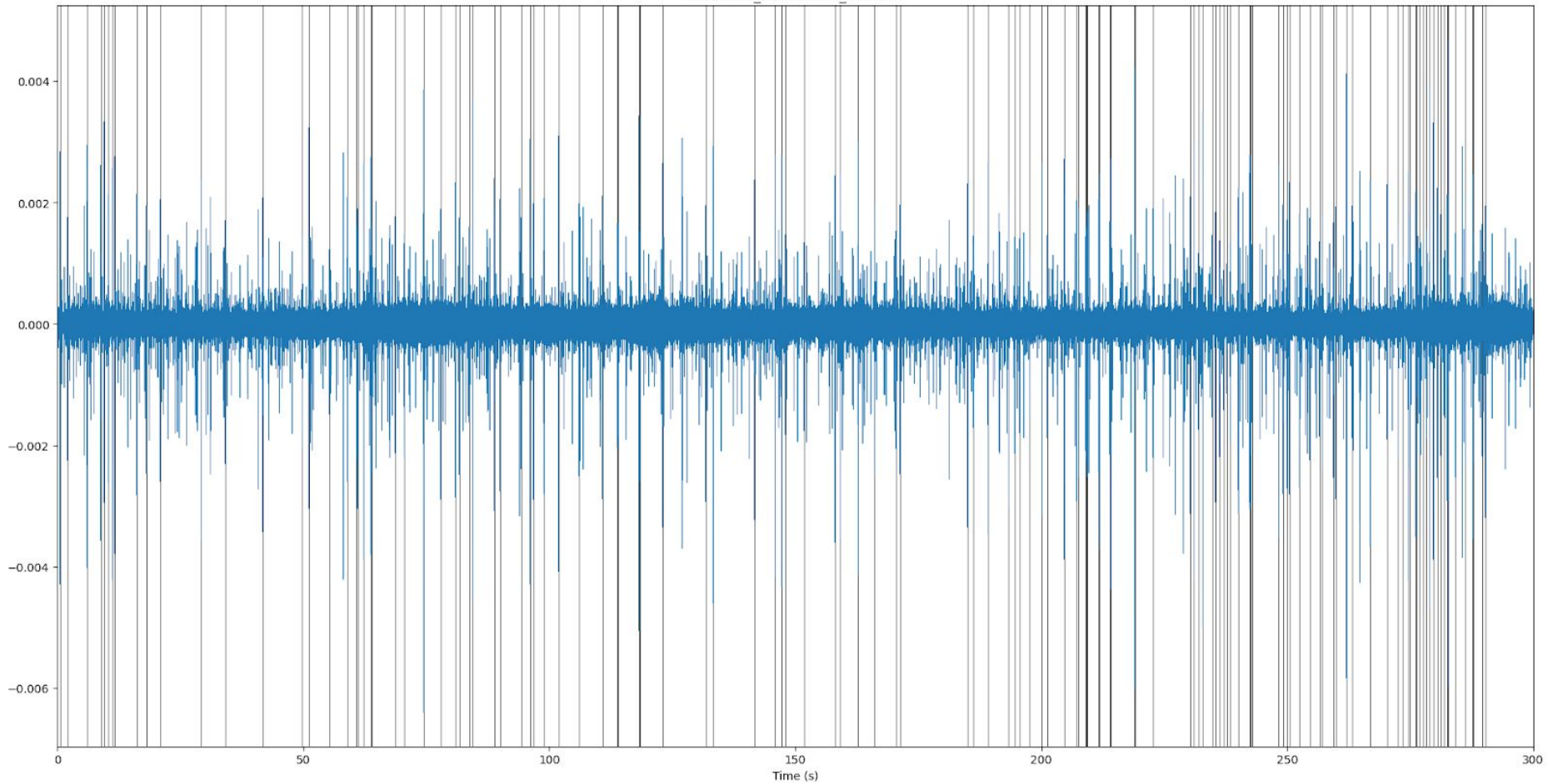
IPI



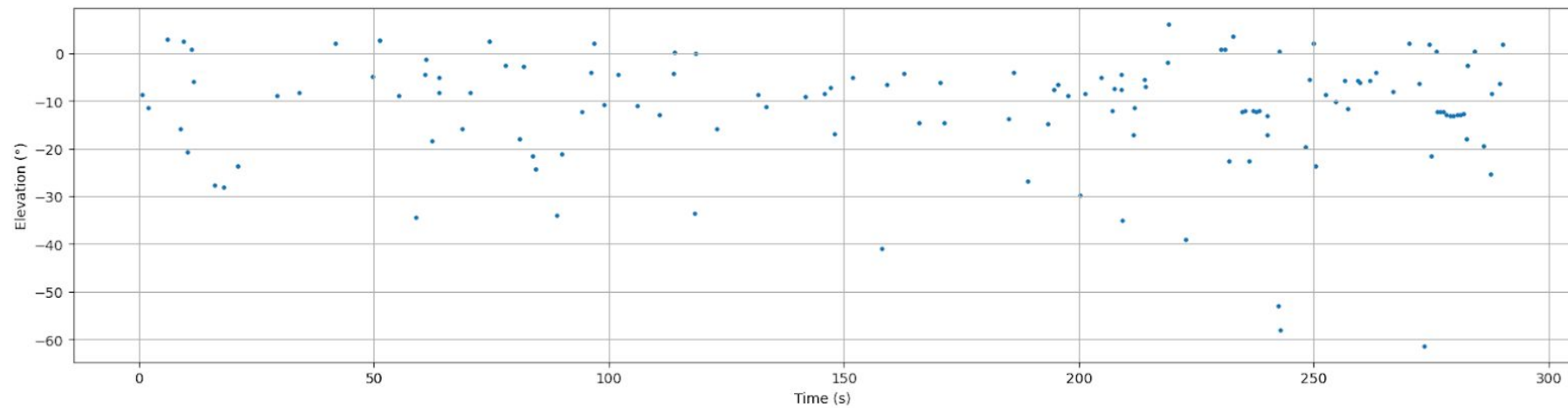
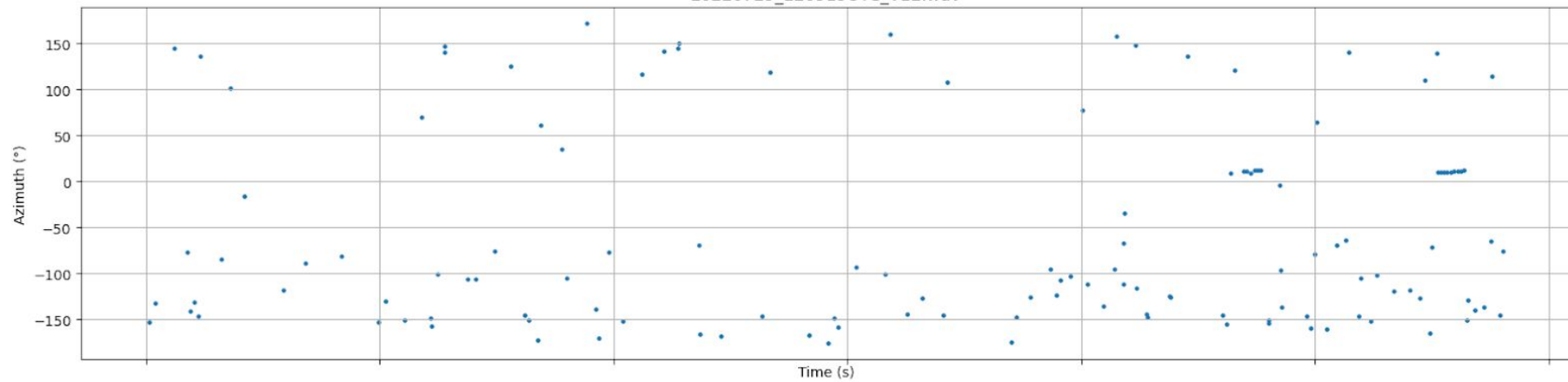
EST S.E.

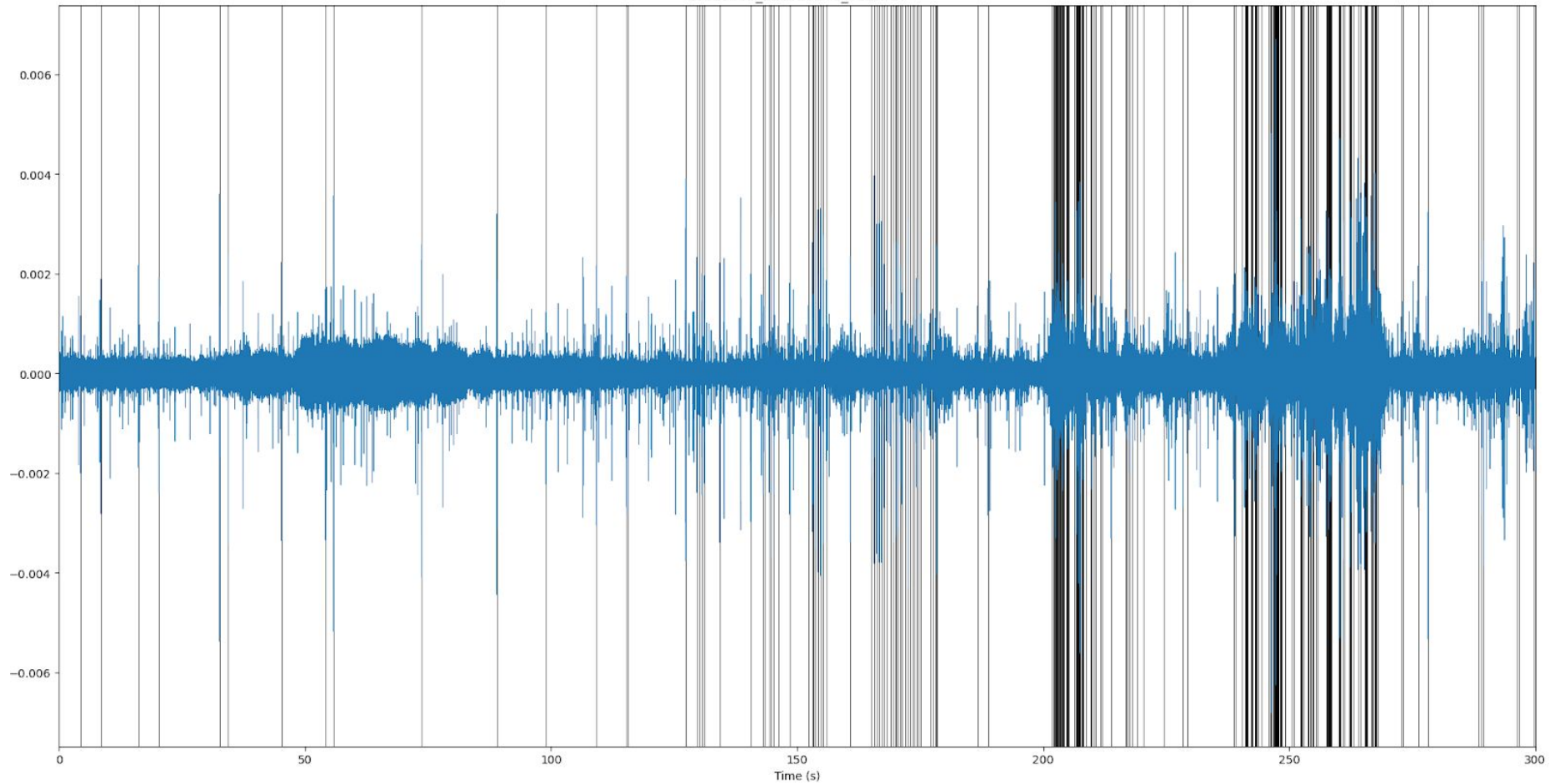
Projet à : 25600C
Aligner à : Éteint
Début de la sélection : 00 h 04 m 44.603 s
Fin : 00 h 00 m 00.005 s
Durée : 00 h 00 m 00.000 s
Position audio :

Arrêté. Cliquer-glisser pour déplacer à gauche les limites de la sélection.

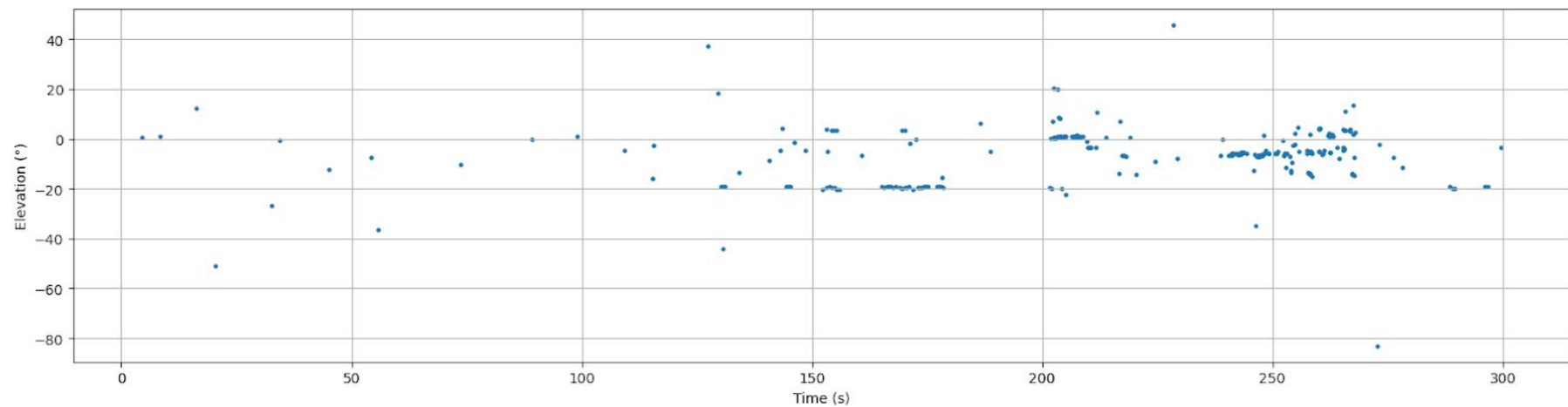
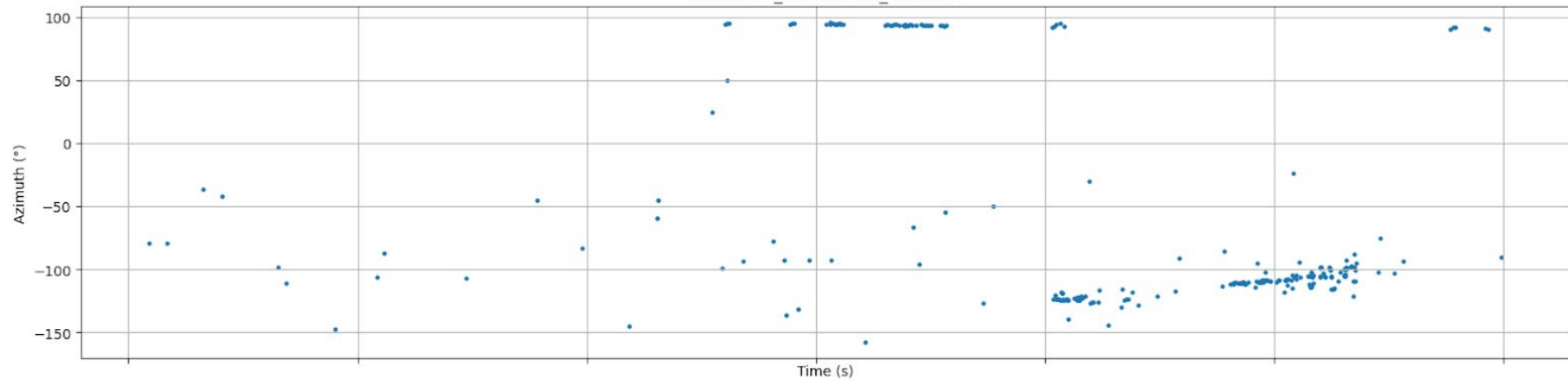


20220729_120919UTC_V12.wav

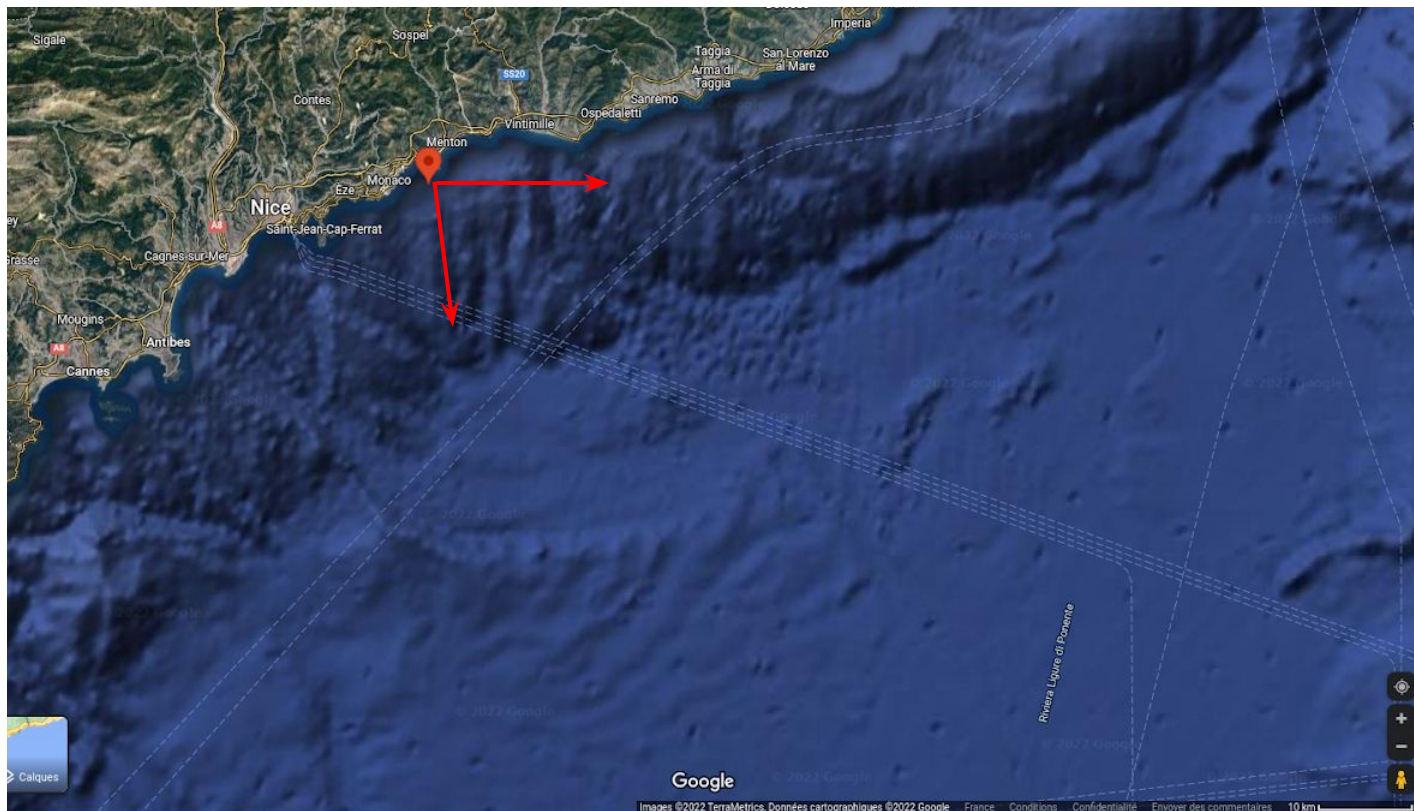




20220803_120928UTC_V12.wav

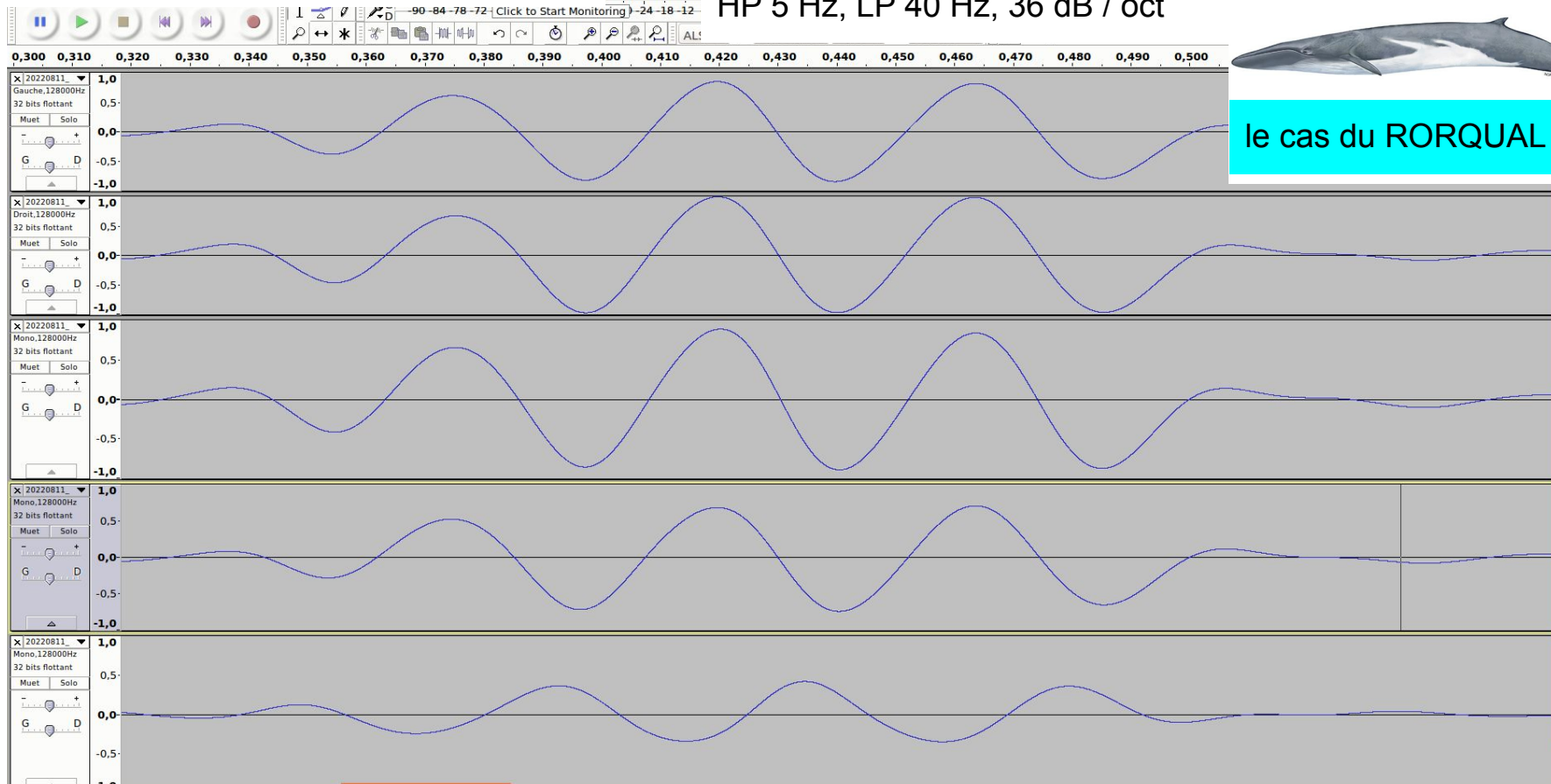


Exemples de détection pendant l'été 2022



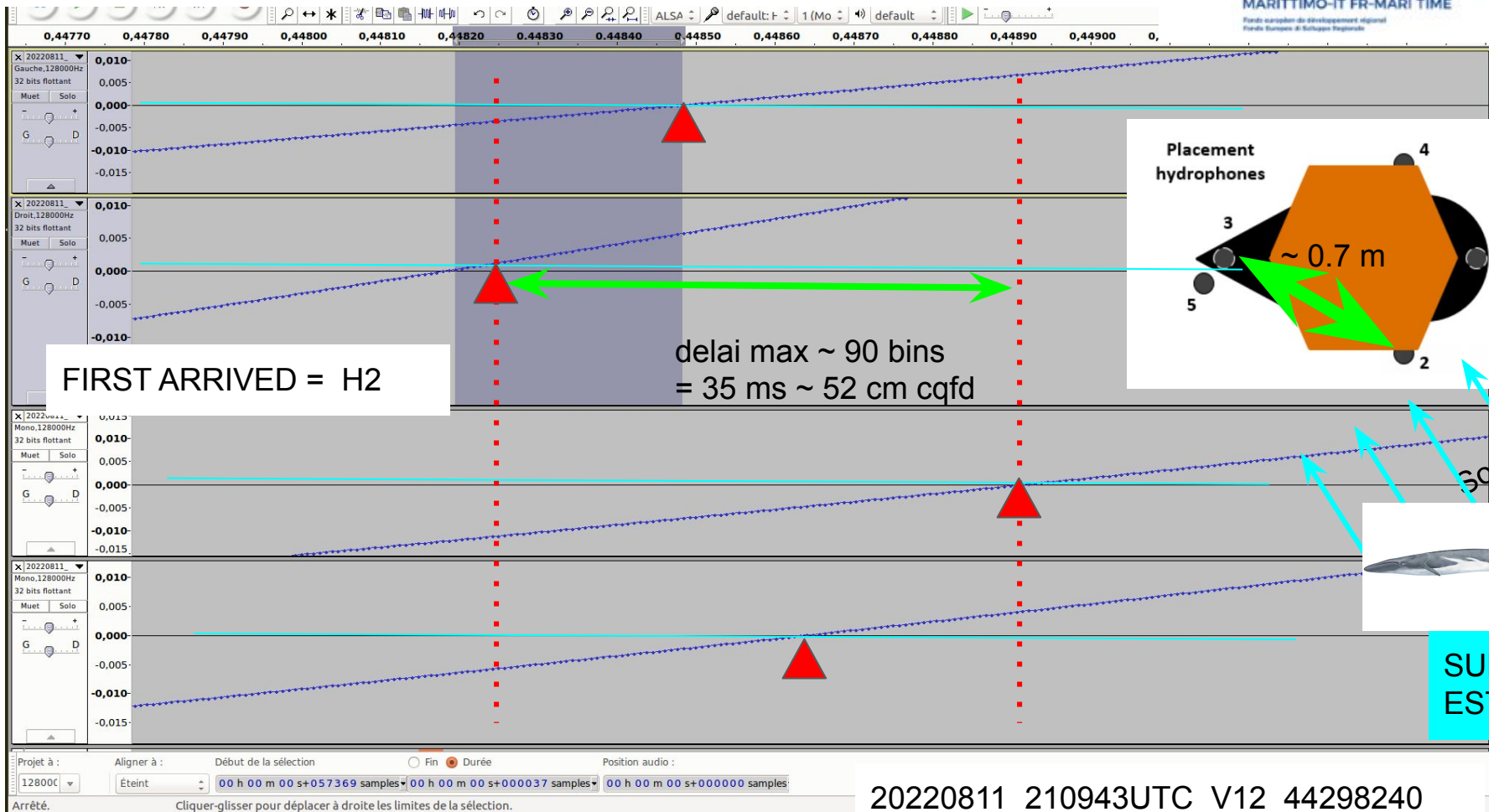


le cas du RORQUAL

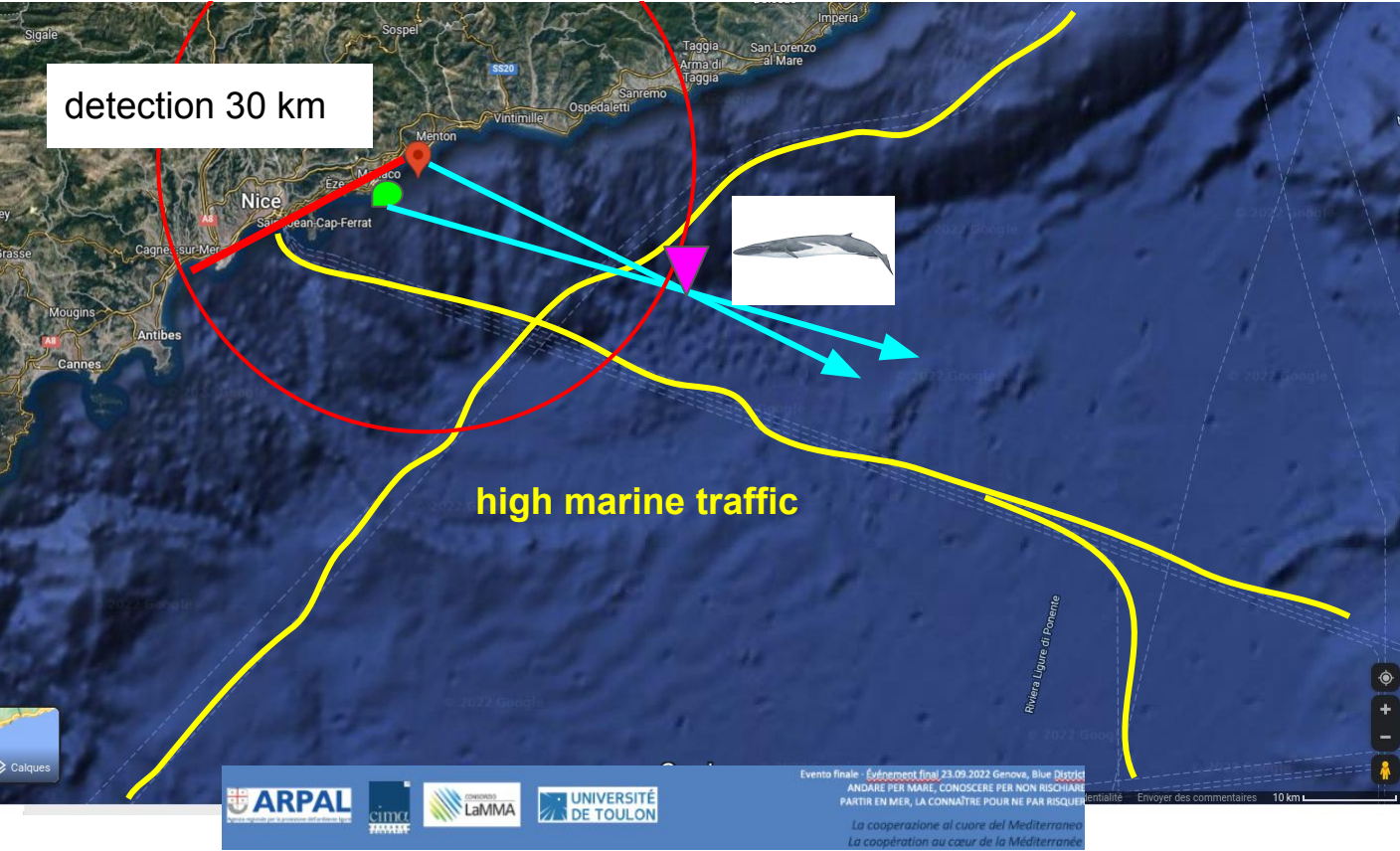


Projet à : 128000 Éteint 00 h 00 m 00 s+068606 samples 00 h 00 m 00 s+000000 samples 00 h 00 m 00 s+000000 samples

Arrêté. Click and drag to select audio, Ctrl-Click to scrub, Ctrl-Double-Click to scroll-scrub, Ctrl-drag to seek



Conclusion : pose de BX22 et BX21 jointes



Conclusion

Fonctionnel

Déploiement final BX22 en cours

Envoi des rapports anti-collision temps-réel à MIRACETI REPCET /
PREMAR

Mesures anthropophoniques

**2023 : Financement de 2 + 4 autres bouées (TMP & UTLN) &
Europe BIODIVERSA : ACORES & NORVEGE**

RAPPORT : 5 minutes rec, 10 Mo :

Fin/Phy.log

t1 p1

t2 p2

...

tn pn

20220728_000918UTC_V12.wav	159	0.36039806
20220728_000918UTC_V12.wav	160	0.3529639
20220728_000918UTC_V12.wav	165	0.017730286
20220728_000918UTC_V12.wav	170	0.343511
20220728_000918UTC_V12.wav	175	0.03539723
20220728_000918UTC_V12.wav	180	0.08584233
20220728_000918UTC_V12.wav	185	0.917102
20220728_000918UTC_V12.wav	190	0.07624311
20220728_000918UTC_V12.wav	195	0.9999893
20220728_000918UTC_V12.wav	200	0.99990165
20220728_000918UTC_V12.wav	205	0.9406052
20220728_000918UTC_V12.wav	210	0.9485358
20220728_000918UTC_V12.wav	215	0.5486088
20220728_000918UTC_V12.wav	220	0.9581965
20220728_000918UTC_V12.wav	225	0.054285493
20220728_000918UTC_V12.wav	230	0.15936567
20220728_000918UTC_V12.wav	235	0.6549609
20220728_000918UTC_V12.wav	240	0.07359292
20220728_000918UTC_V12.wav	245	0.08724517

Mme Hélène LABACH,
Directrice de MIRACETI
hlabach@miraceti.org
06 36 50 03 03

A La Couronne, le 09 mars 2021

Objet : **Manifestation d'intérêt**

Madame, Monsieur,

Par la présente, je souhaite manifester l'intérêt de notre association MIRACETI pour des données scientifiques issues de l'observatoire acoustique Bombyx déployé par le Laboratoire d'Informatique et Systèmes de l'Université de Toulon (Pr. Hervé Glotin).

En effet, dans le cadre de notre programme « Navigation commerciale et cétacés » nous sommes référent scientifique pour le logiciel REPCET (www.repcet.com) qui tend à limiter le risque de collision entre les grands cétacés et les gros navires. Actuellement, le logiciel permet, en temps réel, de signaler et partager entre usagers des positions des cétacés repérés visuellement par les personnels de quart des navires équipés du système (le réseau REPCET comptabilise à ce jour 40 navires de commerce et d'Etat). Pour enrichir le logiciel, nous souhaitons expérimenter l'intégration de nouvelles données issues notamment de détections acoustiques. Ainsi, nous serions intéressés par certaines informations pouvant étes extraites des algorithmes des bouées de l'observatoire Bombyx :

- L'espèce détectée (cachalot ou rorqual) ;
- La date et l'heure de la détection ;
- La localisation lors de la détection ;
- Le cap et la vitesse des animaux ;
- Un échantillon de signal pour assurer la véracité de la détection ;

Nous ne doutons pas de la valeur ajoutée que constituent ces données dans un contexte où les espèces sont de plus en plus soumises aux pressions anthropiques.

Pour servir ce que de droit,

Hélène LABACH,
Directrice de MIRACETI