



Mission pour les
initiatives
transverses et
interdisciplinaires

Adaptation du vivant ADAPREDAT FJORD3D

Rapport scientifique & financier des projets lauréats 2022

**Hervé Glotin, Paul Best, Marion Poupard, Maxence Ferrari, Pierre Priou,
François Sarano, Véronique Sarano, Valentin Gies, Pascale Giraudet,
Nathalie Prévot D'Alvise, Jean-Marc Prévot, Malik Chami**

avec la collaboration de Julie et Rodolphe, Valhallab Orca Expédition, Norvège



Sommaire

1. Introduction	3
2. Corps de l'expédition interdisciplinaire	4
3. Protocole "omiques" sur les harengs et l'eau	5
3.1 Matériel et Méthode	5
3.2 Résultats	5
4. Caractérisation du milieu par CTD et effet sur la propagation acoustique	6
5. Echosondage de plusieurs points du fjord	7
5.1 Matériel	7
5.2 Résultats	7
6. Protocoles acoustiques	9
6.1 Matériel	9
6.2 Protocole champ lointain	10
6.3 Protocole antenne tétraédrique régulière	11
6.4 Protocole champ proche (2021 / 2022)	12
6.5 Pose d'une station fixe d'écoute sur un an	13
6.6 Pose d'une bouée stéréophonique	13
7. Résultats acoustiques	14
7.1 Présence d'orques	16
7.2 Présence de baleine à bosse	18
7.2.1 Etude du répertoire des vocalises de baleine à bosse	21
7.3 Analyse acoustique interspécifique (orques et baleine à bosse)	22
8. Suivi vidéo des chasses	23
9. Anthropophonie	25
9.1 Matériel et méthode	25
9.2 Résultats	25
10. Discussion et protocole 2023	26
11. Bibliographie	27
12. ANNEXE	30
12.1 Bilan financier	30
12.2 Devis 2023	32

1. Introduction

Depuis 10 ans, une population de baleines à bosse (*Megaptera novaeangliae*) change de stratégie migratoire pour se nourrir l'hiver en Arctique, au lieu de migrer vers les tropiques comme les autres. A Tromsø, au nord de la Norvège, ces baleines sont adaptées à une nouvelle stratégie alimentaire, en compétition avec les orques (*Orcinus Orca*), prédatrices usuelles des populations de harengs. Ce projet est le premier à étudier cette compétition en 3D par acoustique passive, tout en relevant la qualité des proies par analyses omiques. Deux missions, 1 semaine fin 2022 et 2 semaines 2023 mesureront l'évolution de l'adaptation acoustique des orques et des baleines à bosse. En effet les Orques montrent une nouvelle stratégie de chasse pour éviter la concurrence des baleines à bosse (Simon et al. 2007; Van Opzeeland et al., 2005). Leurs vocalises sont différentes en nombre et en qualité notamment quand les baleines à bosse sont sur la même boule de harengs. Plusieurs hypothèses sont avancées comme l'adaptation du registre vocalique des orques et de leur stratégie de construction de boules de harengs plus petites pour dissuader les baleines à bosse de les prédater.

C'est cette évolution rapide inter-spécifique hareng-orque-baleine à bosse en lien avec la pollution marine qui constitue le sujet de cette étude. Le recrutement des harengs est très variable d'un facteur 1 à 1000 et constitue en plus des pêcheries une pression forte sur le stock que se disputent les orques et les baleines à bosse, et qui s'accélère avec le ralentissement des migrations des baleines à bosse depuis 2 ans. Le protocole bioacoustique couplé à la photo-identification des individus en collaboration avec l'Université de Tromsø permettra la discrimination des vocalises individu par individu.

En novembre 2022 la mission a réalisé ses objectifs : dans la première semaine, nous avons parcouru les fjords 100 km au nord du cercle polaire sur le Isbjorn durant 8 jours. Nous avons caractérisé la colonne d'eau sur 400m de haut, en quelques points, révélant des couches particulières à -150m. Nous avons posé 2 systèmes d'écoute stéréophoniques long terme, et des écoutes 3D court terme pour caractériser l'activité acoustique en 3D de groupes de mégafaune : baleine à bosse et orques, et leurs interactions. Nous avons continué cette étude en champ proche avec nos antennes Opales pour identifications des vocalises dans les 2 semaines suivantes. Nous avons pris des vidéos, le service numérique du LIS/UTLN en fera un montage pour motiver la communauté et les étudiants sur ce projet (cf exemples sur <http://sabiod.org/orcas/>).



Figure 1.1 : Photographie du navire d'expédition "Isbjorn" dans les Fjords norvégiens © Gies

2. Corps de l'expédition interdisciplinaire

Civilité/NOM/Prénom du porteur du projet		Glotin Hervé, Pr
Section du comité national de la recherche scientifique		07
Établissement de rattachement (CNRS, Université de Nantes, CEA, etc.)		Université de Toulon
Code Unité (UMR, UPR, etc.)		UMR 7020
Nom du laboratoire et/ou de l'équipe		DYNI, LIS LAB Toulon
Pour les unités rattachées au CNRS	Institut principal	IN2SI
	Délégation régionale	DR12

Projet

Titre long du projet	Adaptation et compétition inter-espèces de superprédateurs arctiques
Acronyme du projet	FJORD3D

Identification des équipes ayant travaillé sur le projet en 2022 et perspective 2023 (seul le LIS en 2021)

Etablis.	Code Unité CNRS	Nom du labo / l'équipe	Pour les unités rattachées au CNRS		Civilité/NOM/Prénom des personnes impliquées
			Institut principal	Déleg rég.	
Toulon Université	UMR 7020	LIS	IN2SI, Chaire IA ADSIL bioac sous marine AID et DGA	DR12	Dr Pr Hervé Glotin (dir scientifique), Post docs Dr Ferrari Maxence et Dr Marion Poupard, Dr Biologie Giraudet Pascale. Plus à terre Dr Paul Best
Longitude 181	ONG	Longitude 181	océanologie	-	Dr François Sarano (chef expédition) et Dr Véronique Sarano (protocole éthologie)
Toulon Université	UMR7294	MIO	INSB, second INEE	DR12	Dr Prévot D'Alvise Nathalie (protocole omique)
Toulon Université	UMR7334	IM2NP	IN2SI, plateforme techno SMIoT	DR12	Dr Gies Valentin (protocoles électroniques)
Toulon Université	DSIUN	DSIUN Toulon	informatique	-	Ing. Prévot Jean-Marc (responsable STIC et data)
Sorbonne Université	UMR 8190	LATMOS	océanophysique, colonne d'eau, CTD et échosondeur	DR04	Dr Pr. Malik Chami (protocoles hydrophysiques)
Akvaplan	PME norvégienne, Polar team	Océanophysique	océanophysique, colonne d'eau, CTD et échosondeur	Norvège	Dr Pierre Priou (protocole CTD et échosondeur) <ppr@akvaplan.niva.no>
Valhalla	PME norvégienne	Valhalla b	-	Norvège	Julie et Rodolphe



Figure 2.1 : l'équipe scientifique (Univ Toulon ,Akvaplan-niva, L181) et technique (capitaine et marins) de l'expédition. © Gies

3. Protocole “omiques” sur les harengs et l’eau

3.1 Matériel et Méthode

3.2 Résultats

Une analyse physico-chimique de l’eau de mer aux coordonnées (70°,01 3904N 21°,25 671E) a révélé la présence de deux perturbateurs endocriniens : le glyphosate, principe actif du pesticide Roundup et le 17 α -éthinyloestradiol (EE2) qui correspond à la pilule contraceptive orale féminine. Les concentrations estimées sont inférieures à 30 et 50 ng/L respectivement. En effet on parle ici d’estimation car le délai d’acheminement des échantillons vers le site d’analyse était supérieur aux prescriptions normatives pour les paramètres physico-chimiques étudiés. Néanmoins la présence de ces deux molécules confirme notre hypothèse concernant une perturbation chronique du milieu par des polluants chimiques anthropiques. A titre indicatif la concentration en EE2 mesurée dans l’environnement marin au niveau mondial et généralement près du littoral varie entre <5-29 ng/L. Concernant les valeurs moyennes du glyphosate retrouvées près des côtes, elles fluctuent entre 1 et 3,2 $\mu\text{g/L}$.

Les faibles teneurs retrouvées dans notre cas peuvent s’expliquer entre autres par son temps de demi-vie (fortement lié à la température et la luminosité : varie entre 1 mois et 1 an environ) et par l’analyse faite tardivement. Plusieurs études ont montré la persistance et la rémanence de cette molécule dans le milieu marin (Mercurio et al., 2014; Kallenborn, 2016). 4 harengs, *Clupea harengus*, matures sexuellement (1 femelle et 3 mâles) ont été caractérisés (masse, taille, indice gonado-somatique -GSI-) (Tab 3.1) et plusieurs tissus clés (foie, gonades, branchies et muscles)

ont été prélevés. Ces prélèvements seront utilisés pour étudier l'expression de gènes clés impliqués dans le système endocrinien (analyse en cours via l'expression des ARNm et l'estimation de la longueur télomérique de l'ADN génomique).

Table 3.1 : Caractéristiques des harengs prélevés sur site en novembre 2022. L'index GSI gonado-somatique (= masse gonades/masse totale) permet d'avoir une idée de la maturité sexuelle du poisson (notamment ici chez les harengs car corrélations existantes, *Bucholtz et al., 2008*) et permet aussi de vérifier d'éventuelles anomalies suite à un stress chimique chronique.

sample	sex	Total length (cm)	Total weight (g)	Gonad length (cm)	Gonad weight (g)	GSI	age assessment (year)
1	♀	27	250	13	17	6.8	3-4
2	♂	29.6	243	16.5	40	16.5	6
3	♂	29	310	22.1	49	15.8	5-6
4	♂	28	275	16.8	44	16.0	4-5

4. Caractérisation du milieu par CTD et effet sur la propagation acoustique

Des mesures in-situ pour caractériser les masses d'eau dans lesquelles les orques et la mégafaune de mysticètes chassent les harengs ont été réalisées en 5 stations. Elles sont des profils verticaux d'une sonde CTD (Conductivity-Temperature-Depth) qui fournit la salinité, la température ainsi que la profondeur, et la densité de l'eau. Les stations d'échantillonnage ont été sélectionnées pour comprendre les variations potentielles de masses d'eau depuis l'entrée Nord de la zone d'étude (Océan Arctique) par laquelle les orques entrent dans le système du Fjord et l'écoulement vers le Sud au niveau des Fjords. En particulier, 2 stations d'échantillonnage ont été positionnées au Nord dans un "chenal" orienté vers le Sud, 3 stations ont été positionnées à proximité du mouillage de la bouée posée nord de l'île Haudoya, à la jonction entre les parties Ouest et Est du Fjord de Skjervøy.

Les résultats des profils verticaux réalisés ont les ordres de grandeurs suivants pour les paramètres hydrophysiques : une salinité de surface autour de 33 PSU, une température de surface autour de 8,5° et une densité de surface autour de 26 avec une masse d'eau du fond de densité 27 (ce qui est conforme à la densité des eaux du fond au niveau des régions polaires). Une masse d'eau plus chaude (+ 0,5° par rapport à la surface) a été observée vers -85-100 m, d'une épaisseur de 30 m environ pour toutes les stations. Cette masse d'eau plus chaude pourrait correspondre à une masse d'eau provenant de l'Atlantique et remontant vers les pôles mais ce point reste à confirmer avec les modélisateurs de la circulation océanique norvégien (cf Akvaplan).

L'analyse préliminaire des données CTD semble indiquer l'entrée d'une masse d'eau polaire de l'Océan Arctique (depuis la zone Nord) vers le Sud au niveau du mouillage de Bombyx (stations CTD 1 à 3). La masse d'eau qui se sépare au niveau jonction entre le Fjord Ouest et Est (stations CTD 4 et 5) semble quasi-similaire à celle qui entre par le Nord dans la zone d'étude. Cette observation est cohérente avec les modélisations de la circulation océanique dans cette zone effectuée par les équipes norvégiennes d'Akvaplan-niva.

Il est intéressant de souligner que le profil de température observé sur la partie Ouest du Fjord (station 4) est légèrement différent autour de la gamme -60-130 m que celui de la partie Est du Fjord (station 5); en particulier, un profil plus homogène est observé selon la verticale en station 4. Des orques ont chassé au niveau de la partie Ouest du Fjord quelques heures après les mesures. La variation entre les 2 profils de température des zones Ouest et Est devra être

discutée plus en détail à partir de la connaissance "a priori" de la zone d'étude sur de la circulation océanique, notamment par les chercheurs experts d'Akvaplan, pour déterminer si ces différences de températures entre la partie Ouest et Est sont significatives (Fig.)

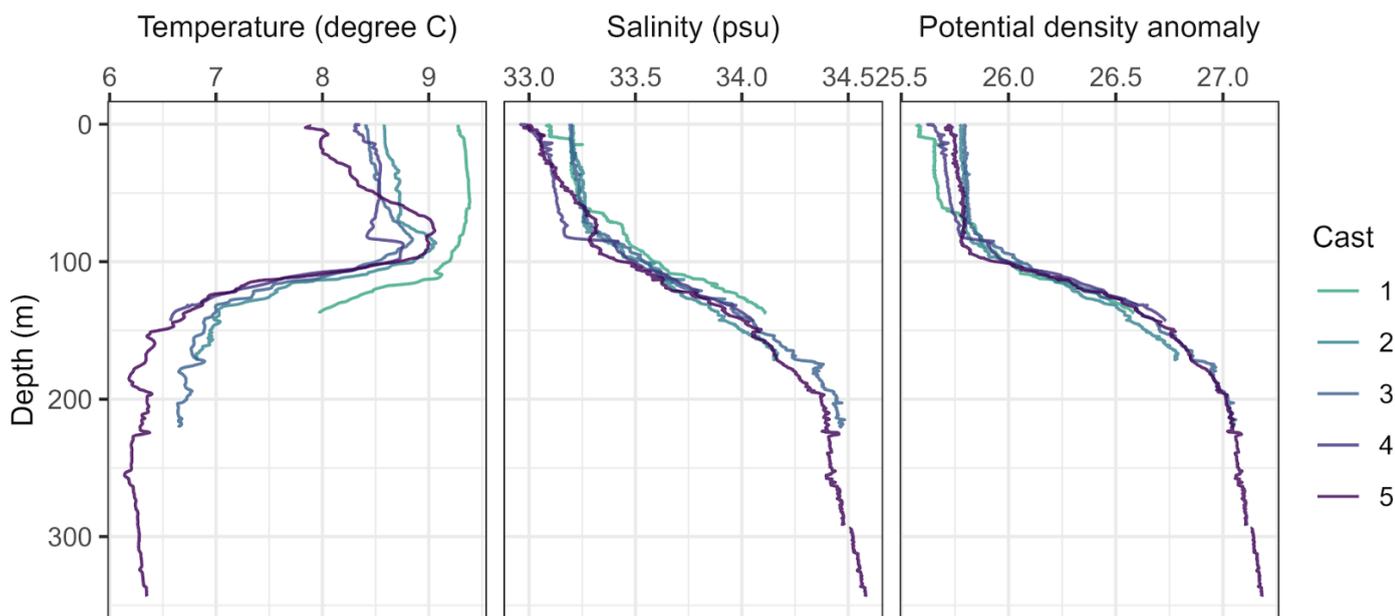


Figure 4.1 : Profil CTD réalisé en novembre 2022

5. Echosondage de plusieurs points du fjord

5.1 Matériel

Akvaplan a embarqué son système...

5.2 Résultats

Les échogrammes du 4 novembre montrent la profondeur en fonction du temps et l'intensité de l'écho. On peut clairement voir les bancs de harengs entre ca. 25 – 80 m. Ces données ont été collectées juste après un feeding d'orques à l'Est de Skjervøy (Fig4).

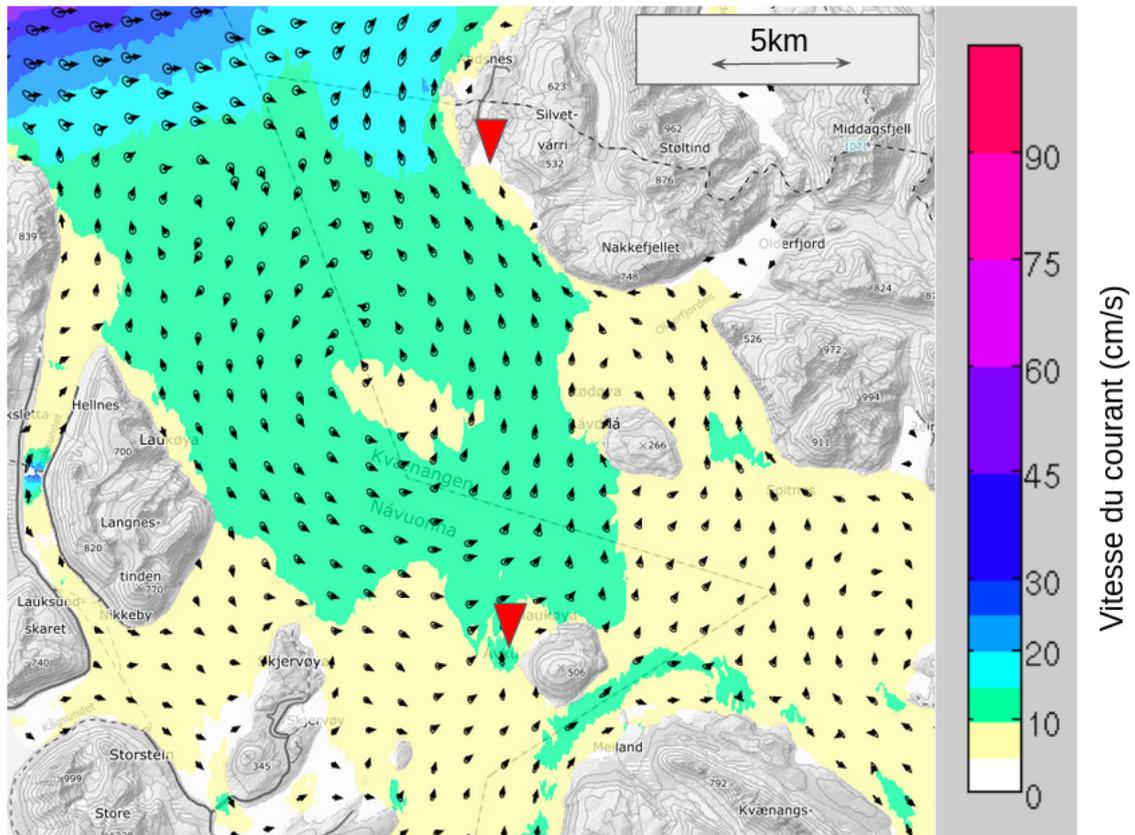


Figure 5.1 : Zoom sur la nature des courants moyens au large de Seglvik et pose des 2 stations long terme par notre mission, pour 3 mois d'enregistrement avec nos systèmes (▲). La distance entre les deux antenne est d'environ 18km

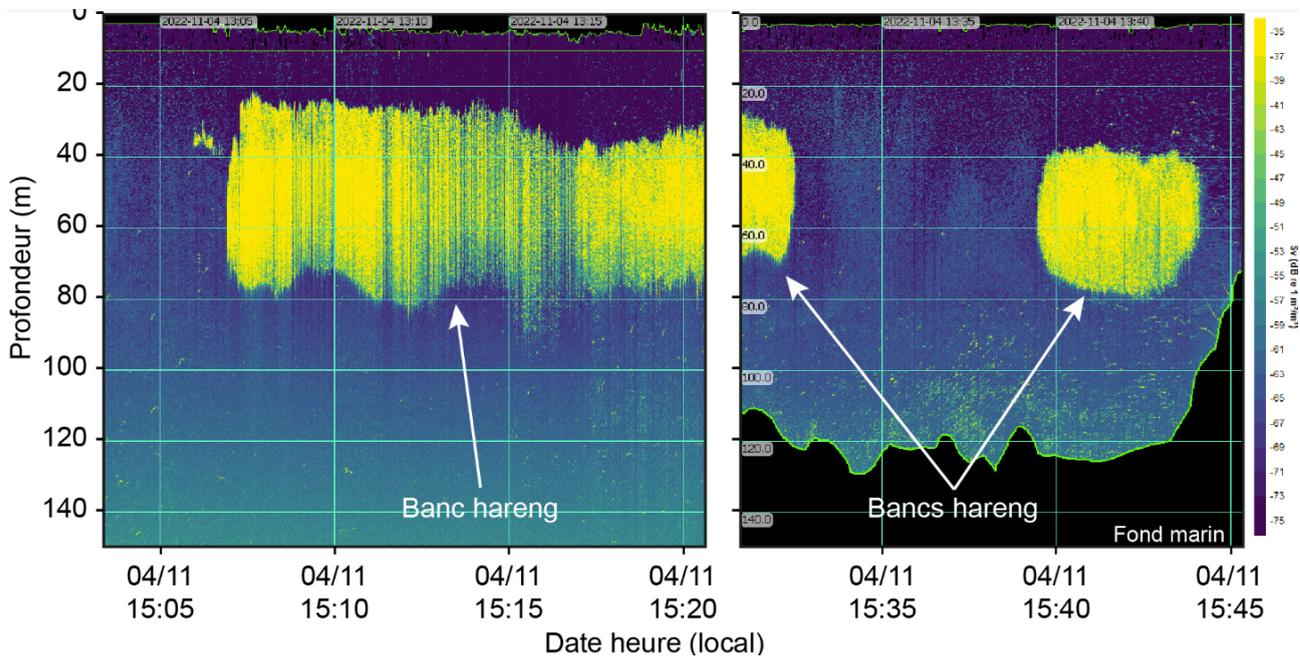


Figure 5.2 : Échosondage réalisé en novembre 2022 (forte densité = harengs)

6. Protocoles acoustiques

6.1 Matériel

L'enregistreur acoustique principal que l'on retrouve dans plusieurs des expériences menées sur l'Isbjorn est l'enregistreur Qualilife HighBlue (QHB) présenté à la figure 6.1



Figure 6.1 : Enregistreur Qualilife HighBlue (QHB) SMIoT UTLN © Gies

Son diagramme fonctionnel est présenté à la Figure 6.2. Cet enregistreur a les caractéristiques suivantes (voir aussi Barchasz et al. (2020)) :

- Taux d'échantillonnage d'acquisition jusqu'à 512 Ksps (Kilo échantillons par seconde) correspondant à une gamme de fréquences jusqu'à 256 kHz.
- L'enregistrement peut être programmé selon les besoins de l'utilisateur.
- Jusqu'à 6 canaux d'enregistrement synchrones, avec une synchronisation et un horodatage précis à la microseconde.
- La profondeur d'échantillonnage du signal peut être ajustée entre 8, 16 ou 24 bits. Dans ce dernier mode, le bruit propre à l'enregistreur est limité aux 2 bits les moins significatifs, ce qui signifie que 22 bits sont réellement significatifs pour l'enregistrement. Cela augmente la qualité du signal et la distance de détection potentielle par rapport aux enregistreurs standard, en particulier dans les environnements calmes.
- Front end d'acquisition différentiel avec un niveau d'entrée maximum de $\pm 2,5V$ pour réduire considérablement le bruit propre à l'enregistrement. Chaque canal d'enregistrement dispose d'un gain différentiel réglable : X1, X10, X20, X100.
- Filtrage anti-aliasing réglé automatiquement en fonction de la fréquence d'échantillonnage de l'acquisition. Les signaux ayant des fréquences dépassant $0.55 \times$ fréquence d'échantillonnage sont atténués de plus de 120 dB.
- Capacité d'agrégation capteur : Le QHB comprend un capteur IMU à 9 axes (accéléromètre, magnétomètre et gyroscope) et plusieurs capteurs supplémentaires peuvent être ajoutés en fonction des besoins de l'utilisateur, en utilisant les protocoles suivants bus d'extension UART, SPI et I2C.

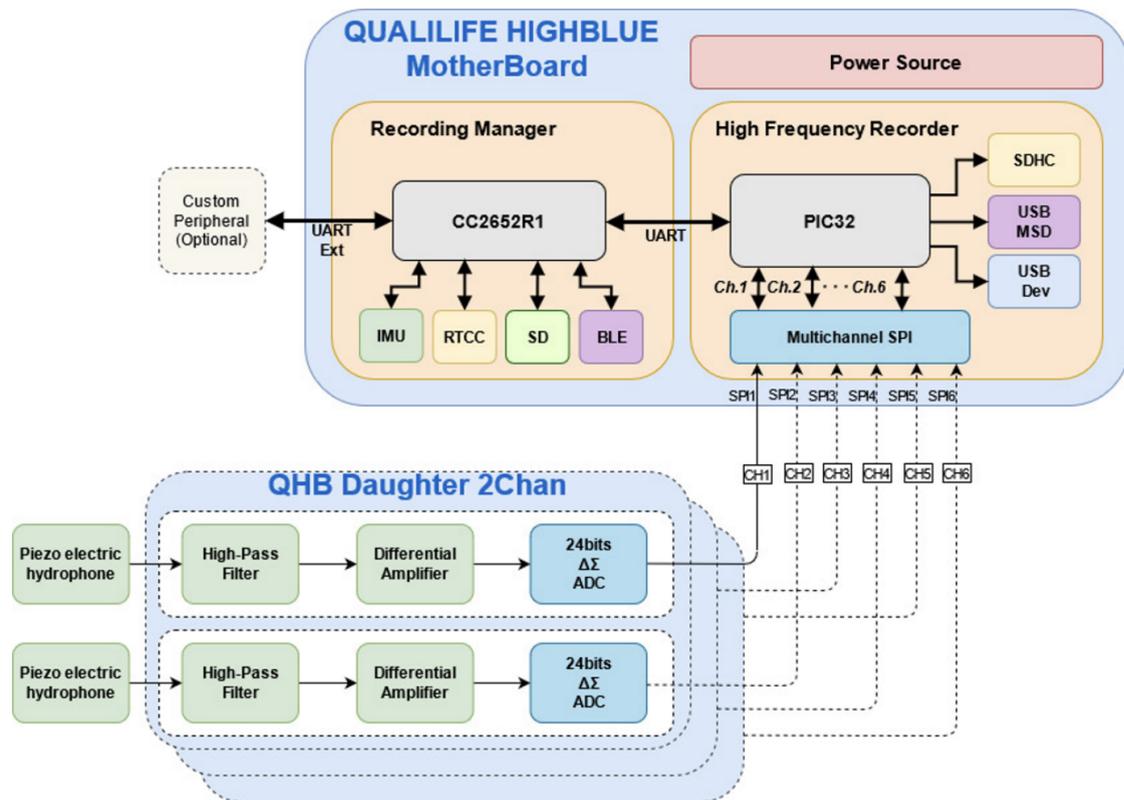


Figure : 6.2 Diagramme de QHB

L'enregistreur QHB a été installé dans un boîtier étanche permettant de résister à une pression allant jusqu'à 100 m de profondeur, l'adaptation de différents types d'hydrophone tels que le C75 de chez Cetacean Research, calibré avec une réponse plate ± 3 dB jusqu'à 250 kHz (calibrage effectué au Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Marseille), et un jeu de 21 piles alcalines D (Bibliographie: SMiOT GUIDE).

6.2 Protocole champ lointain

Au total, 7 jours d'expérimentation ont été réalisés à bord de l'Isbjorn, **616 km** ont été parcourus à la recherche d'orques et de baleines à bosse. Notre stratégie était opportuniste, à l'aide des Whale watcher sur la zone, nous avons des informations concernant la positions des animaux dans la zone. Une fois confirmé, nous nous sommes rendus sur la zone concernée, et nous avons mis en place les 3 protocoles acoustiques et le protocole visuel (photo et vidéo) tout en restant à une distance raisonnable des animaux.

De la levée du jour jusqu'à la nuit, un système de quart visuel tournant a été mis en place, afin d'optimiser les rencontres.

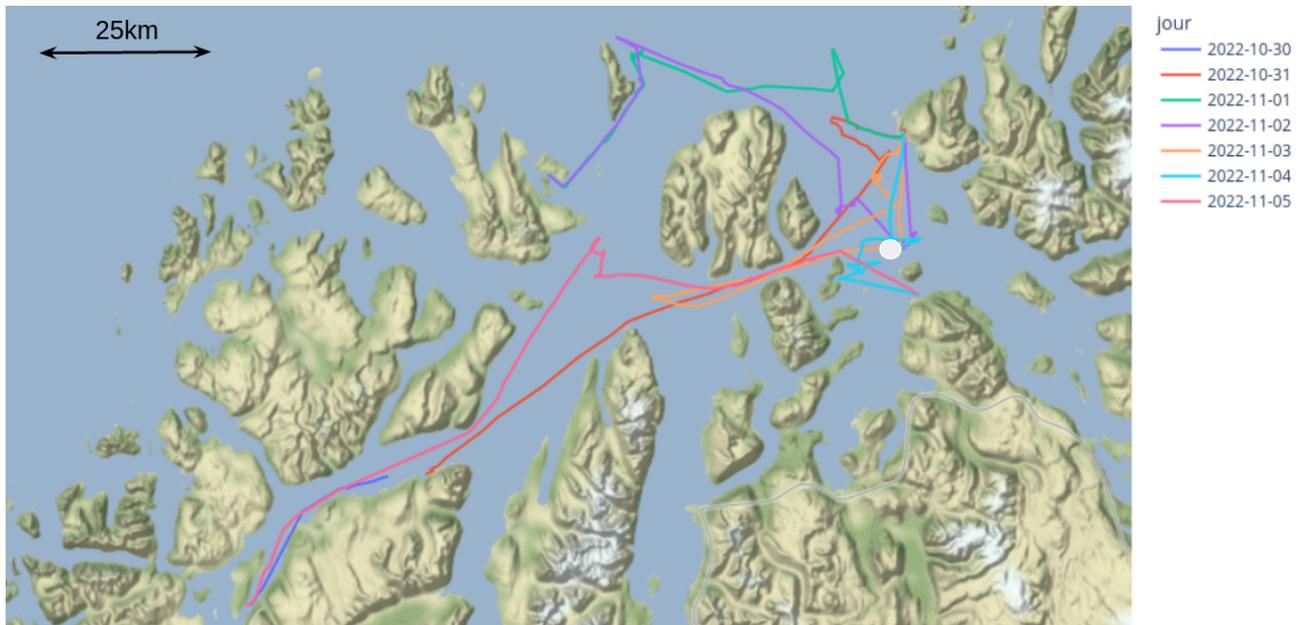


Figure 6.3 : Vue générale du transect réalisé par notre expédition en novembre 2022, sur une semaine. Le cercle blanc correspond au prélèvement d'eau.

6.3 Protocole antenne tétraédrique régulière

Utilisant les enregistreurs QHB, l'antenne Tetra a pour objectif d'aider à la compréhension des interactions entre animaux d'un même groupe et entre animaux de groupes ou d'espèces différentes en permettant la localisation des sources d'émission sonores. Pour cela, l'antenne Tétra est constituée de 4 hydrophones SQ26 de chez Cetacean Research placés aux 4 coins d'un tétraèdre régulier, de longueur de côté 70 cm (cf. figure 6.3.1).

L'analyse des temps de délai d'arrivée des signaux (TDOA) permet la localisation de la source d'émission sonore en post-processing.



Figure 6.4 : Mise à l'eau de Tétra, l'antenne tétraédrique régulière © Poupard

6.4 Protocole champ proche (2021 / 2022)

Un protocole acoustique a été mis en place dès 2021 et a continué en 2022. L'objectif de ce protocole était de filmer et d'enregistrer les animaux pendant les périodes de chasse. Pendant ces scènes, un brouhaha d'émissions acoustiques est présent: les sifflements, les clics, les bruits de bateaux et il est impossible d'identifier la source du son émis. Mais grâce à leur antenne acoustique composées de plusieurs hydrophones, les scientifiques peuvent attribuer une vocalise ou un clic à un individu précis. Nous pourrions connaître la véritable organisation acoustique qui règne au sein de ces scènes de chasse. Savoir s'il y a un leader qui dirige le groupe, ou si tous les animaux participent à la chasse de manière égale.

Nous pourrions également chercher des signatures individuelles, présentes chez certaines espèces de dauphins.

Les scientifiques se mettent donc à l'eau au milieu des orques, des baleines à bosse et des harengs en restant à une distance raisonnable pour ne pas les déranger et enregistrent les sons émis.

Deux campagnes d'acquisitions de deux semaines chacune ont été réalisées avec deux antennes à chaque fois.

Deux antennes acoustiques ont été construites pour ce protocole, chacune composée de 4 hydrophones (2021) et de 5 hydrophones en 2022.

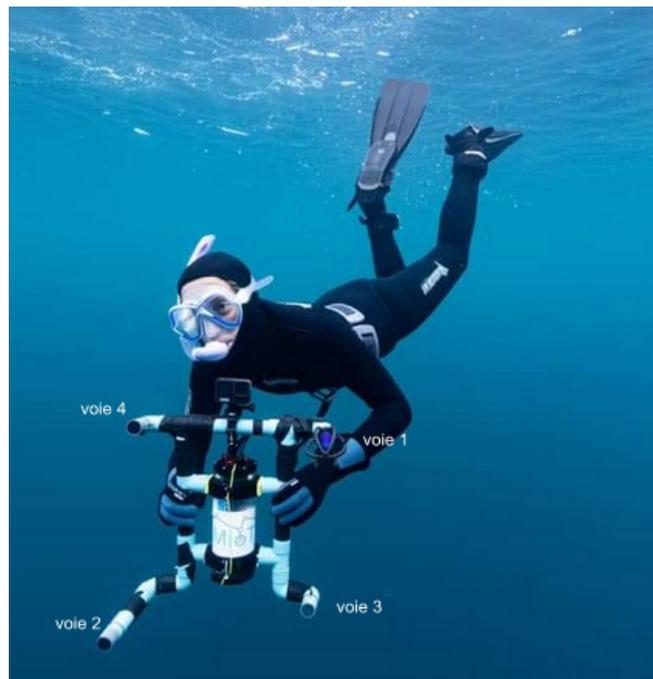


Figure 6.5 : Antenne acoustique de 2021 avec ses 4 hydrophones et sa GoPro © Granzotto

En 2022, des mises à l'eau ont été effectuées durant 9 jours pour la première antenne (voir carte 6.6), et 7 jours pour l'antenne 2.

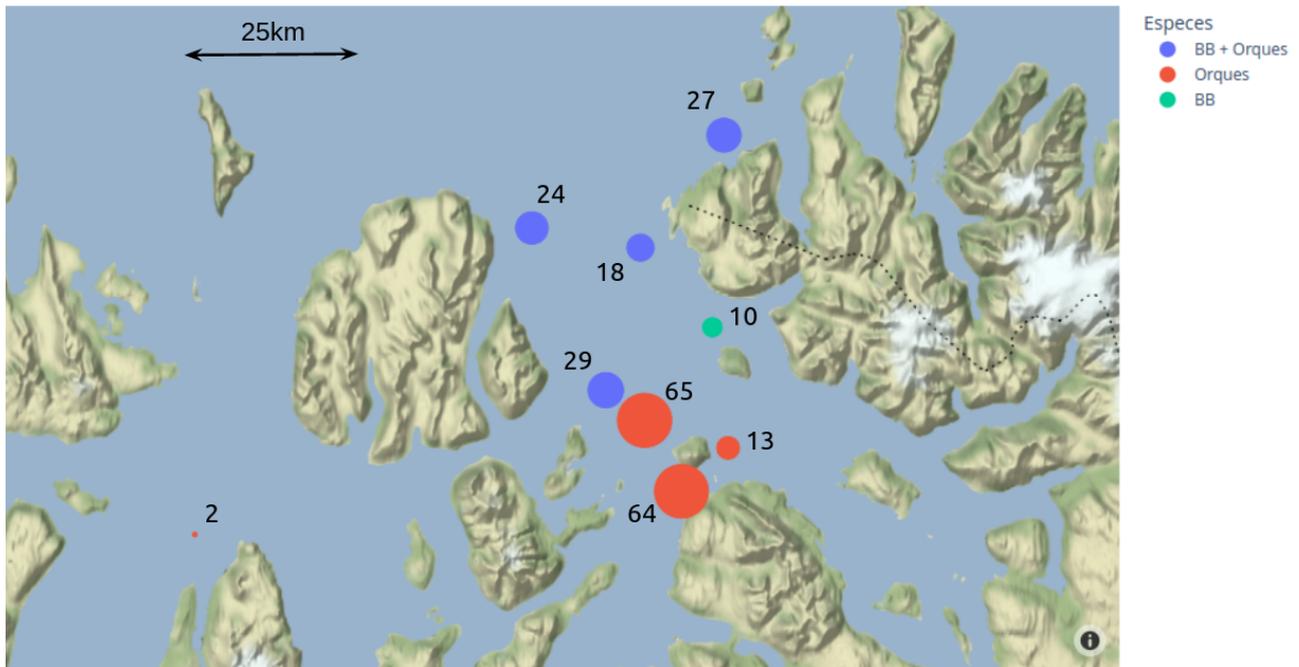


Figure 6.6 : Position géographique des mises à l'eau pour l'antenne 1 en 2022. La largeur des points et le chiffre associé représentent la durée de la session en minutes. Les couleurs représentent les espèces présentes.

6.5 Pose d'une station fixe d'écoute sur un an

Nous avons pu poser en collaboration avec notre partenaire Valhalla une bouée Bombyx stéréophonique filaire à Seglvik depuis le bord. Cette bouée repose sur le fond à -7m de profondeur à une distance d'environ 70m du rivage. Elle est alimentée par secteur depuis la station *Valhallab*. Toutes les données sont enregistrées via des disques durs branchés sur un PC à 128 kHz 2 voies 16 bits.

Cette antenne nous permettra ensuite d'évaluer la densité d'animaux qui entrent dans le fjord au cours de l'année.

6.6 Pose d'une bouée stéréophonique

Nous avons pu poser avec le navire d'expédition une bouée stéréophonique au nord de l'île d'Haukøya, en récupération par nos partenaires Akvaplan en janvier 2023. Elles caractérisent les entrées et sorties des animaux dans le Fjord.

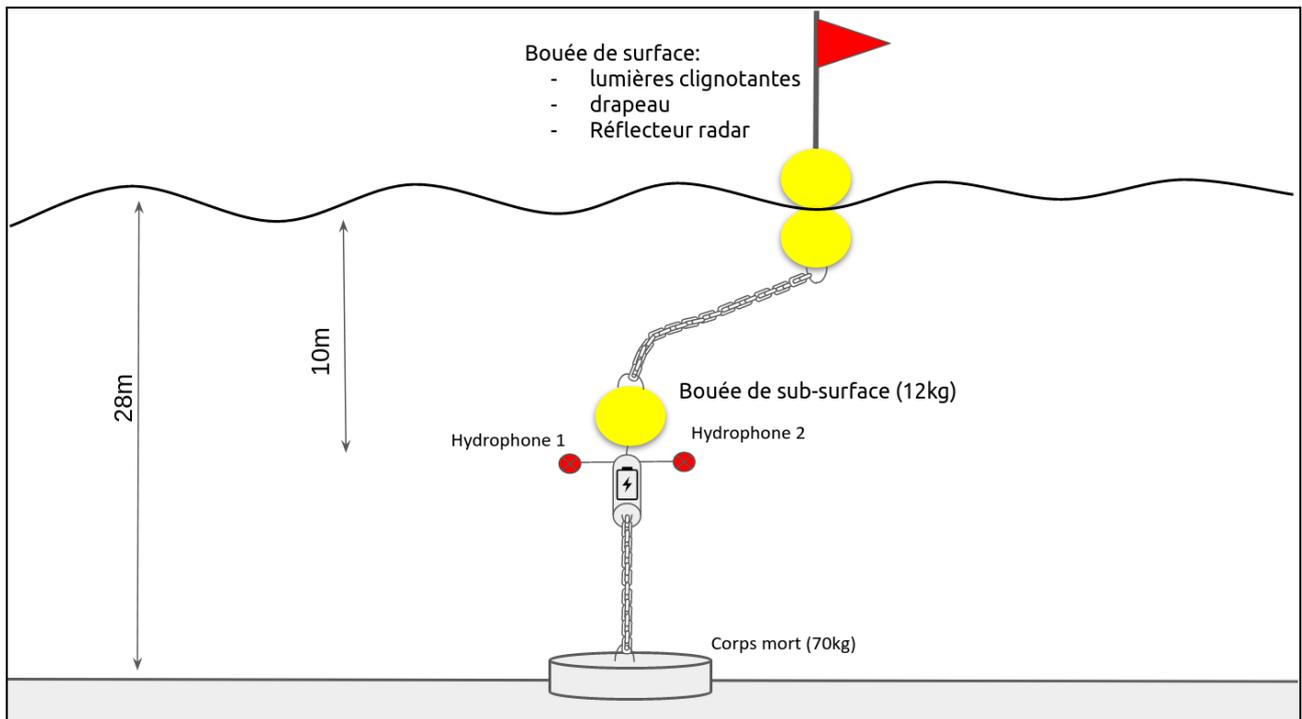


Figure 6.7 : Schéma représentant la bouée stéréophonique posée au Nord de Haukoya. Le mouillage a été conçu par Dyni et Akvaplan, la bouée instrumentée par Dyni.

7. Résultats acoustiques

Une fois les animaux repérés, nos antennes ont été déployées au plus proche de chasses d'orques, en analyse pour en mesurer des vocalises et clics émis durant la chasse, avec et sans baleine à bosse. Nous avons environ 12h de chasse de cette nature. Nous faisons l'hypothèse que certains enregistrements comportent des codas d'orque, code rythmique de leurs trains de clics, qui sont connus chez les cachalots, mais sont inconnus chez les orques (Fig. 7.5).

Nous disposons de 3 antennes acoustiques déployées depuis le navire d'expédition:

- Une antenne tétraédrique composé de 4 hydrophones SQ26, avec un tube contenant des batteries, et une carte High Blue (Fe: 256000Hz)
- Une antenne monophone composé d'un C75, et 20m de câble, branché sur une carte High Blue (Fe: 512000Hz)
- Une antenne monophone composé d'un SQ26, 10m de câble, branché sur un enregistreur (Tascam) (Fe: 96000Hz).

Tableau 7.1: Tableau récapitulatif des efforts d'acquisition sur les 7 jours d'expédition

Jour	Distance parcourues (km)	Temps d'Obs Orques en visuel	Temps d'Obs BB en visuel	Temps record tetra (h:min:sec) (Go)	Temps record sq26 (h:min:sec) (Go)	Temps record c75 (h:min:sec) (Go)
30-10-22	27.07					
31-10-22	104.36			00:34:00 4,1293	00:31:52 1,1Go	00:29:20 2,718 Go

01-11-22	80.950			01:12:00 8,744 Go	00:32:50 1,1Go	00:32:00 2,965 Go
02-11-22	105.02			01:26:03 5,8296 Go	01:01:51 2,1Go	01:41:20 9,230 Go
03-11-22	104.028			00:37:00 3,4118 Go	00:22:00 0,8	01:42:20 10,250 Go
04-11-22	69.73			01:19:04 9,884 Go	00:47:23 1,7 Go	03:42:34 20,5093 Go
05-11-22	124.84					04:48:04 26,686Go
TOTAL	616km			31,98 Go	6,8 Go	72,34 Go

La figure 7.1 montre les efforts d'enregistrement avec les 3 antennes concernées. Le dernier jour (5 Novembre), le C75 a été posé toute la nuit et a enregistré environ 5h.

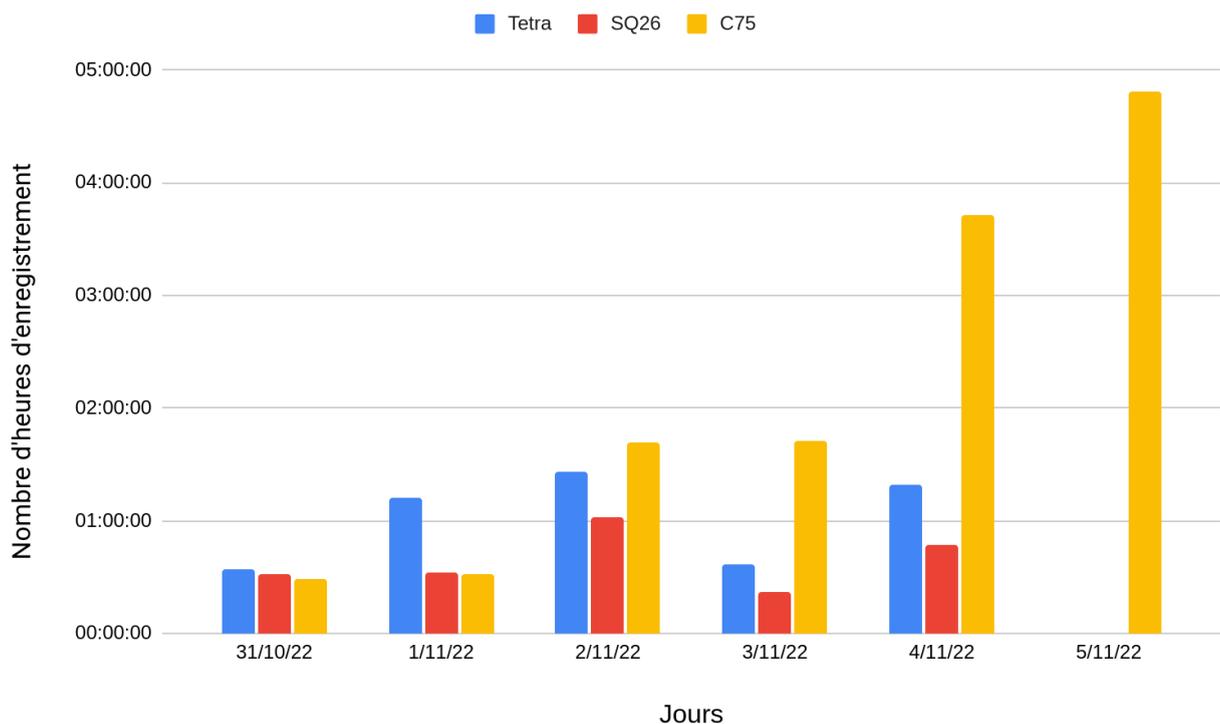


Figure 7.1: Graphique représentant l'effort d'acquisition acoustique (nombre d'heures) pour les 3 antennes en fonction des jours.

Afin d'analyser la présence acoustique des orques et baleines à bosse au sein des enregistrements, un réseau convolutionnel développé par l'équipe DYNI (P. Best, 2022) a été utilisé. Ce modèle permet de détecter automatiquement les vocalises des deux espèces et calcule une probabilité de présence à chaque milliseconde du signal. Grâce à ce modèle, nous avons pu détecter les vocalises (avec un haut signal rapport sur bruit) des baleines à bosses et orques.

La figure 7.2, représente l'évolution des prédictions du modèle sur 20 secondes de signal, contenant des vocalises d'orques. Chaque point rouge représente une détection.

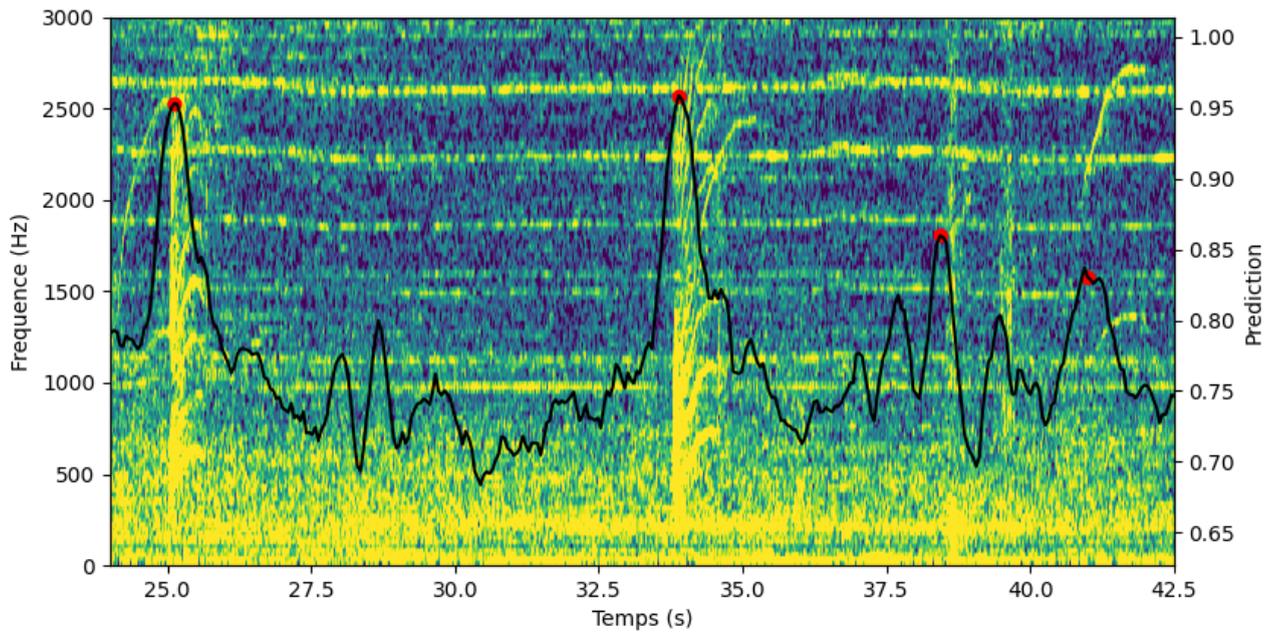


Figure 7.2: Exemple des prédictions du modèle sur 20 secondes de signal. Chaque point rouge représente une vocalise détectée.

7.1 Présence d'orques

Au total, **764** vocalises d'orques ont été détectées par le modèle, réparties sur 6 jours d'expérimentation. Le nombre de vocalises détectées est montré en figure 7.6. C'est pendant la journée du 04 Novembre que le plus grand nombre de vocalises a été détecté (271).

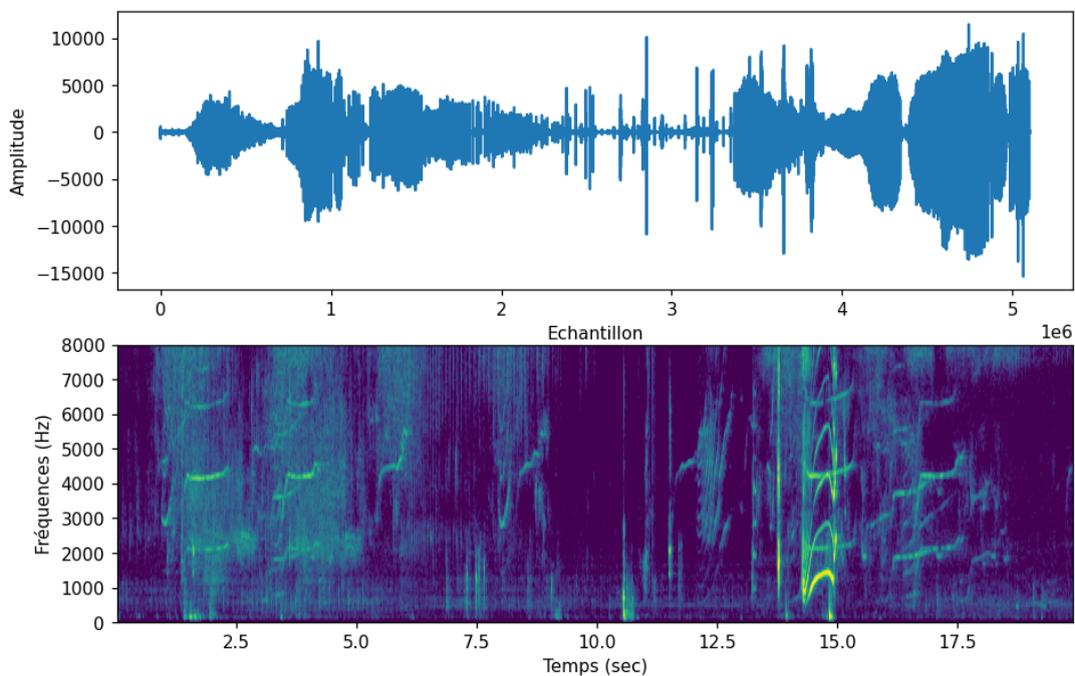


Figure 7.3 Exemple d'enregistrement de vocalises d'orques, à proximité de Skjervøy

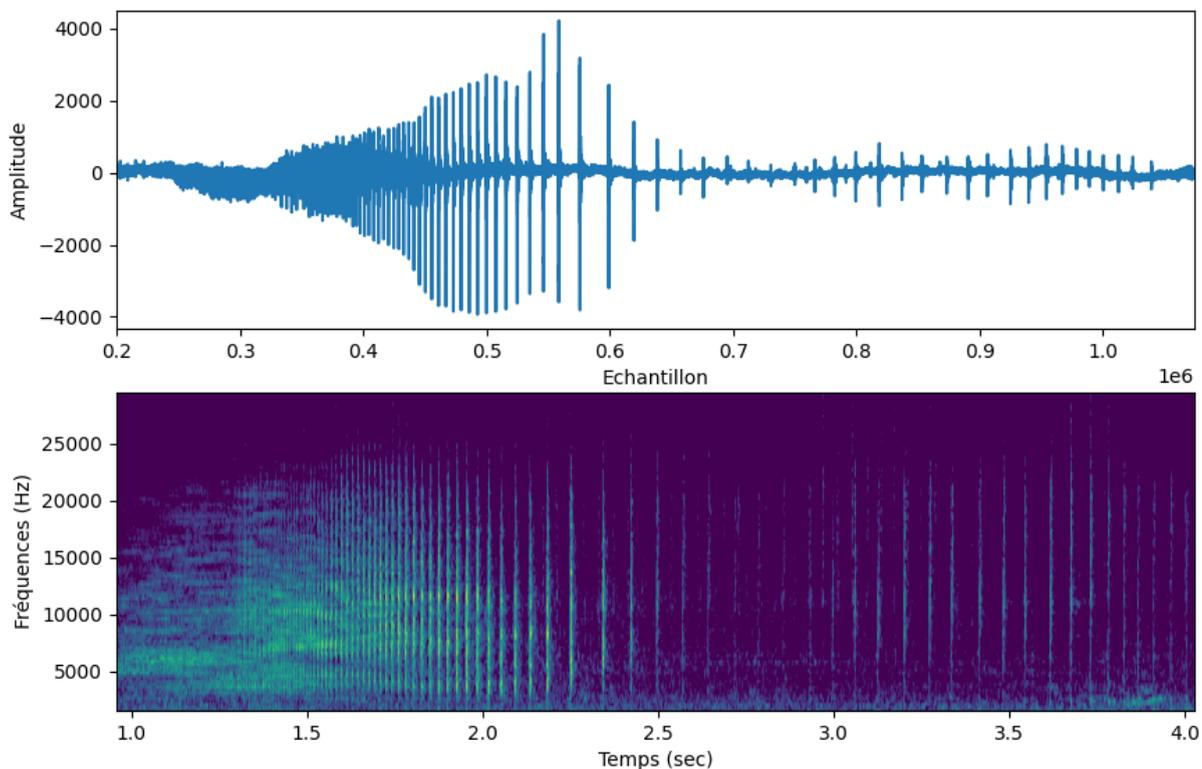


Figure 7.4 : Signaux (Forme d'onde et spectrogramme) sur antenne 5 hydrophones déployés durant la mission montrant leur chasse (biosonar) 5.5 sec @ 256 kHz Fe 5 voies grande Opale.

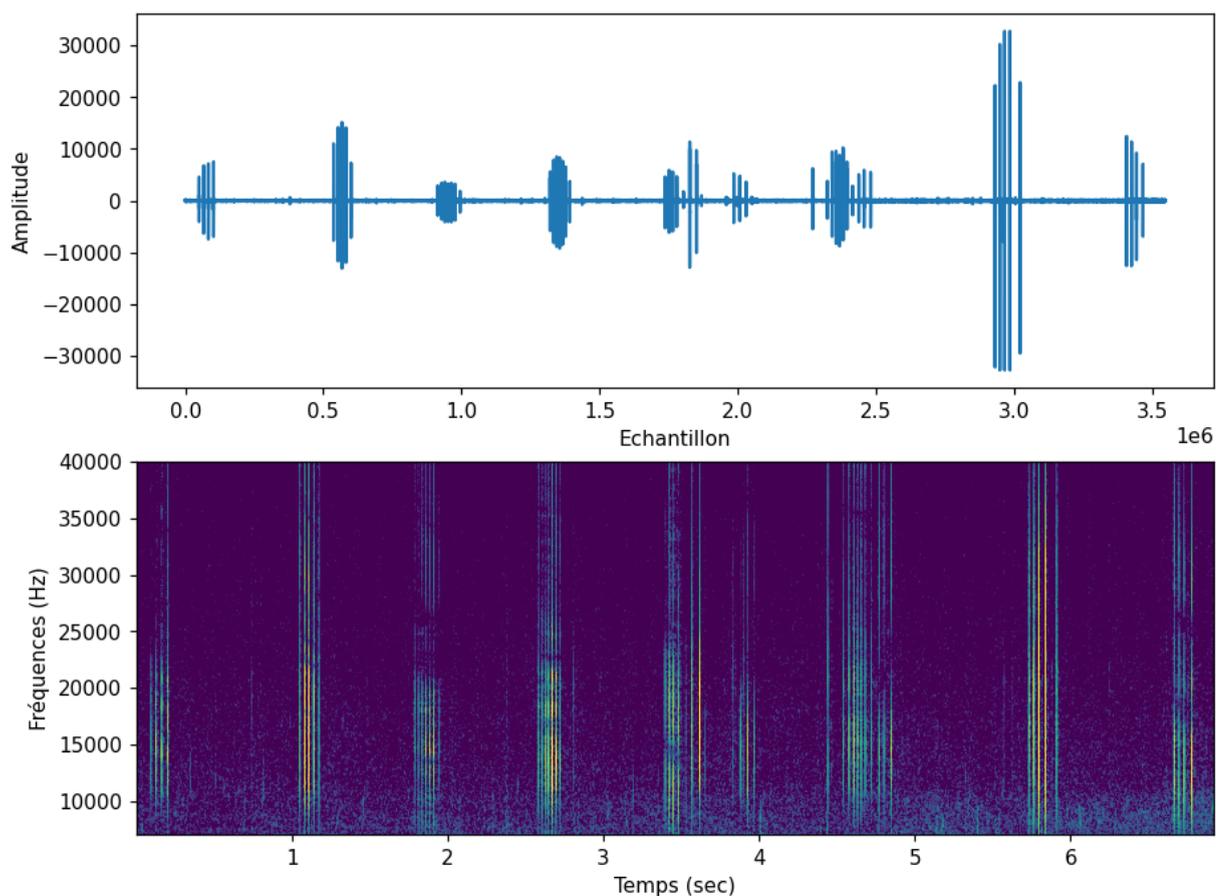


Figure 7.5: Signaux (Forme d'onde et spectrogramme) de clics d'orque de type socialisation (pas une chasse) avec clics et leur rythme 4+1 ou 6+2. Nous avons aussi mis en évidence des trains de pulses de baleines à bosse compatibles avec l'hypothèse biosonar BF de Au et al.

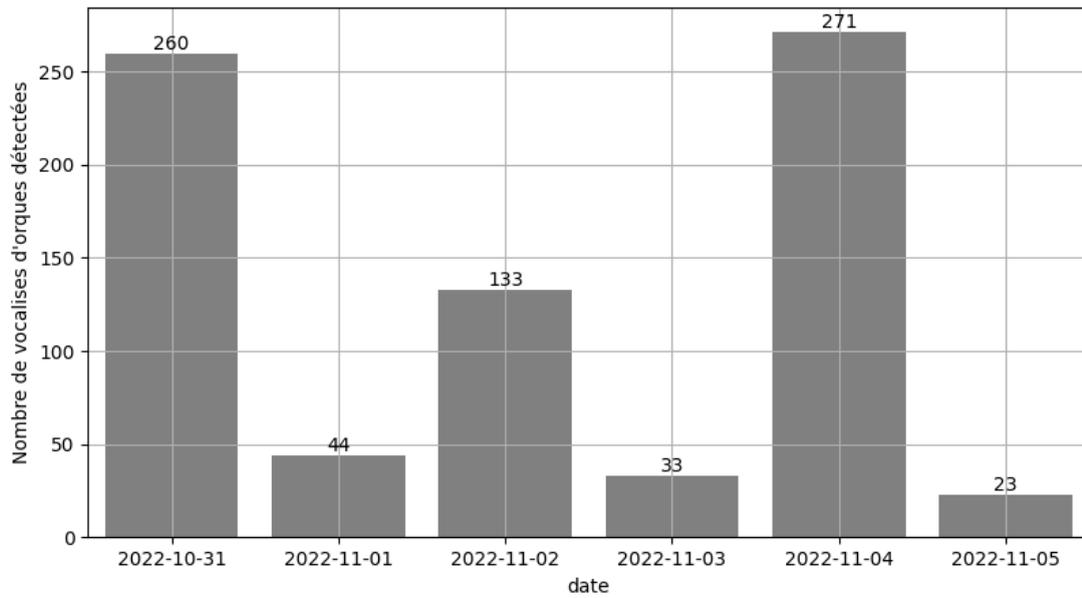


Figure 7.6: Nombre de vocalises d'orques détectées par jour par le CNN

La figure 7.7 représente le nombre de vocalises par fichier répartie sur la zone de recherche. La plupart des rencontres ont lieu en face et au nord de Skjervøy, jusqu'à Seglvik.

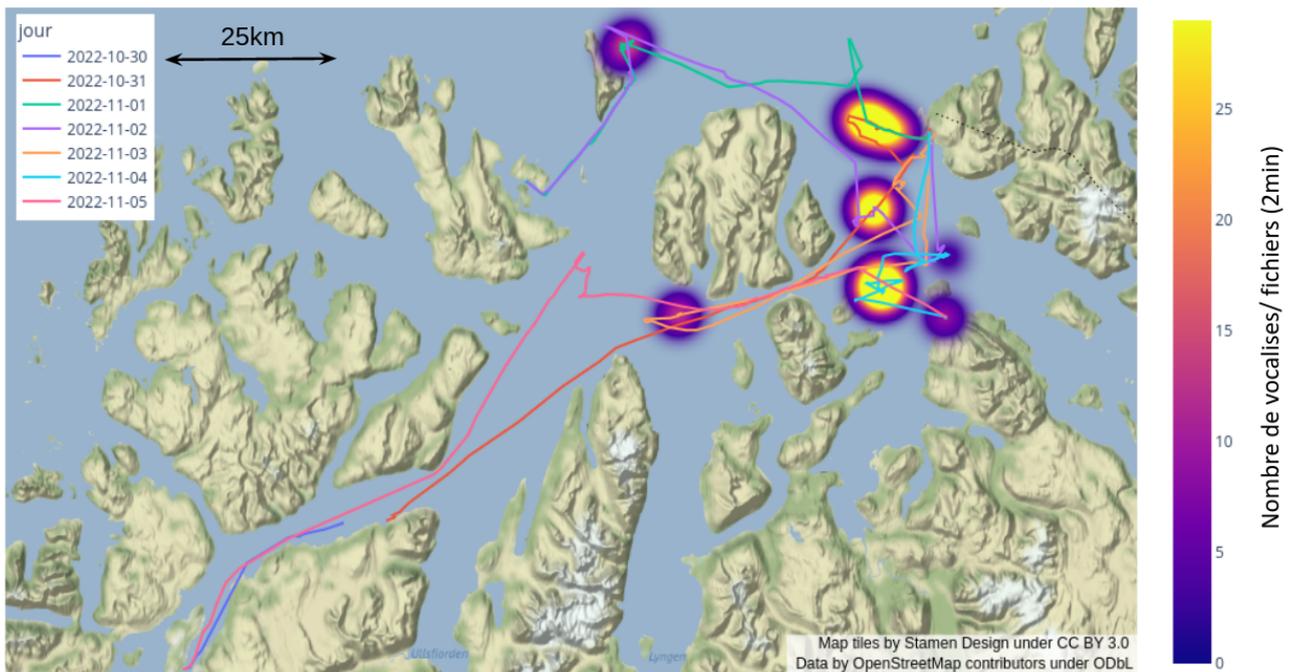


Figure 7.7: Carte représentant les trajets de l'Isbjorn et le nombre de vocalises d'orques détectées par enregistrement de deux minutes

7.2 Présence de baleine à bosse

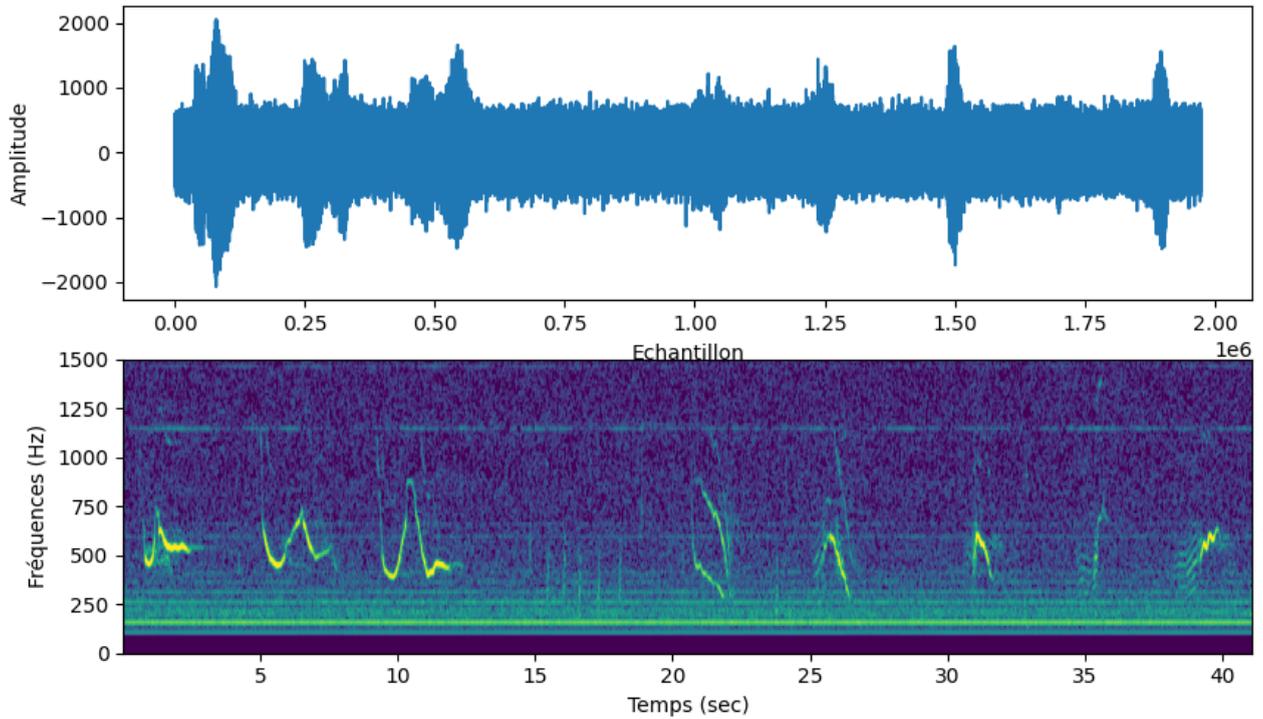


Figure 7.8: Exemple d'enregistrement de vocalises de baleine à bosse (05/11/22) à 2h53 du matin, à proximité de Skjervoy

Le même protocole a été réalisé pour les baleines à bosse. La plupart des vocalises détectées étaient dans la nuit du 05 Novembre, lorsque nous avons posé le c75 (288 vocalises détectées pendant la nuit). (Figure 7.9)

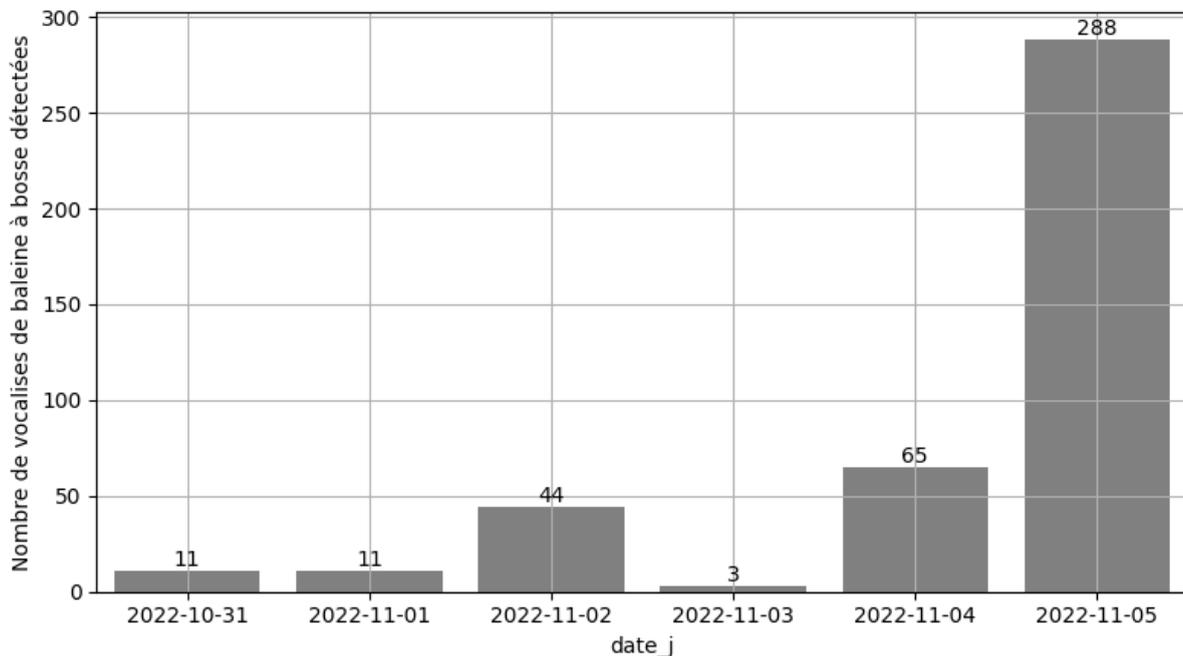


Figure 7.9: Nombre de vocalises de baleine à bosse détectées par jour par le CNN

Durant la nuit du 04 au 05 Novembre, un hydrophone (C75) a été immergé de minuit à 5h du matin en face de la ville de Skjervøy. Durant cette nuit, le CNN a détecté 288 vocalisations, avec un pic aux alentours de 3h du matin (Figure 7.10).

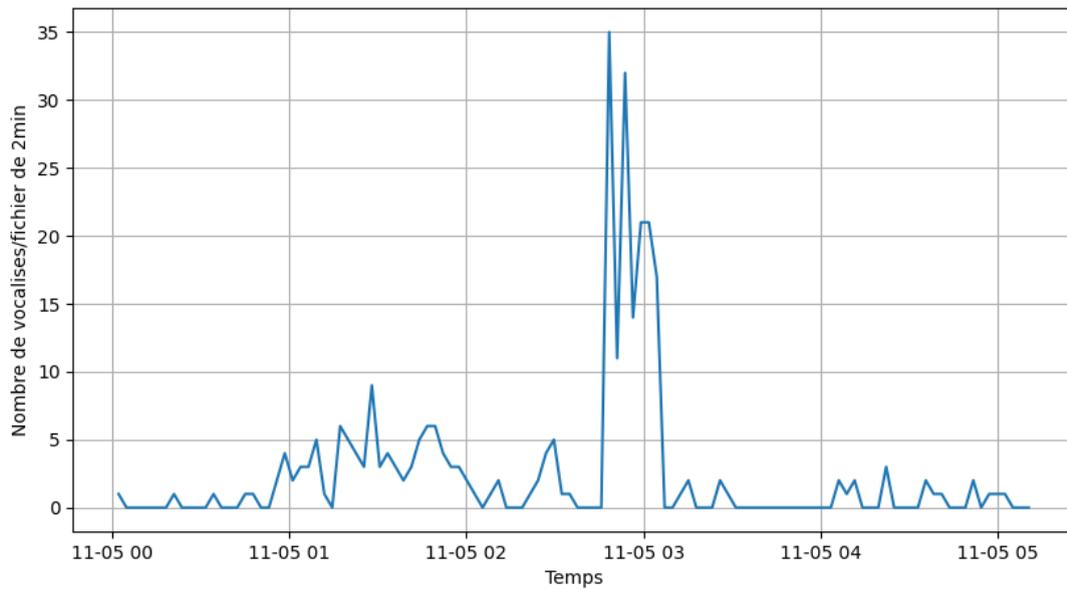


Figure 7.10 : Evolution du nombre de vocalise par fichier de 2 minutes lors de la nuit du 04 au 05 Novembre

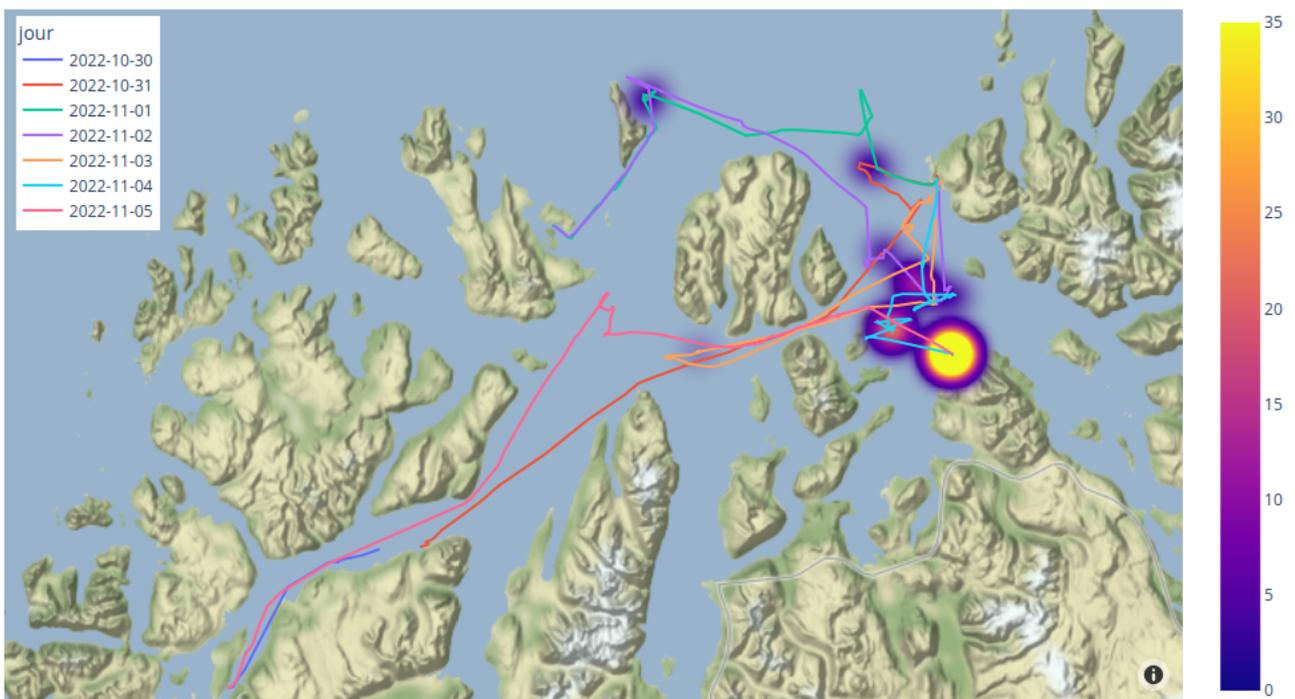


Figure 7.11: Carte représentant les trajets de l'Isbjorn et le nombre de vocalises de baleine à bosse détectées par enregistrement de deux minutes



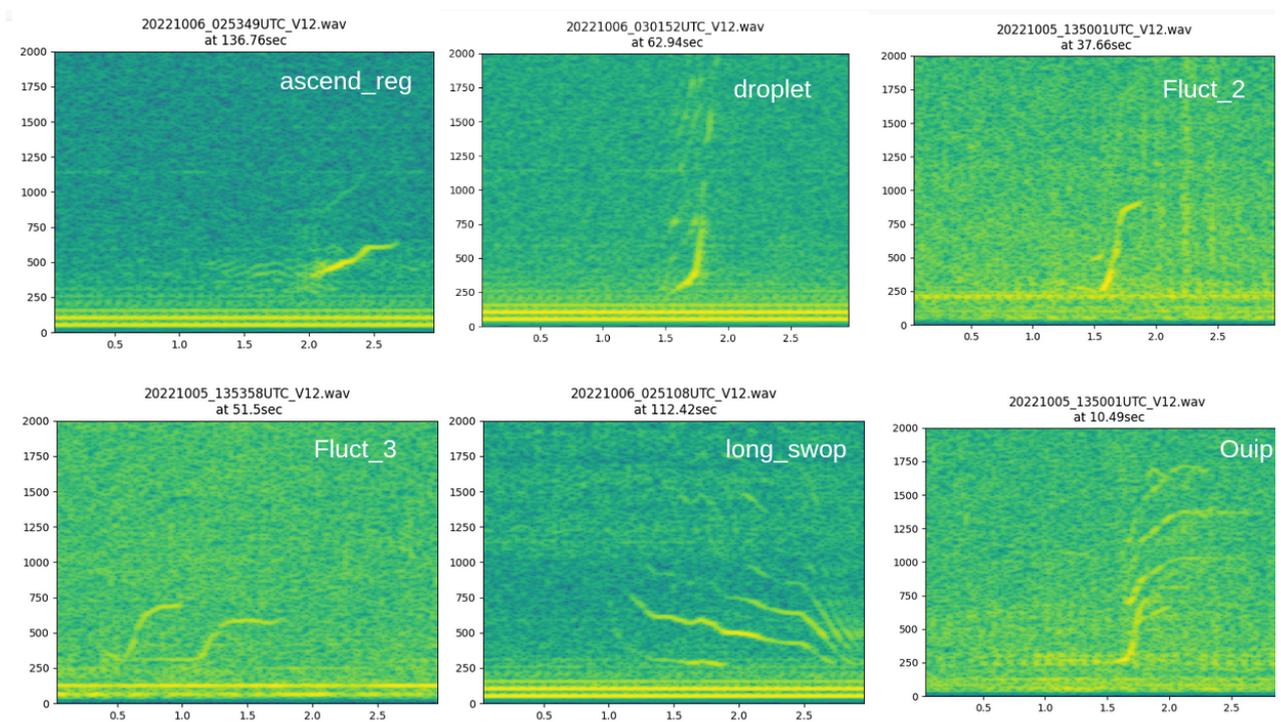
Figure 7.12: Exemple de rencontre d'un groupe de baleines à bosse (au moins 12 individus) au Nord Ouest de Rodoya. Certains groupes pouvaient atteindre plusieurs dizaines d'individus. © Poupard

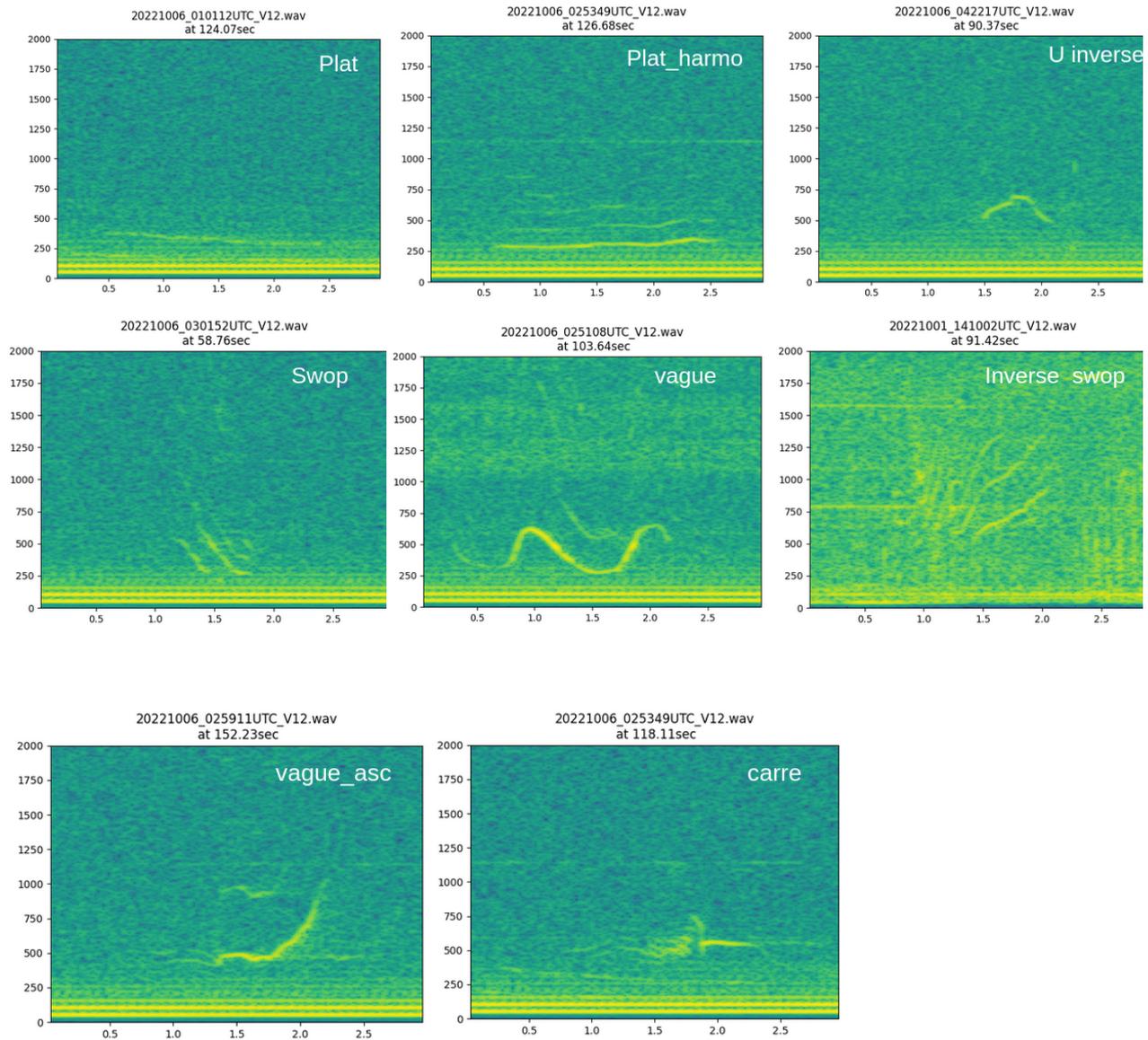
7.2.1 Etude du répertoire des vocalises de baleine à bosse

La détection automatique de vocalises de baleine à bosse nous a permis de détecter 422 vocalises réparties en 6 jours d'expérimentation. La plupart d'entre elles a été détectée en face de Skjervoy, lors de la nuit du 05 Novembre (voir carte Fig._).

Nous avons pu identifier un répertoire d'au moins 14 types différents. Ce répertoire est montré dans le tableau 7.2.

Tableau 7.2 : les différents types de vocalises de baleine à bosse identifiées dans la mission





7.3 Analyse acoustique interspécifique (orques et baleine à bosse)

La journée du 04 Novembre a été particulièrement intéressante. Un groupe d'orque a été repéré dans la matinée, et plusieurs chasses consécutives ont été observées et enregistrées. Nous avons pu calculer le taux d'appel (nombre de vocalises par minute) pour les deux espèces (orques et baleines à bosse) pour les trois feedings (Fig_).

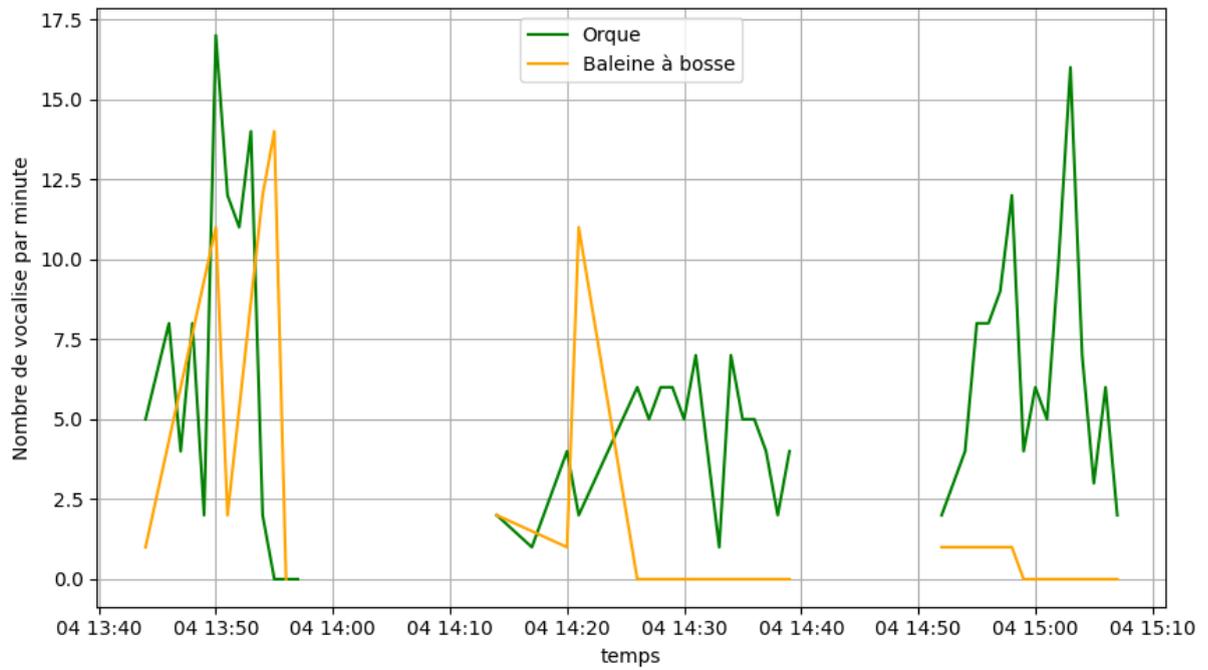


Figure 7.14: Calcul du Call rate (nombre de vocalises/minute) lors des 3 feedings successifs du 04/11/22

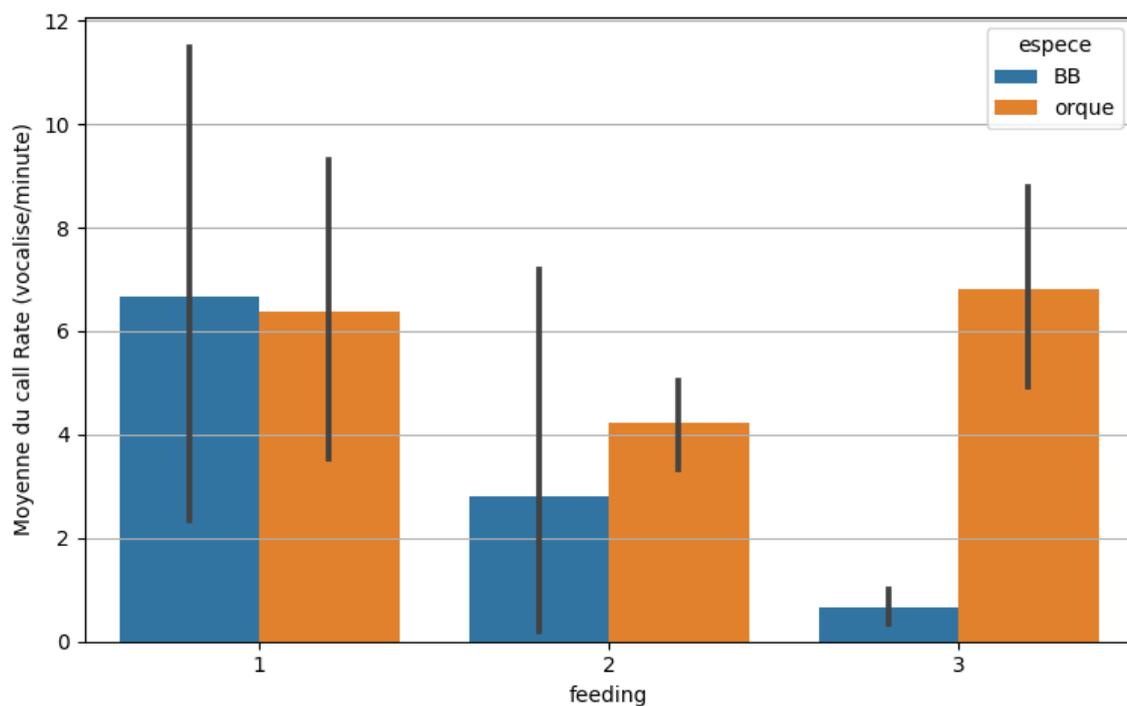


Figure 7.15: Moyenne du Call rate (nombre de vocalises/minute) lors des 3 feedings successifs du 04/11/22 pour les deux espèces

8. Suivi vidéo des chasses

Le protocole acoustique est couplé avec un protocole de photo identification des individus. Pour cela 3 appareils photos étaient utilisés. Grâce au catalogue de photo identification développé par E. Jourdain, quelques individus ont pu être identifiés.

Des vidéos ont également été réalisées afin de suivre l'évolution des périodes de chasse dans leur globalité. (Fig).



Figure 8.1 : Exemples d'observations typiques d'orques novembre 2022 sur la zone d'étude. © Sarano

20221031-13h56-POD 3 : au moins 6 grandes orques mâles différentes

20221101-14h12-POD4 : au moins 7 grandes orques mâles différentes

20221104-13h26-POD5 : au moins 7 grandes orques mâles différentes

20221105-12h05-POD 1 : au moins 7 grandes orques mâles différentes

20221105-13h00-POD 2 : au moins 4 grandes orques mâles différentes

Figure 8.2 : Liste du nombre d'orques identifiés : Sur le type de rencontres de Fig 7, des centaines de photos et de films ont été prises, et les grands mâles ont été identifiés, car ils caractérisent le plus facilement les POD. Sur les photos du Isbjorn, hors du 3 novembre pas encore vu, nous avons identifié 31 grands mâles différents appartenant à 5 POD différents.

Tableau 8.1: Photographie des individus identifiés grâce au catalogue

Photo	catalogue	date Heure
-------	-----------	------------

	<p>visitor Mâle</p> <p>NKW-0249 ♂ 2014</p>	<p>01112022 14h07</p>
	<p>Visitor mâle</p> <p>NKW-1082 ♂ 2018</p>	<p>03112022 13h45</p>

9. Anthropophonie

9.1 Matériel et méthode

La station fixe et la bouée stéréo couplées aux mesures centrales au Fjord par l'Isbjorn permettent une mesure inédite de la qualité acoustique d'un fjord arctique.

L'AIS permet de corréler les natures des bateaux (tonnage) et vitesse et distance à hydrophone par rapport au bruit enregistré. Cela permet de mieux qualifier l'anthropophonie, mais aussi la qualité de la propagation acoustique dans le Fjord qui est une cathédrale.

9.2 Résultats

10. Discussion et protocole 2023

Suite à la bonne expérience de cette mission (cf matrice SWOT, la mission est suivie par le projet en 2023 sur le même navire qui est parfait pour suivre les cétacés comme nous l'avons fait (cf Fig). La même équipe sera embarquée, en nov. 2023. Le but en 2023 est de suivre les groupes de cétacés sur plusieurs heures, à distance, en mesurant leurs signaux en contexte : sans et avec interaction inter-espèce, avec et sans pêcheur ou whale watchers, sur les trois groupes observés : orque, rorqual, baleine à bosse.

Deux autres stations acoustiques construites à Toulon par CNRS LIS, long terme, seront posées pour compléter ce premier observatoire sur cette zone (pose en 2022 à Seglvik et à Haudoya, triangle rouge), pour réaliser le suivi des activités dans le Fjord à long terme. C'est un des grands avantages de la mission que de poser ces instruments en collaboration avec notre partenaire norvégien Akvaplan. Ces mesures long terme donnent une vue précise des entrées et sorties des espèces et de leurs activités, jour et nuit, en bouche ou en bout du Fjord.

Tableau 10.1 : Matrice SWOT de la mission 2022 et perspectives

SWOT	Positif, pour atteindre objectif	Négatif, pour atteindre objectif
facteur Interne	<p>Synergie d'une équipe pluridisciplinaire Sur une approche originale mêlant = observation surface et sous-marine + acoustique sous-marine + Pas d'a priori, Regard ouvert, neuf Expérience forte sur missions précédentes : Whale Way L181, Sphyrna Odyssee, Bombyx1 et Bombyx 2 (http://bioacoustics.lis-lab.fr) Suivi de pod et de groupes, Analyse des réactions inter-espèces. Bonne dynamique, très bons moyens logistiques et instruments</p>	<p>Equipage du Fjord3D à consolider avec un second pour des quart plus long et en partie de nuit. L'annexe est à revoir (moteur). Rajouter dictaphone pour décrire les scènes. Prendre des films plus ciblés, avec 2 télébj. et 2 films par scènes. Se concentrer sur les grands males qui signent les pods.</p>
facteur Externe	<p>Opportunités : soutien d'Akvaplan. Perspective de projet dans Biodiversa (EuroPAM) sur ce sujet, en review. Liens fort de Fjord3D avec notre projet CARIMAM de suivi des baleines à bosses aux caraïbe par acoustique (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03629286) Il n'existe pas d'autre projet de suivi à l'échelle en Norvège, ni entre Norvège et Caraïbe.</p>	<p>Météo et visibilité jour => rajouter 1 semaine Variabilité des recrutements harrengs / présences => déplacement du bateau. Dépendance date pleine lune ? Evolution quota des pêcheurs. Perturbation par whalewatcher et ou pêcheurs</p>

11. Bibliographie

- **Barchasz, V., Gies, V., Marzetti, S., & Glotin, H.** (2020, December). A novel low-power high speed accurate and precise DAQ with embedded artificial intelligence for long term biodiversity survey. In *e-Forum Acusticum 2020* (pp. 3217-3224).
- **Best, P.** (2022). *Automated Detection and Classification of Cetacean Acoustic Signals* (Doctoral dissertation, Université de toulon).
- **Bucholtz, R. H., Tomkiewicz, J., & Dalskov, J.** (2008). *Manual to determine gonadal maturity of.*
- **Jourdain, E; Karoliussen, R** (2018): Photo-Identification Catalogue of Norwegian killer whales 2007-2021. figshare. Dataset. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.4205226.v4>
- **Simon, M., McGregor, P. K., & Ugarte, F.** (2007). The relationship between the acoustic behaviour and surface activity of killer whales (*Orcinus orca*) that feed on herring (*Clupea harengus*). *Acta ethologica*, 10(2), 47-53.
- **SMIOT GUIDE, Guide utilization High blue,.**
<https://smiot.univ-tln.fr/downloads/highblue.pdf>
- Van Opzeeland, I., Corkeron, P. J., Leyssen, T., Simila, T., & Van Parijs, S. M. (2005). Vocal behaviour of Norwegian killer whales, *Orcinus orca*, during carousel and seiner foraging on spring-spawning herring. *Aquatic Mammals*, 31, 110-119.
- Pierre Mahé, Maxence Ferrari, Paul Best et Hervé Glotin (2023). Rapport scientifique, Challenge Data 2023, <http://sabiiod.univ-tln.fr/pub/biosonardatachallenge2023.pdf>
Balestriero, Randall, Hervé Glotin, and Richard Baranuik. "Interpretable and learnable super-resolution time-frequency representation." In *Mathematical and Scientific Machine Learning*, pp. 118-152. PMLR, 2022. <https://proceedings.mlr.press/v145/balestriero22a>
- Loïc Lehnhoff, Hervé Glotin, Serge Bernard, Willy Dabin, Yves le Gall et al.. (2022). Behavioural Responses of Common Dolphins *Delphinus delphis* to a Bio-Inspired Acoustic Device for Limiting Fishery By-Catch. Sustainability.
<https://hal.umontpellier.fr/hal-03820889/document>
- Franck Malige, Julie Patris, Maxime Hauray, Pascale Giraudet, Hervé Glotin, et al..
Mathematical models of long term evolution of blue whale song types' frequencies. *Journal of Theoretical Biology*, Elsevier, 2022, 548, pp.111184.
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03632687v2/document>
- Best, P., Marxer, R., Paris, S and Glotin, H . Temporal evolution of the Mediterranean fin whale song. Scientific reports, 2022 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15379-0>
- Poupard, Ferrari, Best, Glotin (2022), Passive acoustic monitoring of sperm whales and anthropogenic noise using stereophonic recordings in the Mediterranean Sea, North West Pelagos Sanctuary. In Scientific reports <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05917-1>
- Jenkins, Joseph & Paiement, Adeline & Ourmières, Yann & Sommer, Julien & Verron, Jacques & Ubelmann, Clément & Glotin, Hervé. (2022). A DNN Framework for Learning Lagrangian Drift With Uncertainty. <https://arxiv.org/pdf/2204.05891v1.pdf>

- H. Glotin, M. Poupard, P. Best, M. Ferrari. (2021). 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
http://sabiiod.lis-lab.fr/pub/BOMBYX/RAPPORT_ENGIE_LOT2_rorqual_CNRS_BOMBYX.pdf
- H. Glotin, M. Poupard, P. Best, M. Ferrari. (2021). Observations Stéréophoniques sur 4 ans de la Bouée BOMBYX au Sud du Parc National de Port-Cros : Mégafaune et pollution anthropophonique. LOT 1 : Le cas du cachalot
http://sabiiod.lis-lab.fr/pub/BOMBYX/RAPPORT_ENGIE_LOT1_cachalot_CNRS_BOMBYX.pdf
- Poupard, Symonds, Spong, Glotin (2021) Intra-Group Orca Call Rate Modulation Estimation Using Compact Four Hydrophones Array. *Frontiers in Marine Science*
<https://doi.org/10.3389/fmars.2021.681036>
- Marie A. Roch, Scott Lindeneau, Gurisht Singh Aurora, Kaitlin E. Frasier, John A. Hildebrand, Hervé Glotin, and Simone Baumann-Pickering, "Using context to train time-domain echolocation click detectors", *The Journal of the Acoustical Society of America* 149, 3301-3310 (2021) <https://asa.scitation.org/doi/pdf/10.1121/10.0004992>
- Hervé Glotin, Maxence Ferrari, Paul Best, Marion Poupard, Nicolas Thellier, et al.. CARIMAM Report Bioacoustic Data Processing. [Research Report] DYNIS LIS. 2021.
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03629286>
- Best P., Marzetti S., Poupard M., Ferrari M., Paris S., Marxer R., Philippe O., Gies V., Barchasz V., Glotin H. (2020) Stereo to five channels Bombyx sonobuoys : from four years cetacean monitoring to real-time whale ship anti-collision system. *Eu. Forum Acusticum*
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03199965/document>
- Barchasz, Gies, Marzetti, Glotin (2020) A novel low-power high speed accurate and precise DAQ with embedded artificial intelligence for long term biodiversity survey, *Eu. Forum Acusticum* <https://hal.archives-ouvertes.fr/FA2020/hal-03230835v1>
- Best, Ferrari, Poupard, Paris, Marxer, Symonds, Glotin (2020) Deep Learning and Domain Transfer for Orca Vocalization Detection. In *International joint conference on neural networks*. IEEE IJCNN, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02865300/document>
- Balestrieri, Randall and Glotin, Herve and Baraniuk, Richard G (2020) Interpretable Super-Resolution via a Learned Time-Series Representation, *arxiv*
<https://arxiv.org/pdf/2006.07713.pdf>
- Paul Best, Maxence Ferrari, Marion Poupard, Sébastien Paris, Ricard Marxer, et al.. Deep Learning and Domain Transfer for Orca Vocalization Detection. *International joint conference on neural networks*, Jul 2020, glasgow, United Kingdom.
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02865300/document>
- Ferrari, Glotin, Marxer, Asch (2020) End to end raw audio deep learning of transients, application to bioacoustics, *Eu. Forum Acusticum*
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03078665/document>
- Ferrari et al. (2020) 3D diarization of a sperm whale click cocktail party by an ultra high sampling rate portable hydrophone array for assessing individual cetacean growth curves, *Eu. Forum Acusticum* <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03078655/document>

- Ferrari et al. (2020) DOCC10: Open access dataset of marine mammal transient studies and end-to-end CNN classification, in 2020 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). IEEE <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02866091/document>
- Marzetti, Gies, Barchasz, Best, Paris, Barthelemy, Glotin (2020) Ultra-Low Power Wake-Up for Long-Term Biodiversity Monitoring, in proc. IEEE IoTAIS <http://dx.doi.org/10.1109/iotais50849.2021.9359710>
- Franck Malige, Divna Djokic, Julie Patris, Renata Sousa-Lima, Hervé Glotin. Use of recurrence plots for identification and extraction of patterns in humpback whale song recordings. *Bioacoustics*, Taylor and Francis, 2020, pp.1 – 16. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03008908/document>
- Marzetti, V Gies, V Barchasz, H Barthelemy, H Glotin, E Kussener et al. (2020) Embedded Learning for Smart Functional Electrical Stimulation, 2020 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC) https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03386618/file/ITMS-2019-TENS_Learning.pdf
- Poupard, Best, Ferrari, Spong, Symonds, Prevot, Soriano, Glotin (2020) From massive detections and localisations of orca at orcalab over three years to real-time survey joint to environmental conditions in Eu. Forum Acusticum <https://hal.science/hal-03230841/document>
- Paul Best (2022). Automated Detection and Classification of Cetacean Acoustic Signals. Machine Learning. Phd Thesis, Université de toulon (dir Glotin). <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03826638/document>
- Stéphane Chavin, Hervé Glotin, Marion Poupard, Paul Best, Maxence Ferrari, et al.. Automatic classification of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) vocalization in the Caribbean. Master thesis, Université de Toulon, Aix Marseille Univ, CNRS, LIS, Marseille, France. 2022 http://sabiiod.lis-lab.fr/pub/CHAVIN_master_thesis.pdf
- Ferrari (2020) Study of a Biosonar Based on the Modeling of a Complete Chain of Emission-Propagation-Reception with Validation on Sperm Whales, Phd Thesis, Université Picardie Jules Verne, (dir Glotin & Asch) <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03078625/document>
- Poupard (2020) Contributions en Méthodes Bioacoustiques Multiéchelles: Spécifiques, populationnelles, individuelles et comportementale, Phd Thesis, Université de Toulon (dir Glotin Soriano Lengagne) http://sabiiod.univ-tln.fr/pub/poupard/cv/m_poupard_phd_08012021.pdf
- Glotin, Thellier, Best, Poupard, Ferrari, et al. (2020) Rapport Mission Sphyrna Odyssey : Découvertes Ethoacoustiques de Chasses Collaboratives de Cachalots en Abyse & Impacts en Mer du Confinement COVID19 , <http://sabiiod.univ-tln.fr/pub/SO1.pdf>

12. ANNEXE

12.1 Bilan financier

2 - Bilan financier des dépenses effectuées en 2022, répartition effectuée par poste de dépenses	
Déplacements : missions, réunions de travail, workshops, etc. Détail : location du ISBJORN = 23 000 € HT Trajets Avion ≈ 8 000 € TTC, Hotel ≈ 800 € TTC, TGV ≈ 1 200 € TTC, Taxi ≈ 600 € (apport de crédit pas ADSIL)	33 600 €
Fonctionnement y compris l'organisation de réunions ou ateliers, Détail : sera en 2023	0 €
Équipement Détail : prêt CTD et échosondeur (Akvaplan) 3000 € hydrophones	3 000 €
Prestations de service étroitement liées à la mise en œuvre du projet Transporteurs (échantillons Norvège-France) ≈ 200€ Taxes douanières : ≈100 € Sorties Valhalla 15 jours 2 personnes ≈ 13 K€	13 300 €
Consommables partie "omique" Analyse chimique de l'eau par Laboratoire externe Laboceca (406,01 €) Consommables : Kits d'extraction ADN, ARN, éthanol, RNAlater, divers consommables (lames, eppendorf...), amorces pour amplification, Kit d'amplification pour qPCR...	3 000 €
TOTAL	52 900 €

Budget prévu en 2023 avec cofinancement TPM APRI UTLN

Déplacements : missions, réunions de travail, workshops, etc. Détail : location du ISBJORN 50 000 € HT Trajets Avion ≈ 8 000 € TTC Hotel ≈ 800 € TTC TGV ≈ 1 200 € TTC Taxi ≈ 600 € TTC (+ crédit TPM APRI)	50 000 € HT
Fonctionnement y compris l'organisation de réunion Workshop au printemps 2023, 15 mars 2023, JS UTLN	1 500 €
Équipement (+APRI TPM acquis) Détail : prêt CTD et Échosondeur (Akvaplan) Préparation hydrophones pour 2 bouées	6 000 €
Prestations de service étroitement liées à la mise en œuvre du projet analyse omique (+APRI TPM acquis) Analyses chimique de l'eau (400€/échantillon) et de tissus de harengs (400€/poisson) par Laboratoire externe Laboceca (≈ 8000 € TTC) actuellement que 4000	4000 € si possible 8 000 €
Consommables partie "omique" Consommables : Kits d'extraction ADN, ARN, éthanol, RNAlater, divers consommables (lames, eppendorf...), amorces pour amplification, Kit d'amplification pour qPCR...	3 000 €
TOTAL	44 100 € si possible 48 100 €

4 – Demande exceptionnelle d'un stage de Master pour l'année 2. NON, déjà financé sur ADSIL ANR

Bilan des Recettes 2022 + 2023 = 89 500 €

détail =

MITI CNRS 2022 = 30 K€

LIS DYNI HG A = 10 500 €

TPM = 23 000

APRI = 6 000

LIS DYNI HG B = 10 500 €

INPS = 5 000

CARTT22 = 2 000

CARTT23 = 2 500

exemple détail apport APRI TPM etc 2022 =

	Fonctionnement HT	Investissement HT
Budget total du projet	46 429 €	0 €

Collectivité sollicitée	Montant de l'aide sollicitée en fonctionnement HT	Montant en investissement HT
TPM	23 000 €	
CD 83	0	
APRI	6 000 €	
LIS projet (Glotin)	10 429 € acquis ressources propres FortFrance	
INPS	5 000 € (acquis = vote à l'unanimité par le bureau du pôle INPS du 29 octobre)	
CARTT 2022-2023	2 000 €	

Bilan Exercices 2022 et 2023

Exercice 2022 = équilibré

Dépense 2022 = 53 K€

Recette = CNRS MITI 30 K€ + CART 2 K€ + Budget LIS DYNI Glotin 21 K€ = 53 K€

Exercice 2023 = manque 12 000 euros

Recette 2023 disponibles = 36 500 euros

Dépense 2023 = 48 100 euros

12.2 Devis 2023

DATES Séjour 1 : 01/11/23 au 8/11/23 – 8 jours

TARIF Forfait privatisation du navire ISBJORN II : 24 900,00 € TTC (8 jours)
Est inclus : location du navire ISBJORN II, hébergement, restauration, carburant du navire, mise à disposition des membres d'équipage pour la réalisation des opérations scientifiques. Départ et retour de la mission à Tromso (Norvège).
N'est pas inclus : transport jusqu'à Tromso. Prévoir 500-600 € billet avion (Paris-Tromso)

Total HT :	24 900,00 €
Total TVA :	4 980,00€
Total TTC :	29 880,00 €

DATES Séjour 2 : 08/11/23 au 14/11/23 – 7 jours

TARIF Forfait privatisation du navire ISBJORN II : 24 900,00 HT (7 jours)
Est inclus : location du navire ISBJORN II, hébergement, restauration, carburant du navire, mise à disposition des membres d'équipage pour la réalisation des opérations scientifiques. Départ et retour de la mission à Tromso (Norvège).
N'est pas inclus : transport jusqu'à Tromso. Prévoir 500-600 € billet avion (Paris-Tromso)

Total HT :	24 900,00 €
Total TVA :	4 980,00€
Total TTC :	29 880,00 €