



Mission pour les initiatives transverses et interdisciplinaires

## Adaptation du vivant ADAPREDAT

Pré-rapport scientifique & financier des projets lauréats 2022  
Janvier 2023

**Hervé Glotin \*, Marion Poupard \*, Maxence Ferrari \*, Pierre Priou \$,  
François Sarano ~, Véronique Sarano~, Valentin Gies +, Pascale Giraudet \*,  
Nathalie Prévot D'Alvise #, Jean-Marc Prévot \*, Malik Chami ^,  
Julie Guiderdoni & Rodolphe Tanneau £**

(\*) LIS DYNI, Chaire IA ADSIL, UMR CNRS Univ Toulon

(+) IM2NP, UMR CNRS Univ Toulon

(#) MIO, UMR CNRS Univ Toulon

(^) LATMOS, UMR CNRS Sorbonne

(~) Longitude 181, Valence

(\$) Akvaplan-niva, Tromso, Norvège

(£) Valhallab Orca Expedition, Segl vik, Norvège



**Mots-clés**

Compétition, changement climatique, super prédateur, arctique, bioacoustique, pression anthropique, pollution omique, baleine à bosse, orque, hareng, biosonar, vocalise, interaction interspécifique

**Remerciements**

Cette mission a été cofinancée par la MITI CNRS et son appel ADAPTATION DU VIVANT, par la Chaire IA ADSIL ANR AID DGA, par TPM CG83 APRI UTLN et LIS DYNI. Nous remercions Valhallab, laboratoire antenne de Valhalla Orca Expédition SAS Norvège suite à la collaboration avec LIS DYNI, pour le suivi de nos stations posées à Seglvik en novembre 2022 et en enregistrement continu depuis.

**Crédit photos couverture**

Orque durant mission vers Haudoya en 2022 (Gauche, crédit Marion Poupard), et en compétition avec Baleine bosse en 2021 durant protocole OPALE (Droite, crédit Stéphane Barnier).

**Research Report LIS CNRS UTLN 20230123**

<b>1 Introduction</b>	<b>5</b>
<b>2. L'équipe interdisciplinaire de l'expédition</b>	<b>7</b>
<b>3. Caractérisation du milieu par CTD</b>	<b>8</b>
3.1 Matériel et méthode	8
3.2 Résultats	10
<b>4. Echosondage de plusieurs points du fjord</b>	<b>11</b>
4.1 Matériel et méthode	11
4.2 Résultats	12
<b>5. Protocole omique sur les harengs et l'eau</b>	<b>13</b>
5.1 Matériel et méthodes	14
5.2 Résultats	14
<b>6. Protocoles acoustiques : matériel et méthode</b>	<b>15</b>
6.1 Enregistreur ultra-véloc QHB	16
6.2 Transect de l'Isbjorn	18
6.3 Protocoles acoustiques déployés depuis l'Isbjorn	18
6.4 Protocole champ proche (2021 / 2022)	19
6.5 Pose d'une station fixe d'écoute sur 2 ans (Nov. 2022-2024)	21
6.6 Pose d'une bouée stéréophonique sur 2 mois (Nov. 2022)	21
<b>7. Résultats acoustiques</b>	<b>22</b>
7.1 Volume des données acoustiques enregistrées	22
7.2 Détecteurs automatiques IA	24
7.3 Détections acoustiques des signaux d'orques	24
7.4 Détections acoustiques par IA des baleines à bosse	27
7.5 Analyse comparée des répertoires vocaliques des baleines à bosse de l'arctique au tropique	30
7.6 Analyse acoustique interspécifique (orques & baleine à bosse)	32
7.7 Suivi de piste d'orque en champ proche de localisation des prédateurs	34
7.8 suivi de piste en champs lointain	35
<b>8. Protocole d'observation et d'identification visuelles</b>	<b>36</b>
8.1 Matériel et méthode	36
8.2 Résultats	37
<b>9. Paysage acoustique, puits de silence versus pollution anthropophonie</b>	<b>42</b>
9.1 Matériel et méthode	42
9.2 Résultats	43
<b>10. Discussion</b>	<b>45</b>
<b>11. Conclusion et plan 2023</b>	<b>47</b>
11.1 Diffusion, formation	48
<b>12. Bibliographie</b>	<b>49</b>
<b>13. ANNEXES</b>	<b>54</b>
13.1 Exemple de fiche terrain	54
13.2 Sensibilité des hydrophones	54
<b>14. CV de l'équipe</b>	<b>56</b>
<b>15. Bilan financier</b>	<b>63</b>
15.1 Devis 2023	63
15.2 Bilan financier des dépenses effectuées en 2022	64
15.3 Budget prévu en 2023 avec cofinancement	64



# 1 Introduction

De nombreuses études s'intéressent aux écosystèmes des eaux froides des mers du Groenland, de Norvège et de Barents. Elles ont une importance particulière pour la gestion des ressources halieutiques, en raison du changement climatique susceptible d'entraîner le déplacement de l'habitat de certaines espèces.

Elles montrent aussi que 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 se sont adaptées en développant 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 par acoustique passive au long terme, tout en relevant l'identité photographique des animaux, la qualité hydrophysique du milieu et la qualité des proies par analyses omiques.

En effet, les orques utilisent une stratégie de chasse originale, appelée carrousel (Similä et Ugarte, 1993) basée sur la formation de boules de harengs et accompagnée de signaux sonores (Simon et al. 2007; Van Opzeeland et al., 2005), stratégie qu'elles sont susceptibles de modifier aujourd'hui pour éviter la concurrence des baleines à bosse. Leurs vocalises pourraient évoluer en nombre et en qualité notamment lorsque 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 d'en profiter. C'est cette évolution rapide inter-spécifique hareng-orque-baleine à bosse en lien avec la pollution marine qui constitue le sujet de nos recherches.

Ce projet met en avant une réelle complémentarité des équipes impliquées dans ce projet. Ainsi les biologistes ont besoin du savoir faire des bioacousticiens pour repérer les chasses sur les bancs de harengs et ainsi pouvoir faire des mesures d'échantillonnages pertinents. Les analyses photo-Id, biologiques et chimiques permettront ensuite de donner du poids aux données acoustiques enregistrées et ainsi faciliter l'interprétation et la compréhension des nouveaux comportements adoptés par ces super-prédateurs. La description de la chasse partagée par les orques et les baleines à bosse pour les harengs a été décrite (Jourdain et al., 2017). A ce jour, des drones ont pu surveiller du ciel ces comportements (Aniceto et al., 2018) et les travaux de thèse de Theresia Ramm (2020) ont permis de suivre les baleines à bosse par photo ID. Mais il n'existe pas, à notre connaissance, de suivi précis et à long terme des activités vocales des superprédateurs qui permettent de décrire leurs interactions fines avec leur milieu et donc leur adaptation.

L'objectif de ADAPREDAT est d'observer et de donner des hypothèses sur l'évolution des adaptations des superprédateurs qui sont, depuis dix ans, concurrents sur la zone de Skjervoy au nord de Tromsø. Les espèces cibles sont d'une part le hareng (*Clupea harengus*), d'autre part la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) et l'orque (*Orcinus orca*) qui se nourrissent dans ces sites parmi les plus riches en biomasse de la planète. Ces objectifs se complètent : la pression anthropique, à la fois chimique et acoustique, augmente exponentiellement et impacte ces populations, au-delà de la très forte pression de pêche. Le bilan de l'expédition portera sur l'état et l'évolution des populations de ces super-prédateurs, ainsi que sur la description de leurs stratégies de communication et de collaboration de chasse, via les algorithmes de localisation mis au point par la chaire IA ADSIL à l'université de Toulon.

Pour ce faire, nous ferons un bilan des pollutions acoustiques, physico-chimiques et du réchauffement des Fjords Arctiques du Troms, écosystèmes uniques. Le protocole omique permettra de définir le taux de contamination et de le corrélérer avec la taille de la population de harengs sur la zone. Ainsi notre mission propose de décrire la compétition orque et baleine à bosse par acoustique passive, tout en relevant la qualité des proies par analyses chimique et omique (variation de l'expression d'ARNm spécifiques à des gènes clés impliqués dans la reproduction et/ou le bien être de l'individu).

Nous dresserons les zones d'alimentation de la mégafaune, afin de mesurer par indices bioacoustiques les stratégies de communication et de coordination de chasse des superprédateurs. Nous étudierons l'évolution phonotactique des 2 espèces en compétition sur ces chasses et qui doivent néanmoins se coordonner à distance, par acoustique, sans renseigner l'autre espèce de la position de leurs boules de harengs. Nous établirons, en collaboration avec les fisheries Norvégiennes, les stocks de harengs associés aux chasses étudiées et leur état de santé (densité de polluant).

Ce projet a été initié en 2021 avec un repérage et des mesures acoustiques par antenne portable lors de nage en champ proche avec les prédateurs près de Seglvik et Skjervoy, Norvège, par H. Glotin et M. Poupard, avec l'instrumentation scientifique avancée QHB. Puis ce projet s'est projeté sur 5 à 10 années, avec cette mission 2022, et la pose en 2022 d'un observatoire de stations fixes en complément des observations en proximité pour l'étude des variations de vocalises d'orques et des autres cétacés en interaction dans la zone.



Figure 1.2 : Le navire de l'expédition, "Isbjorn II", durant la mission (crédit photo Gies)

Ce rapport dresse ainsi conjointement une pré-analyse des données de 2021 avec le bilan de la mission de novembre 2022 : pendant la première semaine de novembre 2022, nous avons parcouru les fjords, 100 km au nord du cercle polaire, sur le navire Isbjorn II durant 8 jours. Nous avons caractérisé la colonne d'eau sur 400 m de hauteur, 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, ainsi que leurs interactions. Nous avons continué cette étude en champ proche avec nos antennes Opales pour identifications des vocalises pendant les

2 semaines suivantes. A partir des vidéos que nous avons prises, le service numérique UTLN prépare un montage pour motiver la communauté et les étudiants sur ce projet (cf exemples sur <http://sabiord.org/orcas/>).

## 2. L'équipe interdisciplinaire de l'expédition

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

### 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.
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-niva	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	Valhallab	-	Norvège	Julie et Rodolphe



Figure 2.1 : l'équipe scientifique (Université de Toulon, Akvaplan-niva, L181) et technique (1 capitaine et 2 femmes matelots) de l'expédition (crédit photo Gies)

## 3. Caractérisation du milieu par CTD

### 3.1 Matériel et méthode

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 dans le fjord. Elles ont permis la mesure 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 (Fig.3.1).

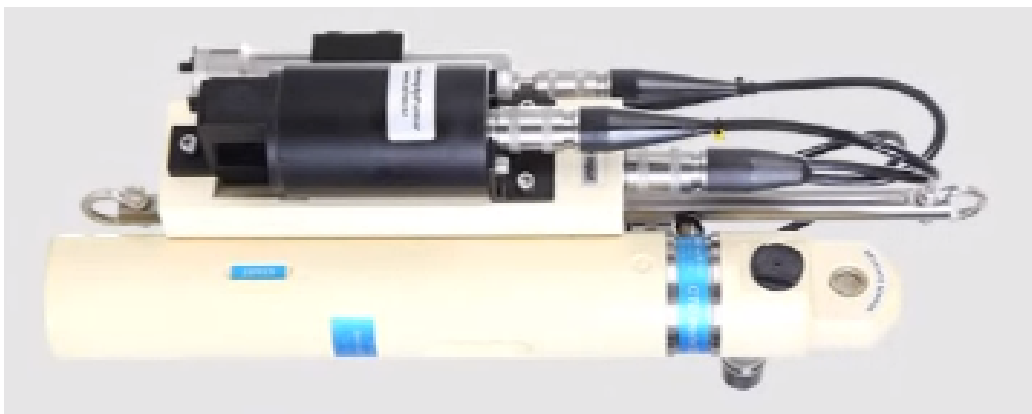
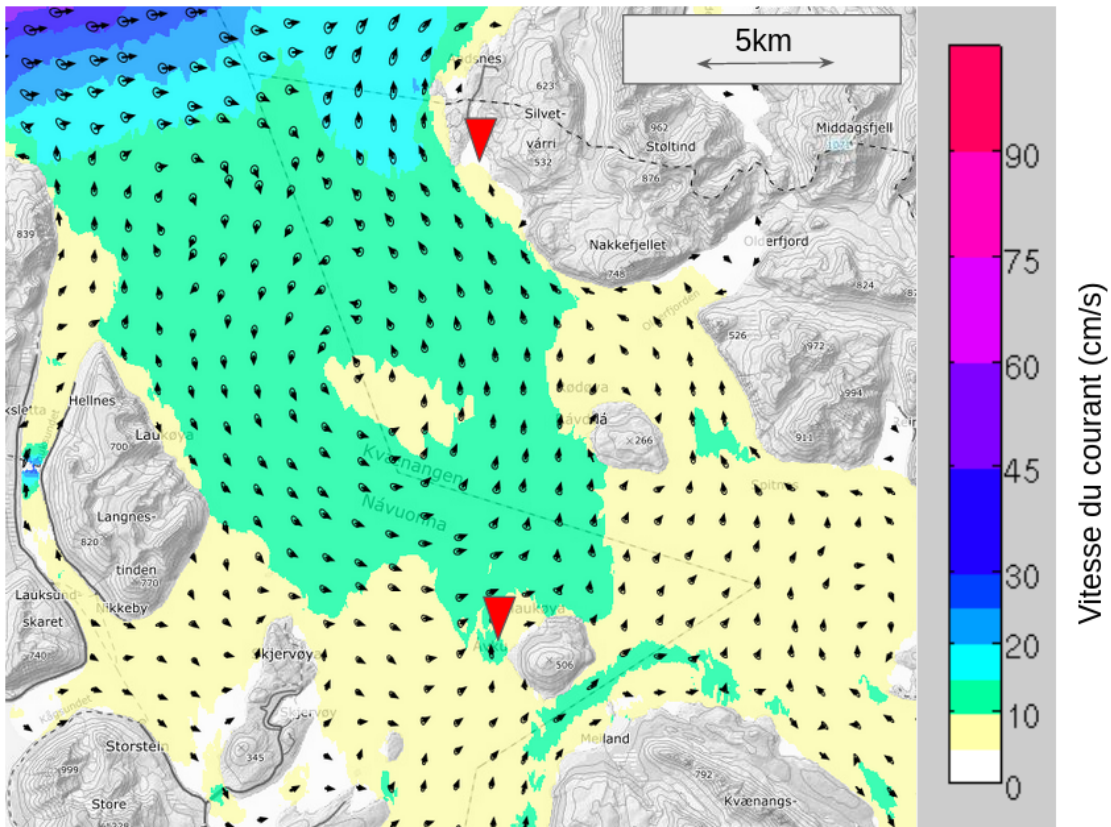


Figure 3.1 : CTD SAIV Akvaplan-niva <https://saiv.no/sd204-ctd-profiler>

Ces mesures complètent les données moyennes de courant de surface qui sont archivées par Akvaplan-niva (Fig.3.2).

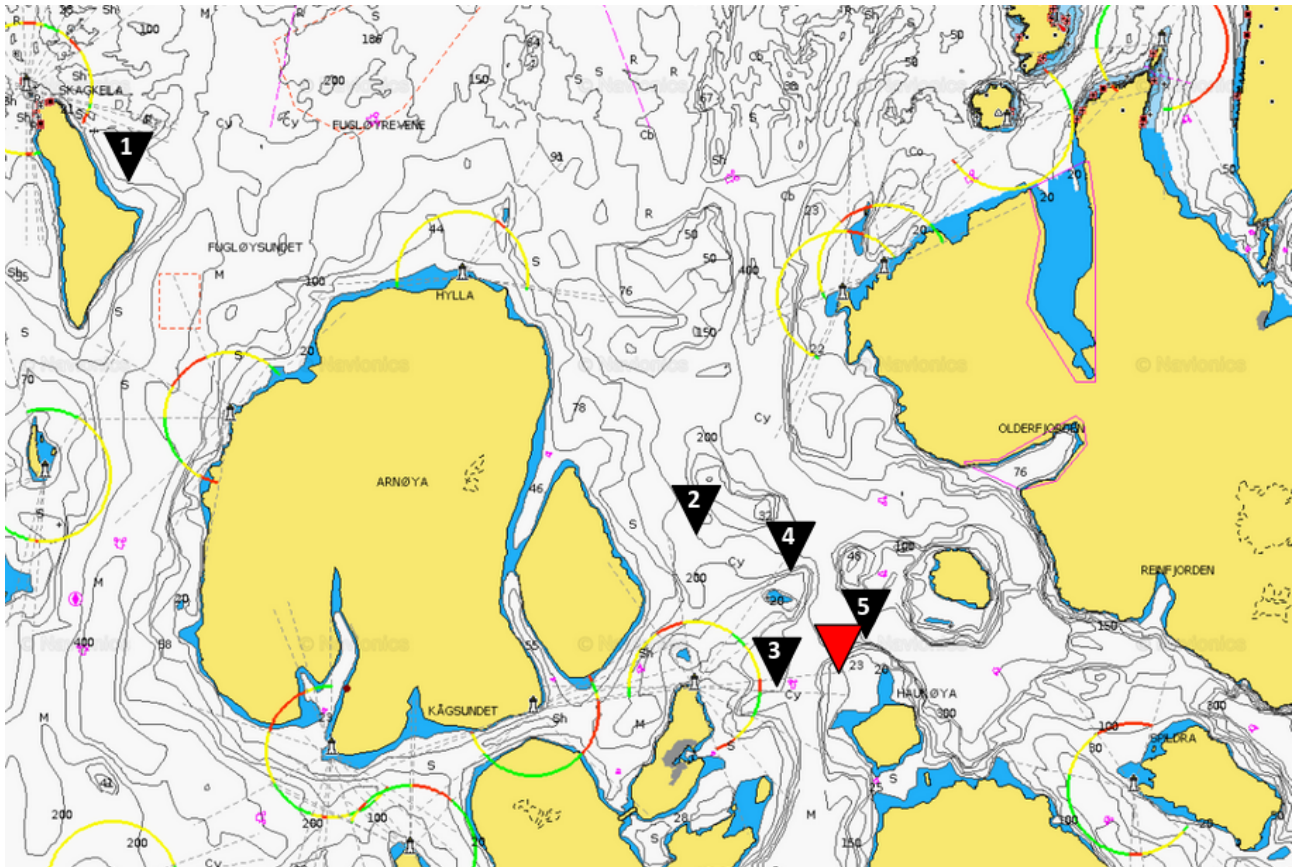




**Figure 3.2:** Zoom sur la nature des courants moyens au large de Seglvik (triangle rouge au Nord) et lieu de pose des 2 stations acoustiques long terme par notre mission, pour 3 mois d’enregistrement avec nos systèmes (▲). La distance entre les deux antennes est d’environ 18 km

Nous avons choisi les positions des stations d’échantillonnage afin de comprendre les variations potentielles de masses d’eau depuis l’entrée Nord de la zone d’étude (océan Arctique) par laquelle les orques et les baleines 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, et 3 stations ont été positionnées à proximité du mouillage de la bouée posée nord de l’île Haudøya, à la jonction entre les parties Ouest et Est du fjord de Skjervøy (Fig. 3.3).



**Figure 3.3:** Carte de la bathymétrie de la zone. Chaque marqueur noir correspond aux mesures CTD. En rouge : la station BOMBYX

### 3.2 Résultats

Les résultats des profils verticaux réalisés ont les ordres de grandeurs suivants pour les paramètres hydro-physiques : 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 norvégiens (cf Akvaplan-niva).

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. 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 de 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 est en cours de discussion 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-niva, pour déterminer si ces différences de température entre la partie Ouest et Est sont significatives (Fig.3.4)

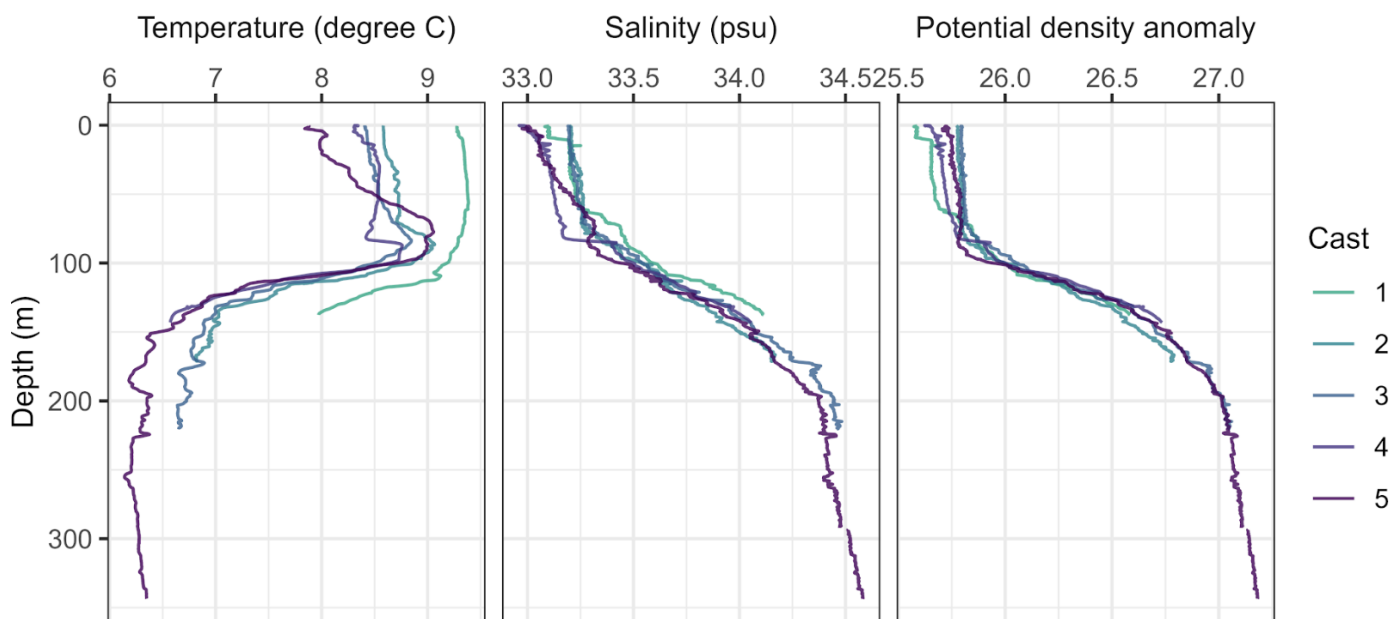


Figure 3.4 : Profil CTD réalisé en novembre 2022 par ADAPREDAT

## 4. Echosondage de plusieurs points du fjord

### 4.1 Matériel et méthode

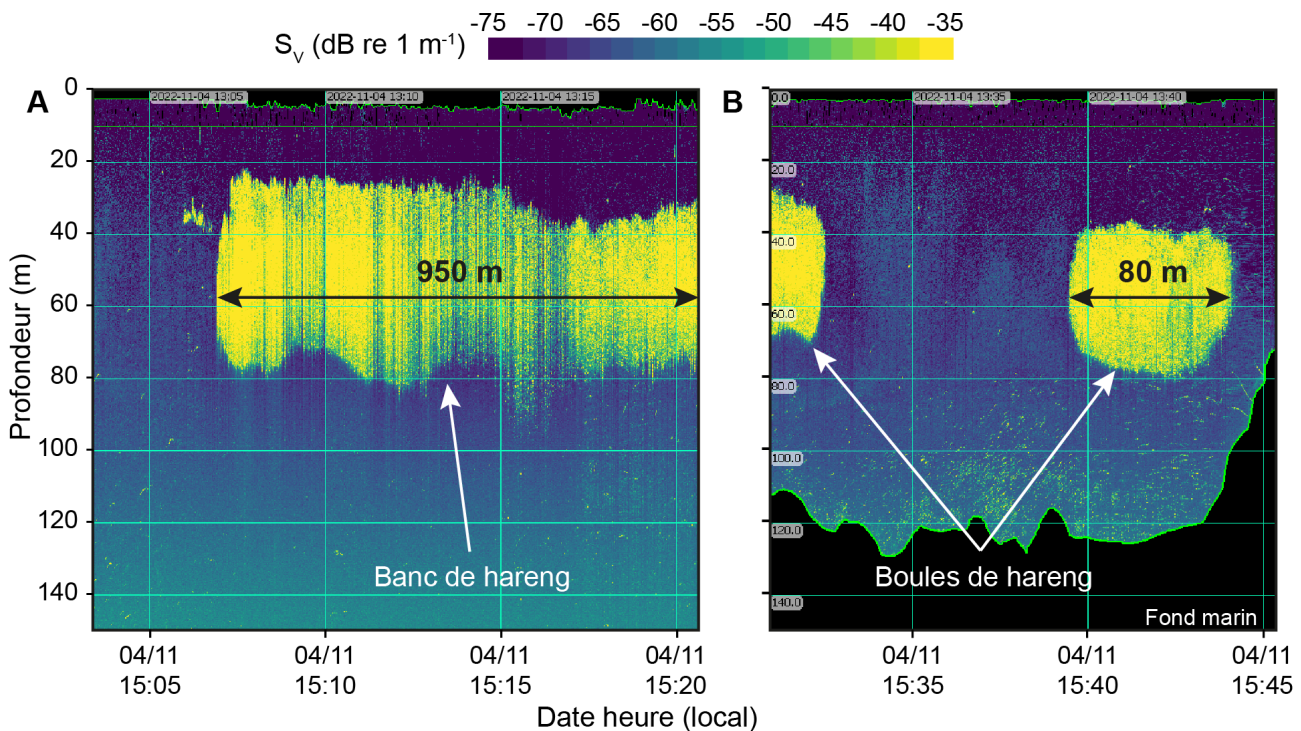
Akvaplan-niva a déployé son système Sailbuoy, un bateau autonome équipé d'un échosondeur (Simrad EK80 WBT Mini, Kongsberg Maritime) opérant de 190 à 250 kHz. Pour les besoins de cette mission, la Sailbuoy a été modifiée, la voile a été retirée pour pouvoir arrimer la Sailbuoy au navire pour qu'elle puisse dériver à une cinquantaine de mètres derrière l'Isbjorn. Nous avons déployé la Sailbuoy le 1, 3, et 4 novembre et collecté des données pendant au minimum 1 h. Les données de l'échosondeur permettent de documenter la distribution spatiale (verticale et horizontale) et la densité des proies des mammifères marins, ici, les harengs. Les données de l'échosondeur ont été analysées avec Echoview 13.



**Figure 4.1 :** (Gauche) le système Sailbuoy d'Akvaplan-niva permettant une mesure précise de la biomasse par son échosondeur sous coque. (Droite) la Sailbuoy déployée derrière l'Isbjorn adaptée à la dérive.

## 4.2 Résultats

Les échogrammes du 4 novembre montrent la présence de harengs entre 25 et 80 m de profondeur. Ces données ont été collectées juste après un feeding d'orques et baleines à l'Est de Skjervøy (Fig.4.2). Ces mesures démontrent que la masse de harengs est concentrée suivant le profil hydrographique, se concentrant dans la masse d'eau de surface, au-dessus de la pycnocline (100 m). Les harengs étaient soit organisés en banc d'au minimum 950 m de long (Fig.4.2.A), ou sous forme de plus petites boules d'environ 80 m de long (Fig.4.2.B). Des analyses complémentaires permettront d'estimer la biomasse de harengs dans les bancs et boules.



**Figure 4.2 :** Échogrammes à 200 kHz de la Sailbuoy collecté le 4 Novembre 2022 à l'Est de Skjervøy montrant (A) un banc de hareng de 950 m de long et (B) des boules de harengs de 80 m de long. La couleur représente l'intensité de la réverbération acoustique et est un proxy de la densité des animaux.

## 5. Protocole omique sur les harengs et l'eau

Le recrutement des populations de harengs (comme de celles de tous les poissons pélagiques, anchois, sardines, maquereaux, capellans), dépend des variations salinité, température, hydrodynamisme, qui sont conjoncturelles donc très variables d'une année sur l'autre. Mais dans l'ensemble, en conditions ordinaires, on passe de **100 000 œufs pondus à une recrue** c'est-à-dire à un poisson susceptible d'être capturé par les pêcheurs ou mangé par les grands prédateurs que sont les baleines et les orques.

Il apparaît que les orques et les baleines à bosse se nourrissent principalement de harengs adultes. Or, cette tranche d'âge correspond à une toute petite fraction des œufs pondus : seul 1 œuf sur 100 000 atteindra l'âge adulte de 2-3 ans, c'est-à-dire l'âge à partir duquel les harengs sont soit capturés par les pêcheurs, soit la proie des orques et des baleines. 1/100 000 est une moyenne, hors événement climatique favorable ou non (Brunel, 2010). Les variations hydro-climatiques, constituent donc, en plus des pêcheries, une pression forte sur le stock que se disputent les orques et les baleines à bosse, pression qui s'accélère avec les changements de migration des baleines à bosse observés depuis 10 ans.

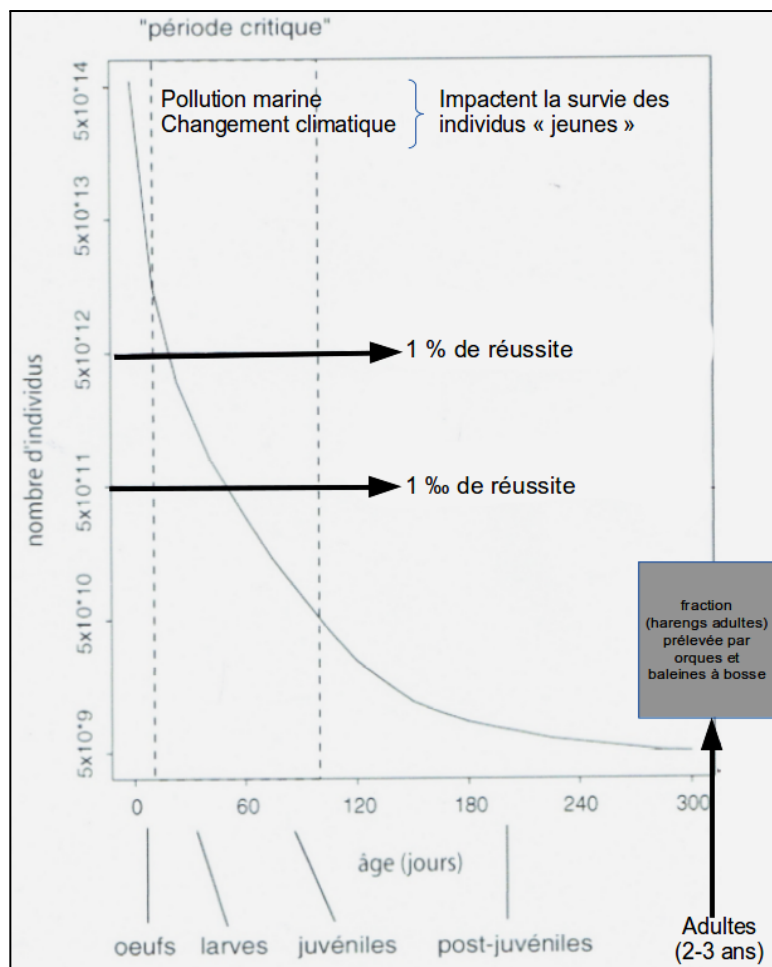


Figure 5.1 : Fraction (en gris) de la population de harengs prélevée par les super-prédateurs (hommes compris) et facteurs impactant le nombre de recrues (étendu de Brunel et al 2010)

Les variations de la population de harengs sont donc avant tout dues aux variations hydro-climatiques qui sont à l'origine du succès ou de l'échec de la reproduction.

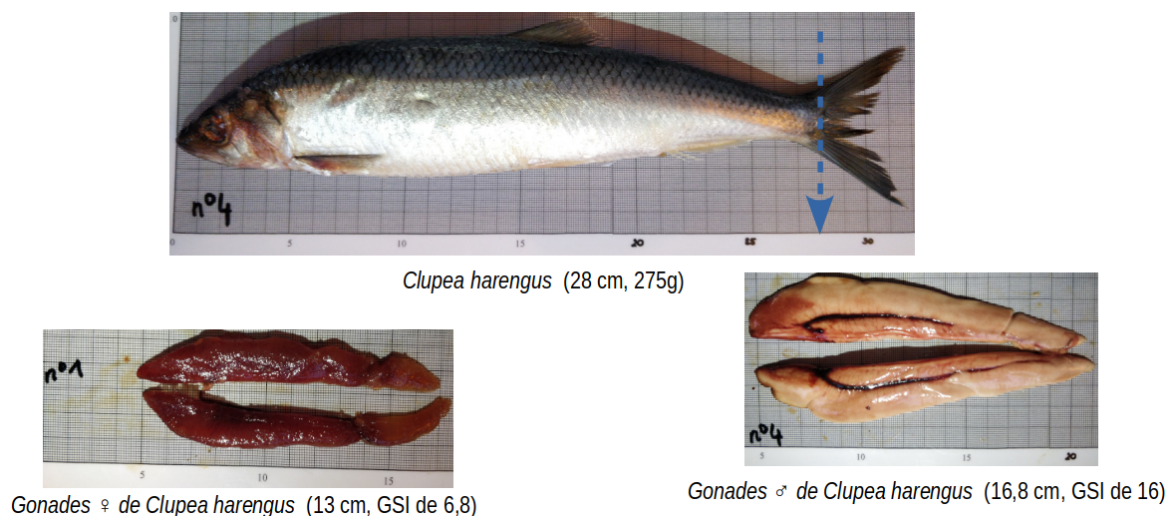
La pollution, elle aussi, a un impact, mais dans quelle mesure? L'ensemble de ces perturbations environnementales conditionnent la survie des œufs et des larves de harengs (période critique

de développement), mais également de leurs petits prédateurs (copépodes, méduses et autres chaetognathes). Le protocole omique vise notamment à voir quelle influence pourrait avoir la pollution chimique sur la reproduction des harengs.

## 5.1 Matériel et méthodes

Quatre individus, *Clupea harengus*, ont été prélevés, pesés, mesurés et photographiés avant de prélever 4 tissus clés : foie, gonades, branchies et muscles. Les tissus ont été immergés dans du RNAlater (conservation des ARN totaux) et de l'éthanol absolu (conservation de l'ADN génomique) est placés à 4°, -20°C puis -80°C jusqu'à leur analyse ultérieure.

L'Index Gonado-Somatique (GSI) qui correspond au ratio "masse gonades/masse totale" a pu être déterminé. Cet outil permet d'avoir une idée de la maturité sexuelle du poisson mais aussi de vérifier d'éventuelles anomalies suite à un stress chimique chronique.



**Figure 5.2** : (gauche) Gonades femelles et (droite) mâles chez *Clupea harengus* sur échantillons de notre mission (crédit photo Prévot)

Deux échantillons d'eau de mer (2 x 200 ml) ont été prélevés aux coordonnées (70°,01 3904 N 21°,25 671 E) dans le but d'être analysés ultérieurement par un prestataire externe, Laboce (Brest, France). Les molécules dosées et recherchées sont : (1) le glyphosate, principe actif d'un pesticide, le Roundup, et son métabolite l'AMPA; (2) le 17  $\alpha$ -éthinyloestradiol, principe actif de la pilule contraceptive orale féminine.

## 5.2 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  $\alpha$ -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'analyses 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 (Prévot D'Alvise et al., 2020). Concernant les valeurs moyennes du glyphosate retrouvées près des côtes, elles fluctuent entre 1 et 3,2  $\mu$ g/L.

Les faibles teneurs en glyphosate 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).

Parmi les 4 harengs, *Clupea harengus*, prélevés *in situ* il y avait 1 femelle et 3 mâles. La femelle présente une masse (250 g) et une taille (27 cm) inférieures à celles des mâles :  $276 \pm 19,35$  g et  $28,9 \pm 0,47$  cm respectivement (Tab. 5.1).

**Tableau 5.1** : Caractéristiques des harengs, *Clupea harengus*, prélevés sur site en novembre 2022. L'index GSI permet d'avoir une idée de la maturité sexuelle des poissons.

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

L'Index Gonado-Somatique (GSI) qui est respectivement de 6,8 et  $16,09 \pm 0,19$  chez la femelle et les mâles nous a permis d'estimer la maturité sexuelle de ces harengs . En effet, une étude de Bucholtz et al. (2008) sur *Clupea harengus*, a permis d'établir une corrélation entre le GSI, la taille, le sexe et la maturité sexuelle. Il s'avère que l'ensemble des harengs prélevés sont tous matures sexuellement. De plus, l'ensemble des caractéristiques biologiques mesurées nous permettent d'estimer un âge moyen de 3-4 ans pour la femelle; 4-6 ans pour les mâles (Fig. 5.1).

## 6. Protocoles acoustiques : matériel et méthode

Les mammifères marins, en particulier les cétacés, constituent un maillon clé de la chaîne trophique dans ces écosystèmes arctiques. L'observation des cétacés, réalisée plus particulièrement en été, met en évidence dans cette zone 17 espèces comme le Dauphin à Bec Blanc (*Lagenorhynchus albirostris*), le Marsouin Commun (*Phocoena phocoena*), la Baleine de Minke (*Balaenoptera acutorostrata*), le Rorqual Commun (*Balaenoptera physalus*) et la Baleine à Bosse (*Megaptera novaeangliae*), le Cachalot (*Physeter macrocephalus*) et plus tard dans l'année l'Orque (Mishin et al., 2021). Ces relevés visuels sont rendus difficiles en hiver par le manque de visibilité au-delà du cercle polaire.

La bioacoustique présente alors une solution alternative pour la détection et le suivi des populations de Cétacés. De plus, les antennes acoustiques de DYNIS permettent la localisation des sources bioacoustiques dans un rayon de 3 à 6 km (Glotin 2020 Sphyrna Odyssey).

Nous visons une étude comparée des formes acoustiques de l'orque en présence versus absence de la baleine à bosse. Nous avons, en effet, une expertise sur ces deux espèces (Malige et al 2020, Bouchard et al 2019, Poupard et al 2021, Best et al 2020, Glotin et al 2021, Chavin 2021). ADAPREDAT a pour objectifs bioacoustiques :

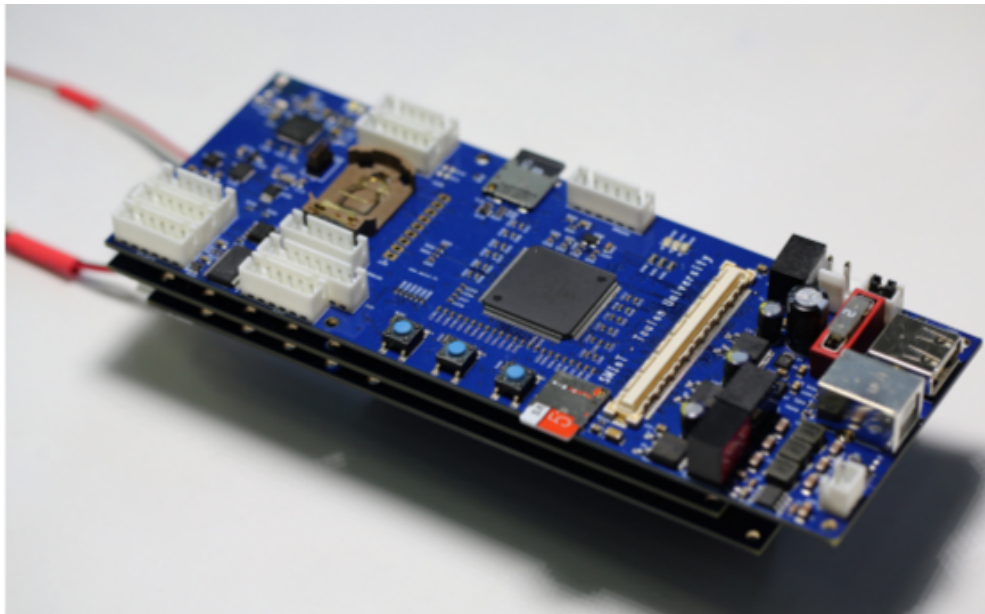
- Etude du paysage acoustique dans lequel ont lieu les chasses,
- Niveau dB par tier octave, étude de la pollution acoustique,
- Détermination des espèces de mammifères marins sur plusieurs miles à la ronde,
- Etude des Biosonars des orques suivant les conditions océaniques et de nutriments,

- Localisation des individus en déplacement ou en chasse, étude des stratégies de communication et coordination, comparaisons avec les positions des baleines à bosse mesurées par drone aérien,
- Analyse des chants et des cultures des baleines à bosse qui émettent des vocalises, ainsi que des vocalises odontocètes d'orques,
- Etude plus globale à l'échelle du Fjord des positions relevées des chasses, des pêcheries à l'échelle de la mission et sur plus long terme en collaboration avec la société Vahalla de whale watching sur place,
- Pose de stations acoustiques moyen et long terme pour la surveillance des déplacements de la mégafaune sur le site,
- Mesure en proximité durant les séjours à Seglvik avec antenne OPALE (portables 4 voies haute fréquence).

Ces analyses sont conduites dans le cadre de la Chaire bioacoustique et IA, et Chaire IA ADSI Len acoustique sous marine ( <http://bioacoustics.lis-lab.fr> ) : déploiement d'antennes acoustiques haute définition, 512 kHz x 5 ou 4 hydrophones, 16 bits de jour, largué ou avec plongeur, ou h24 en stéréo sur bouée ou stations fixes filaires, ou en opportuniste au mouillage dans les baies choisies pour leur intérêt de conservation et de biodiversité, sur 7 jours. Elles donneront une mesure de la pollution acoustique du Troms, et de l'activité acoustique de la micro, macro et mégafaune, des comportements et adaptation de la communication acoustique de la mégafaune, notamment dans les activités de chasse.

## 6.1 Enregistreur ultra-véloce QHB

L'enregistreur acoustique principal que l'on retrouve dans plusieurs des expériences menées sur l'Isbjorn est l'enregistreur Qualilife HighBlue (QHB) Fig. 6.1.



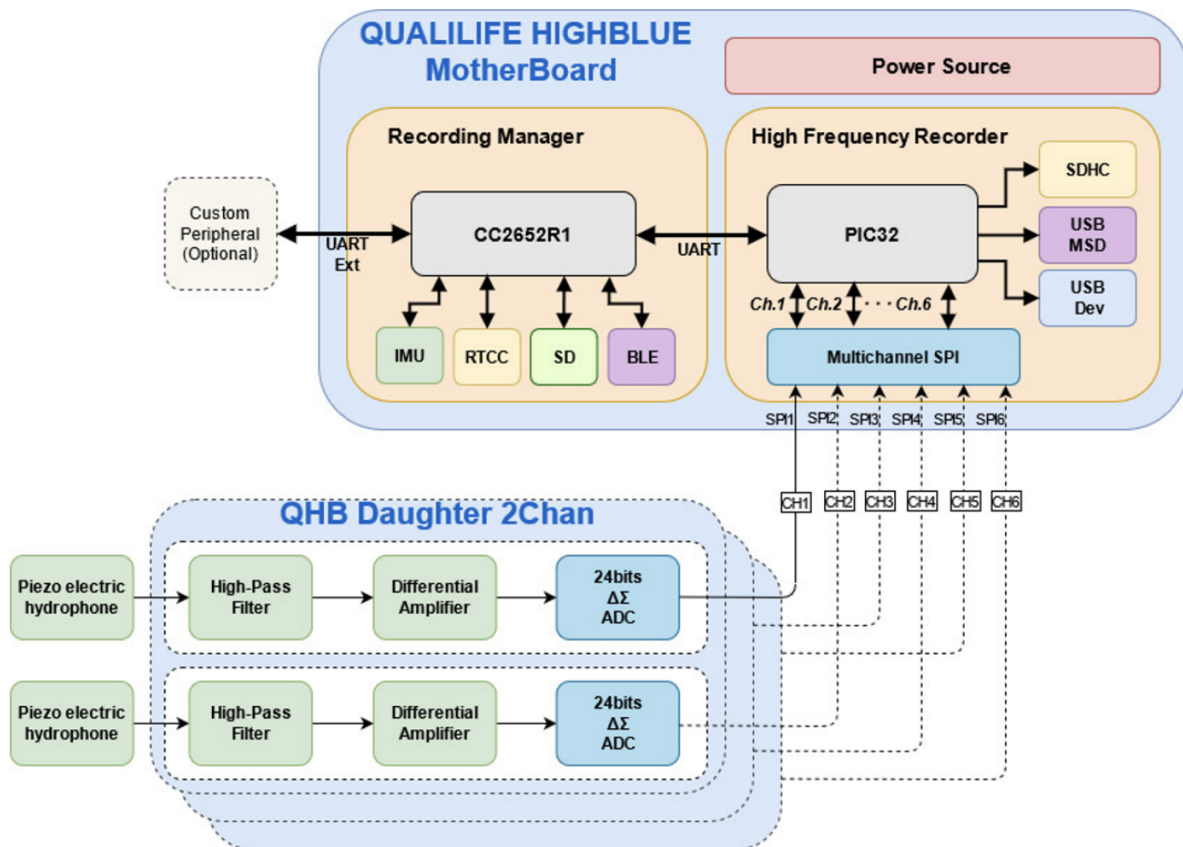
**Figure 6.1** : Enregistreur Qualilife HighBlue (QHB) SMIoT UTLN (crédit photo Gies)

Son diagramme fonctionnel original (Fig 6.2) lui offre les caractéristiques suivantes (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.



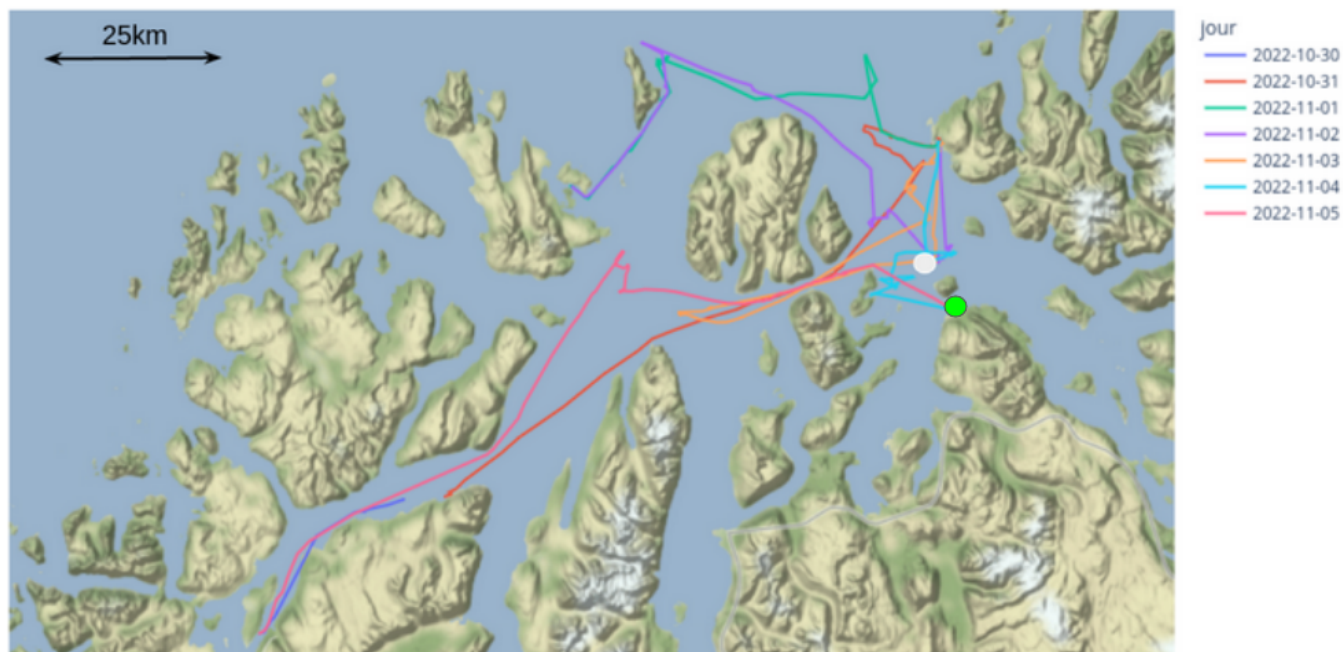
**Figure 6.2 :** Diagramme de QHB

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  $\pm 3$  dB jusqu'à 250 kHz (calibrage effectué au Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Marseille), et un jeu de 21 piles alcalines D (Barchasz et al 2021).

## 6.2 Transect de l'Isbjorn

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 watchers sur la zone, nous avons des informations concernant la position 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 par groupe de 4 personnes, tournant par 2 personnes, 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 et de la mesure dB du 3 novembre au soir. La mesure dB du 4 et 5 au soir a été faite au point vert.

## 6.3 Protocoles acoustiques déployés depuis l'Isbjorn

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: 256 kHz)
- Une antenne monophone composé d'un C75, et 20m de câble, branché sur une carte High Blue (Fe: 512 kHz)
- Une antenne monophone composée d'un SQ26, 10m de câble, branché sur un enregistreur (Tascam) (Fe: 96 kHz).

**Protocole antenne tétraédrique** : 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 (Fig. 6.4).

L'analyse des temps de délai d'arrivée des signaux (TDOA) permet la localisation de la source d'émission sonore (section 7.7).



**Figure 6.4 :** (Gauche) Mise à l'eau depuis Isbjorn II (crédit photo Gies) de l'antenne tétraédrique, équipée de sa carte son et ses quatre hydrophones, conçue par SMIoT LIS IM2NP UTLN (Droite).

## 6.4 Protocole champ proche (2021 / 2022)

Nos protocoles acoustiques ont débuté dès 2021 et ont pu se consolider 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 nos deux antennes acoustiques composées de plusieurs hydrophones, nous pouvons séparer les clics du bruit de fond, suivre une piste acoustique dans le temps et les délais d'arrivée, voire attribuer une vocalise ou un clic à un individu précis.

Nous pourrions étudier alors la véritable structure acoustique multi-individus, multi-spécifique qui construit ce réel cocktail party que sont 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.

Quelles sont les évolutions d'une année à l'autre, ou dans la saison, des comportements des orques face aux baleines. Y a-t-il des zones à température ou courant différentes qui accueillent des comportements de chasse ou de communication différentes ?

Pouvons-nous chercher des signatures individuelles chez les orques ou les baleines à bosse, des signatures étant connues chez les Tursiops t. (Janik et al 2006).

Nous avons donc en 2021 et 2022 été à l'eau en restant à une distance raisonnable des animaux pour ne pas les déranger et enregistrer leurs sons.

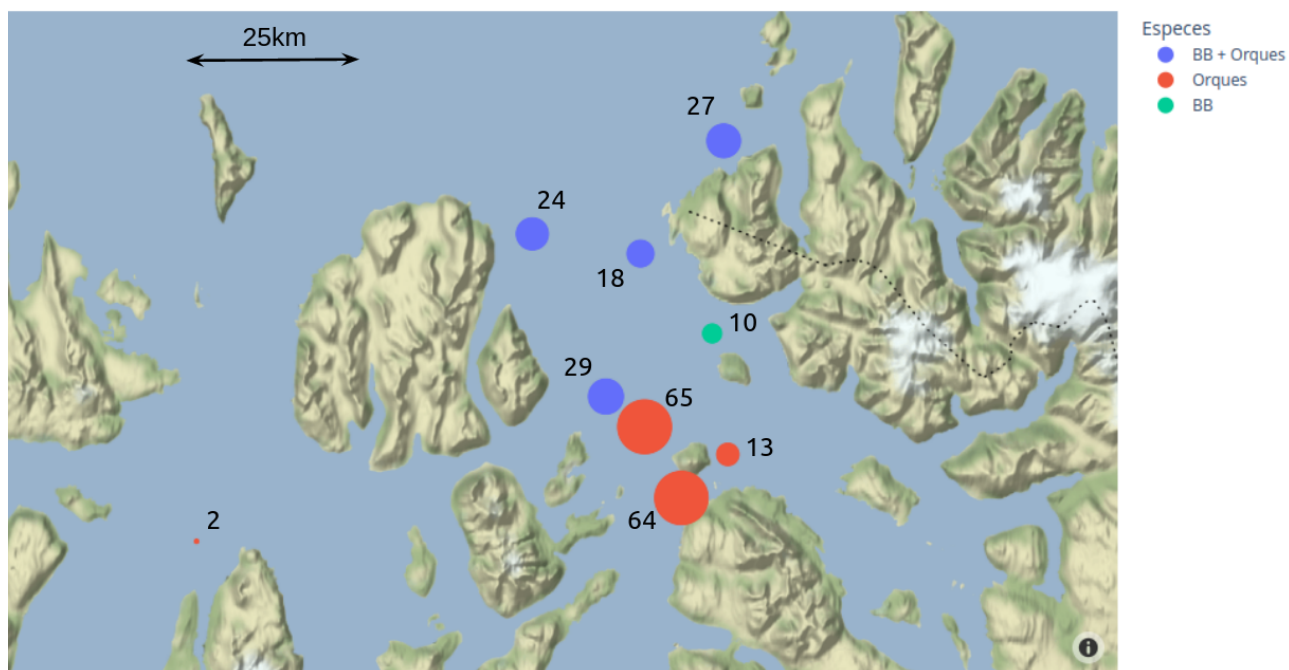
Deux campagnes d'acquisitions de deux semaines chacune ont été réalisées avec deux antennes à chaque fois, l'une en nov 2021 et l'autre en nov 2022 à la suite de la semaine sur Isbjorn.

Deux antennes acoustiques ont été construites par DYNIS LIS UTLN pour ce protocole, chacune composée de 4 hydrophones (2021) et de 5 hydrophones en 2022 (Fig. 6.5).



**Figure 6.5 :** Antenne acoustique de 2021 avec ses 4 hydrophones et sa GoPro (crédit photo Granzotto)

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



**Figure 6.6 :** Position 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.

Des exemples de ces prises de vidéo avec nos antennes ou par des simples Go-pro qui sont efficaces, par des visiteurs de Valhallab, sont disponibles à <http://sabiiod.org/orcas>, comme l'exemple Fig 6.7 montrant une orque construisant une boule de harengs.



Figure 6.7 : Une orque construisant une boule de harengs, prise de vue par GoPro par OPALE

## 6.5 Pose d'une station fixe d'écoute sur 2 ans (Nov. 2022-2024)

Nous avons pu poser en collaboration avec notre partenaire Valhalla une station filaire stéréophonique à Seglvik depuis le bord avec 100m de câble. Cette bouée repose sur le fond à -7m de profondeur à une distance d'environ 70m du rivage enregistrant à 128kHz x 2 x 16 bits. Elle est alimentée par secteur depuis la station *Valhallab*. Toutes les données sont enregistrées via des disques durs branchés sur un PC, en continu depuis mi-novembre et jusqu'à ce jour et pour encore au moins un an. Cette antenne nous permet d'évaluer la densité d'animaux qui entrent ou sortent (grâce à la stéréophonie nous avons la mesure du sens de déplacement) de ce fjord au cours de l'année, ainsi que les niveaux anthropophoniques.

## 6.6 Pose d'une bouée stéréophonique sur 2 mois (Nov. 2022)

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-niva en janvier / février 2023. Elles caractérisent les entrées et sorties des animaux dans le Fjord.

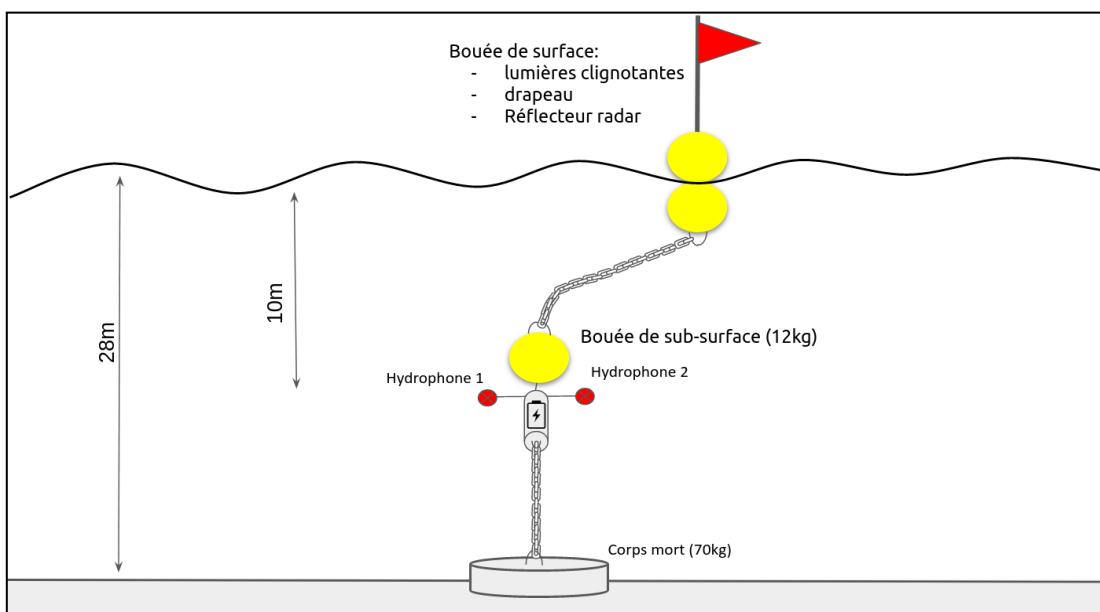


Figure 6.8 : Schéma représentant la bouée stéréophonique posée au Nord de Haukøya. Le mouillage a été conçu par Dyni et Akvaplan-niva, la bouée instrumentée par Dyni.

# 7. Résultats acoustiques

## 7.1 Volume des données acoustiques enregistrées

Nous avons déployé nos antennes acoustiques après ou non observations visuelles. Dans le cas des chasses, elles 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. Les tableaux ci-dessous cumulent les temps et volumes.

Tableau 7.1: Tableau récapitulatif des efforts d'acquisition sur les 7 jours d'expédition et les jours suivants par les stations fixes ou les antennes portables de nage OPALÉ

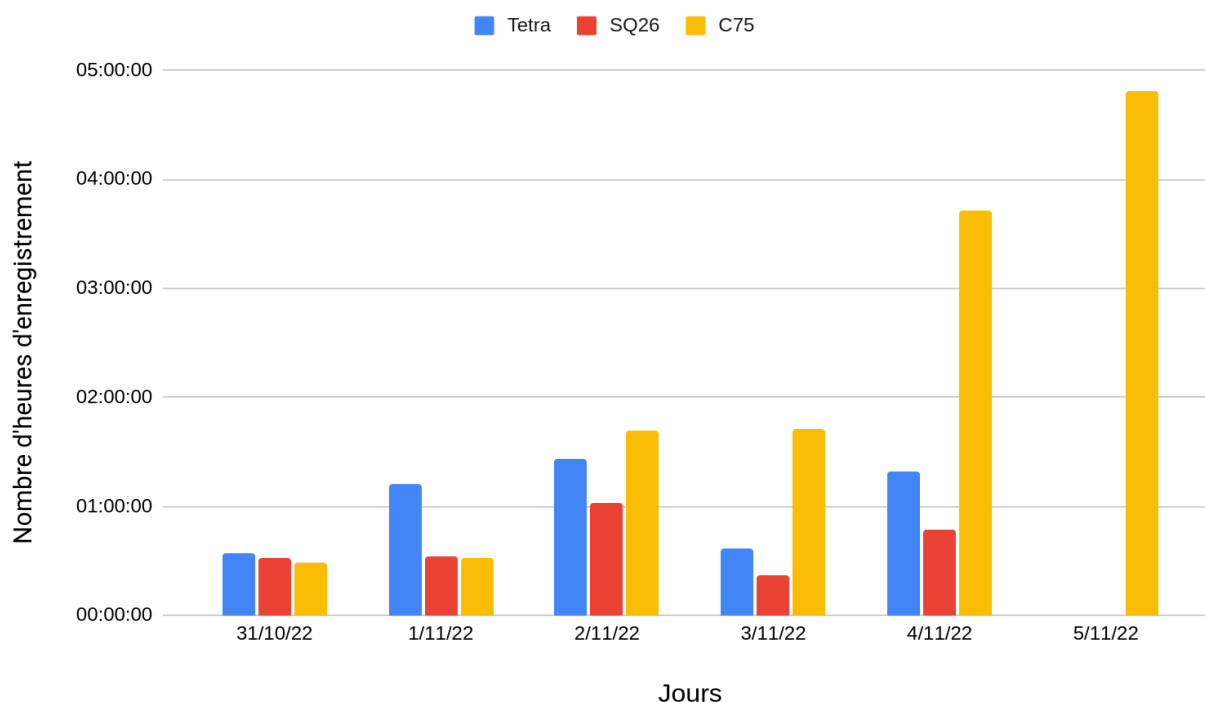
Jour	Distance parcourue (km)	Temps record tetra (h:min:sec) (Go)	Temps record sq26 seul (h:min:sec) (Go)	Temps record c75 seul (h:min:sec) (Go)
<b>type de données</b>		<b>256 kHz Fe 16 bits 4 voies</b>	<b>96 kHz Fe 16 bits 1 voie</b>	<b>512 kHz Fe 16 bits, 1 voie</b>
30-10-22	27			
31-10-22	104	00:34:00 4,12 Go	00:31:52 1,1Go	00:29:20 2,71 Go
01-11-22	80	01:12:00 8,74 Go	00:32:50 1,1Go	00:32:00 2,96 Go
02-11-22	105	01:26:03 5,82 Go	01:01:51 2,1Go	01:41:20 9,230 Go
03-11-22	104	00:37:00 3,41 Go	00:22:00 0,8 Go	01:42:20 10,25 Go
04-11-22	69	01:19:04 9,88 Go	00:47:23 1,7 Go	03:42:34 20,50 Go
05-11-22	124			04:48:04 26,68 Go
<b>TOTAL</b>	<b>616 km</b>	<b>31,98 Go</b>	<b>6,8 Go</b>	<b>72,34 Go</b>

La figure 7.1 montre les efforts d'enregistrement avec les 3 antennes concernées. Le dernier jour (5 Nov. 2022), le C75 a été posé toute la nuit et a enregistré environ 5h.

Tableau 7.2: Tableau récapitulatif des efforts d'acquisition des stations posées durant la mission et des nages en 2021 et 2022 avec antennes portables OPALEs

	<b>station Seglvik toujours en cours d'enregistrement</b>	<b>bouée Bombyx Haudoya</b>	<b>antenne OPALE 1</b>	<b>antenne OPALE 2</b>
Type	128 kHz Fe 16 bits stéréo en continu	256 kHz Fe 16 bits stéréo en continu	4 ou 5 voies, 256 kHz Fe 16 bit, ponctuel champ proche	4 ou 5 voies, 256 kHz Fe 16 bit, ponctuel champ proche
Début	pose le 20 novembre	novembre 2022	2 semaines en nov 2021	2 semaines en nov 2021
Fin	disque changé en début janvier	fin novembre 2022 (batterie)	2 semaines en nov 2022	2 semaines en nov 2022
Volume data / durée	<b>1.5 To 70j</b>	<b>0.5 To 20j</b>	<b>0.2 To 5h</b>	<b>0.2 To 5h</b>

Le volume total des enregistrements à ce jour est environ de 2,3 To, 2 To supplémentaires de la station de Seglvik toujours en enregistrement continu arriveront en mars pour comparer la paysage acoustique au réchauffement du printemps, et encore 2 To fin été 2023, puis tous les 3 mois suivant, la station étant très robuste sur technologie DYNI LIS UTLN. Ce modèle de station sera dupliqué sur une autre point au sud du fjord, en cours de définition. Les données de la bouée Bombyx sont d'environ 0.5 To en cours de récupération par Akvaplan. La bouée est bien toujours en place après le premier passage en janvier par Akvaplan, confirmant la bonne tenue du mouillage, point intéressant pour une repose en 2023.

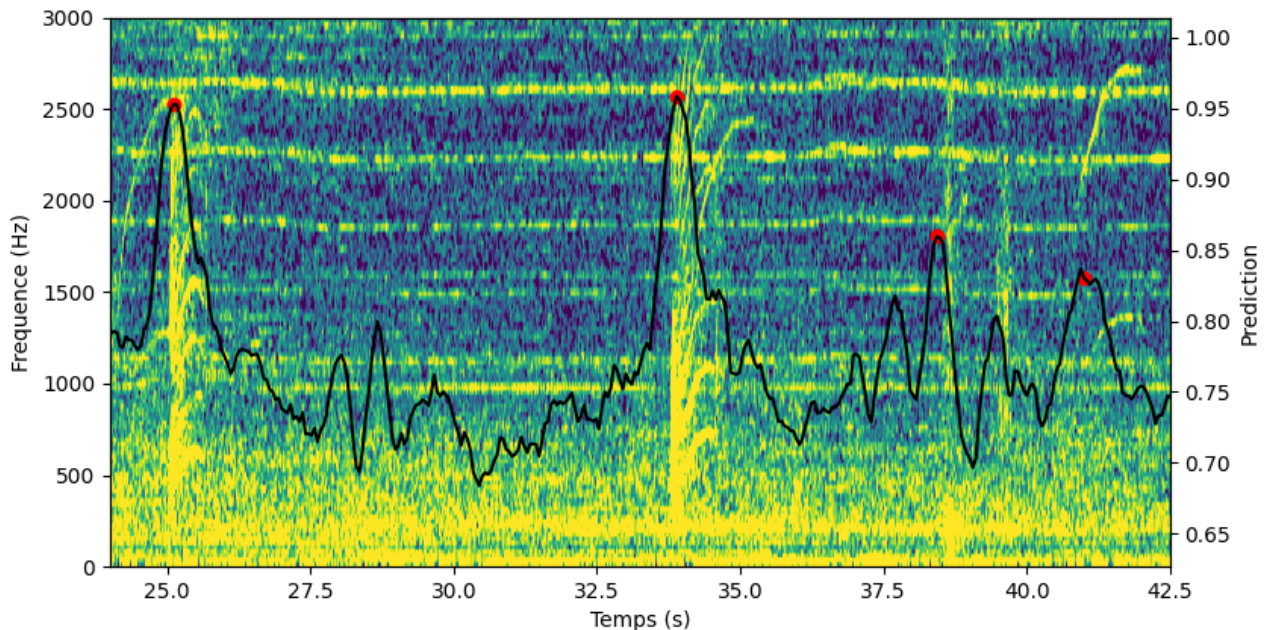


**Figure 7.1:** Graphique représentant l'effort d'acquisition acoustique (nombre d'heures) pour les 3 antennes déployées depuis le IsbjornII, par jour suivant les trois types de mesures : antenne de 4 hydrophones SQ26 (Tetra), ou hydrophone seul SQ26 à 60 kHz de bande passante ou large bande C75 seul.

## 7.2 Détecteurs automatiques IA

Afin d'analyser la présence acoustique des orques et baleines à bosse au sein des enregistrements, un réseau convolucional 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.



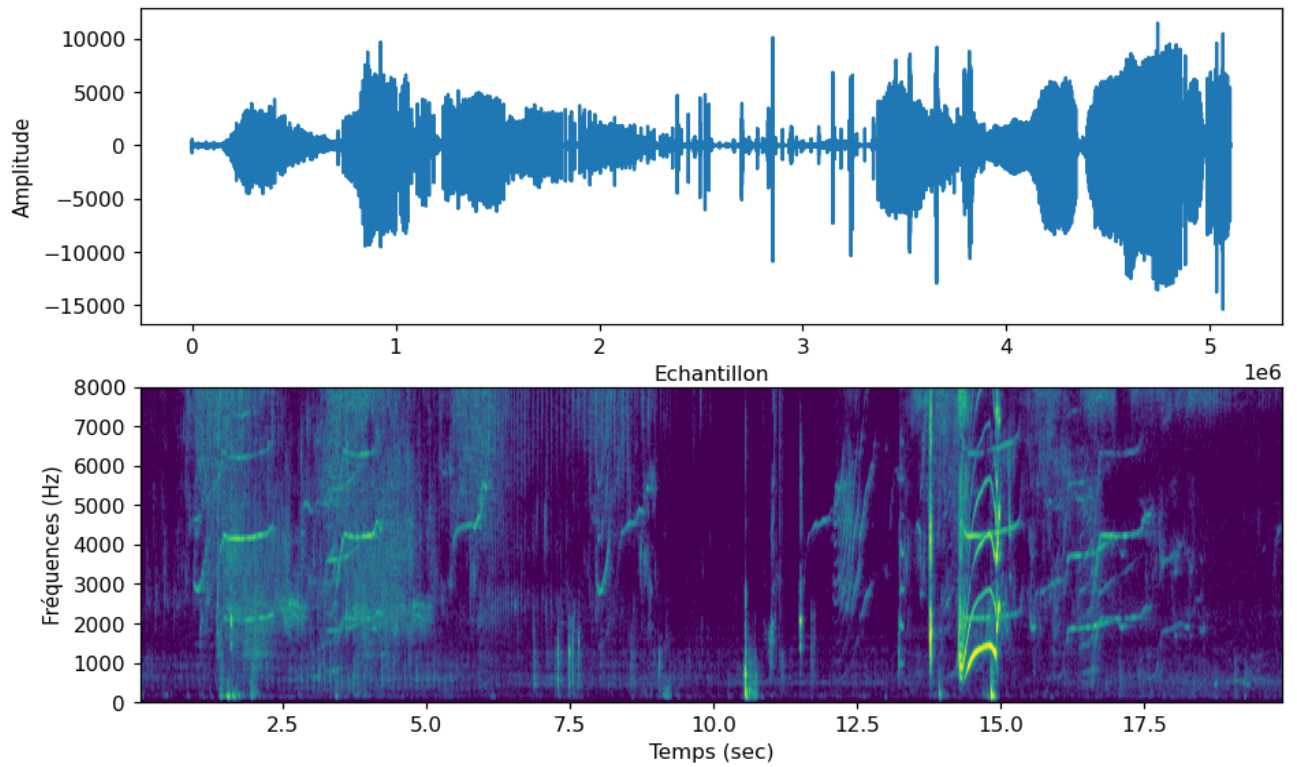
**Figure 7.2:** Exemple des prédictions du modèle IA DYNI sur 20 secondes de signal. Chaque point rouge représente une vocalise détectée.

## 7.3 Détections acoustiques des signaux d'orques

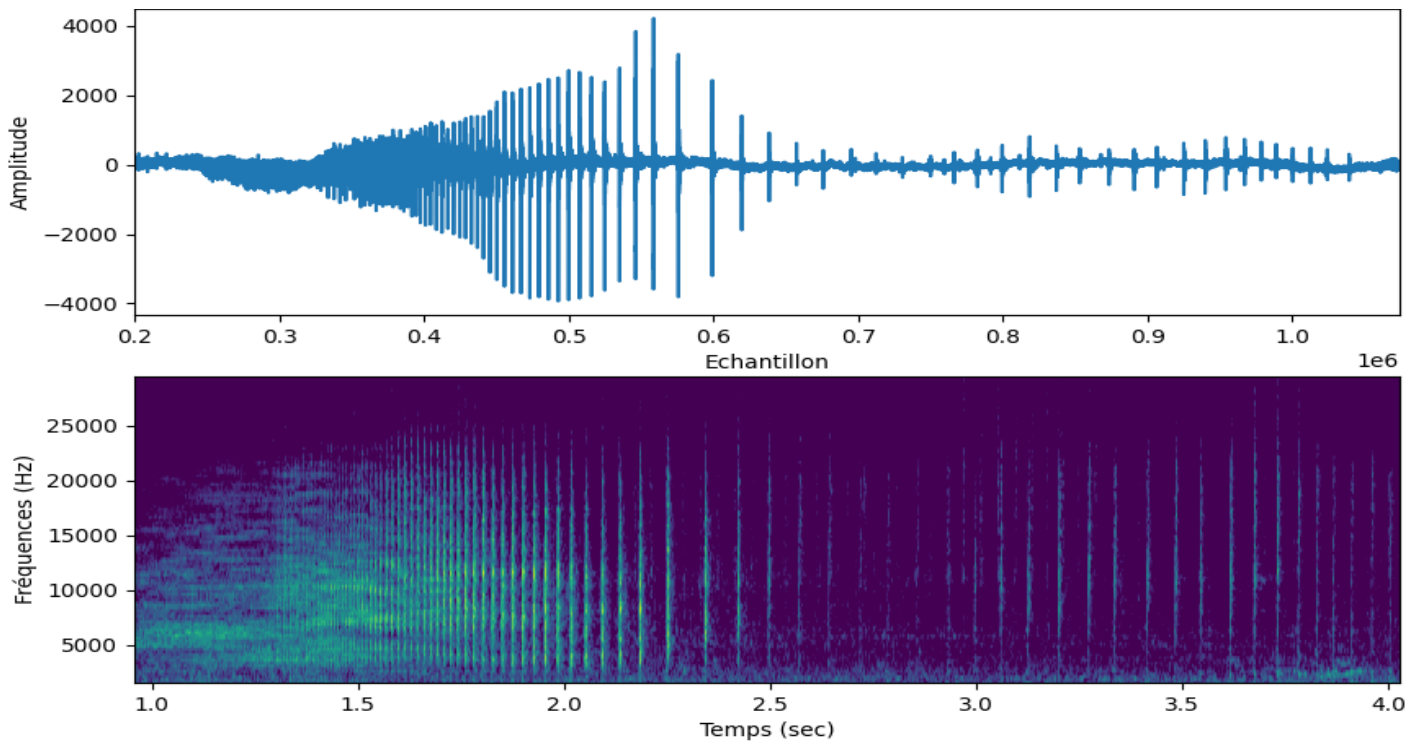
Au total, **764** vocalises d'orques ont été détectées par le modèle, réparties sur 6 jours d'expérimentation. Le nombre de vocalises détectées est montré Fig.7.6. C'est pendant la journée du 04 Novembre que le plus grand nombre de vocalises a été détecté (271).

Suite à nos premières observations, nous faisons l'hypothèse que certains enregistrements comportent des codas d'orque, jamais observés ni publiés auparavant d'après nos connaissances. Ces codes rythmiques de trains de clics, qui sont connus chez les cachalots, pourraient coder les clans ou individus, ce qui sera étudié par ADAPREDAT (Fig. 7.5).

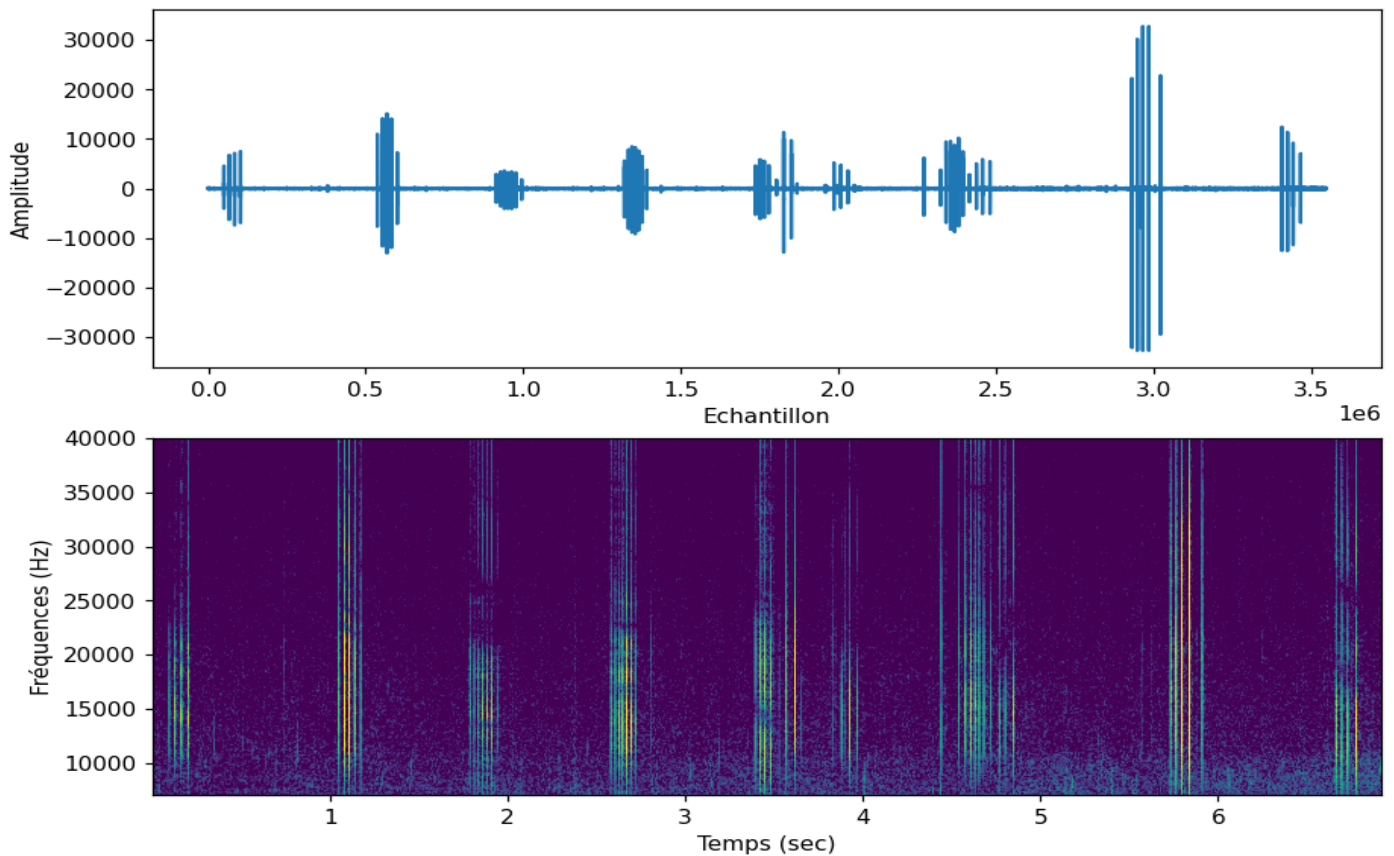




**Figure 7.3** : Exemple d'enregistrement de vocalises d'orques, à proximité de Skjervøy

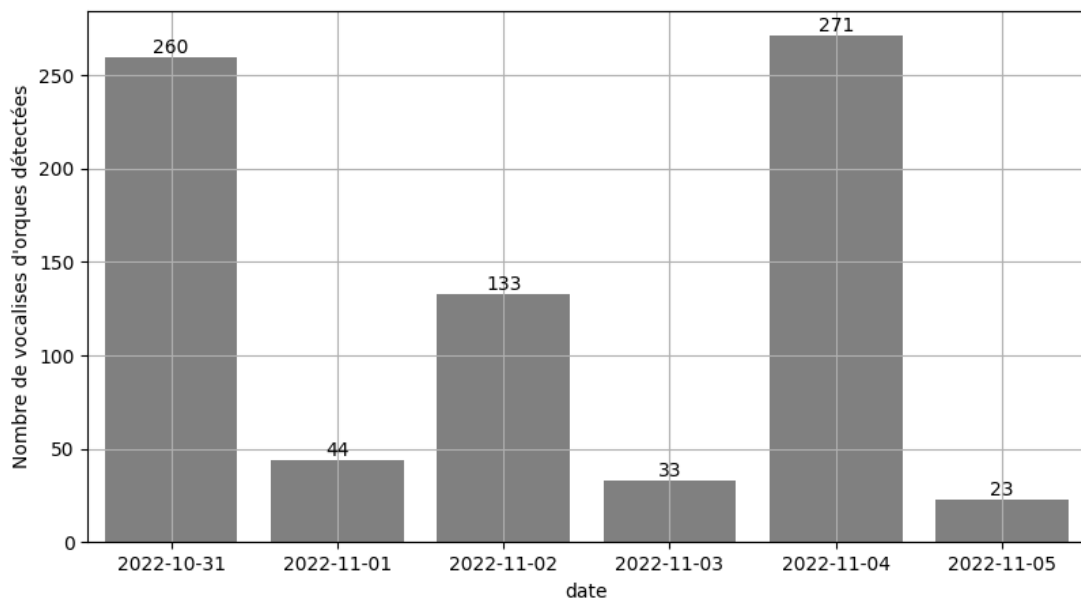


**Figure 7.4** : Un seul train de clics d'Orques (forme d'onde et spectrogramme) enregistré sur l'antenne 5 hydrophones (ici une voie) déployées durant la mission, montrant un rythme d'observation (usage de type biosonar) (256 kHz Fe 5 voies, antenne 'Grande Opale').



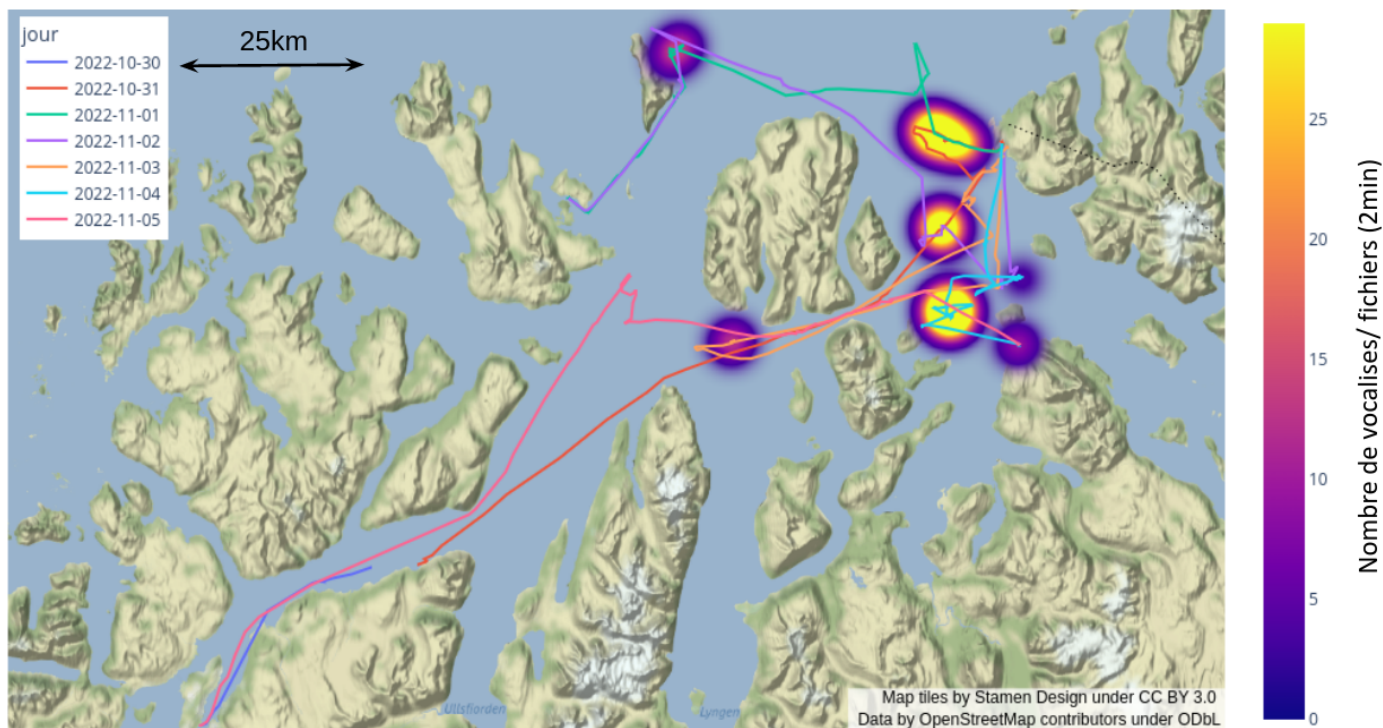
**Figure 7.5:** Plusieurs trains de clics (forme d'onde et spectrogramme) de clics d'orque (l'orque est filmé durant cette émission) de type socialisation (pas une chasse). Chaque petit train de clics est émis à des rythmes a+b, de quelques unités et de même dB, comme le 4+1 juste avant sec. 6. Leur fréquence est plus élevée que lors du cas Fig. 7.4 (plus du double). Les codas sont connus chez le cachalot comme porteurs d'information sur les clans. Les codas d'orques n'ont jamais été répertoriés, c'est donc une potentielle découverte à étudier. Ces codas pourraient porter comme pour les cachalots des informations de clan.

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

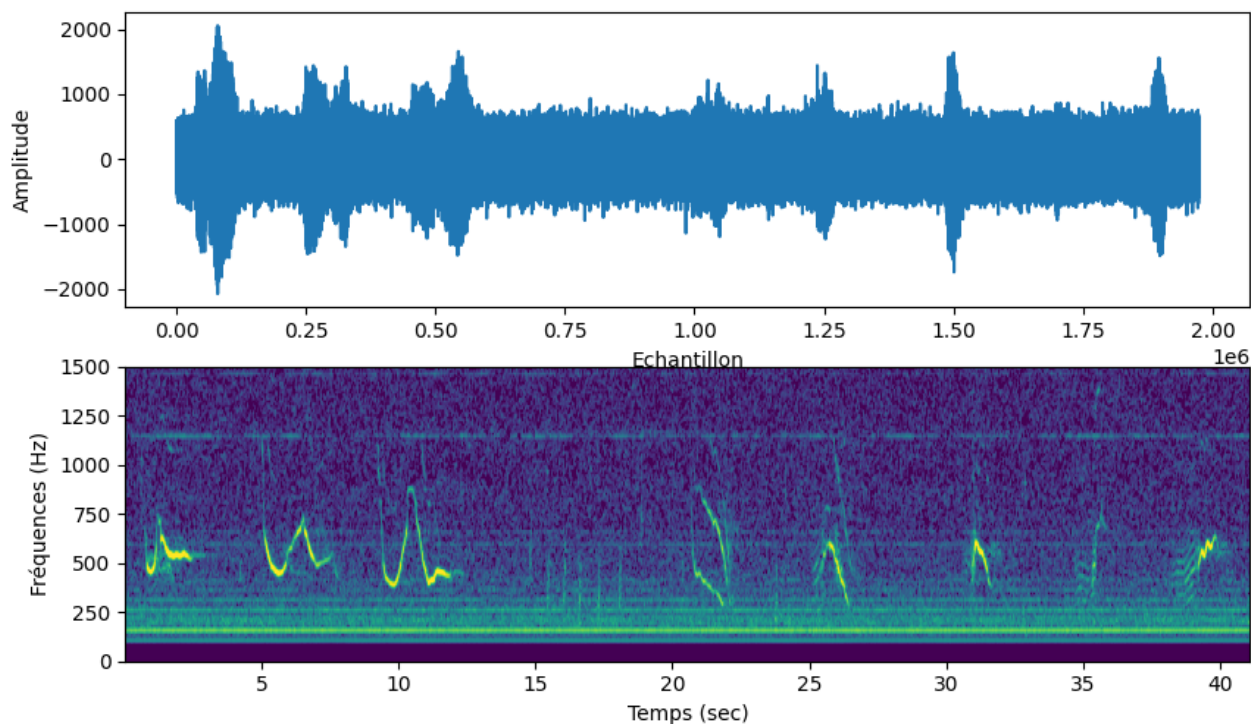
## 7.4 Détections acoustiques par IA des baleines à bosse

Le nombre de baleines à bosse augmente de façon exponentielle depuis l'arrêt de la chasse, il y a 40 ans (5 générations environ). Cela se traduit partout dans le monde où l'on voit « apparaître » des populations de baleines « alors qu'il n'y en avait pas avant », par exemple à la Réunion. Cette impression de voir arriver des baleines dans des régions nouvelles traduit simplement notre amnésie écologique qui fait fit de la situation originelle d'avant la chasse. Nous étudions une espèce en reconstruction. Les baleines plus nombreuses aujourd'hui reconquièrent les territoires qu'elles occupaient avant d'avoir été décimées par la chasse. Et retrouvent l'ensemble des comportements d'avant la chasse. Ainsi, avant la chasse, toutes les baleines ne migraient pas en même temps. En particulier, les femelles gestantes restaient en hiver pour manger des harengs avant d'entreprendre leur voyage vers les eaux tropicales pour y mettre bas... L'analyse des captures de baleines à bosse par les baleiniers il y a 100 ans font état de capture de baleines en fin de gestation en hiver au-delà du cercle polaire.

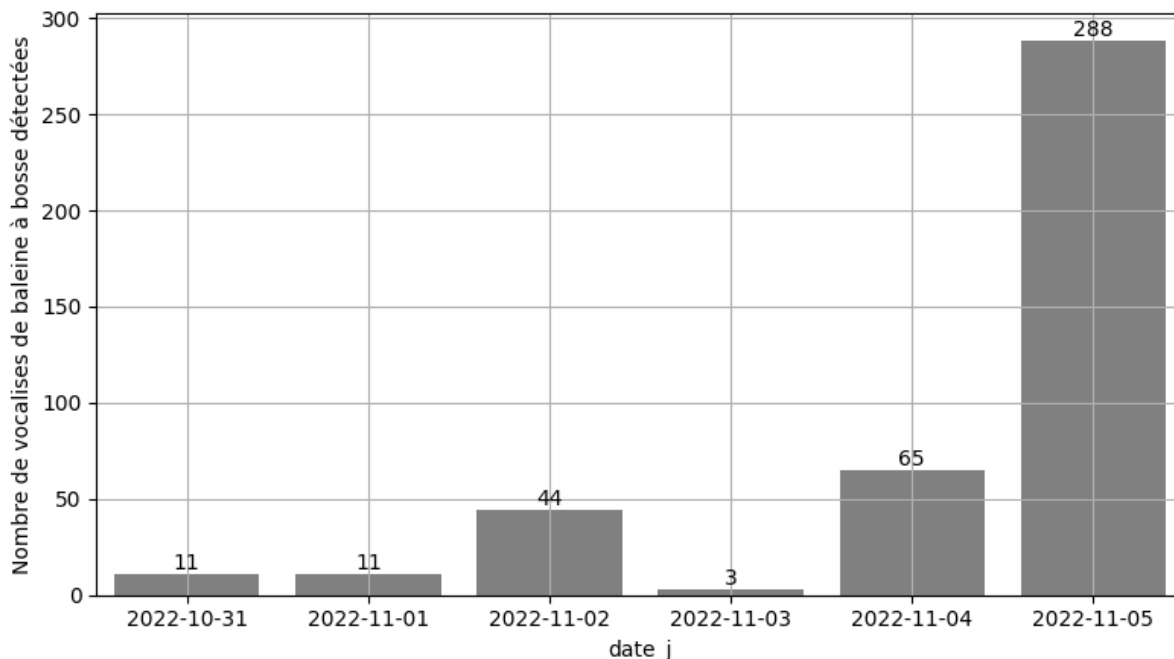
Le changement observé depuis 10 ans dans les fjords traduirait simplement le meilleur état de santé des populations de baleines à bosse et montre l'efficacité du moratoire sur la chasse. En revanche, les orques sont bien confrontées à la concurrence nouvelle des baleines à laquelle elles doivent s'adapter. Car les orques actuelles n'ont pas connu la situation d'avant la chasse. Nous observons donc une cohabitation incongrue de deux générations qui se côtoient à nouveau, avec ce que cela implique en termes de superposition de leurs sons.

Le même protocole que pour la détection des vocalises des orques a été réalisé pour les baleines à bosse. La plupart des vocalises détectées étaient dans la nuit du 05 Novembre, lorsque nous

avons posé l'hydrophone c75 (288 vocalises détectées pendant la nuit Fig. 7.9). Un exemple de spectrogramme est Fig. 7.8.

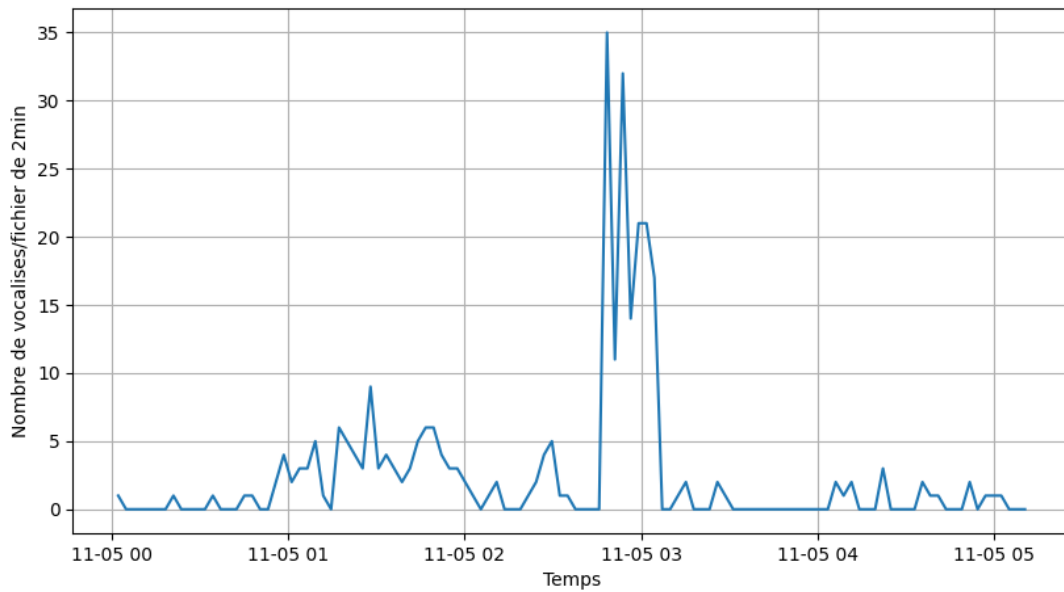


**Figure 7.8:** Exemple d'enregistrement de vocalises de baleine à bosse (05/11/22) à 2h53 du matin, à proximité de Skjervoy

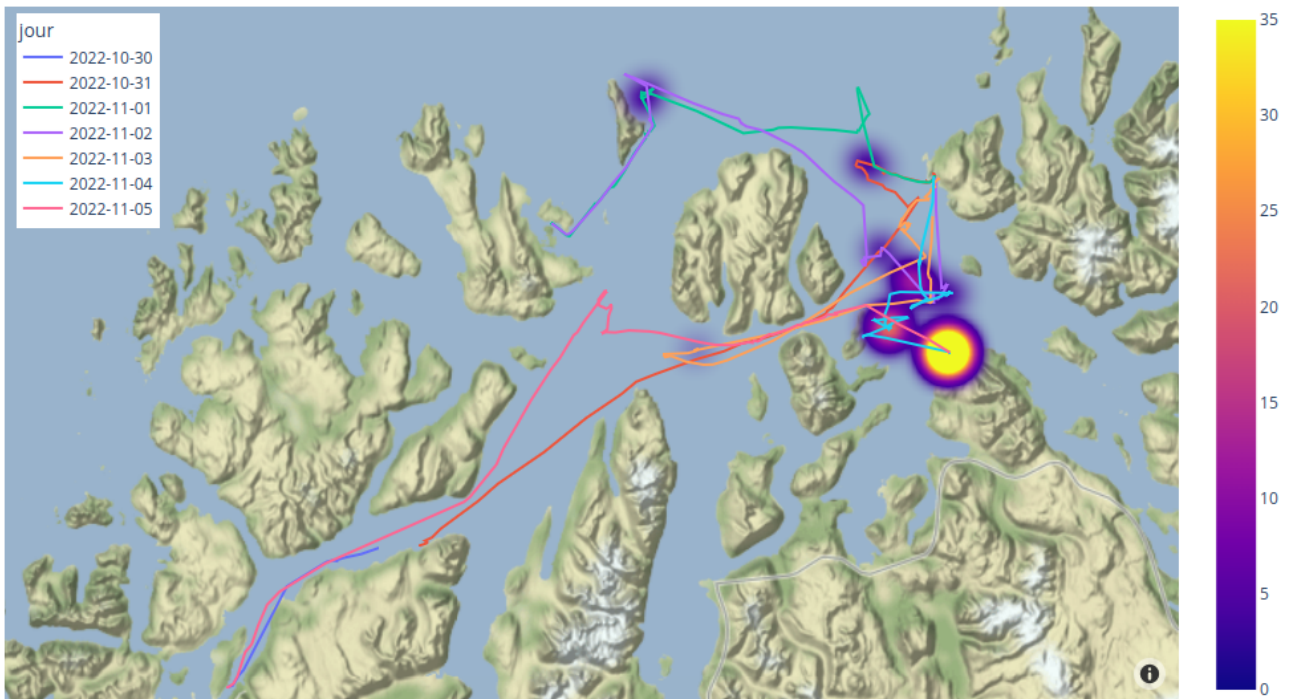


**Figure 7.9:** Nombre de vocalises de baleine à bosse détectées par jour par le CNN

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 (Fig. 7.10).



**Figure 7.10** : Evolution du nombre de vocalise par fichier de 2 minutes lors de la nuit du 04 au 05 Novembre 2022.



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

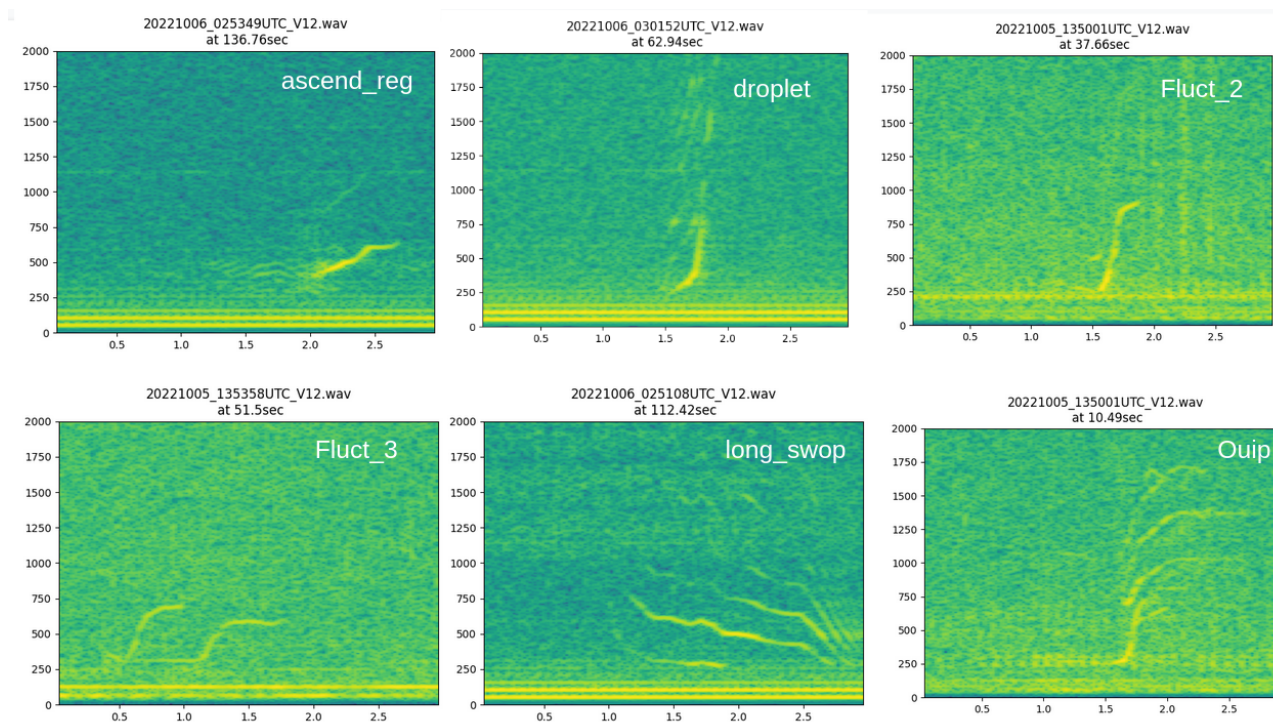


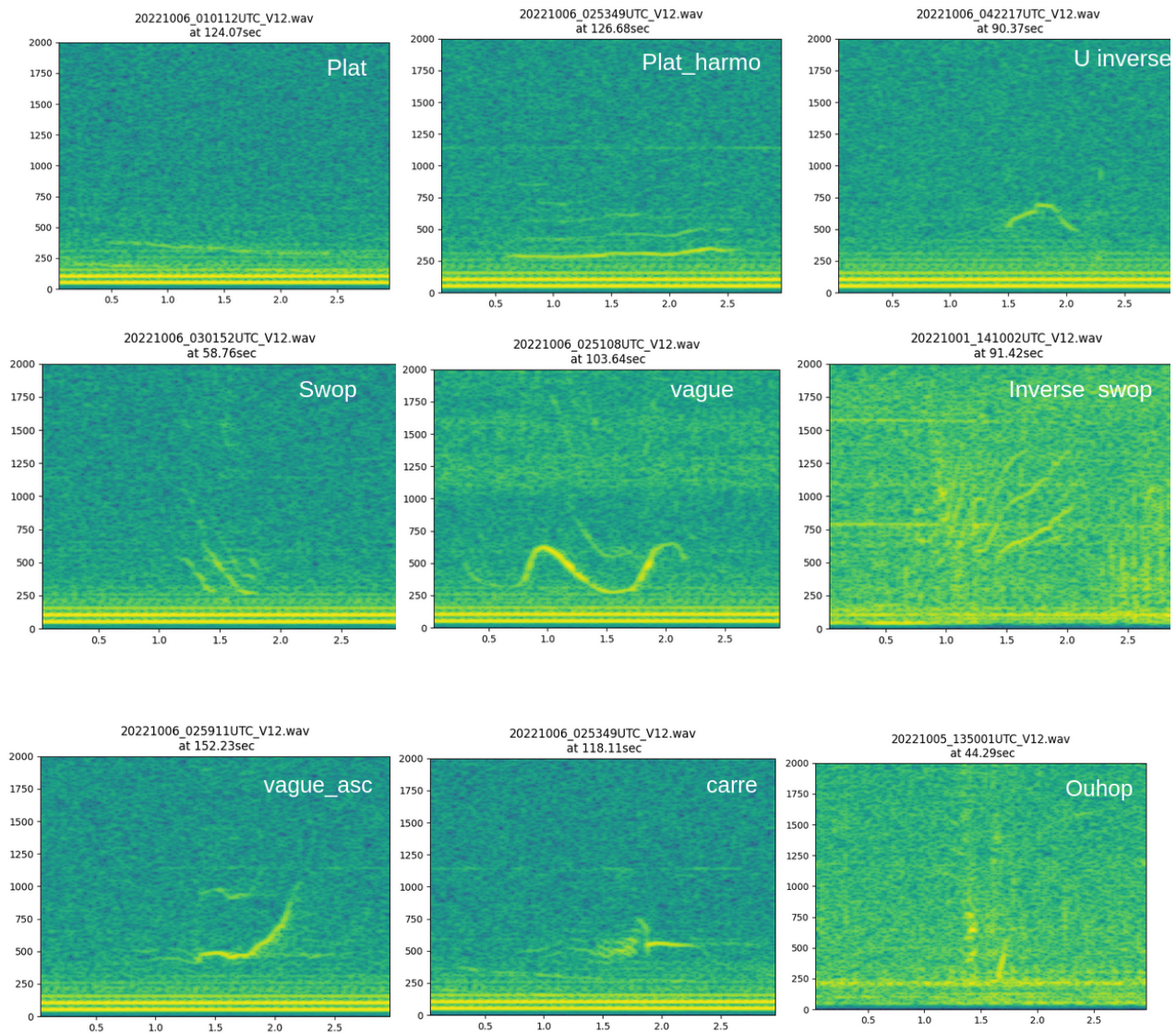
**Figure 7.12:** Exemple de rencontre d'un groupe de baleines à bosse (au moins 12 individus) au Nord Ouest de Rodoya. Certains groupes pouvaient atteindre plusieurs dizaines d'individus. (crédit photo Poupard)

## 7.5 Analyse comparée des répertoires vocaliques des baleines à bosse de l'arctique au tropique

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 (carte Fig.7.11). Nous avons identifié un répertoire d'au moins 14 types (Tab 7.2).

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

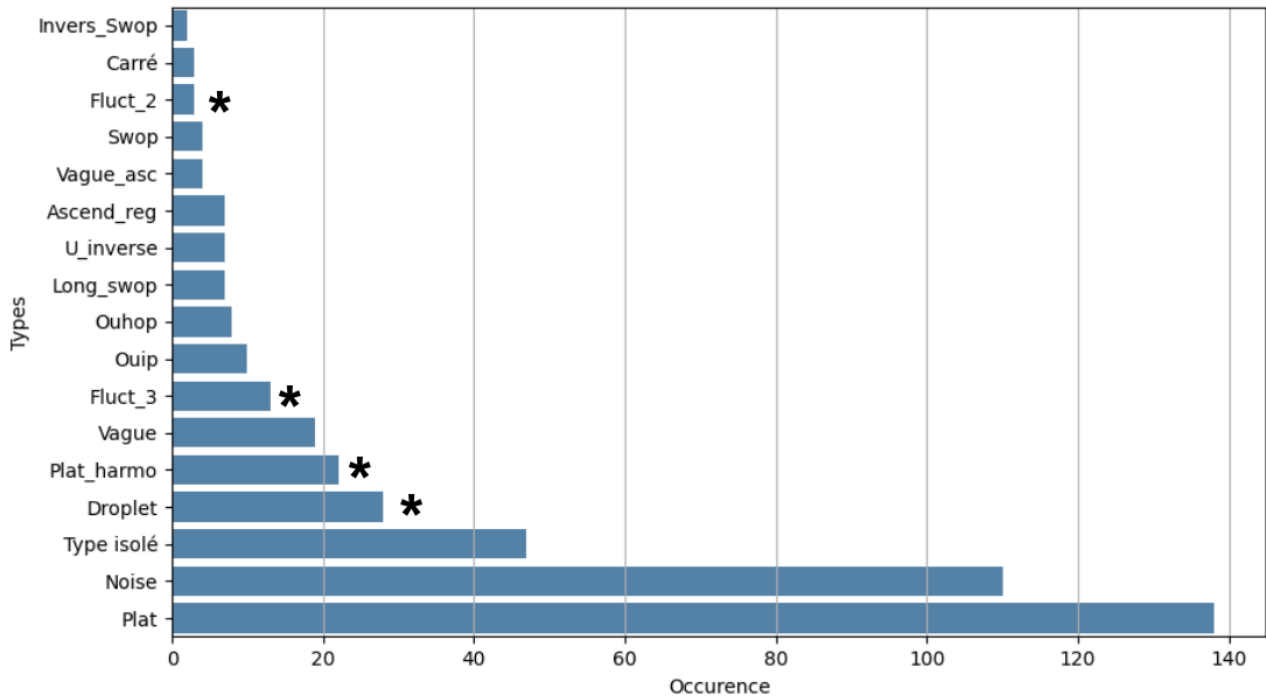




L'équipe DYNi a construit et mène un protocole d'acoustique passive dans les Caraïbes (CARIMAM, Glotin et al 2020), et possède un grand jeu de données de baleine à bosse en période de reproduction. Douze types ont été identifiés dans cette zone (Chavin et al 2022). Parmi ces 12 types, 4 sont également présents (Fig. 7.13) dans le répertoire acoustique découvert par la mission ADAPREDAT2022 en Norvège (Fluct\_2, Fluct\_3, Plat\_harmo et Droplet). Ce résultat confirme bien que les orques présentes au Nord de la Norvège proviennent de la zone caraïbes.

La figure 7.13 représente l'occurrence de chaque type. Ce résultat montre que les baleines à bosse sont bien actives acoustiquement dans les zones d'alimentation (montré en 2021 par Tyarks et al, discuté dans Bouchar et al 2019), et que de plus, elles peuvent produire des types d'appels identiques des zones de reproduction.

La présence de chants sur une aire d'alimentation subarctique facilite probablement la transmission interindividuelle de la culture de la population de baleines à bosse de l'Atlantique Nord qui vit de l'équateur aux bord du pôle Nord. Les déplacements des cultures (répertoires et chants) sont des marqueurs de biopopulation intéressants (Malige et al 2019) pour le suivi de l'adaptation des population aux bouleversements climatiques et les déplacements de populations.



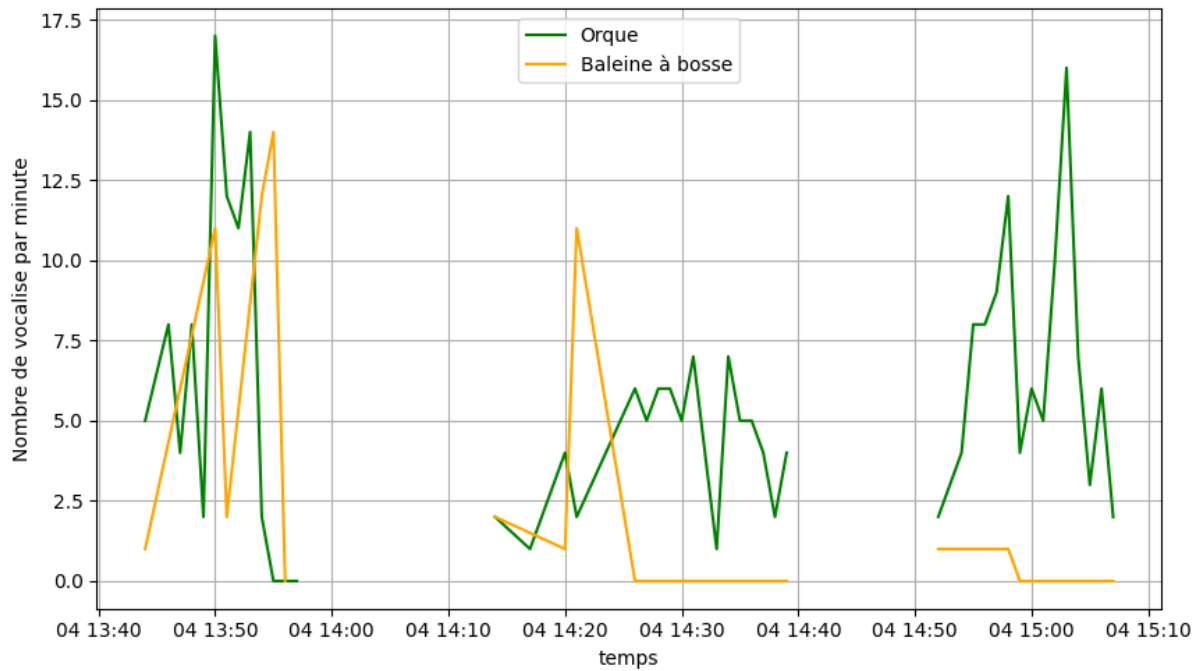
**Figure 7.13** : Occurrence des types identifiés. Types isolés= vocalises présentent une seule fois dans la base de donnée. Noise=SNR trop faible pour l'identification. (\*)=types présents dans les Caraïbes

## 7.6 Analyse acoustique interspécifique (orques & baleine à bosse)

La journée du 04 Novembre a été particulièrement intéressante. Un groupe d'orques a été repéré dans la matinée. A partir de 13h, les orques se sont déplacées au Sud, et tous les individus suivaient le même cap. Puis à **13h40**, un premier feeding à eu lieu. Le premier feeding à duré environ 10 minutes (de 13h44 à 13h55) et aucune baleine à bosse n'a été repérée dans le feeding. A 13h54, les orques se sont déplacées au Sud, une nouvelle fois, jusqu' à 14h18, ou le deuxième feeding à commencé. A 14h08, une baleine à bosse a été repérée à 15 miles de la chasse au cap 40, se rapprochant du feeding. A 14h20, la baleine n'était plus qu'à 1 mile du feeding et à 14h26, la baleine est arrivée sur le feeding. A 14h35, le feeding s'est terminé et les orques repartent au Sud Ouest. À 14h47 un nouveau feeding commence avec des orques mais sans baleine à bosse, jusqu'à 15h10.

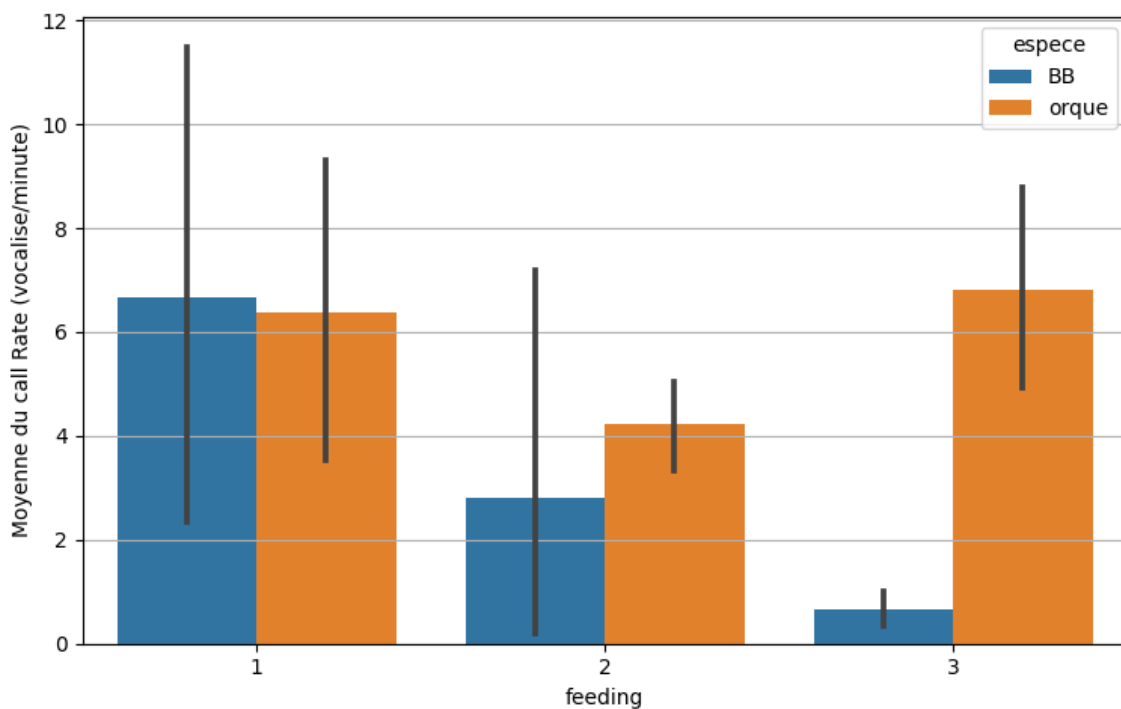
Nous avons pu calculer le taux d'appel (nombre de vocalises par minute) pour les deux espèces (orques et baleines à bosse) pour les trois feedings (Fig.7.14). Lors du premier feeding, uniquement les orques étaient présentes, mais des vocalises des deux espèces ont été enregistrées. Les vocalises de la baleine rejoignant le feeding ont donc été entendues lors du premier feeding. Lors du deuxième feeding, les deux espèces étaient présentes, et au moment où la baleine est arrivée dans le feeding (14h26), elle n'a plus émis de vocalise.





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

Le nombre de vocalises de baleine à bosse diminue au cours des différents feedings. En effet, lors du premier feeding, la moyenne du call rate était > 6/min, pour chuter ensuite à 3 vocalises par minute, puis moins de 1/minute. A l'inverse, les moyennes des call rate pour les orques restent plutôt constants (6,4,6).



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

**On peut conclure pour ce feeding que les baleines à bosse sont acoustiquement actives avant d'arriver dans le feeding, et une fois dans le feeding, elles émettent peu de vocalises.**

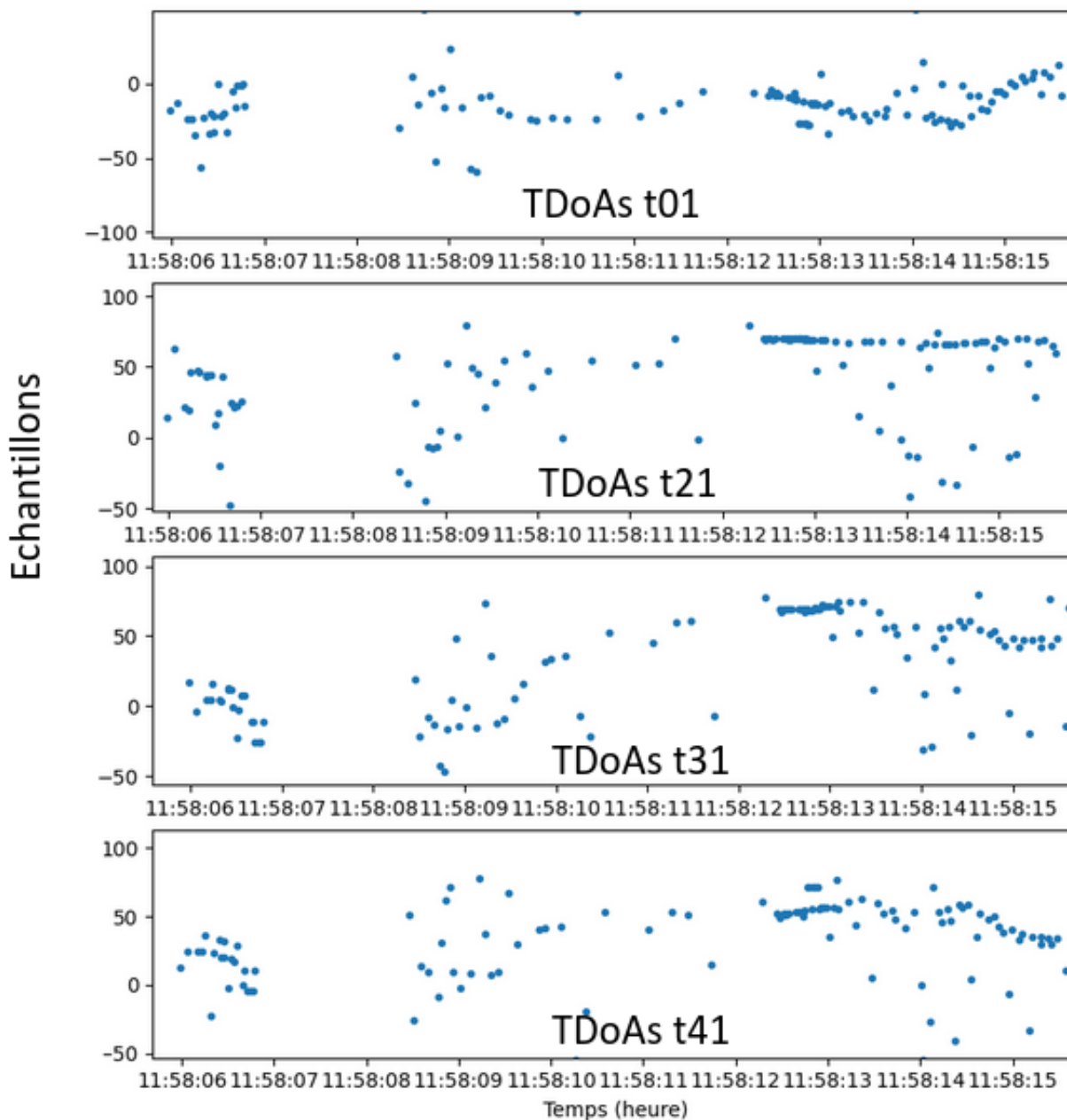


Figure 7.16 : Exemples de compétition orque versus baleine à bosse sur une boule de harengs, durant protocoles OPALÉ en 2021 (gauche, crédit photo S. Barnier), et le 10 nov. 2022 13h lors de reconnaissance par l'équipe (droite, crédit photo Sebastian Schmidt). La baleine à bosse remonte dans la boule de harengs qui avait été "construite" par le groupe d'orques. Ce type de scènes sont en cours d'analyses, des échantillons acoustiques et vidéos sont à <http://sabiod.org/orcas> et <http://sabiod.org/pub/ADAPREDAT>

## 7.7 Suivi de pistes d'orques en champ proche

Une détection de clics a été réalisée sur certains d'enregistrements des antennes Opales 2022 (5 voies), suivi d'un calcul de temps de délais d'arrivée (TDoAs) entre les hydrophones de l'antenne. Un exemple (Fig 7.17) montre les TDoAs calculés après détection automatique IA. Nous calculons actuellement la position de l'individu émetteur par rapport à l'antenne et sa caméra suivant nos procédés (Ferrari et al 2020ab, Glotin et al 2008). Ce protocole nous permettra de suivre

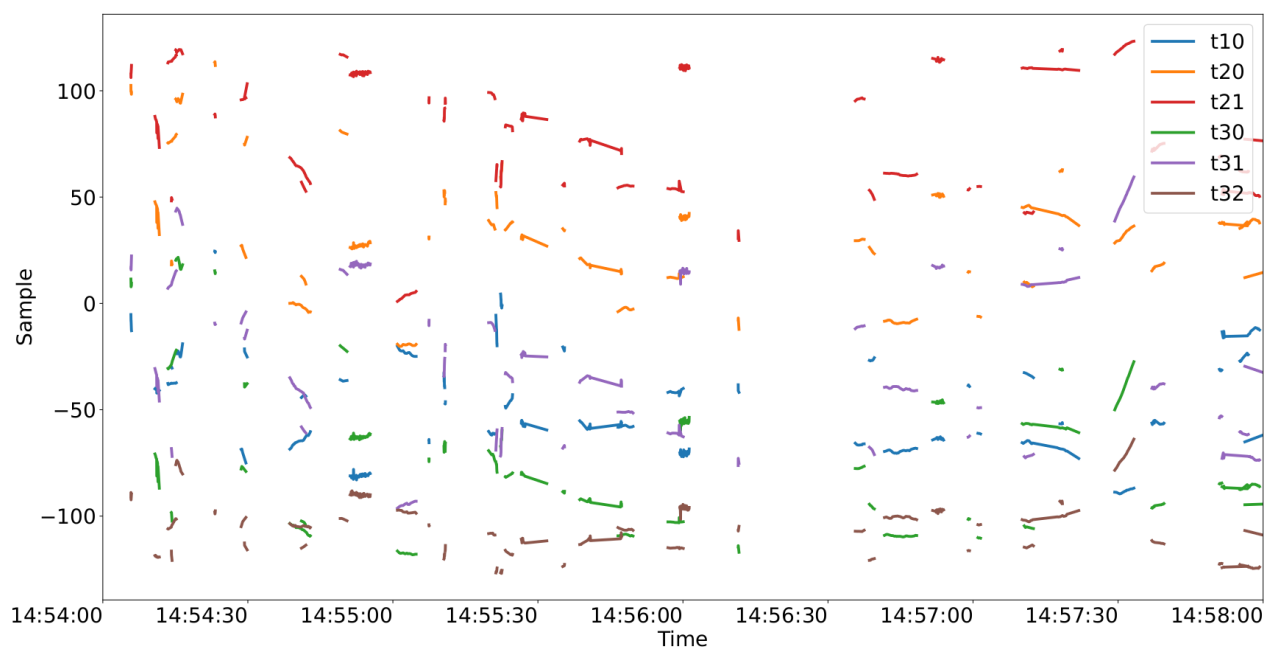
l'évolution au fil des saisons et des années des émissions acoustiques des deux espèces au sein d'une chasse. Mais aussi de tenter la recherche de signature acoustique individuelle, importante pour le suivi des populations.



**Figure 7.17:** Exemple de temps de délai d'arrivée (TDoAs) en échantillons (256 kHz Fe, ordonnée) dans 8 secondes d'enregistrement (abscisse) de clics d'orque, pour chaque paire des 5 hydrophones de l'antenne Opale. On voit nettement les pistes de TDoA formées par une source ponctuelle : l'orque qui chasse ou qui socialise. Ainsi nous avons le lien exact entre son identité visuelle (il est filmé) et ses productions acoustiques sous-marines, en contexte de présence ou non de baleine.

## 7.8 suivi de pistes d'orques en champs lointain

La séparation de piste et donc l'analyse des formes de vocalise par individu est conduite également par l'antenne Tetra, dont voici les pistes de TDoA montrant à chaque instant qu'une seule piste par couple d'hydrophone (noté t10, t20...). Il n'y a donc qu'un seul individu qui vocalise à la fois dans cette scène à chaque instant, probablement le même étant donné les segments de même couleur qui se suivent.



**Figure 7.18:** Exemple de temps de délai d'arrivée (TDOAs) en échantillons (Samples, 256 kHz Fe, ordonnée) dans 4 minutes d'enregistrement (abscisse) de clics d'orque, pour chaque paire des 4 hydrophones de l'antenne Tetra. On voit nettement les pistes de TDOA formées par une source ponctuelle : l'orque qui chasse ou qui socialise.

## 8. Protocole d'observation et d'identification visuelles

Pour pouvoir évaluer un changement de stratégie de chasse chez les orques, faut-il encore retrouver régulièrement les mêmes pods et les mêmes individus d'une année à l'autre (recapture). Cette recapture se fait à la fois de façon acoustique, mais plus commodément de façon visuelle. Pour cela nous avons mis en place un protocole d'identification visuelle : photo-identification.

### 8.1 Matériel et méthode

**Un protocole d'observation visuelle** a été mis en place, du lever du jour au crépuscule, par quart de 4 personnes, roulant sur 2 heures, avec recherche aux jumelles. Au total, **41h35** d'observation, soit une moyenne de 7h/jour. Chaque jour, les informations de navigation, observations de cétacés et événements remarquables sont notés sur une feuille de route, avec heure et point GPS. Chaque observation d'orques fait l'objet d'une fiche spécifique : comportement, heure de plongée et de retour en surface, nombre maximum d'individus en surface, nombre de mâles, présence des baleines, séquences d'enregistrements acoustiques, numéros des photos et vidéos, ainsi que toute information qui aidera l'analyse des données acoustiques et permettra de lancer une étude éthologique.

**L'estimation visuelle du nombre d'individus** s'appuie sur le nombre maximum d'individus d'un même groupe, vu en même temps en surface au moment de la respiration. Ce nombre est bien

évidemment inférieur au nombre total d'individus, car tous ne respirent pas en même temps. Cette estimation est avantageusement complétée par l'analyse de vidéos qui permettent de distinguer les individus ne respirant pas de façon synchrone.



**Figure 8.1** : Exemples d'observations typiques d'orques en novembre 2022 sur la zone d'étude (crédit photo Sarano)

La **photo-identification** des orques a été réalisée avec un appareil photos/vidéos Canon EOS R5, équipé d'un 100-500mm. Seul le côté gauche des individus étant utilisé dans les catalogues existants (Jourdain 2018), nous n'avons retenu que les photographies du **côté gauche** – sauf si une blessure remarquable entaillait la nageoire dorsale et permettait une identification sans ambiguïté. Nous avons également, pour dénombrer les grands mâles du Pod1, retenu les photos du flanc droit car, tout le groupe s'étant présenté sur le flanc droit, nous avons pu différencier les individus en comparant le même flanc.

Les conditions de lumière (pénombre) et la distance à respecter pour ne pas perturber les cétacés n'ont pas favorisé l'identification, car peu nombreux sont les orques dont la dorsale est franchement entaillée et dont les détails (griffures, différence de teinte) de la selle sont très lisibles. Aussi, de nombreuses photos ont-elles été écartées car de qualité insuffisante (trop loin, trop sombre, contre-jour, mauvais axe de prise de vue, mauvais côté = flanc droit).

## 8.2 Résultats

L'analyse des photos s'est d'abord focalisée sur les **grands mâles**. Elle met en évidence 36 grands mâles différents, répartis en 6 pods :

20221031-13h56-**POD 3** : 6 grandes orques mâles  
20221101-14h12-**POD 4** : 7 grandes orques mâles  
20221103-13h34-**POD 6** : 4 grandes orques mâles  
20221104-13h26-**POD 5** : 8 grandes orques mâles  
20221105-12h05-**POD 1** : 7 grandes orques mâles  
20221105-13h00-**POD 2** : 4 grandes orques mâles

Voici un exemple (Fig. 8.1) d'identification des mâles du pod 5, choisi parce que l'un d'eux, Pod5\_GmF, apparaît flanc droit. La photo aurait dû être rejetée. Mais l'encoche en haut de bord de fuite de la dorsale est suffisamment caractéristique pour différencier cet individu des 7 autres.

**Quelques femelles** ont également été identifiées, car leur nageoire dorsale était entaillée et leur selle franchement griffée.

20221031-13h56-**POD 3** : 7 femelles

20221101-14h12-**POD 4** : 1 femelles

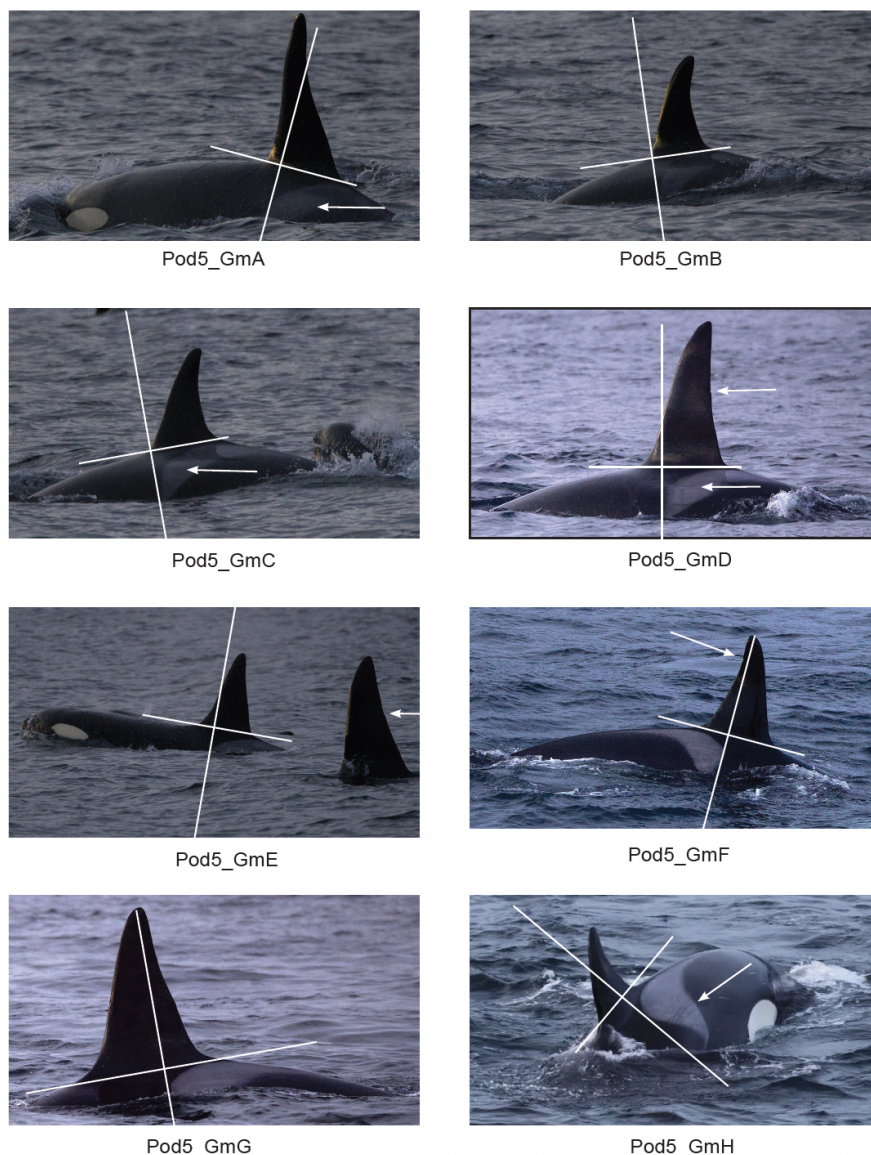
20221103-13h34-**POD 6** : aucune

20221104-13h26-**POD 5** : 5 femelles

20221105-12h05-**POD 1** : 3 femelles





20221105-13h00-**POD 2** : aucune

Pod 5 : 2022-11-04 13h26-13h49  
Mâles adultes



**Figure 8.2** : photo-identification de 8 mâles du pod 5, observé le 4/11/2022. Les critères d'identification sont : la position de l'avant de la selle par rapport à l'axe de la dorsale (indiquée par la croix Fig 8.2), les indentations du bord de fuite de la dorsale et la présence de griffures sur la selle (pointées par les flèches).

**Quelques individus ont été recapturés** (Tab. 8.1) grâce au catalogue de photo-identification développé par E. Jourdain (2018). Ces 2 individus, déjà observés par Jourdain, sont des individus rarement vus dans les fjords. Associés respectivement : NKW-0249 au pod 4 et NKW-1082 au pod 6, ils indiquent que ces 2 pods ne sont pas des visiteurs réguliers de ces fjords.

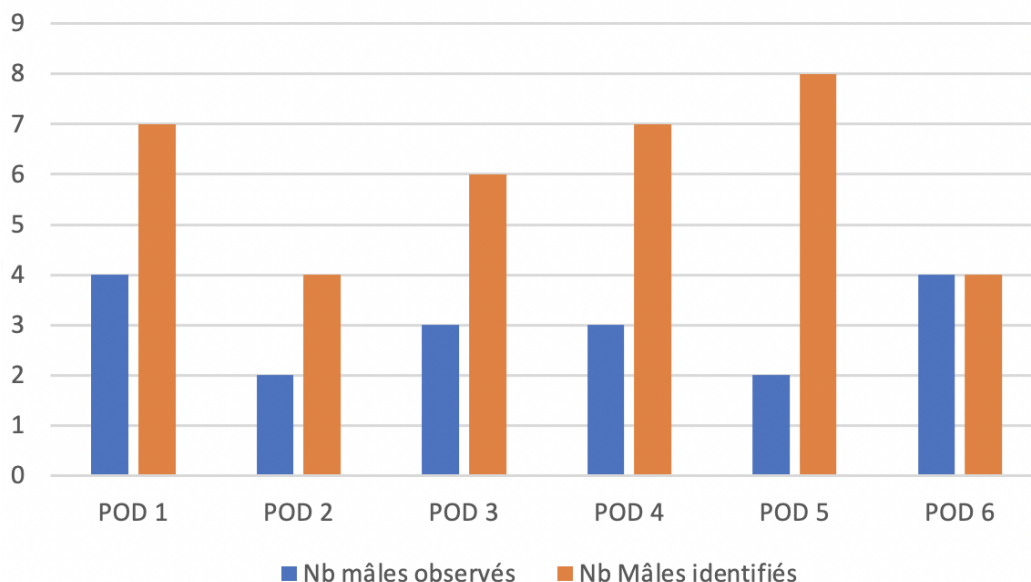
Photo ADAPREDAT	matching au catalogue Jourdain et al.	Date-heure obs
 <p style="text-align: right;">2022</p>	<p style="text-align: center;">Visiteur mâle</p>  <p style="text-align: center;">NKW-0249 ♂ 2014</p>	<p style="text-align: center;">01-11-2022 14h07</p>
 <p style="text-align: right;">2022</p>	<p style="text-align: center;">Visiteur mâle</p>  <p style="text-align: center;">NKW-1082 ♂ 2018</p>	<p style="text-align: center;">03-11-2022 13h45</p>

**Tableau 8.1:** Photographie des individus identifiés grâce au catalogue de Jourdain 2018

**L'analyse des vidéos** (réalisées lorsque les conditions de lumière et de proximité étaient réunies) a souvent conforté l'identification lorsqu'il y avait un doute sur certaines photos. Les vidéos ont d'autre part permis de dénombrer plus facilement les individus de certains pods bien regroupés.

Ces dénombrements sur vidéo, qui ont été comparés aux estimations faites sur le terrain, sont indispensables car l'estimation visuelle, basée sur le nombre d'individus présents en même temps en surface pour respirer, est extrêmement délicate. La lecture au ralenti de la vidéo, elle, ne laisse pas place au doute.

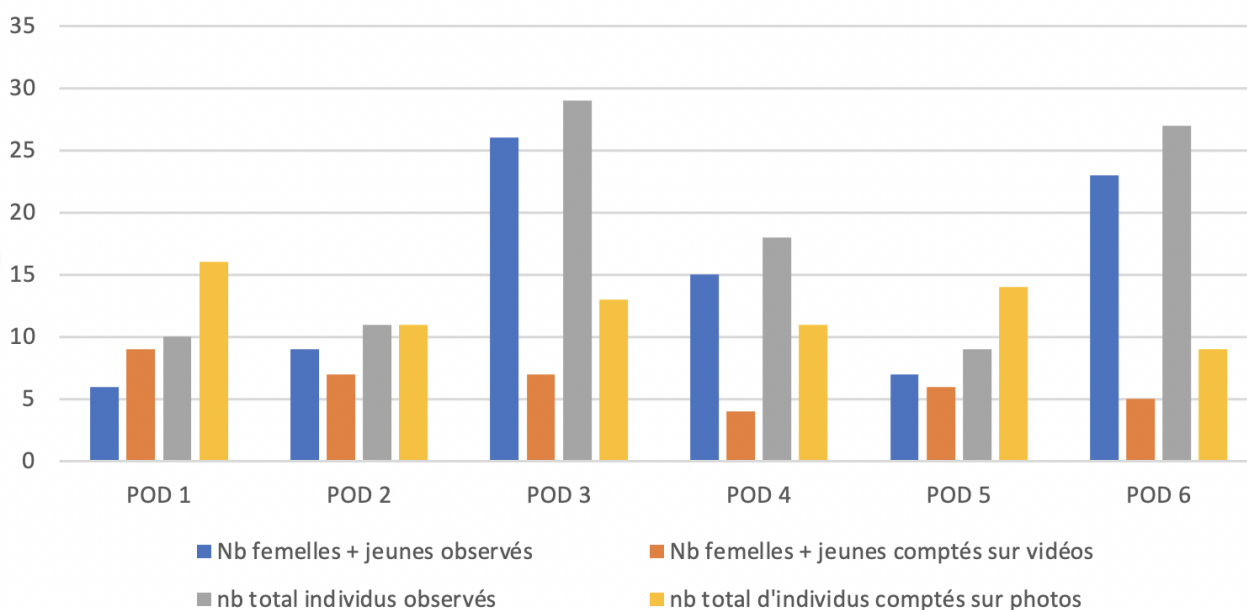
### Comparaison mâles observés / identifiés



**Figure 8.3 :** Nombre de mâles comptés en mer et nombre de mâles identifiés d'après les photos/vidéos, pour chaque pod d'orques.

On constate (Fig.8.3) qu'il est difficile de distinguer les différents mâles à l'observation (sous-estimation systématique). **La photo-identification est donc indispensable au dénombrement des mâles rencontrés.**

### Comparaison nb femelles+jeunes observés / comptés sur vidéos nb total d'individus observés / comptés sur vidéos





**Figure 8.4** : Pour les 6 Pods étudiés, comparaison entre les nombres observés et comptés sur photos/vidéos, d'une part pour les femelles + jeunes, d'autre part pour le total d'individus

A noter (Fig.8.4) que la vidéo n'est vraiment efficace pour le dénombrement que lorsque les orques du Pod sont bien regroupées. Lorsque les orques sont dispersées ou lorsqu'il y a plusieurs petits groupes, le dénombrement vidéo est peu efficace (cas des Pod 3, 4,6) avec un seul appareil photographique.



**Figure 8.5** : Séquence de chasse carrousselle du pod 5, le novembre à 14h27. Cf acoustique Fig.7.14.

Les vidéos réalisées apporteront également quelques éléments afin de suivre l'évolution des chasses.

Dans le cadre d'une étude plus fouillée en cours, éthologique et sociale, ces vidéos seront d'un grand secours en permettant de noter sans ambiguïté les femelles suitées, les affinités entre individus, les temps de plongée et de respiration en surface, les comportements de chasse, de jeux.

**Aucun grand mâle n'a été identifié dans 2 pods différents. Il semble donc que l'on puisse les utiliser pour caractériser chacun des pods.**

De la même manière, les dizaines de photos de baleines à bosse prises durant notre mission sont en cours de comparaison avec le catalogue de référence qui permet leur identification, voir l'exemple ci-dessous (Charles Lavin 2017).

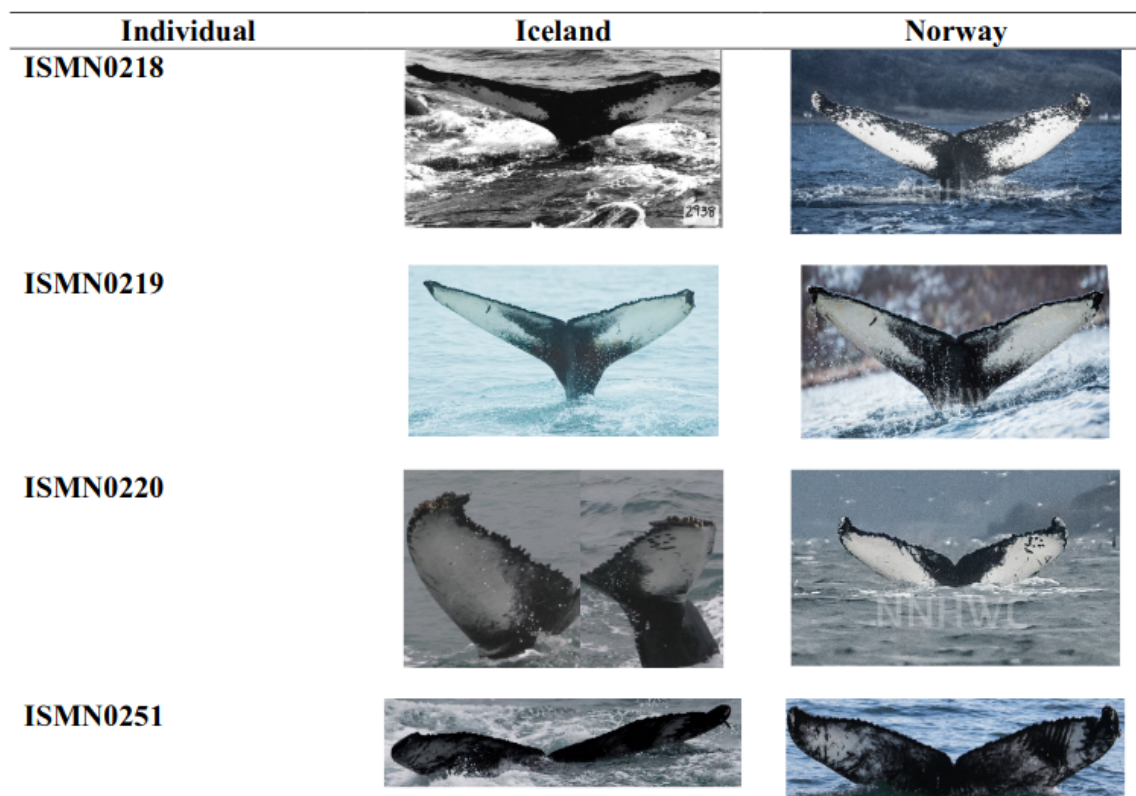


Figure 8.6 : exemple de matching Photo Id de baleines à bosse sur le site et en Islande (Lavin 2017)

## 9. Paysage acoustique, puits de silence versus pollution anthropophonie

### 9.1 Matériel et méthode

La station fixe et la bouée stéréo, couplées aux mesures dans le centre ou au large du Fjord par l'Isbjorn, permettent une qualification inédite de la qualité acoustique d'un fjord arctique. Les environ 2 To d'archive reçu mi janvier 2023 sont en cours d'analyse. Nous avons néanmoins déjà un aperçu du niveau des puits de silence à l'intérieur du fjord.

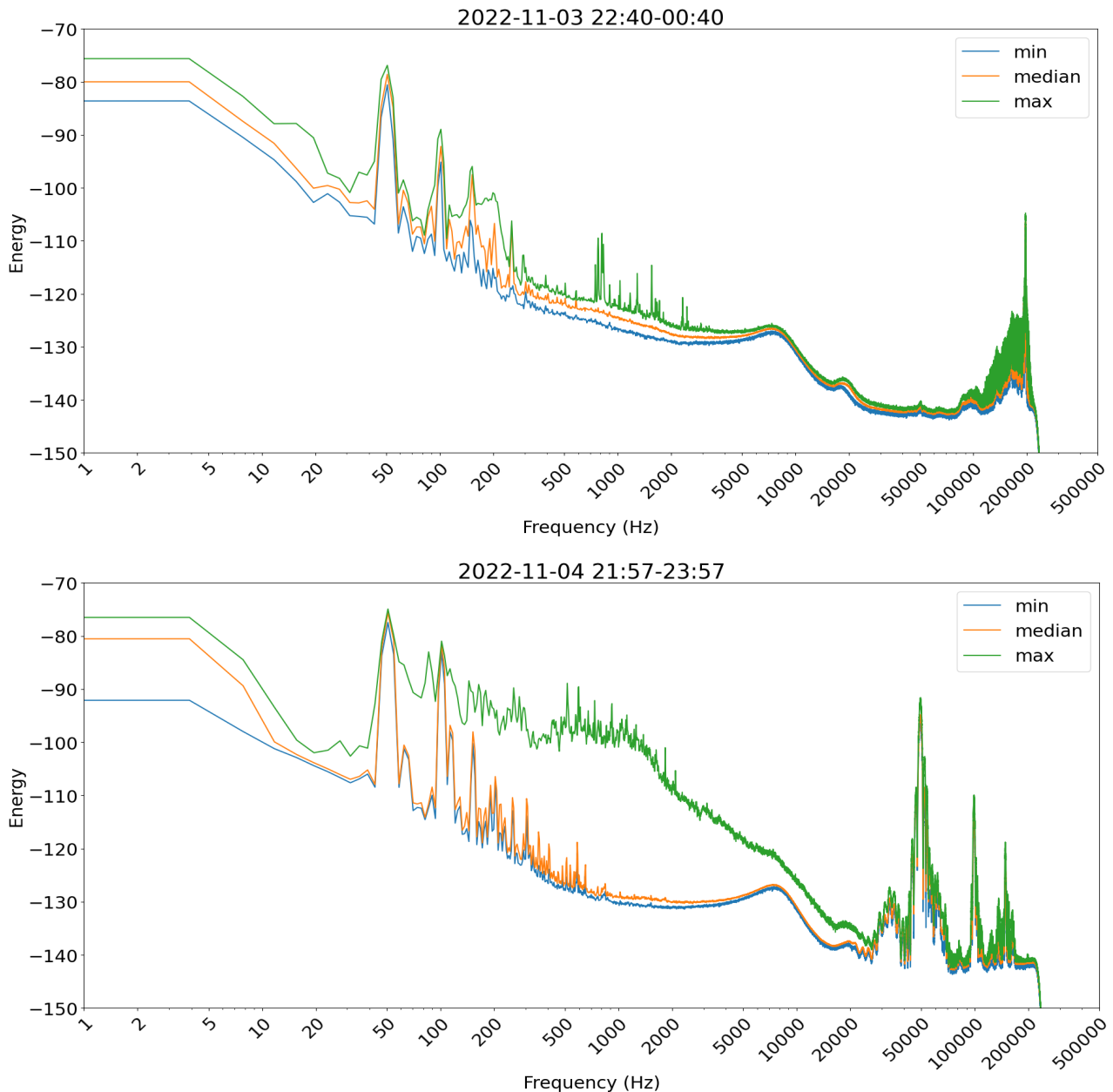
Les données AIS (archives des trajectoires des bateaux sur zone) que nous achetons actuellement (Marine Traffic ©) pour la période fin 2022 permettront de corréliser la nature des bateaux (tonnage), ainsi que leurs vitesse et distance à l'hydrophone, au dB par  $\frac{1}{3}$  octave comme nous les analysons pour le SHOM (Ferrari et al. 2022). Cela permettra de qualifier l'anthropophonie, ainsi que la qualité de la propagation acoustique dans le Fjord.

On peut imaginer les qualités acoustiques d'un fjord comme celles d'une cathédrale avec différentes nefs et cryptes, offrant autant de refuges acoustiques par bafflage. Cela peut offrir des zones de repos du système auditif des prédateurs abrités des rayonnements acoustiques du trafic de tankers du rail du grand Nord de plus en plus dense du fait du réchauffement. Les animaux peuvent moins subir de telles perturbations, si le fjord lui-même n'est pas sonifié par des bateaux parcourant le ford. Ces puits de silence formeraient alors à certaines heures des sanctuaires,

propices à des chasses optimales et des communications 'culturelles' de qualité, internes aux pods d'orques et aux 'clans' de baleines à bosse, et leurs interactions.

Nous donnons ci-dessous les premières mesures dB qui tendent à montrer cet effet de bafflage à l'intérieur du fjord et le silence aux heures de trafic

## 9.2 Résultats



**Figure 9.1** : Mesures dB sur 2 sites durant la nuit, (Haut) dans le fjord au Nord d'Haudoya (point Blanc sur carte 6.3), (Bas) un derrière Haudoya point vert sur carte 6.3). Les énergies avant 300 Hz et après 5 kHz sont en partie des artefacts de l'observateur (bruits du bateau). Les stations Bombyx et la station fixe Seglvik n'ont pas ces phénomènes inhérents dus au roulis du bateau. Leurs analyses sont en cours ou viendront à la récupération des données encore sur site. On voit sur les courbes Min et Médiane que les énergies entre 500 et 5000 Hz sont moins énergiques derrière Haudoya. Des statistiques long terme en différents points du fjord devront être établies pour montrer des effets de bafflage et de puits de silence.

Une analyse des mesures de dB prises sur site (Fig. 6.3) la période d'étude (Fig. 9.1) révèle la présence de plusieurs pics distincts dans les données. Le premier de ces pics, observé à 50 Hz, est probablement dû à l'alimentation électrique du navire. Il s'agit d'une fréquence courante dans le bruit généré par l'équipement du bateau et peut être causé par diverses sources telles que les générateurs, les compresseurs d'air et les systèmes de propulsion. En outre, un pic observé entre 5 kHz et 10 kHz est conforme au bruit inhérent de la carte son utilisée. Ce pic est généralement causé par le bruit généré par les composants électroniques de la carte son et peut être réduit avec une calibration appropriée.

En outre, une série de pics observés autour de 50 kHz pendant la nuit du 4 au 5 est d'origine anthropique, probablement dus à l'utilisation d'un système de sonar de bateau. Ces pics sont couramment associés à l'utilisation de systèmes de sonar actifs et peuvent être trouvés à différentes fréquences selon le type de système de sonar et les conditions d'exploitation. Ces sources de bruit anthropiques sont connues pour avoir un impact significatif sur la vie marine et peuvent entraîner des blessures physiques et des changements comportementaux chez les animaux marins (Best et al 2019). Il est important de noter que le sonar n'est pas la seule source de bruit anthropique dans cette région, d'autres sources telles que la navigation et l'exploration pétrolière et gazière contribuent également au niveau acoustique sous-marin dans le nord de la Norvège.

Nous comparons Fig.9.1 les minima et médianes, entre 500 Hz et 5 kHz. Les médianes sont fiables, et si proches des minima, elles caractérisent une zone stable. Elles démontrent, pour la nuit du 4 au 5, que le niveau dB est très faible et stable derrière Haudoya dans cette nuit. C'est une mesure à l'intérieur du fjord qui est baffle du Nord par la masse d'Haudoya. En revanche, le jeudi 3 novembre de 22h à 23h59, au Nord Haudoya, le niveau min est +3dB et le niveau médian est +6dB (double d'énergie dans cet intervalle de fréquence), ce qui est en faveur d'une démonstration du bafflage et l'existence de puits de silence dans le fjord.

En conclusion, cette étude sur les mesures du système à Seglvik met en évidence la complexité de l'environnement acoustique sous-marin d'un fjord, et les multiples sources de pollution sonore qui doivent être prises en compte, pour évaluer son impact sur la vie marine et les communautés environnantes. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre les interactions entre ces différentes sources de bruit et développer des stratégies de mitigation efficaces pour réduire les impacts négatifs de la pollution sonore sur l'environnement marin.

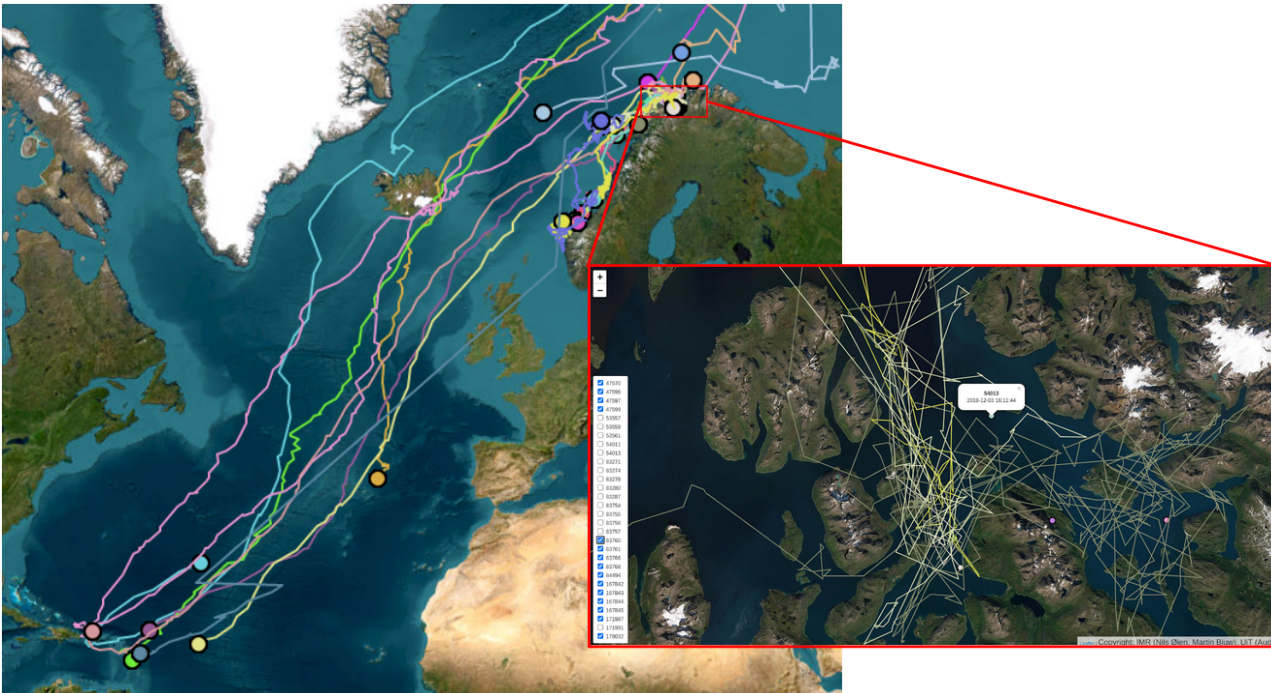
## 10. Discussion

Cette étude est une des premières à décrire un nouveau comportement, apparu depuis une dizaine d'années, chez une population de baleines à bosse qui change de stratégie migratoire pour séjourner l'hiver en Arctique, au lieu de migrer directement vers les tropiques comme les autres. Ces individus, en plus de leur stratégie alimentaire habituelle, profitent de façon opportuniste des boules de harengs rassemblées par les orques, et sont donc en compétition avec les prédateurs usuels de ces boules de harengs : les orques.

Ces deux espèces montrent un certain degré d'interaction vocalique, avec une modulation du Call Rate, ou des productions encore inconnues : des codas d'orque, et en revanche des clics biosonar de baleine à bosse à son approche à la boule de harengs. Ceci pour probablement la localiser et fondre dessus en minimisant les interactions avec les orques. Ces phénomènes ressemblent à des stratégies de furtivité d'une part et de détection efficaces de cible, et peut-être minimisent les interférences des deux espèces.

Au niveau du milieu, la mesure CTD 1 au Nord est fortement influencée par les courants côtiers (Norwegian Coastal Current) comme le montre sa comparaison aux stations à l'intérieur de Skjervøy. Il y a aussi des différences entre les stations 2 à 5. Ces gradients pourraient modifier la structure des bancs de harengs que pourrait révéler l'échosondeur. Les échosondages pratiqués en 2022, après les chasses pour ne pas les perturber, sont seulement à l'est de Skjervøy à 15 min d'intervalle, donc dans des conditions hydrographiques similaires. Plus de mesures sont requises pour cette étude hydrophysique ainsi que des structures des bancs et comportements des prédateurs. Cette hypothèse sera travaillée avec les corpus de la mission suivante de 2023. Cette caractéristique hydrophysique pourrait être une cause du point de convergence des baleines à bosse démontré par Tag depuis 2018 (Fig 10.1abc) et encore confirmé par nos pré-résultats bioacoustiques.

En plus, des tags, l'étude de Bérubé en 2004 a identifié génétiquement les mêmes individus en Norvège et dans les Caraïbes. Nous complétons ces travaux en montrant la similitude acoustique entre ces individus. Nous montrons également que les chants des baleines à bosse enregistrés en Norvège ont des similitudes avec les chants des Caraïbes (Winn et al 1978, Glotin et al 2021, Chavin 2022). Ces résultats sont en concordance avec les baleines taguées dans les Caraïbes (Fig.10.1).



**Figure 10.1** : Migration (par GPS TAG) des baleines à bosse Atlantique Nord en 2018 d'après <http://whaletracking2018.uit.no>. On retrouve bien le point focal Est Skjervoy / Bombyx ADAPREDAT comme en 2022 suivant nos densités de vocalises enregistrées.

Nos premiers résultats valident que le protocole bioacoustique, couplé à la photo-identification des individus, permettra de travailler l'hypothèse de la discrimination des vocalises individu par individu sur les orques (voire l'hypothèse des codas), et baleines ou groupe, type de chant et dépendance à la forme du chant (Malige et al 2020).

# 11. Conclusion et plan 2023

La matrice SWOT de cette mission 2022 est donnée ci-dessous. Elle donne le bilan des atouts et risques suivant le retour d'expérience.

**Tableau 11.1** : Matrice SWOT de la mission 2022

SWOT	Positif pour atteindre objectif	Négatif
Facteurs internes	<p>Équipe interdisciplinaire. Synergie forte. Approches originales et nouveaux paradigmes interspécifiques Forte expérience sur missions et protocoles précédents Whale Way, Sphyrna Odyssée, Bombyx1 et 2 Forte composante data IA de par la Chaire IA ADSIL <a href="http://bioacoustics.lis-lab.fr">http://bioacoustics.lis-lab.fr</a> . Instrumentation scientifique en avance de l'état de l'art. Annexe de l'Isbjorn permet des mesures en proche.</p>	<p>Equipage 2022 du Isbjorn à consolider par un ajout d'un/e matelot afin de densifier les mesures de nuit. Annexe de l'Isbjorn à revoir. Prise de note par dictaphone. Prendre des films plus ciblés avec 2 télé et 2 caméras par scène. Se concentrer sur les grands mâles qui signent les pods.</p>
Facteurs externes	<p>Opportunités : soutien d'C Lien avec notre projet Biodiversa Europam 2023-2027 qui débute dans la région. Suivi des mêmes baleines à bosses dans le projet CARIMAM. Il n'existe pas d'autre projet de suivi à cette échelle Norvège / Caraïbes.</p>	<p>Météo et visibilité complexes, rajout d'une semaine requise. Variabilité des recrutements des harengs. Dépendance cycle lunaire? Évolution quota pêcheurs ? Perturbation anthropique ?</p>

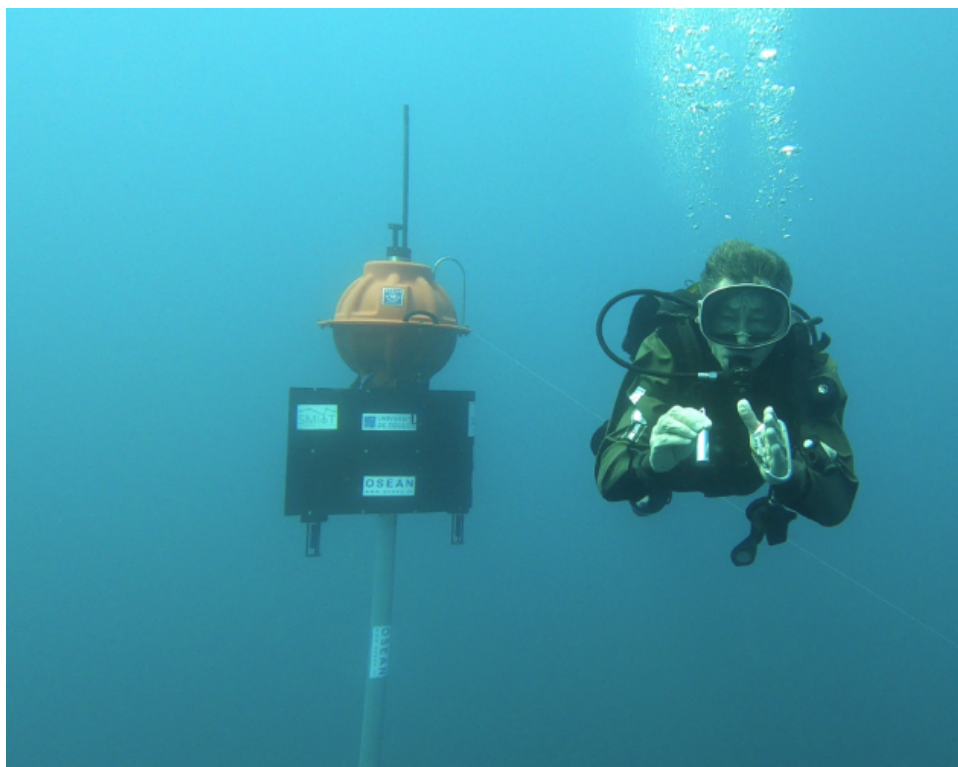
Cette mission ADAPREDAT montre des points forts et les pré-résultats sont très prometteurs. Comme prévu, nous visons à la continuer en 2023 sur le même navire qui est parfait pour les mesures en dérive ou au mouillage, en lointain ou à proximité des chasses.

L'évolution des phénomènes acoustiques dans l'espace et le temps (codas, clics basse fréquence de baleine à bosse, modulation interspécifique du Call Rate...) est conduite entre les données des deux OPALES en 2021 et des OPALES en 2022. De plus, nous comparons actuellement les données Isbjorn de début de saison 2022 avec les 12 semaines suivantes enregistrées par les OPALES puis par Bombyx et la station filaire posée à Seglvik. La série à ce jour de 2 To est assez conséquente et la mission 2023 permettra de la compléter intelligemment en espace et en temps, en densifiant les observations avec notamment la pose de nouvelles stations fixes.

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-niva. 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. Il s'agira notamment d'une de nos bouées BOMBYX2 équipée de 5 hydrophones et de longue autonomie (Fig.11.1).

Pratiquement la même équipe sera embarquée en nov. 2023, moins un scientifique et plus un matelot. En effet, l'objectif renforcé en 2023 est de suivre à bonne distance, et en respect de pression anthropique, les groupes de cétacés sur plusieurs heures, en mesurant leurs signaux en contexte : sans et avec interaction inter-espèce, avec et sans pêcheurs ou whale watchers. Ce sur

les trois groupes observés : orque, baleine à bosse et également rorqual que nous avons aussi observé et photographié dans la zone Est sur plusieurs jours, du Nord au milieu du fjord.



**Figure 11.1** : Bouée pentaphonique BOMBYX2 DYNI LIS CNRS, issue du programme FEDER GIAS 2017-2022, équipée de 5 hydrophones et de longue autonomie (crédit photo Ferrari). Ses cinq hydrophones permettent un calcul du gisement en azimuth et élévation des sources, voire leur distance, pour un suivi fin de la faune sur le long terme. Elle sera placée au nord de l'île Haudoya, en remplacement de la bouée prototypique de test sur la zone posée dans notre mission 2022, et qui a démontré que la pose est possible et tenu sur 6 mois au moins.

## 11.1 Diffusion, formation

Un projet est en cours de demande de soutien à Arte pour un film (Ecletic prod) sur cette mission. D'autres sont demandés par Thalassa et al.

Un workshop dédié à cette mission est organisé le 15 mars à UTLN centre des congrès NEPTUNE MAYOL au centre ville de Toulon, avec l'équipe et en invités les experts DGA AID bioacoustique, tous les membres de la Chaire IA ADSIL dont M. Asch (LAMFA) et P. Cristini (LMA) , experts en acoustique. Ainsi que la PREMAR et le ministère de l'environnement.

Un lien sera construit avec la mission POLARPOD coPI Glotin pour son volet bioacoustique Antarctique, mission de J. L. Etienne 2024-2027 en antarctique.

Ces missions seront aussi le support de cours, TD et TP dans nos formations IA, physique data, et bioacoustique en masters de l'UTLN. Et un des socles d'une demande de nouvelle formation internationale M2 dédiée bioacoustique IA et impact anthropique.



## 12. Bibliographie

### Bibliographie en instrumentation avancée

Barchasz, Gies, Glotin, 2021, High Blue, Tech. Report, <https://smiot.univ-tln.fr/downloads/highblue.pdf>

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 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>

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>

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](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03386618/file/ITMS-2019-TENS_Learning.pdf)

### Bibliographie protocole omique

Corsolini et al. (2017) The trophic transfer of persistent pollutants (HCB, DDTs, PCBs) within polar marine food webs; Chemosphere. 177 : 189-199

Dahlberg et al. (2016) Anthropogenic and naturally produced brominated substances in Baltic herring (*Clupea harengus membras*) from two sites in the Baltic Sea. Chemosphere, 144: 2408-2414

Peterson et al. (2017) Characterizing cytotoxic and estrogenic activity of Arctic char tissue extracts in 3 primary Arctic char hepatocytes. J Toxicol Environ Health. 80 (16-18) : 1017-1030

Prévot D'Alvise N, Richard S, Aublanc P, Bunet R, Bonnefont JL (2020). When male seahorses take the female contraceptive pill ... Environmental Science and Pollution Research, 27, 16528–16538. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08152-1>

Rajasilta et al. (2015) Morphological abnormalities in gonads of the Baltic herring (*Clupea harengus membras*): Description of types and prevalence in the northern Baltic Sea. Ambio. 45: 205–214

Selmoni et al. (2019) Sex-specific changes in gene expression in response to estrogen pollution around the onset of sex differentiation in grayling (*Salmonidae*). BMC Genomics, 20: 583

Von Hippe et al. (2018) Endocrine disruption and differential gene expression in sentinel fish on St. Lawrence Island, Alaska: health implications for indigenous residents. Environ Pollut. 234: 279–287

Bucholtz RH, Tomkiewicz J & Dalskov J (2008). Manual to determine gonadal maturity of herring (*Clupea harengus* L.).DTU Aqua report 197-2008

Mercurio P, Flores F, Mueller JF, Carter S, Negri AP (2014). Glyphosate persistence in seawater. *Marine Pollution Bulletin*, 85, 385-390.

Kallenborn R (editor) (2016). Implications and consequences of anthropogenic pollution in polar environments. 259p.

### **Bibliographie écosystème des Fjords arctiques**

Aniceto et al. (2018) Monitoring marine mammals using unmanned aerial vehicles: quantifying detection certainty. *Ecosphere*. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2122>

Bérubé, M., Rew, M. B., Cole, T., Swartz, S. L., Zolman, E., Øien, N., & Palsbøll, P. J. (2004). Genetic identification of an individual humpback whale between the eastern Caribbean and the Norwegian Sea. *Marine mammal science*, 20(3), 657-663.

Brattegard, T. (1980) Why biologists are interested in fjords. *Fjord Oceanography*. Plenum Publ. Corp, pp. 5366.

Buhl-Mortensen, P., and Buhl-Mortensen, L. (2014) Diverse and vulnerable deep-water biotopes in the Hardangerfjord. *Mar. Biol. Res.* 10, 253–273

Brunel and Mark Dickey-Collas (2010) Effects of temperature and population density on von Bertalanffy growth parameters in Atlantic herring: *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 405, pp. 15-28

Gasbarro, R., Wan, D., and Tunnicliffe, V. (2018) Composition and functional diversity of macrofaunal assemblages on vertical walls of a deep northeast Pacific fjord. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 597, 47–64

Holte, B., Oug, E., and Cochrane, S. (2004) Depth-related benthic macrofaunal biodiversity patterns in three undisturbed north Norwegian fjords. *Sarsia* 89, 91–101

Johansen, P.-O., Isaksen, T. E., Bye-Ingebrigtsen, E., Haave, M., Dahlgren, T. G., Kvalø, S. E., et al. (2018) Temporal changes in benthic macrofauna on the west coast of Norway resulting from human activities. *Mar. Pollut. Bull.* 128, 483–495

Jourdain et al. (2017) Humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) and killer whale (*Orcinus orca*) feeding aggregations for foraging on herring (*Clupea harengus*) in Northern Norway. DOI: 10.1016/j.mambio.2017.03.006

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>

Mishin T. (2021) Cetaceans of the Barents Sea: Fauna and population status at the beginning of the XXI century. *Marine Biological Journal*, V6, N2, pp. 52-68. <https://doi.org/10.21072/mbj.2021.06.2.04>

Mul E., M-A. Blanchet, B.T. McClintock, W. J.Grecian, M. Biuw, A. Rikardsen (2020) Whales are attracted to herring fishing vessels, *Mar Ecol Prog Ser*, Vol. 652: 1–13

- Ramm T. (2020) Hungry during migration? Humpback whale movement from the Barents Sea to a feeding stopover in northern Norway revealed by photo-ID analysis. Master's in thesis in Biology, Arctic university of Norway, BIO-3950 June 2020, 45p
- Renaud, P. E., Włodarska-Kowalczyk, M., Trannum, H., Holte, B., Węśławski, J. M., Cochrane, S., et al. (2007) Multidecadal stability of benthic community structure in a high-Arctic glacial fjord (van Mijenfjord, Spitsbergen). *Polar Biol.* 30, 295–305.
- Rygg, B. (1985) Distribution of species along pollution-induced diversity gradients in benthic communities in Norwegian fjords. *Mar. Pollut. Bull.* 16, 469–474.
- Similä T. & F. Ugarte (1993) Surface and underwater observations of cooperatively feeding killer whales in northern Norway, *Can. J. Zool.*, 71(8):1494-1499
- Similä T. (1997) Sonar observations of killer whales (*Orcinus orca*) feeding on herring schools, *Aquatic Mammals*, 23.3, 119–126
- Simon M, McGregor PK, & Ugarte F. (2007). The relationship between the acoustic behavior and surface activity of killer whales (*Orcinus orca*) that feed on herring (*Clupea harengus*). *Acta ethologica*, 10(2), 47-53.
- Tyarks SC, Aniceto AS, Ahonen H, Pedersen G & Lindstrøm U (2021). Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) Song on a Subarctic Feeding Ground. *Frontiers in Marine Science*, 594.
- Van Opzeeland I, Corkeron PJ, Leyssen T, Simila T & Van Parijs SM (2005). Vocal behaviour of Norwegian killer whales, *Orcinus orca*, during carousel and seiner foraging on spring-spawning herring. *Aquatic Mammals*, 31, 110-119.
- Winn, H. E., & Winn, L. K. (1978). The song of the humpback whale *Megaptera novaeangliae* in the West Indies. *Marine Biology*, 47(2), 97-114.
- Włodarska-Kowalczyk, M., Pearson, T. H., and Kendall, M. A. (2005) Benthic response to chronic natural physical disturbance by glacial sedimentation in an Arctic fjord. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 303, 31–41.
- Włodarska-Kowalczyk, M., Renaud, P. E., Wsławski, J. M., Cochrane, S. K. J., and Denisenko, S. G. (2012) Species diversity, functional complexity and rarity in Arctic fjordic versus open shelf benthic systems. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 463, 73–87

### **Bibliographie bioacoustique IA de l'équipe**

- Balestrieri, Randall, Hervé Glotin, and Richard Baraniuk. "Interpretable and learnable super-resolution time-frequency representation." In *Mathematical and Scientific Machine Learning*, pp. 118-152. PMLR, 2022. <https://proceedings.mlr.press/v145/balestrieri22a>
- 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>
- Best P., 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>

- Best P. (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>
- 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>
- 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>
- B. Bouchard, JY Barnagaud, M. Poupard, H. Glotin, P. Gauffier, S. Ortiz, T. J. Lisney, S. Campagna, M. Rasmussen, A. Célérier (2019) Behavioural responses of humpback whales to food-related chemical stimuli, In Plos ONE, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212515>
- Chavin Stéphane, 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://sabiody.lis-lab.fr/pub/CHAVIN\\_master\\_thesis.pdf](http://sabiody.lis-lab.fr/pub/CHAVIN_master_thesis.pdf)
- 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>
- 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>
- 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 : Mégaafaune et pollution anthropophonique. LOT 2 : Le cas du rorqual et du globicéphale [http://sabiody.lis-lab.fr/pub/BOMBYX/RAPPORT\\_ENGIE\\_LOT2\\_rorqual\\_CNRS\\_BOMBYX.pdf](http://sabiody.lis-lab.fr/pub/BOMBYX/RAPPORT_ENGIE_LOT2_rorqual_CNRS_BOMBYX.pdf)
- 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 : Mégaafaune et pollution anthropophonique. LOT 1 : Le cas du cachalot [http://sabiody.lis-lab.fr/pub/BOMBYX/RAPPORT\\_ENGIE\\_LOT1\\_cachalot\\_CNRS\\_BOMBYX.pdf](http://sabiody.lis-lab.fr/pub/BOMBYX/RAPPORT_ENGIE_LOT1_cachalot_CNRS_BOMBYX.pdf)
- Glotin H., Maxence Ferrari, Paul Best, Marion Poupard, Nicolas Thellier, et al.. CARIMAM Report Bioacoustic Data Processing. [Research Report] DYNI LIS. 2021. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03629286>

Glotin, Thellier, Best, Poupard, Ferrari, et al. (2020) Rapport Mission Sphyrna Odyssey : Découvertes Ethoacoustiques de Chasses Collaboratives de Cachalots en Abysses & Impacts en Mer du Confinement COVID19 , <http://sabiiod.univ-tln.fr/pub/SO1.pdf>

Glotin, F. Bénard, P. Giraudet (2008) Whale Cocktail Party: a Real Time tracking of multiple whales, Canadian Acoustics Int. Journal, Vol. 36, p. 139-145

Mahé Pierre, Maxence Ferrari, Paul Best et Hervé Glotin (2023). Rapport scientifique, Challenge Data 2023, <http://sabiiod.univ-tln.fr/pub/biosonardatachallenge2023.pdf>

Malige F., 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>

Malige F, 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>

Lehnhoff Loïc, 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>

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>

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>

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>

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](http://sabiiod.univ-tln.fr/pub/poupard/cv/m_poupard_phd_08012021.pdf)

Roch M., 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>

# 13. ANNEXES

## 13.1 Exemple de fiche terrain

UNIVERSITÉ DE TOULON LIS		FJORD3D Feuille de route N°: 2		Date : 4 nov 2022	LONGITUDE 181 La Voix de l'Océan
Heure	Latitude	Longitude	Infos : Route / Manip / Espèce / Bateau / Evènement / ...		
12 <sup>h</sup> 14	70° 04, 61	21° 15, 99	descente CTD <sub>3</sub> - début - Inclinaison 0° - lest 10kg.		
12 <sup>h</sup> 53			- souffles toujours au 200° = Groupe 2 de tout à l'heure? - Info whale watcher : feeding au N de Skervey ...		
12 <sup>h</sup> 20	70° 04, 62	21° 15, 97	CTD <sub>3</sub> au fond / début remontée		
12 <sup>h</sup> 35	70° 04, 66	21° 15, 985'	CTD <sub>3</sub> relevé / verticale sur toute la remontée		
12 <sup>h</sup> 38			Remontée du periscope à bord.		
12 <sup>h</sup> 40			Route vers feeding repéré - Cap 260° → zone S Anoya info de Walthalla.		
12 <sup>h</sup> 48	70° 04, 71	21° 13, 94	souffle au 215° = Av Bb à 1,5 mille.		
12 <sup>h</sup> 50			2 caudales - les 2 B à B out soude		
12 <sup>h</sup> 57			2 souffles.		
12 <sup>h</sup> 59	70° 04, 75	21° 10, 52	3 caudales au 230° à 1 mille, 5. 1 orqual		
13 <sup>h</sup> 00			1 orque au 245° à 500m		
13 <sup>h</sup> 02	04, 75	9, 10	1 caudale au 210° isolée		

## 13.2 Sensibilité des hydrophones

**SQ26-07 Frequency Response**

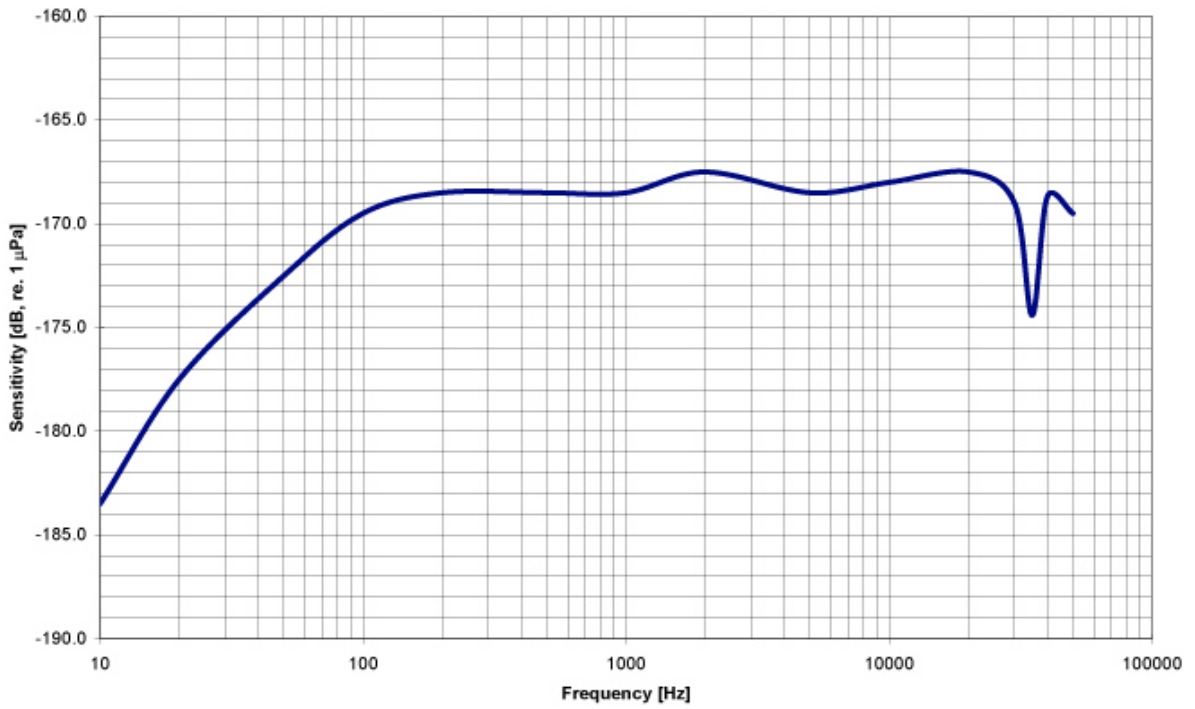
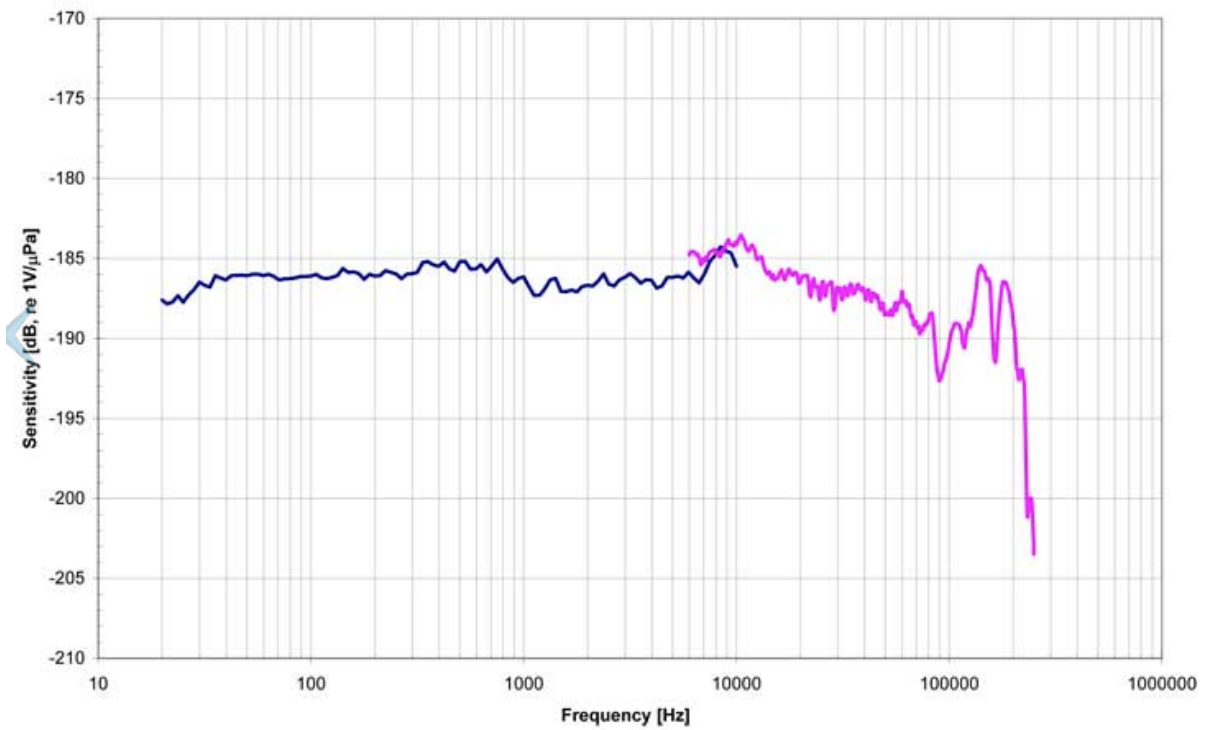


Figure 13.1 : sensibilité SQ26-07

**Frequency Response graph for C75**

**C75/001 Frequency Response**



**CETACEAN RESEARCH™ C75 hydrophone Frequency Response graph - log scale**

<b>C75 / C75X</b>	
<b>Linear Frequency Response Range</b>	0.010 to 170

<b>(±3dB) [kHz]</b>	
<b>Usable Frequency Range</b>	0.003 to 250
<b>(+3/-12dB) [kHz]</b>	
<b>Transducer Sensitivity* [dB, re 1V/μPa]</b>	-200
<b>Preamplifier Gain [db]</b>	20 / 33
<b>Effective Sensitivity* [dB, re 1V/μPa]</b>	-180 / -167
<b>SPL Equiv. Self Noise at 1kHz [dB, re 1μPa/√Hz]</b>	51
<b>Power Requirement [Vdc]</b>	5 to 32
<b>RMS Overload Acoustic Pressure [dB, re 1μPa]</b>	184 to 201 / 171 to 188
<b>Maximum Operating Depth ** [m]</b>	920
<b>Operating Temperature Range [°C]</b>	-40 to 85
<b>Output Impedance [Ω]</b>	10
<b>Dimensions [mm]</b>	92L x (25 to 18)dia.
<b>Integral Connector†</b>	Subconn MCBH3MSS
<b>Directionality</b>	omnidirectional

Figure 13.2 : Sensibilité du C75

## 14. CV de l'équipe

### Hervé Glotin

Hervé Glotin (<http://glotin.univ-tln.fr>) est Pr. d'informatique à Toulon Univ. au LIS CNRS. Son doctorat portait sur la reconnaissance vocale automatique multi-flux adaptative via des indices de voisement et de localisation, à l'Inst. d'Intelligence Artificielle (IA) Perceptive (IDIAP EPFLausanne & INP Grenoble). Il a créé l'équipe DYNi en 2008 et porte des ateliers en IA pour la bioacoustique depuis 2007 : 10 éditions d'écoles ERMITES, ICML2013-14, NIPS2013, ICDM2015... dont les premiers hackathons de classification ou structuration des chants d'oiseaux ou de cétacés. Depuis 2012 il pilote le groupe CNRS Big Data Acoustic Biodiversity (<http://sabiody.org>), et mène ses recherches en IA pour le suivi de la biodiversité notamment marine. En 2017, il a co-organisé l'Int. Conf. sur la représentation d'apprentissage (1500 participants). Il est membre honoraire de l'Inst. Universitaire de France, et porte depuis 2020 la Chaire nationale en IA pour la bioacoustique sous-marine (<http://bioacoustics.lis-lab.fr>). Il est le directeur scientifique des Expéditions



Sphyrna Odyssey depuis 2018 (<https://www.sphyrna-odyssey.com>) pour l'étude acoustique des océans et des cétacés. Avec son équipe, il a développé des méthodes originales de suivi sans perturbation des cétacés de plusieurs espèces, notamment durant leur activité de chasse. Il a monté le programme GIAS BOMBYX de bouées 'intelligentes' entendantes à IA embarquée pour prévenir en temps-réel des collisions des cétacés avec le trafic (FEDER GIAS). Il est membre nommé par le ministère du Comité National Scientifique du CNRS.

#### Publications sélectionnées :

- **H. Glotin** et al. (2021) Effet du confinement en mer et découverte de chasse en meute de cachalot, rapport Mission Sphyrna, Exploration de Monaco et FPA2 <http://sabiiod.org/SO1.pdf>
- M. Poupard, Ferrari M., Schluter J., Marxer R., Giraudet P., Barchasz V., ... & **Glotin H.** (2019) Real-time passive acoustic 3d tracking of deep diving cetacean by small non-uniform mobile surface antenna. In *ICASSP IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing* (pp. 8251-8255)
- M. Ferrari, **Glotin H.**, Marxer R., & Asch M. (2020). DOCC10: Open access dataset of marine mammal transient studies and end-to-end CNN classification. In *IEEE Int. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN)*
- M. Ferrari, **Glotin H.**, Marxer R., Barchasz V., Sarano V., Giés V., ... & Sarano F. (2019) High-frequency near-field *Physeter macrocephalus* monitoring by stereo-autoencoder and 3d model of sonar organ. In *IEEE OCEANS*
- F. Sarano, J. Girardet,, V. Sarano, H. Vitry, A. Preud'homme, R. Heuzey, A M Garcia Segarra, G. Richard, P. Tixie, C. Guinet, F. Delfour, **H. Glotin**, O. Adam & JL Jung (2021), *Kin relationships in cultural species of the marine realm: case study of a social group of Sperm Whales off Mauritius Island, Indian Ocean*. Royal Society Open Science 8: 201794. <https://doi.org/10.1098/rsos.201794>
- M. Poupard, M. Ferrari, P. Best, **H. Glotin**, (2021), Passive acoustic monitoring of Sperm whales & anthropogenic noise using stereophonic recordings in the Mediterranean NW Pelagos Sanctuary, In press Scientific Report Nature Ed.
- M. Poupard, S. Symonds, P. Spong, **H. Glotin** (2021) Intra-Group Orca Call Rate Modulation Estimation Using Compact Four Hydrophones Array, in Journ. *Frontiers in Marine Science*, Marine Megafauna, <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.681036>
- B. Bouchard, JY Barnagaud, M. Poupard, **H. Glotin**, P. Gauffier, S. Ortiz, T. J. Lisney, S. Campagna, M. Rasmussen, A. Célérier (2019) Behavioural responses of humpback whales to food-related chemical stimuli, In *Plos ONE*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212515>
- **H. Glotin**, F. Bénard, P. Giraudet (2008), Whale Cocktail Party : a Real Time tracking of multiple whales, *Canadian Acoustics Int. Journal*, Vol. 36, p. 139-145

### **Nathalie Prévot D'Alvise**

Maître de conférences depuis 2007 à l'université de Toulon, CNRS MIO, équipe EMBIO. Ses recherches portent sur l'effet des perturbateurs endocriniens sur les organismes marins via l'utilisation d'outils en biologie moléculaire. Lors des nombreuses missions qu'elle a mené en mer Méditerranée, elle a pu évaluer l'impact du glyphosate sur des loups de Méditerranée (*Dicentrarchus labrax*), de la pilule contraceptive féminine sur les hippocampes mouchetés (*Hippocampus guttulatus*), de métaux traces sur les oursins (*Paracentrotus lividus*)... ou encore évaluer le stress de certains poissons d'élevage, comme l'esturgeon.

#### Publications sélectionnées :

- **N. Prévot D'Alvise**, S. Richard, P. Aublanc, R. Bunet, JL Bonnefont (2020), When males seahorses take the female contraceptive pill. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 16528-16538
- S. Coupé, F. Clergeaud, S. Couvray, G. Durrieu, S. Richard, S. D'Onofrio, S. Gaillard, T. Miard, JL Bonnefont, C. Garnier, **N. Prévot D'Alvise** (2020) Differential Acclimation of Juvenile Sea Urchins Transplanted Across a Metallic Trace Element Gradient within the Bay of Toulon. *Jour. of Shellfish Research*, 39(1), 143-158
- S. Coupé, S. Couvray, M. Lechable, - S. Gaillard, **N. Prévot D'Alvise** (2019), Telomere Length as a Biomarker for Monitoring Wild Populations of the Sea Urchin *Paracentrotus lividus*, *J. of Shellfish Research*
- R. Simide, S. Richard, **N. Prévot D'Alvise**, T. Miard, S. Gaillard (2016), Evaluation of the accuracy of secondary stress indicators from blood samples for the monitoring of stress, health status and welfare in Siberian sturgeon. *Int. Aquatic Research*, DOI 10.1007/s40071-016-0128-z

### **Valentin Gies**

Valentin Gies received in 2005 the PhD degree in Electronics from Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées (ENSTA ParisTech) and Paris XI Orsay University in France. His PhD was focused on both circuits and algorithms for artificial Retinas. Before in 2001, he graduated from Ecole Normale Supérieure, obtaining the *agregation* in Applied Physics. He is lecturer and researcher at Toulon University since 2007, and Associate Professor in robotics, embedded electronics and IoT at SeaTech, ISEN Toulon and ENSTA ParisTech. He joined IM2NP CNRS laboratory in 2017, in the Circuits Design Team. His current research topics are focused on embedded algorithms and circuits for ultra low power systems, especially for bioenvironmental embedded systems. He is scientific advisor of several start-ups in IoT and head of SMIoT (Scientific Microsystems for Internet of Things) at Toulon University.

#### Selected publications:

- **V. Gies** (2021) "Toward Ultra Low-Power Artificial Intelligence" - Habilitation à Diriger les Recherches.
- S. Marzetti, **V. Gies**, P. Best & al. (2021), A 30  $\mu$ W Embedded Real-Time Cetacean Smart Detector, J. MDPI Electronics
- M. Fourniol, **V. Gies**, V. Barchasz, E. Kussener, H. Glotin (2018) « Applications of an Ultra Low-Power Analog Wake-up Detector for Environmental IoT Networks and Military Smart Dust », IEEE IoTAIS 2018
- H. Glotin, G. Blakefield, M. Trone, D.E. Bonnett, **V. Gies**, V. Barchasz, J. Patris, P. Giraudet, F. Malige, R. Balestrieri (2016) High definition 3D tracking of Amazon River dolphin (*Inia g.*, *Sotalia f.*), in ASA proc.
- M. Fourniol, **V. Gies**, V. Barchasz, E. Kussener, H. Barthelemy, R. Vauché, H. Glotin (2018), Analog Ultra Low-Power Acoustic Wake-Up System Based on Frequency Detection, IEEE IoTAIS
- M. Ferrari, H. Glotin, R. Marxer, V. Barchasz, V. Sarano, **V. Gies**, M. Asch, F. Sarano (2019), High-frequency Near-field Physeter macrocephalus Monitoring by Stereo-Autoencoder and 3D Model of Sonar Organ, IEEE OCEANS

### François Sarano

Docteur en éco-physiologie de la reproduction du merlu, François a été plongeur et chef d'expédition à bord de la Calypso du cdt Cousteau (1985-1997). Responsable du département « Ressources Halieutiques » pour le WWF-France, et à l'origine du concept d'UEGC, Unités d'Exploitation et de Gestion Concertées, pour une gestion durable des ressources halieutiques par les pêcheurs. Cofondateur de l'association Longitude 181. Plongeur, conseiller scientifique et co-scénariste du film *Océans* de J. Perrin et J. Cluzaud. Conseiller scientifique et/ou auteur et/ou réalisateur de 8 documentaires TV consacrés aux cétacés et requins. Auteur de plusieurs livres, dont «Le retour de Moby Dick», Actes Sud, 2017. Depuis 2013, au nom de Longitude 181, il coordonne l'étude de la population de cachalots de l'île Maurice pour mieux comprendre sa structure sociale et son évolution. L'étude s'appuie sur l'observation sous-marine et les enregistrements acoustiques 3D d'un clan de cachalots dont elle a réalisé les cartes d'identité sous-marines et l'arbre généalogique. Cette étude transversale est faite en collaboration avec les laboratoires bioacoustique IA et éthoacoustique (LIS /DYNI/ CNRS Toulon - Hervé Glotin), génétique (MNHN Brest - Jean-Luc Jung - Justine Girardet), éthologie (La Sorbonne - Fabienne Delfour) et bioacoustique (La Sorbonne - Olivier Adam).

#### Publications sélectionnées

- J. Girardet, **F. Sarano**, G. Richard, P. Tixier, C. Guinet, A. Alexander, V. Sarano, H. Vitry, A. Preud'homme, R. Heuzey, A. M. Garcia-Cegarra, O. Adam, B. Madon & J-L Jung (2022): *Long distance runners in the marine realm: new insights into genetic diversity, kin relationships and social fidelity of Indian Ocean male sperm whales*. Front. Mar. Sci. 9:815684. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.815684>
- **F. Sarano**, J. Girardet, V. Sarano, H. Vitry, A. Preud'homme, R. Heuzey, A M Garcia Segarra, G. Richard, P. Tixie, C. Guinet, F. Delfour, H. Glotin, O. Adam & JL Jung (2021), *Kin relationships in cultural species of the marine realm: case study of a social group of Sperm Whales (Physeter macrocephalus) off Mauritius Island, Indian Ocean*. Royal Society Open Science 8: 201794. <https://doi.org/10.1098/rsos.201794>
- V. Sarano, **F. Sarano**, J. Girardet, A. Preud'homme, H. Vitry, R. Heuzey, M. Sarano., F. Delfour, H. Glotin H., O. Adam, B. Madon, J-L. Jung (2022): *Underwater photo-identification of sperm whales (Physeter macrocephalus) off Mauritius*. Marine Biology Research <https://doi.org/10.1080/17451000.2022.2040737>

- M. Ferrari, H. Glotin, M. Oger, R. Marxer, M. Asch, V. Gies & **F. Sarano** (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*. FA2020, hal-03078655
- **F. Sarano**, V. Sarano, O. Adam, J. Girardet, H. Vitry, A. Preud'homme, R. Heuzey, H. Glotin, J-L Jung & F. Delfour (2019), *A focal animal 6-points Likert scale to rate intra-unit interactions in Sperm whales off Mauritius Island*. World Marine Mammal Conference, Barcelona, Book of Abstracts p.112

[L'association Longitude 181](#) a pour objectif la protection du milieu marin et le partage équitable de ses ressources, en s'appuyant sur la *Charte Internationale du Plongeur Responsable*. Elle mène des [programmes d'étude et de sensibilisation sur les cachalots](#) et les requins, le programme [Ocean Academy](#) destiné à la jeunesse, et la campagne « [Ici commence l'océan](#) » qui pousse chacun à agir au quotidien pour réduire son impact sur l'océan (voir le livre « [Sauvons l'océan](#) »)

### Marion Poupard

Marion Poupard est post-doctorante dans le cadre de la chaire ADSIL (ADvanced underSea Intelligent Listening) dans l'équipe DYNi au sein du laboratoire LIS. Marion a réalisé une thèse en bioacoustique au sein de l'équipe, où elle a pu notamment travailler sur les cachalots, les orques, ou les dauphins tachetés Pantropicaux. Durant ces travaux de thèse, elle a mis en place avec l'équipe un protocole acoustique à Orcalab (Canada, Nord de Vancouver) pour l'observation acoustique individuelle d'orques durant plusieurs mois. Elle a pu embarquer sur diverses missions scientifiques comme le navire océanographique Tara expédition (Papouasie), Sphyrna Odyssey (Mer Méditerranée), Mission Live Together (Entre Nice et la Corse) pour l'acquisition de données bioacoustiques. Ces travaux de thèse portaient sur la classification et la localisation de sources sonores marines et terrestres pour différentes échelles d'études qui sont l'échelle spécifique, populationnelle et individuelle.

#### Publications sélectionnées :

- **Poupard** M., Symonds H., Spong P., & Glotin H. (2021) Intra-Group Orca Call Rate Modulation Estimation using Compact Four Hydrophones Array. *Frontiers in Marine Science*, 1383.
- **Poupard** M., Ferrari M., Best P., Glotin H. (2021) Passive acoustic monitoring of sperm whales and anthropogenic noise using stereophonic recordings in the Mediterranean North West Pelagos Sanctuary, Scientific Report, Nature Ed.
- **Poupard**, M., Ferrari, M., Schluter, J., Marxer, R., Giraudet, P., Barchasz, V., ... & Glotin, (2019) H. Real-time passive acoustic 3d tracking of deep diving cetacean by small non-uniform mobile surface antenna. In *ICASSP IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech & Signal Processing* (pp. 8251-8255)
- Bouchard, B., Barnagaud, J. Y., **Poupard**, M., Glotin, H., Gauffier, P., Torres Ortiz, S., ... & Célérier, A. (2019). Behavioural responses of humpback whales to food-related chemical stimuli. *PloS one*, 14(2), e0212515.
- **Poupard**, M., de Montgolfier, B., & Glotin, H. (2019). Ethoacoustic by bayesian non parametric and stochastic neighbor embedding to forecast anthropic pressure on dolphins. In *OCEANS*, IEEE
- **Poupard**, M., Best, P., Schlüter, J., Symonds, H., Spong, P., Lengagne, T., ... & Glotin, H. (2019). Large-scale unsupervised clustering of Orca vocalizations: a model for describing Orca communication systems. In *2nd Int. Workshop on Vocal Interactivity in-and-between Humans, Animals and Robots*.

### Maxence Ferrari

Maxence Ferrari est post-doctorant de la chaire IA de l'Agence Innovation Défense et l'ANR (PI Glotin) ADSIL. Il est diplômé de Centrale Lille et d'un doctorat en mathématique, il travaille principalement en bioacoustique, avec des techniques de traitement de signal et de machine learning. Il a effectué plusieurs missions de placement d'antennes et de collecte de données acoustiques en mer, principalement sur les cachalots.

#### Publications sélectionnées :

- M. Ferrari** (2020) *Study of a biosonar based on the modeling of a complete chain of emission-propagation-reception with validation on sperm whales* (Doctoral dissertation, Amiens & UTLN).

- M. Poupard, **M. Ferrari**, M., Schluter, J., Marxer, R., Giraudet, P., Barchasz, V., ... & Glotin, H. (2019). Real-time passive acoustic 3d tracking of deep diving cetacean by small non-uniform mobile surface antenna. In *ICASSP IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing* (pp. 8251-8255)
- **M. Ferrari**, H. Glotin., Marxer R., & Asch M. (2020). DOCC10: Open access dataset of marine mammal transient studies and end-to-end CNN classification. In *IEEE Int. Joint Conf. on Neural Networks (IJCNN)*
- **M. Ferrari**, H Glotin, R. Marxer, V. Barchasz, T. Sarano, V. Giés, ... & Sarano, F. (2019). High-frequency near-field *Physeter macrocephalus* monitoring by stereo-autoencoder & 3D model of sonar organ. In *IEEE OCEANS*
- M. Poupard, **Ferrari, M.**, Schluter, J., Astruch, P., Schohn, B., Rouanet, B., ... & Glotin, H. (2019). Passive acoustics to monitor flagship species near boat traffic in the unesco world heritage natural reserve of scandola. In *Input Academy: Int. Conference on Innovation in Urban and regional planning*.

### **Pascale Giraudet**

Pascale Giraudet est professeur agrégé en Sciences de la Vie et de la Terre à l'Université de Toulon. Diplômée de l'Ecole Normale Supérieure Ulm et titulaire d'un doctorat en Sciences Cognitives sur le codage neuronal chez les mammifères, elle poursuit depuis 13 ans ses activités de recherche en bioacoustique des mammifères marins dans l'équipe DYNi du LIS CNRS Université de Toulon. Elle a déjà participé à de nombreuses missions scientifiques bioacoustiques sur terre et en mer, notamment sur Cachalots et Orques.

#### Publications sélectionnées :

- O. Dufour, T. Artières, H. Glotin, **P. Giraudet** (2013), Clusterized Mel Filter Cepstral Coefficients and Support Vector Machines for Bird Song Identification, in *Soundscape Semiotics, Localization & Categorization*, Tech Open Book
- H. Glotin, **P. Giraudet** et al. (2013), Tracking multiple marine mammals by shortly or widely spaced hydrophones, in *Dirac NGO, Detection Classification localization of Marine Mammals using passive acoustics*, ISBN 978-2-7466-6118-9, pp. 71-92
- F. Bénard, H. Glotin, **P. Giraudet** (2010) Whale 3D monitoring using astrophysic NEMO ONDE two meters wide platform with state optimal filtering by Rao-Blackwell Monte Carlo data association, *J. of Applied Acoustics*, V71
- H. Glotin, F. Bénard, **P. Giraudet** (2008), Whale Cocktail Party : a Real Time tracking of multiple whales, *Canadian Acoustics Int. Journal*, V 36, p. 139-145
- **P. Giraudet**, H. Glotin (2006), Real-time 3D tracking of whales by echo-robust precise TDOA estimates with a widely-spaced hydrophone array, *Int. Jour. Applied Acoustics*, Elsevier Ed., V67, Issues 11-12, pp 1106-1117

### **Véronique Sarano**

Titulaire d'un doctorat sur le système assimilation-régénération des sels nutritifs dans l'océan Austral, elle a été conseillère scientifique les questions antarctiques pour la fondation Cousteau : campagne pour le moratoire sur l'exploitation de l'Antarctique, mission d'observation sur la piste d'atterrissage en Terre Adélie, Comité français pour l'environnement polaire (1988-1997). Coordinatrice à bord de missions d'observation et d'étude des cétacés en Méditerranée dans le cadre du WWF-France. Cofondatrice de l'association Longitude 181 en 2002, secrétaire générale pendant 10 ans, responsable des campagnes requins et déchets, responsable des missions en mer cachalots et coordinatrice de l'étude sur les cachalots de l'île Maurice depuis 2015 avec François Sarano (voir détails ci-dessus). Auteure d'une quinzaine d'ouvrages (livres de voyage, guide Libye, et encyclopédies jeunesse sur la nature) ainsi que de nombreux reportages de vulgarisation scientifique pour des magazines.

#### Publications sélectionnées :

- J. Girardet, F. Sarano, G. Richard, P. Tixier, C. Guinet, A. Alexander, **V. Sarano**, H. Vitry, A. Preud'homme, R. Heuzey, A. M. Garcia-Cegarra, O. Adam, B. Madon & J-L Jung (2022): *Long distance runners in the marine realm: new insights into genetic diversity, kin relationships and social fidelity of Indian Ocean male sperm whales*. *Front. Mar. Sci.* 9:815684. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.815684>
- F. Sarano, J. Girardet, **V. Sarano**, H. Vitry, A. Preud'homme, R. Heuzey, A M Garcia Segarra, G. Richard, P. Tixie, C. Guinet, F. Delfour, H. Glotin, O. Adam & JL Jung (2021) *Kin relationships in cultural species of the*

*marine realm: case study of a social group of sperm whales (Physeter macrocephalus) off Mauritius Island, Indian Ocean*. Royal Society Open Science 8: 201794. <https://doi.org/10.1098/rsos.201794>

- **V. Sarano**, F. Sarano, J. Girardet, A. Preud'homme, H. Vitry, R. Heuzey, M. Sarano., F. Delfour, H. Glotin H., O. Adam, B. Madon, J-L. Jung (2022): *Underwater photo-identification of sperm whales (Physeter macrocephalus) off Mauritius*. Marine Biology Research <https://doi.org/10.1080/17451000.2022.2040737>

- F. Sarano, **V. Sarano**, O. Adam, J. Girardet, H. Vitry, A. Preud'homme, R. Heuzey, H. Glotin, J-L Jung & F. Delfour (2019), *A focal animal 6-points Likert scale to rate intra-unit interactions in sperm whales off Mauritius Island*. World Marine Mammal Conference, Barcelona, p.112

### Jean-Marc Prévot

Ingénieur d'études hors classe à l'UTLN, Administration de systèmes et réseaux, développement de solutions embarquées sur cartes type RaspberryPi. Électronicien de formation et expert en données numériques, il aura pour rôle d'assurer l'archivage en RED NAS des données à bord, estimées pour la semaine à 18 To. Il a participé à une vingtaine de missions, depuis une dizaine d'années, en mer et sur terre, afin de mettre en place des dispositifs d'écoute bioacoustique préalablement conçus en laboratoire.

#### Publications sélectionnées

- R. Bunet, **JM Prévot**, N. Vicente, JR García-March, R. Martinović, J. Tena-Medialdea, D. Joksimovic, JL Bonnefont, S. Coupé (2021), First insight into the whole genome shotgun sequence of the endangered noble pen shell *Pinna nobilis*: a giant bivalve undergoing a mass mortality event, Journal of Molluscan Studies, V 87, Issue 1, eyaa041, <https://doi.org/10.1093/mollus/eyaa04>
- M. Poupard, P. Best, M. Ferrari, P. Spong, H. Symonds, **JM Prévot** et al. (2020), From massive detections and localisations of orca at orcalab over three years to real-time survey joint to environmental conditions. e-Forum Acusticum, pp.3235-3237, 10.48465/fa.2020.1093
- M. Ferrari, M. Poupard, P. Giraudet, R. Marxer, **JM. Prévot**, et al. (2019), Efficient artifacts filter by density-based clustering in long term 3D whale passive acoustic monitoring with five hydrophones fixed under an Autonomous Surface Vehicle, OCEANS IEEE, hal-02313922
- R. Bunet, **JM Prévot**, N. Vicente et al. (2019), Genome description and inventory of immune related genes of the endangered pen shell *Pinna nobilis*: a giant bivalve experiencing a mass mortality event. ResearchSquare, doi.org/10.21203/rs.2.15332/v1
- M. Poupard, P. Best, J. Schlüter, **JM Prévot**, H. Symonds, P. Spong, H. Glotin (2019), Deep Learning for Ethoacoustics of Orcas on three years pentaphonie continuous recording at Orcalab revealing tide, moon and diel effects, OCEANS IEEE, pp. 1-7, 10.1109/OCEANSE.2019.8867251.

### Julie Patris

Titulaire d'un doctorat en astrophysique (2002, Paris 6) ainsi que d'un doctorat en bioacoustique (2019, UTLN), Julie Patris est professeur agrégée à l'université d'Aix Marseille au département de physique. Elle s'intéresse depuis quelques années à la conception, mise en place et analyse de missions de bioacoustique en Amérique Latine (Atacama, Patagonie). Ses travaux de recherche portent sur l'analyse du signal et la modélisation de la propagation du son d'origine biologique ou anthropique, ainsi que l'étude de la mesure de l'impact du bruit anthropique sur le milieu océanique.

#### Publications sélectionnées :

- **Patris, J** (2019) "Contributions en méthodes pour le suivi de mysticètes par acoustique passive", PhD thesis, 18th of december
- **Patris J.**, Malige F., Glotin, H., Asch, M. & Buchan, S. J. A (2019) standardized method of classifying pulsed sounds and its application to pulse rate measurement of blue whale southeast Pacific song units. J. Acoust. Soc. Am. 146, 2145–2154
- **Patris J**, Buchan SJ, Alosilla G, Balcazar-Cabrera N, Malige F, Glotin H (2020) Southeast Pacific blue whale song recorded off Isla Chañaral, northern Chile. Mar Mam Sci. 1–8.
- **Patris J.**, Komatitsch D., Sepúlveda M., Santos M., Glotin H., Malige F., Buchan S., Asch M, (2019) Mono-hydrophone localization of baleen whales: a study of propagation using a spectral element method applied in Northern Chile, *OCEANS IEEE* pp. 1-9, 10.1109/OCEANSE.2019.8867333.4

- F. Malige, **J. Patris**, S.Buchan, K. Stafford, F. Shabangu, K. Findlay, R. Huccke-Gaete, S. Neira, C. W. Clark & H. Glotin (2020) Inter-annual decrease in pulse rate and peak frequency of Southeast Pacific blue whale song types, *Nature, Scientific Reports*, V10, 8121
- F. Malige, D. Djokic, **J. Patris**, R. Sousa-Lima & H. Glotin (2020) Use of recurrence plots for identification and extraction of patterns in humpback whale song recordings, *Bioacoustics*

### **Franck Malige**

Professeur agrégé de mathématiques, titulaire d'un doctorat en mécanique céleste, chercheur associé au LIS (CNRS France), Franck travaille actuellement sur des modèles mathématiques permettant de mieux comprendre les signaux bioacoustiques. Il participe également à la conception et à la réalisation de missions de terrain en milieu difficile d'accès. Diverses missions au Chili ont permis de recueillir des signaux allant des très basses fréquences (baleines bleues) aux très hautes fréquences (dauphins côtiers, tel le dauphin chilien, endémique de Patagonie).

#### Publications sélectionnées :

- **F. Malige**, J. Patris, S.Buchan, K. Stafford, F. Shabangu, K. Findlay, R. Huccke-Gaete, S. Neira, C. W. Clark & H. Glotin (2020) Inter-annual decrease in pulse rate and peak frequency of Southeast Pacific blue whale song types, *Nature, Scientific Reports*, V10, 8121
- **F. Malige**, D. Djokic, J. Patris, R. Sousa-Lima & H. Glotin (2020) Use of recurrence plots for identification and extraction of patterns in humpback whale song recordings, *Bioacoustics*
- Patris, J., **Malige F.**, Glotin, H., Asch, M. & Buchan, S. J. (2019) A standardized method of classifying pulsed sounds and its application to pulse rate measurement of blue whale southeast Pacific song units. *J. Acoust. Soc. Am.* 146, 2145–2154
- Patris J, Buchan SJ, Alosilla G, Balcazar-Cabrera N, **Malige F.** & Glotin H. (2020) Southeast Pacific blue whale song recorded off Isla Chañaral, northern Chile. *Mar Mam Sci.* 1–8
- **F. Malige**, J. Patris, S. Buchan, & H. Glotin (2018) Acoustical analyses of submarine explosions in northern Chile on long term continuous recordings. in DCLDE conference, Sorbonne

# 15. Bilan financier

## 15.1 Devis 2023

<b>DATES</b>	Séjour 1 : 01/11/23 au 8/11/23 – 8 jours
<b>TARIF</b>	Forfait privatisation du navire ISBJORN II : 24 900,00 € TTC (8 jours) <u>Est inclus</u> : 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). <u>N'est pas inclus</u> : transport jusqu'à Tromso. Prévoir 500-600 € billet avion (Paris-Tromso)
<b>Total HT :</b>	<b>24 900,00 €</b>
<b>Total TVA :</b>	<b>4 980,00€</b>
<b>Total TTC :</b>	<b>29 880,00 €</b>

<b>DATES</b>	Séjour 2 : 08/11/23 au 14/11/23 – 7 jours
<b>TARIF</b>	Forfait privatisation du navire ISBJORN II : 24 900,00 HT (7 jours) <u>Est inclus</u> : 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). <u>N'est pas inclus</u> : transport jusqu'à Tromso. Prévoir 500-600 € billet avion (Paris-Tromso)
<b>Total HT :</b>	<b>24 900,00 €</b>
<b>Total TVA :</b>	<b>4 980,00€</b>
<b>Total TTC :</b>	<b>29 880,00 €</b>

=====

### Total

location bateau 2 semaines avec logement = 49 800 € HT  
+ Frais avion = 11 x 1 100 € HT = 12 100 € HT

## 15.2 Bilan financier des dépenses effectuées en 2022

<b>Déplacements</b> : 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 €
<b>Fonctionnement</b> y compris l'organisation de réunions ou ateliers, Détail : sera en 2023	0 €
<b>Équipement</b> Détail : prêt CTD et échosondeur (Akvaplan-niva) <b>3000 € hydrophones</b>	3 000 €
<b>Prestations de service</b> 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 €
<b>Consommables partie "omique"</b> 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 €
<b>TOTAL</b>	<b>52 900 €</b>

## 15.3 Budget prévu en 2023 avec cofinancement

<b>Déplacements</b> : missions, réunions de travail, workshops, etc. Détail : location du ISBJORN 50 000 € HT Trajets Avion = 11 200 € TTC Hotel = 800 € TTC TGV = 1 200 € TTC Taxi = 400 € TTC (+ crédit TPM APRI )	
<b>Fonctionnement</b> y compris l'organisation de réunion Workshop au printemps 2023, 15 mars 2023, JS UTLN	1 500 €
<b>Équipement</b> (+APRI TPM acquis) Détail : prêt CTD et Échosondeur (Akvaplan-niva) Préparation hydrophones pour 2 bouées	6 000 €
<b>Prestations de service</b> 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 poss. 8 000 €
<b>Consommables partie "omique"</b> Consommables : Kits d'extraction ADN, ARN, éthanol, RNAlater, divers consommables (lames, eppendorf...), amorces pour amplification, Kit d'amplification pour qPCR...	3 000 €



**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 = 2000

CARTT23 = 2169 € (attribution le 20/01/2023)

exemple détail apport APRI TPM etc 2022 =

	Fonctionnement HT	Investissement HT
<b>Budget total du projet</b>	<b>46 429 €</b>	<b>0 €</b>

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€ + CARTT 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