



HAL
open science

Seconde exploration bioacoustique en fjord arctique: mise en évidence de chorus inédits de quatre superprédateurs & étude de leurs interactions

Hervé Glotin, Justine Girardet, Jean-Marc Prévot, François Sarano,
Véronique Sarano, Pascale Giraudet, Valentin Gies, Nathalie Prévot d'Alvise,
Maxence Ferrari, Marion Poupard, et al.

► To cite this version:

Hervé Glotin, Justine Girardet, Jean-Marc Prévot, François Sarano, Véronique Sarano, et al.. Seconde exploration bioacoustique en fjord arctique: mise en évidence de chorus inédits de quatre superprédateurs & étude de leurs interactions. University of toulon, CIAN; Laboratoire d'informatique et des Systèmes - LIS (UMR 7020). 2024. mnhn-04785408

HAL Id: mnhn-04785408

<https://mnhn.hal.science/mnhn-04785408v1>

Submitted on 15 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Mission pour les Initiatives
Transverses et
Interdisciplinaires

AAP Santé et environnement 2022

Rapport scientifique et financier des projets lauréats en
2022

Ce formulaire doit être libellé « AAPsanteEnvironnement2022.2_Rapportfinal_Nomcandidat »

IDENTIFICATION

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

Projet

Titre long du projet (150 caractères maximum)	Adaptation du vivant / Santé Environnement /
Acronyme du projet	ADAPREDAT / Fjord3D

Identification des équipes ayant travaillé sur le projet en 2022 et perspective 2023 (& 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 et Dr Véronique Sarano (protocole observation & 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	Océano physique	océanonophysique, colonne d'eau, CTD et échosondeur	Norvège	Dr Pierre Priou (protocole CTD et échosondeur) < ppr@akvaplan.niva.no >, et Katie Dunning.
Valhalla	PME norvégienne	Valhallab	Observations Mégafaune	Norvège	Julie Guiderdoni et Rodolphe Tanneau

1 – Rapport scientifique du projet (2 pages maximum figures et tables de résultats compris)

cf résumé dans le rapport ci dessous et annexe pour le budget

3 – Bilan financier des dépenses effectuées en 2023, explicitant la répartition effectuée par poste de dépenses (une page maximum)

<p>Déplacements : missions, réunions de travail, workshops, etc. Détail : <ul style="list-style-type: none"> • • </p>	€
<p>Fonctionnement y compris l'organisation de réunions ou ateliers Détail : <ul style="list-style-type: none"> • • </p>	€
<p>Équipement Détail : <ul style="list-style-type: none"> • • </p>	€
<p>Prestations de service étroitement liées à la mise en œuvre du projet Détail : <ul style="list-style-type: none"> • • </p>	€
TOTAL	€

Suit le RAPPORT LONG et La publication soumise et les programmes des JS 2023 et 2024

Seconde exploration bioacoustique en fjord arctique: mise en évidence de chorus inédits de quatre superprédateurs & étude de leurs interactions

Hervé Glotin *[^], Justine Girardet *[^], Jean-Marc Prévot *[^], François Sarano~[^], Véronique Sarano~[^], Pascale Giraudet *[^], Valentin Gies +[^], Nathalie Prévot d'Alvise #, Maxence Ferrari *[^], Marion Poupard *[^], Kathie Dunning \$, Gaetan Patenotre *[^], Stéphane Chavin *[^], Pierre Priou \$[^], Julie Guiderdoni£[^], Rodolphe Tanneau £[^], Lionel Camus \$, Malik Chami %[^]

(*[^]) LIS DYNI, Chaire IA ADSIL, UMR CNRS Univ Toulon, France

(+[^]) IM2NP, UMR CNRS Univ Toulon, France

(#[^]) MIO, UMR CNRS Univ Toulon, France

(%[^]) UMR CNRS Sorbonne, France

(~[^]) Longitude 181, Valence, France

(\$[^]) Akvaplan-Niva, Tromso, Norvège

(£[^]) Valhallab, Seglvik, Norvège

([^]) CIAN, Centre int. d'Intelligence Artificielle en Acoustique Naturelle



Rapport de la Mission Interdisciplinaire du CNRS - MITI - Centre Int. d'IA en Acoustique Naturelle



Mots-clés

Compétition, changement climatique, super prédateur, arctique, bioacoustique, pression anthropique, pollution omique, baleine à bosse, orque, rorqual, 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 OPALÉ (Droite, crédit Stéphane Barnier).

Research Report LIS CNRS UTLN 202402

Sommaire

1 Introduction	7
2. L'équipe interdisciplinaire de l'expédition	9
3. Caractérisation physico-chimique du milieu	11
3.1 Par mesure CTD	11
Matériels et méthodes	11
3.2 Par images satellites	18
Matériels et méthodes	18
Résultats	18
4. Echosondage de plusieurs points du fjord	20
4.1 Matériel et méthode	20
4.2 Résultats	20
5. Protocole omique sur 4 téléostéens marins norvégiens et analyse de l'eau	21
5.1 Matériel et méthodes	22
5.2 Résultats	25
6. Protocoles acoustiques : matériel et méthode	27
6.1 Enregistreur ultra-vélocité QHB	28
6.2 Transect de l'Isbjorn	29
6.3 Protocoles acoustiques déployés depuis l'Isbjorn	30
6.4 Protocole champ proche (2021 / 2022)	31
6.5 Pose d'une station fixe d'écoute sur 2 ans (Nov. 2022-2024)	33
6.6 Pose d'une bouée stéréophonique sur 2 mois (Nov. 2022)	33
7. Résultats acoustiques	34
7.1 Volume des données acoustiques enregistrées	34
7.2 Détecteurs automatiques IA	35
7.3 Détections acoustiques des signaux d'orques	37
7.4 Détections acoustiques par IA des baleines à bosse	38
7.5 Analyse comparée des répertoires vocaliques des baleines à bosse de l'arctique au tropique	40
7.6 Analyse acoustique interspécifique (orques & baleine à bosse)	42
7.7 Suivi de pistes d'orques en champ proche	44
7.8 suivi de pistes d'orques en champs lointain	45
7.9 Etude des interactions acoustique interspécifiques (baleine à bosse, orques, rorquals) par station fixe	45
Présence des espèces	45
Rythme de présence journalier	46
8. Protocole d'observation et d'identification visuelles	48
8.1 Matériel et méthode	48
8.2 Résultats	49
9. Paysage acoustique, puits de silence versus pollution anthropophonie	53
9.1 Matériel et méthode	53
9.2 Paysage sonore nocturne	54
9.3 Paysage sonore du fjord Kvaenangen	55
9.4 Paysage sonore et présence acoustique des cétacés	58
10. SeGaMas : modélisation acoustique du fjord et modèles d'interaction par jeux sérieux	60
11. Discussion	63
12. Conclusion	65

13 Diffusion, vulgarisation et formation	66
14. ANNEXES	67
14.1 Exemple de fiche terrain	67
14.2 Sensibilité des hydrophones	67
14.3 CV de l'équipe	69
14.4 Bilans financiers	75
Bilan financier 2022	75
Bilan financier 2023	76
15. Bibliographie	78

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.

Ces études montrent aussi que depuis 10 ans, la présence des baleines à bosse (*Megaptera novaeangliae*) et des rorquals communs (*Balaenoptera physalus*) a été marqué par un déplacement vers le nord de leurs zones d'alimentation (Loviknes et al. 2021). Ce changement est conditionné par la disponibilité des proies, notamment le hareng (*Clupea harengus*) (Jourdain et al. 2017). A Tromsø, au nord de la Norvège, les baleines à bosse ont développé une nouvelle stratégie alimentaire, en compétition avec les orques (*Orcinus Orca*), prédatrices usuelles des populations de harengs. Très récemment, les cachalots (*Physeter macrocephalus*) ont également été observés et enregistrés. La présence de cette espèce rencontrée habituellement sur des profondeurs d'au moins 1000m est relativement surprenante à l'intérieur d'un fjord. Ce projet est le premier à étudier la présence et la compétition de ces espèces 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. 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 et 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, les baleines à bosse et les rorquals pour les harengs a, en partie, 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, d'autre part la baleine à bosse, le rorqual commun, l'orque et le cachalot qui se nourrissent sur la même ressource. De plus, la pression anthropique, à la fois chimique et acoustique, augmente continuellement pouvant impacter 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 les interactions de 4 espèces de cétacés 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 4 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 pêcheries 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 une mission en 2022 et 2023, et la pose 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 le bilan des missions ainsi qu'une analyse des données des missions de 2021 et 2022 et de la station fixe sur l'hiver 2022-2023. Durant trois semaines au total, nous avons parcouru les fjords, 100 km au nord du cercle polaire, sur le navire Isbjorn II durant 21 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 la mégafaune : baleine à bosse, orques et rorquals, ainsi que leurs interactions. Nous avons continué cette étude en champ proche avec nos antennes Opales pour identifications des vocalises pendant les 2 semaines en novembre 2022 (cf exemples sur <http://sabiod.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 et Dr Véronique Sarano (protocole observation & 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	Océano physique	océanonophysique, 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 ADAPREDAT 2023 (Université de Toulon, Akvaplan-niva, L181) de l'expédition (crédit photo Gies)



Figure 2.2 : Equipe scientifique de l'expédition ADAPREDAT 2022 (crédit photo Gies).



Figure 2.3 : Equipe scientifique de l'expédition ADAPREDAT 2022 (crédit photo Gies).

3. Caractérisation physico-chimique du milieu

3.1 Par mesure CTD

Matériels et méthodes

Des mesures in-situ de température, salinité et densité de la colonne d'eau ont été réalisées pour caractériser les masses d'eau dans lesquelles les orques et la mégafaune de mysticètes chassent les harengs. Une sonde CTD (Conductivity-Temperature-Depth) a été utilisée dans cet objectif pour déterminer les variations de ces paramètres en fonction de la profondeur (Fig. 3.1). Le nombre total de stations distinctes couvrant l'ensemble du fjord est de 13 entre le 1^{er} et le 13 novembre 2023 (Fig 3.2). Parmi les 13 stations, 10 stations visaient à réaliser un maillage de l'ensemble du fjord (station 1bis à 10) et 3 stations d'opportunités ont été échantillonnées juste après une chasse d'orques (stations FEED 1 et FEED 3 sur hareng, FEED 2 chasse opportuniste sur bateau de pêche). De plus, il a été possible de revisiter 2 stations (station 7bis et 10 bis) à plusieurs jours d'intervalle avant et après un coup de vent du sud fort qui s'est produit les 4-5 novembre 2023 afin d'estimer l'effet potentiel de ce coup de vent sur le mélange de la colonne d'eau.



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

Les positions des stations d'échantillonnage ont été choisies afin de comprendre les variations potentielles de masses d'eau depuis l'entrée Nord de la zone d'étude (Océan Arctique – Mer de Barents) 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, 3 stations d'échantillonnage ont été positionnées au Nord dans un "chenal" orienté vers le Sud (station 1bis, 2 et 9), 3 stations ont été positionnées à proximité du mouillage de la bouée posée nord de l'île Haudoya, à la jonction entre les parties Ouest et Est du fjord de Skjervøy (stations 3, 4 et 5), deux stations au sud Ouest et Est du Fjord (stations 6 et 7), une station sur le bord Ouest (station 8) et une station sur la sortie des eaux du Fjord au Nord Est (station 10) (Fig. 3.2).

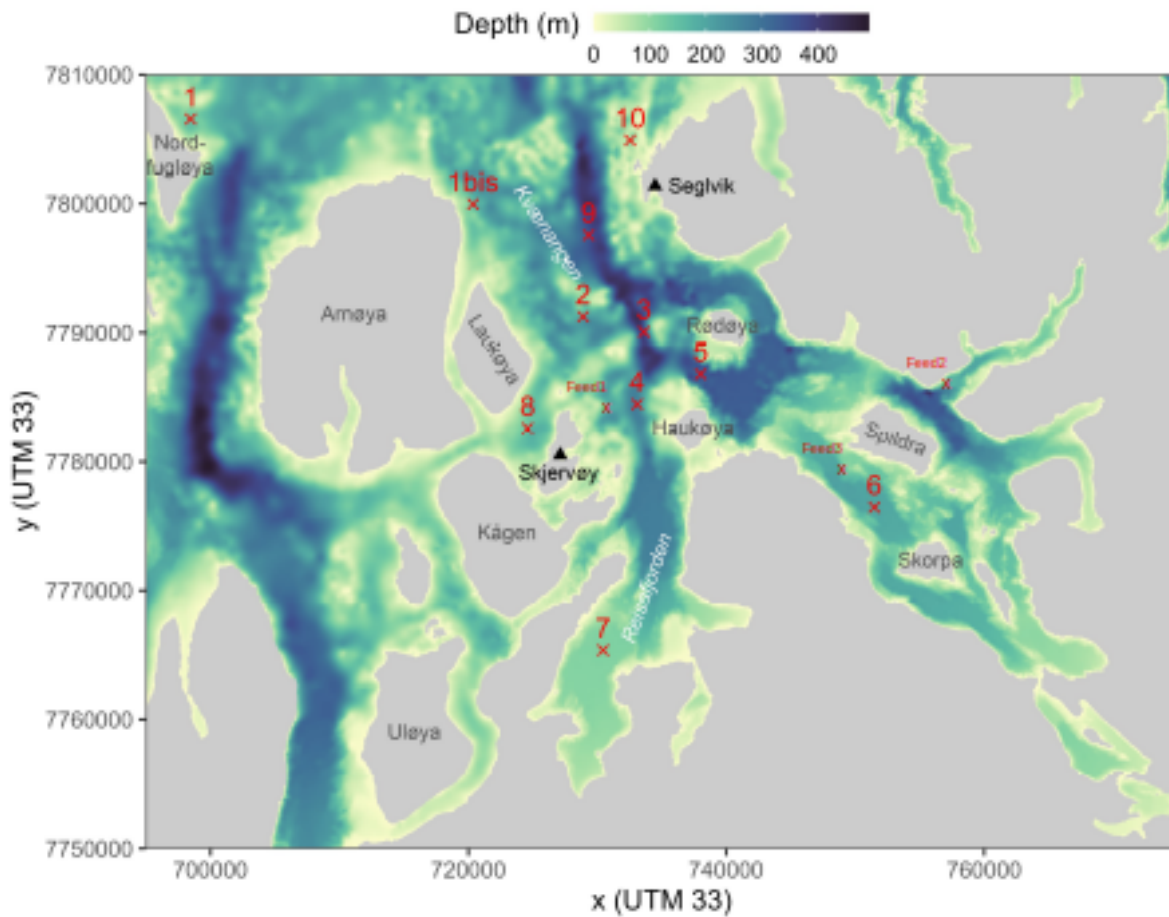


Figure 3.2 : Carte bathymétrique des stations d'échantillonnage des mesures CTD réalisées dans la période du 1^{er} au 13 novembre 2023 (croix rouge).

Les mesures CTD permettront également de compléter les données moyennes de courant de surface modélisées par Akvaplan-niva (Fig. 3.3).

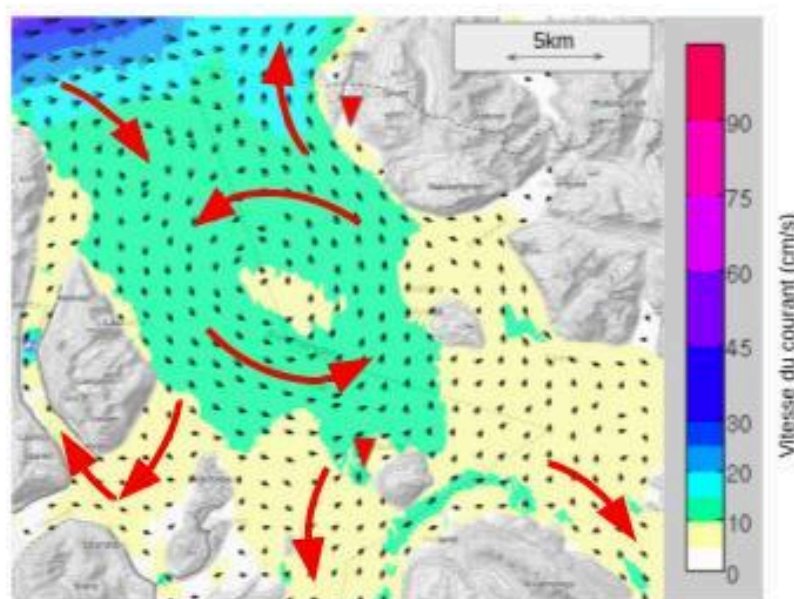
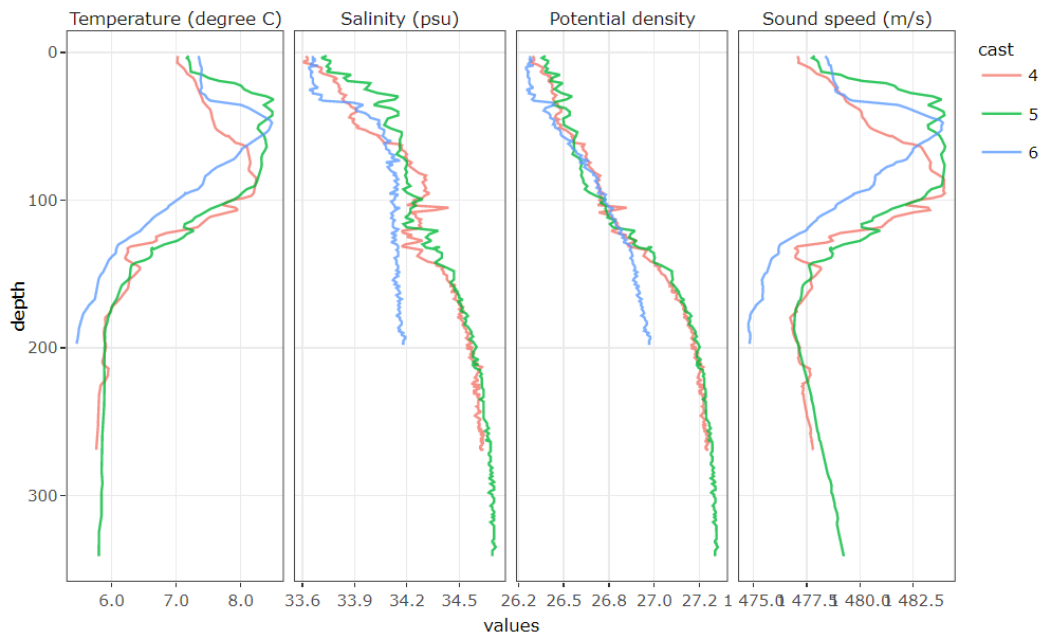
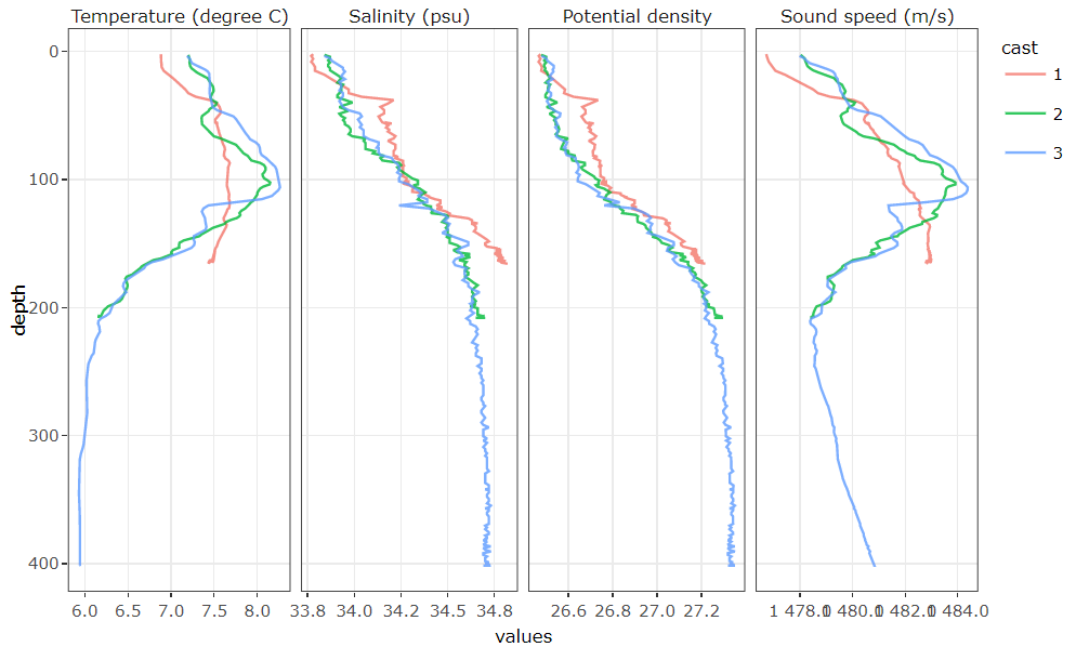


Figure 3.3 : Zoom sur la nature des courants moyens au large de Seglvik (triangle rouge au Nord) et lieu de pose des 2 stations acoustiques long terme par notre mission, pour 3 mois d'enregistrement avec nos systèmes (▲). La distance entre les deux antennes est d'environ 18 km.

Résultats

Les résultats des profils verticaux réalisés ont les ordres de grandeurs suivants pour les paramètres hydro-physiques : une salinité de surface autour de 33.5 PSU, une température de surface qui a varié de 6.5°C à 7.5°C sur l'ensemble de la période de l'expérience et une densité de surface autour de 26.2 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 80 m -110 m, d'une épaisseur de 30 m environ pour une majorité de stations (e.g., stations 2, 3, 8 9) (Fig. 3.4). La masse d'eau plus chaude pourrait correspondre à la masse d'eau de la dérive Nord Atlantique (prolongation Nord-Est du Gulf Stream en Mer de Norvège) et remontant vers les pôles. Son épaisseur et sa profondeur de départ ont varié dans l'espace et dans le temps. Par exemple, la profondeur à partir de laquelle la température augmente a diminué de 80 m à 30 m entre les stations 7 et 9.



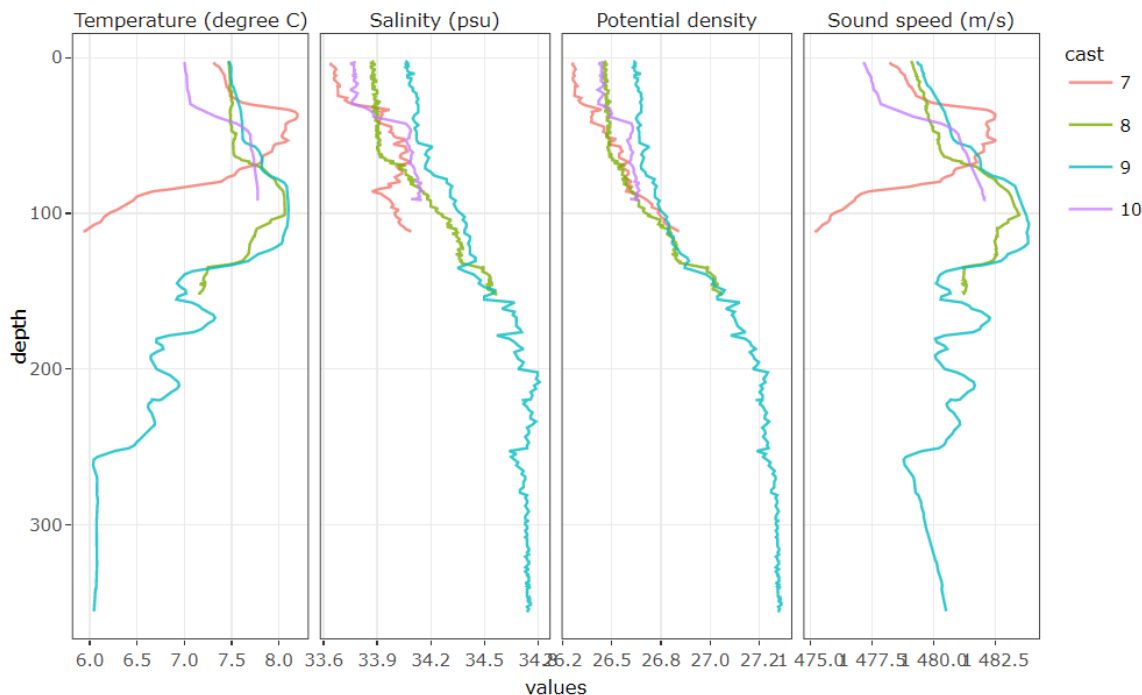


Figure 3.4 : Profils verticaux de mesure de la température, salinité et densité (sonde CTD) réalisés en novembre 2023 pour l'ensemble des stations.

Les profils de température en fonction de la salinité ont mis en évidence deux ou trois masses d'eau en fonction des stations (deux pour la station CTD10, trois pour toutes les autres stations) (Fig. 3.5). Celles-ci correspondent à l'eau de surface, l'eau intermédiaire (+ chaude qu'en surface) et l'eau de fond. Pour les stations présentant ces trois masses d'eau, une absence de mélange entre l'eau intermédiaire et les autres masses d'eau est notable. Cette eau intermédiaire est probablement issue du courant dérive Atlantique Nord et il est intéressant de souligner qu'elle est présente dans tout le fjord. La station 4, qui correspond à la localisation de l'antenne Bombyx présente un gradient de température plus fort que les autres stations entre l'eau intermédiaire et l'eau de fond.

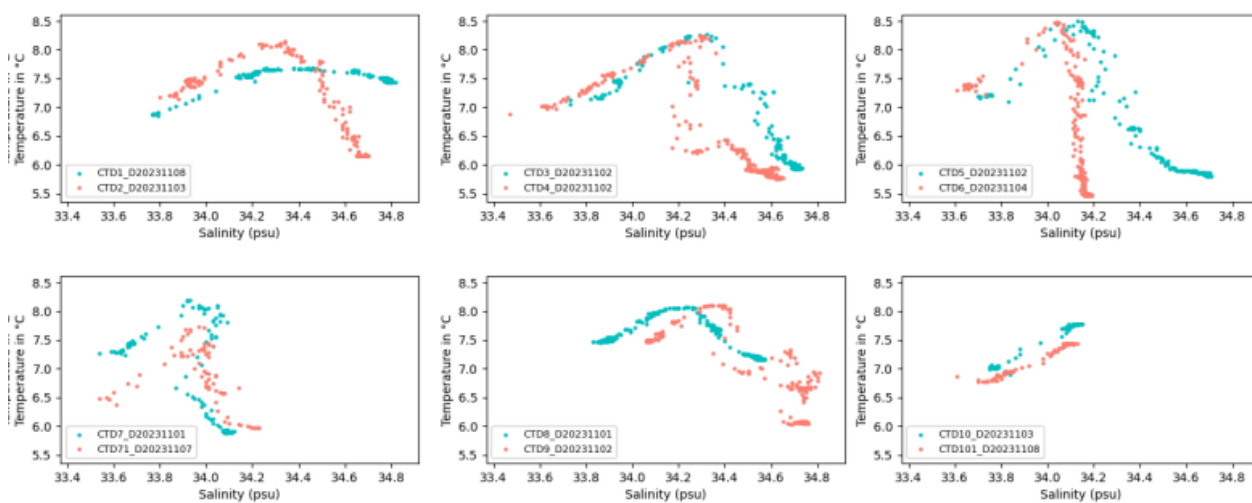


Fig 3.5 : Diagrammes de températures en fonction de la salinité pour toutes les stations prélevées en novembre 2023.

Un coup de vent fort (80 km/h) de vent de Sud a eu lieu les 4 et 5 novembre 2023 et un second coup de vent (50 km/h) de vent de Nord a eu lieu le 10 novembre 2023. Le coup de vent du 4-5 novembre 2023 a impliqué un refroidissement significatif de toute la colonne d'eau avec une décroissance de la température des eaux de surface de l'ordre de 1°C pour la station 7 (Fig. 3.5) et une décroissance de la température de la masse d'eau « chaude » de 0.5°C environ (stations 7 et 7bis, stations 10 et 10bis, Fig. 3.6). Cependant, le coup de vent n'a pas été suffisamment long et constant dans la durée pour induire une homogénéisation de toute la colonne d'eau dans la plupart des stations (comme représenté par la station 7 et 10 Fig. 3.6 où les mesures ont été réalisées avant et après le coup de vent). La masse d'eau « chaude » demeure observable partout.

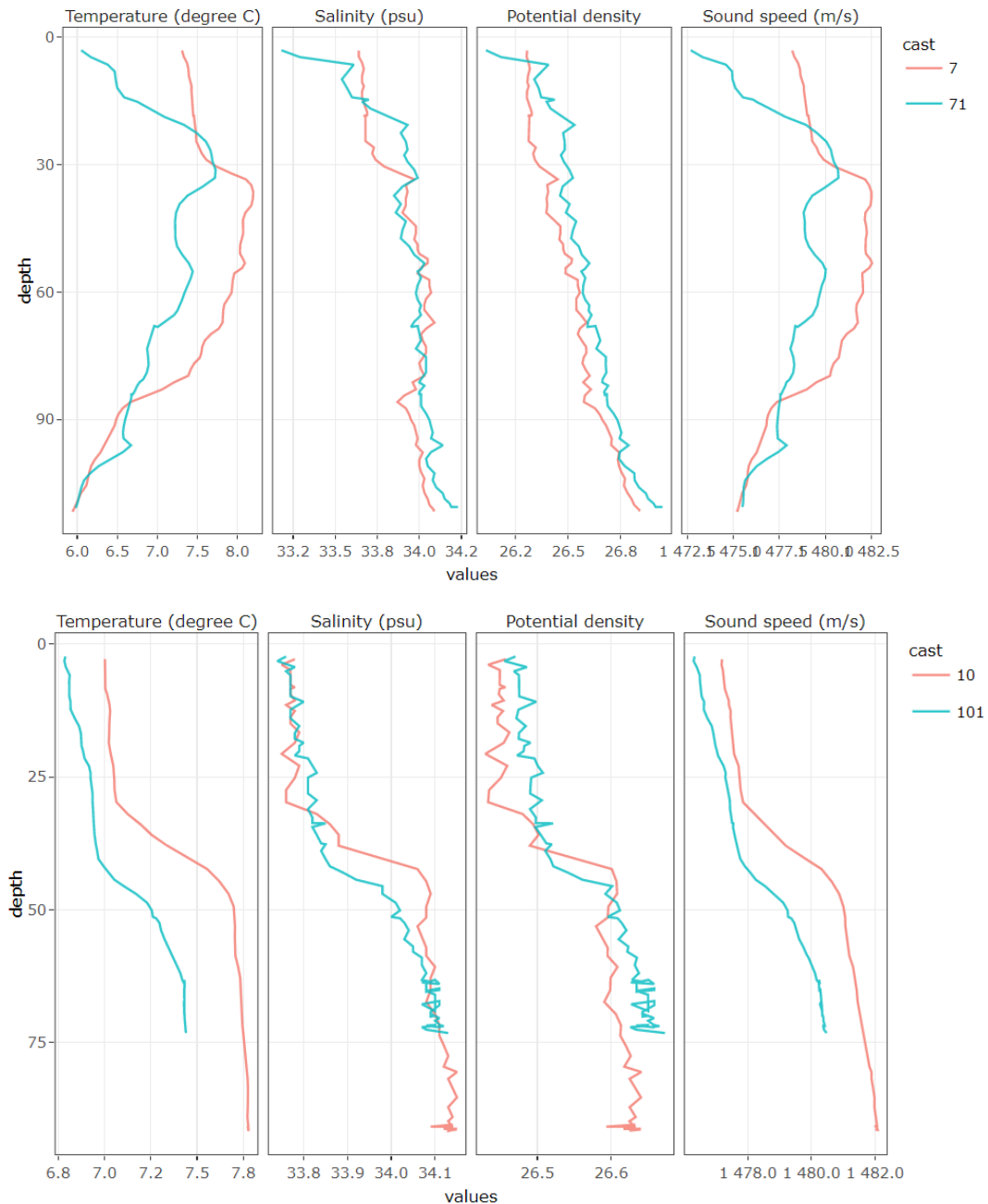


Figure 3.6 : Comparaison des mesures CTD avant et après le coup de vent du 4-5 novembre 2023 : station 7 (avant coup de vent) et 7bis notée « 71 » sur le graphe (après le coup de vent), station 10 (avant) et 10bis (noté 101 sur le graphe) (après le coup de vent).

La configuration des stations où ont eu lieu des chasses d'orques (FEED 1, 2 et 3) est similaire aux autres stations avec trois masses d'eau et une absence de mélange de l'eau intermédiaire (Fig. 3.7).

La comparaison de ces trois stations montre une similarité des profils de températures, de salinité et de densité entre FEED2 et FEED3 ainsi qu'une similarité des diagrammes Température-Salinité. Les deux profils montrent une température de surface froide jusqu'à 6°C, ainsi qu'une masse d'eau chaude et une halocline qui débute vers 35 m. En revanche, la station FEED3 présente un profil différent : la profondeur de la masse d'eau chaude est à 70 m, la température de surface 7°C et la salinité est plus élevée (+0.2). Il est par conséquent difficile de conclure sur une quelconque influence des propriétés physiques de la masse d'eau avec les chasses d'orques à ce stade de l'étude. Il semble toutefois que des températures d'eau < 7°C en surface, de salinité < 34, ainsi qu'une masse d'eau chaude intermédiaire pourraient être favorables à la localisation des harengs et des zones de chasses d'orques qui s'ensuivent. Cette hypothèse pourrait être consolidée à partir d'autres mesures ancillaires telles que des mesures systématiques faites par un echo-sondeur pendant une chasse qui permettrait de fournir la profondeur des boules de harengs. Il serait également nécessaire de disposer de mesures supplémentaires effectuées systématiquement après chaque chasse et en nombre suffisant (> 10).

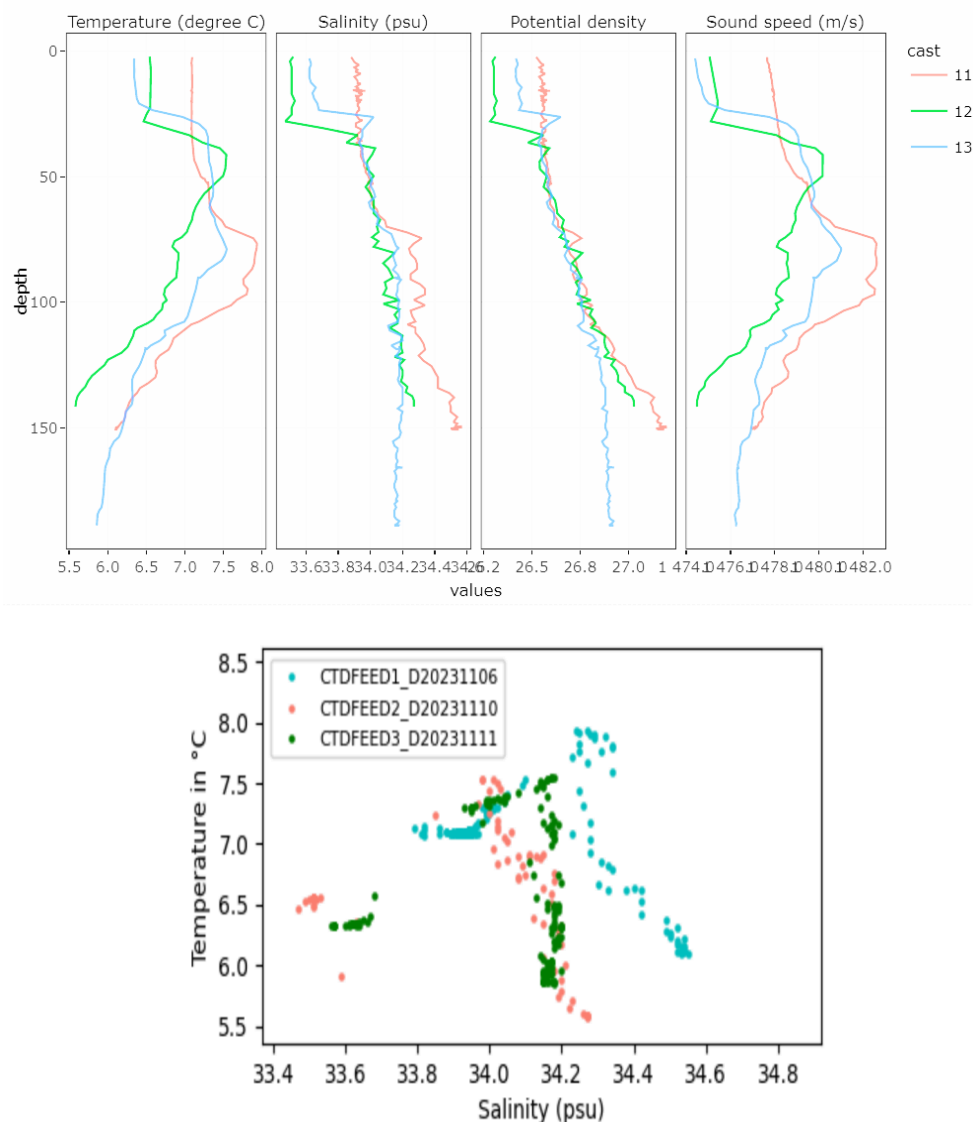


Figure 3.7 : (a) Comparaison des profils des stations “FEED” où ont eu lieu une chasse d’orques/harengs (en haut), (b) diagramme Température-Salinité (en bas). La station FEED1 est notée 11 sur la figure 7a, la station FEED 2 est notée 12 et FEED 3 est notée 13.

3.2 Par images satellites

Matériels et méthodes

Pour compléter les mesures CTD, des données satellites de température de surface et de taux de chlorophylle dans le fjord ont été recherchées afin de suivre l'évolution du milieu. Les données produites par la série de satellites Sentinelle 3 de l'agence spatiale Européenne ont été acquises à partir du site Copernicus. Les images satellites ont été recherchées sur plusieurs dates de la mission Adapredat 2023, celles couvrant au mieux la zone d'étude ont été sélectionnées (à savoir le 02, 08 et 11 novembre). Pour la chlorophylle, les images de niveau 1 et de niveau 2 WRR (water full resolution) ont été recherchées. Pour la température, les images de niveau 2 WST ont été téléchargées pour la zone d'étude. Le produit WST correspond à l'homogénéisation atmosphérique des températures de surface permettant d'obtenir le meilleur produit pour les conditions locales. La résolution est d'une mesure par kilomètre. Chaque image a ensuite été éditée en utilisant les logiciels SNAP et QGIS.

Résultats

Sur la période de la mission, aucun produit de chlorophylle n'était disponible. Pour la température, les images acquises ont montré de grande variation au niveau de la température de surface aux abords et à l'intérieur du fjord de Seglvik en seulement une semaine. Début novembre, des courants relativement chauds (autour de 10°C) étaient présents dans le fjord puis suivis par léger réchauffement avec des masses d'eau de surface atteignant les 13°C. Un refroidissement général de la surface de l'eau a ensuite pu être observé avec des températures aux alentours de 5°C à l'intérieur du fjord.

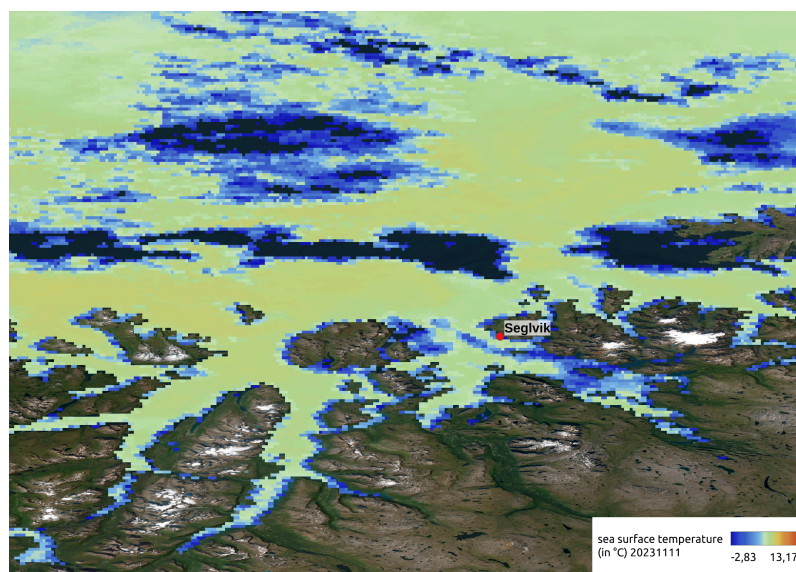
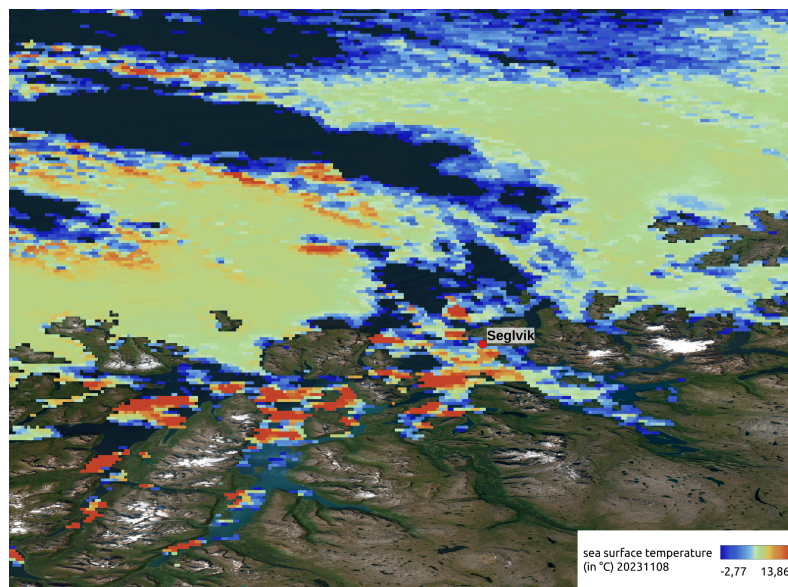
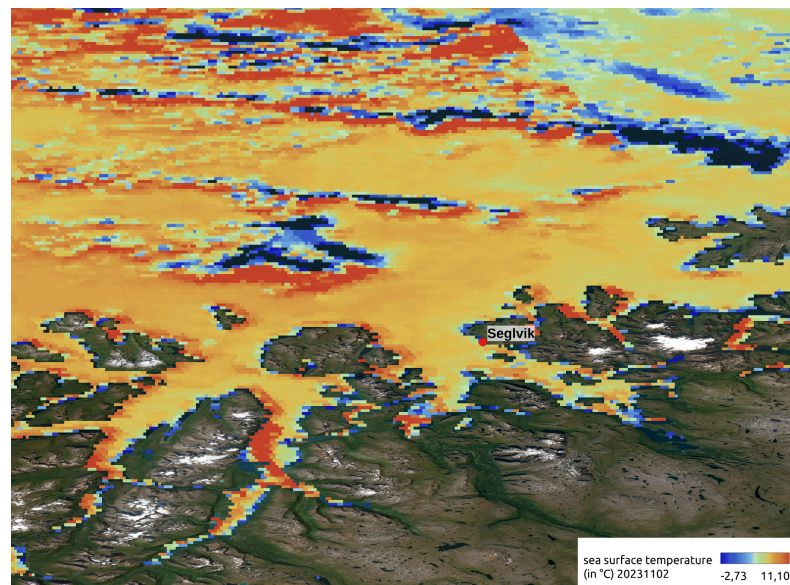


Fig 3.7 : images satellites de la température de surface au nord de la Norvège et notamment dans le fjord de Seglvik (indiqué par le point rouge) sur 3 jours de la mission de novembre 2023 : 2, 8 et 11 nov

4. Echosondage de plusieurs points du fjord

4.1 Matériel et méthode

En 2022, 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 à 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 2022 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 2022 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 bosse 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. 4.2A), ou sous forme de plus petites boules d'environ 80 m de long (Fig. 4.2B). Des analyses complémentaires permettront d'estimer la biomasse de harengs dans les bancs et boules.

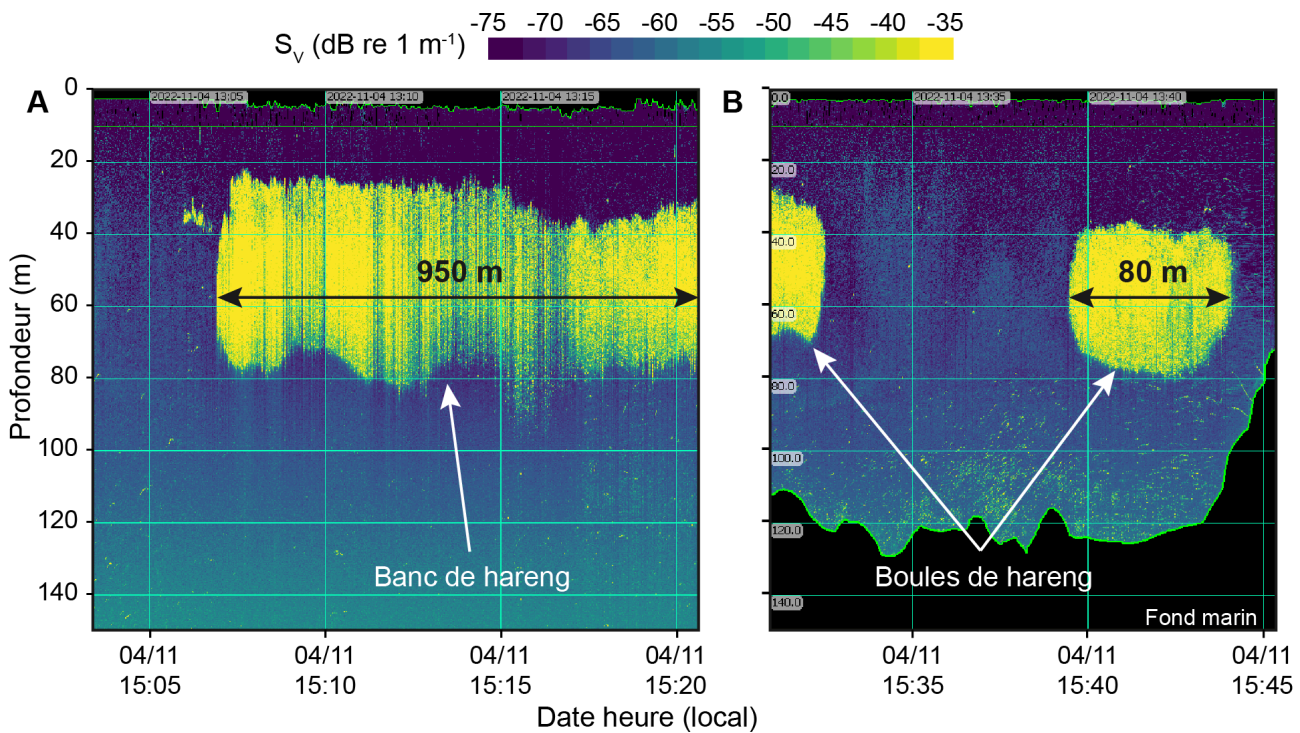


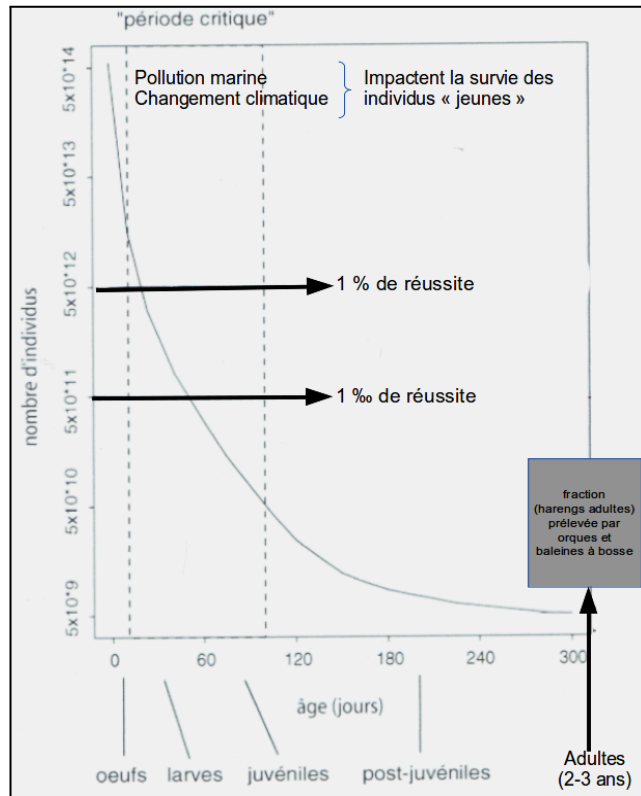
Figure 4.2 : Échogrammes à 200 kHz de la Sailbuoy collecté le 4 Novembre 2022 à l’Est de Skjervøy montrant (A) un banc de hareng de 950 m de long et (B) des boules de harengs de 80 m de long. La couleur représente l’intensité de la réverbération acoustique et est un proxy de la densité des animaux.

5. Protocole omique sur 4 téléostéens marins norvégiens et analyse de l’eau

Le recrutement des populations de harengs (comme de celles de tous les poissons pélagiques, anchois, sardines, maquereaux, capelans), dépend des variations de salinité, de température, de l’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.

D'autres poissons de la **famille des gadidés** sont caractéristiques de l'hémisphère nord dont la mer de Norvège. On retrouve le lieu noir, *Pollachius virens*, l'églefin, *Melanogrammus aeglefinus*, et la morue, *Gadus morhua*. Ces gadidae sont pour la plupart des espèces marines démersales voire bentho-pélagiques. Même si certaines espèces effectuent des migrations saisonnières, elles évoluent sur une même aire géographique et du coup peuvent **rendre compte de l'état de santé du milieu**. Ces 3 espèces ont donc fait l'objet de prélèvements lors de la mission 2023.

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 (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 l'état de santé des harengs et des gadidés norvégiens**.

5.1 Matériel et méthodes

5.1A Matériel biologique

A l'issue de chaque prélèvement, les poissons ont été sacrifiés (par incision cervicale) après avoir été anesthésiés avec de l'huile essentielle de clou de girofle conformément à la procédure « *AVMA Guidelines for euthanasia of Animals ; 2013* ».

Hareng

Quatre individus, *Clupea harengus*, ont été prélevés, pesés, mesurés et photographiés avant de prélever 4 tissus clés : foie, gonades, branchies et muscles (**figure 5.2**). 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]*100" 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. Il permet également d'avoir une estimation de l'âge de l'individu (*Bucholtz et al., 2008*).

Lors de la seconde mission, en novembre 2023, aucun hareng n'a pu être prélevé.

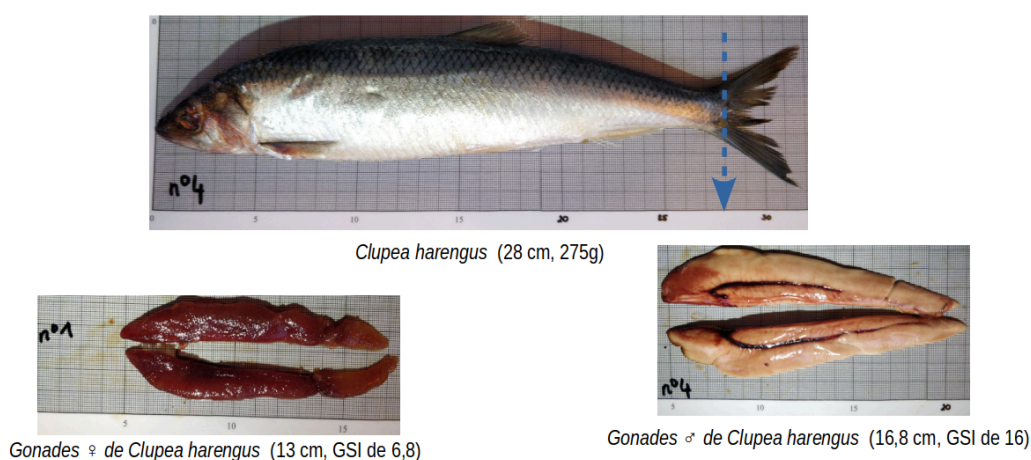


Figure 5.2 : (gauche) Gonades femelles et (droite) mâles chez *Clupea harengus* sur échantillons de notre mission (crédit photo Prévot D'Alvise-2022)

Églefin

Trois individus, *Melanogrammus aeglefinus*, ont été prélevés dans la baie de Selgvik (novembre 2023), pesés, mesurés et photographiés avant de prélever le foie, les gonades, les branchies et du muscle (**figure 5.3A**). Le GSI n'a pas pu être réalisé car l'ensemble des individus étaient immatures. Une étude macroscopique des tissus hépatique, branchial et gonadique a été faite lors de la dissection.

Morue

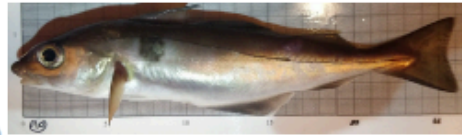
Quatre individus, *Gadus morhua*, ont été prélevés à proximité de Reinforjden (novembre 2023), pesés, mesurés et photographiés avant de prélever le foie, les gonades, les branchies et du muscle (**figure 5.3B**). Le GSI n'a pu être réalisé que sur un seul individu (ID 14), les autres étant immatures. Une étude macroscopique des tissus hépatique, branchial et gonadique a été faite lors de la dissection.

Lieu-noir

Cinq individus, *Pollachius virens*, ont été prélevés dans la baie de Selgvik (novembre 2023), pesés, mesurés et photographiés avant de prélever le foie, les gonades, les branchies et du muscle (**figure 5.3C**). Le GSI n'a pas pu être réalisé car l'ensemble des individus étaient immatures. Une étude macroscopique des tissus hépatique, branchial et gonadique a été faite lors de la dissection.

(A) Églefin (*Melanogrammus aeglefinus*)

- Ligne latérale noire et tâche au-dessus de nageoire pectorale
- Dos sombre
- Cavité corporelle grise/argentée
- Maturité : Côte norvégienne (28-32cm) : ♂ 2 < ♀ 4 ans ($\approx \Delta 1$ an)
- Longévité : 14 ans



(25,5 cm ; 70 g ; indifférencié < 2 ans)

(B) Morue (*Gadus morhua*)

- Ligne latérale claire incurvée – barbillon –
- Robe tachetée : couleur varie en fonction de l'habitat et de l'alimentation.
- Petites taches noires sur le flanc et le dos
- Cavité corporelle grise/argentée
- Maturité : Controversée : ♂ < ♀ ($\approx \Delta 1$ an) : de nos jours moyenne d'âge 1,7-2,3 ans pour 32-41cm
- Longévité : jusqu'à 15 ans



(36,5cm ; 338g ; ♀ gonades en cours de maturation < 3 ans ?)

(C) Lieu noir (*Pollachius virens*)

- Ligne latérale claire & rectiligne
- Dos brun verdâtre – ventre argenté
- 3 nageoires dorsales dont 1^{re} triangulaire – 2 nageoires anales
- Maturité : ♂ < ♀ ($\approx \Delta 1$ an) : 4-7 ans pour L 50-80cm .
- Juvéniles (jusqu'à 2 ans)
- Longévité : jusqu'à 25 ans



(24 cm ; 111 g ; indifférencié < 2 ans)

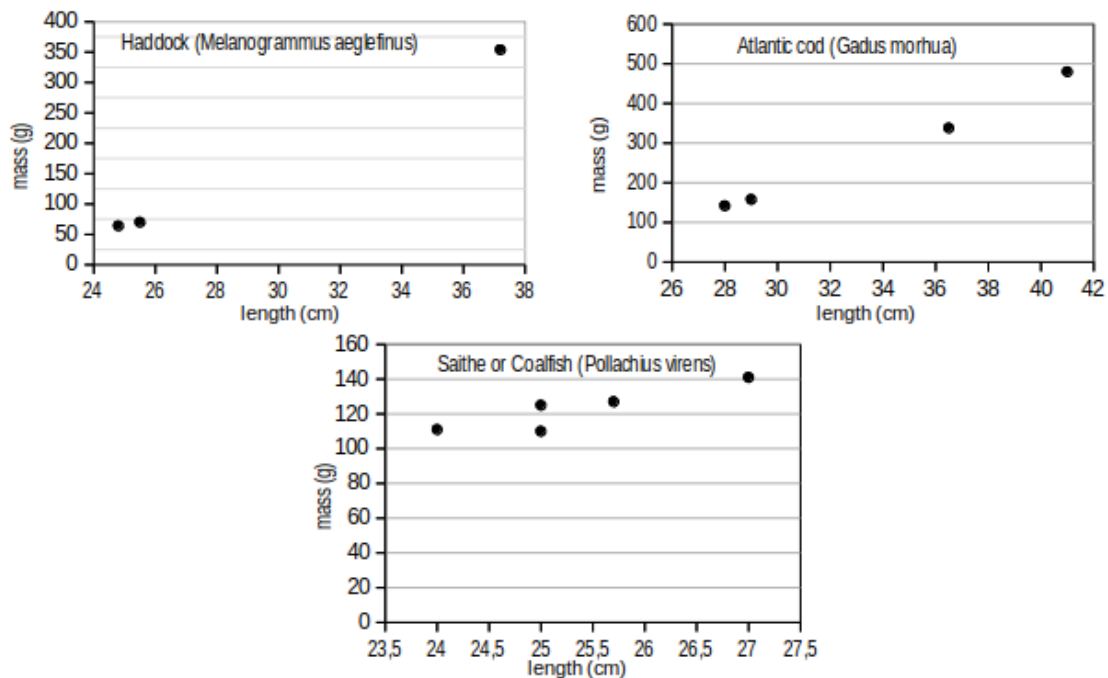


Figure 5.3 : Famille des gadidae. Individus prélevés en mer de Norvège lors de la mission 2023. (A) *Melanogrammus aeglefinus*, (B) *Gadus morhua*, (C) *Pollachius virens* (crédit photo Prévot D'Alvise-2023)

5.1B Dosages chimiques de l'eau de mer et des tissus

Lors de la mission de 2022, 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, Laboceca (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 α -éthinyloestradiol, principe actif de la pilule contraceptive orale féminine.

Lors de la mission 2023, ces mêmes dosages ont été réalisés par notre partenaire norvégien, Akvaplan-niva.

5.2 Résultats

5.2A Teneurs en glyphosate et en EE2

Lors de la mission 2022, 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 (PE) : glyphosate et EE2. 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.

Lors de la mission 2023, 5 sites de prélèvements (stations 3, 4, 5, 7, et 8) ont fait l'objet de ces mêmes analyses et ont confirmé les faibles teneurs de ces 2 PE.

Néanmoins la présence de ces deux molécules, malgré les faibles teneurs, 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 µg/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).

5.2B Études morphologiques

Harengs

Parmi les 4 harengs prélevés 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 (Tableau 5.1).

Tableau 5.1 : Caractéristiques des harengs, *Clupea harengus*, prélevés sur site en novembre 2022. 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 sexuellement matures. 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).

Églefin

Les 3 églefins prélevés sont tous des juvéniles, donc indifférenciés sexuellement. Deux sur 3 ont une masse et une taille moyennes de $67 \pm 4,2$ g et $25,2 \pm 0,5$ cm respectivement. Le 3eme est un juvénile mais avec une masse et une taille plus élevée (354 g et 37,2 cm respectivement). L'ensemble des individus ne présentent aucune malformation externe et l'ensemble des tissus est sain.

Morue

Sur les 4 morues prélevées, une seule a pu être sexée. Cette femelle présente des gonades en cours de maturation avec un GSI de 3,6 (**figure 5.4**). Les autres individus sont des juvéniles, donc indifférenciés sexuellement. Ils ont une masse et une taille moyennes de $279,5 \pm 160,5$ g et $33,6 \pm 6,2$ cm respectivement. Deux individus présentent des lésions hépatiques sans doute dues à une pathologie non identifiée (**figure 5.4**). Sinon, pour l'ensemble des individus, aucune malformation externe est à noter.

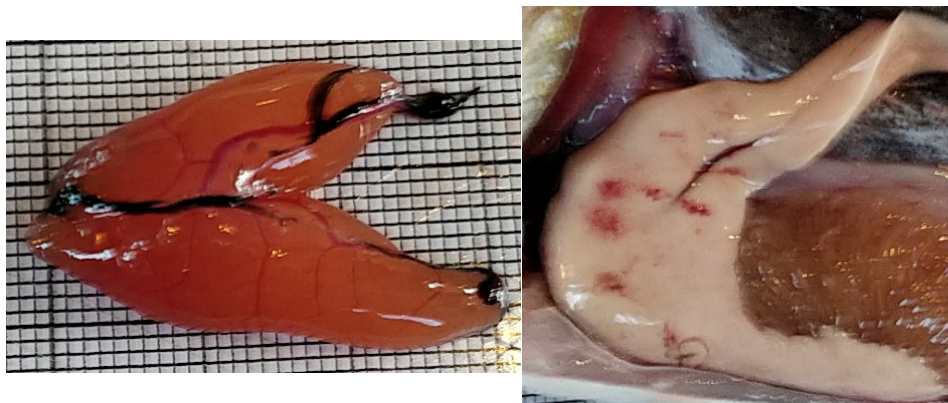


Figure 5.4 : (à gauche) Gonades femelles de *Gadus morhua* (ID 14) de la mission 2023 avec un GSI estimé à 3,6. (à droite) lésions du tissu hépatique [tâches rouges](crédit photo Prévot D'Alvise -2023)

Lieu Noir

Sur les 5 lieux noirs prélevés, un seul présentait des gonades en cours de formation, mais non « sexable ». Tous sont des juvéniles. Ils ont une masse et une taille moyennes de $122,8 \pm 12,8$ g et $25,3 \pm 1,1$ cm respectivement. Deux individus présentent de multiples lésions hépatiques dont un présente aussi des nécroses externes sur les ouies (**figure 5.5**). Sinon, pour l'ensemble des individus, aucune malformation externe est à noter.

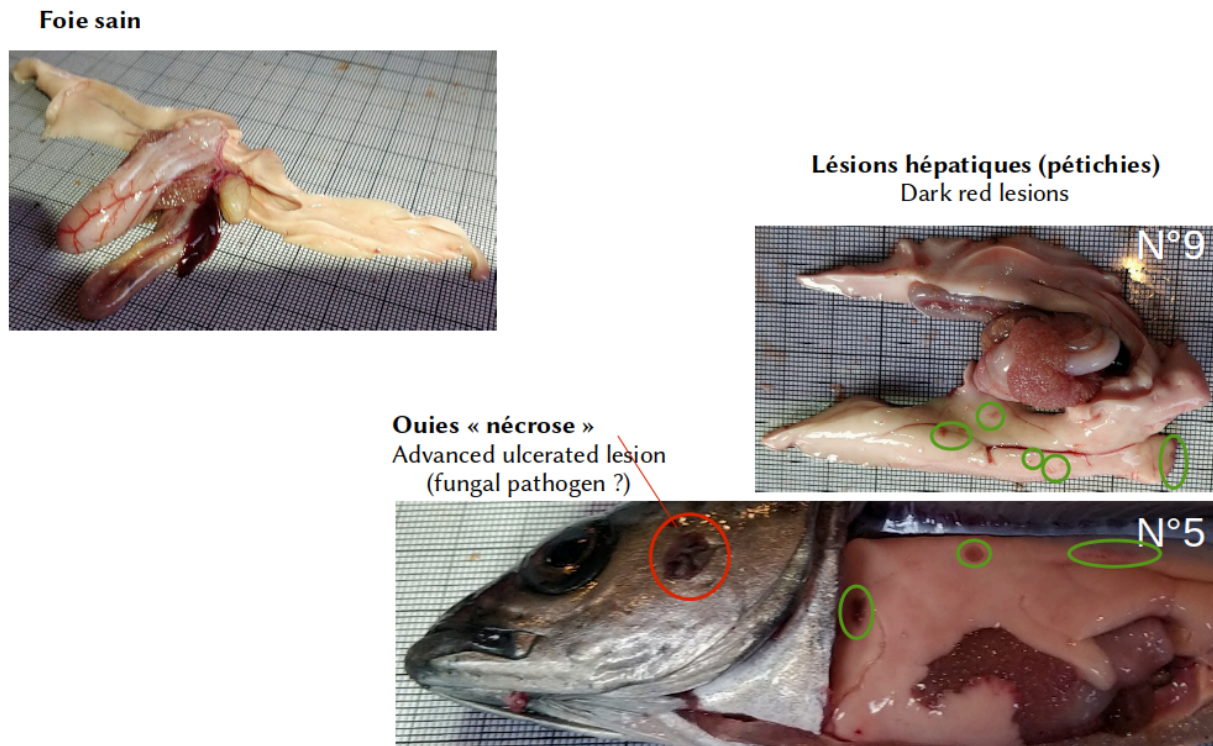


Figure 5.5 : Lésions hépatiques et nécroses chez le lieu noir - mission 2023 - (crédit photo Prévot D'Alvise -2023)

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 quatre espèces (orque, baleine à bosse, rorqual et cachalot) en présence versus absence des autres. Nous avons, en effet, une expertise sur ces espèces (Malige et al 2020, Bouchard et al 2019, Poupard et al 2021, Best et al 2020, Glotin et al 2021, Chavin 2021). Les objectifs bioacoustiques d'ADAPRADAT sont multiples. Tout d'abord, il s'agira de déployer des stations acoustiques sur moyen et long terme pour la surveillance et l'identification des mammifères marins afin de localiser et suivre leurs déplacements et leurs chasses sur le site. Les chants et vocalises enregistrés seront ensuite analysés au niveau intraspécifique avec l'étude de l'évolution des chants des baleines à bosse et des dialectes orques puis au niveau interspécifique avec l'étude des interactions acoustiques entre ces espèces. Enfin, le dernier objectif portera sur les interactions entre les espèces et leur environnement, notamment tout ce qui relève des activités anthropiques. Le paysage acoustique dans lequel les chasses ont lieu sera alors étudié et l'impact de l'anthropophonie sur la présence des cétacés sera évalué. A échelle plus globale du fjord, les 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 seront étudiées.

Ces analyses sont conduites dans le cadre de la Chaire bioacoustique et IA, et Chaire IA ADSIL en 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-vélocé 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.

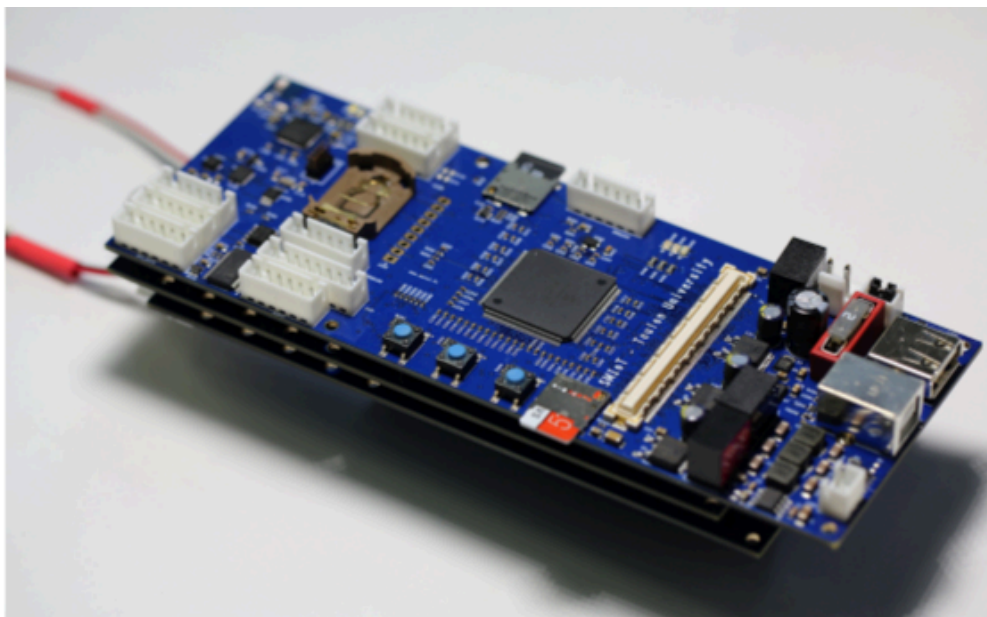


Figure 6.1 : Enregistreur Qualilife HighBlue (QHB) SMIoT UTLN (crédit photo Gies)

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.

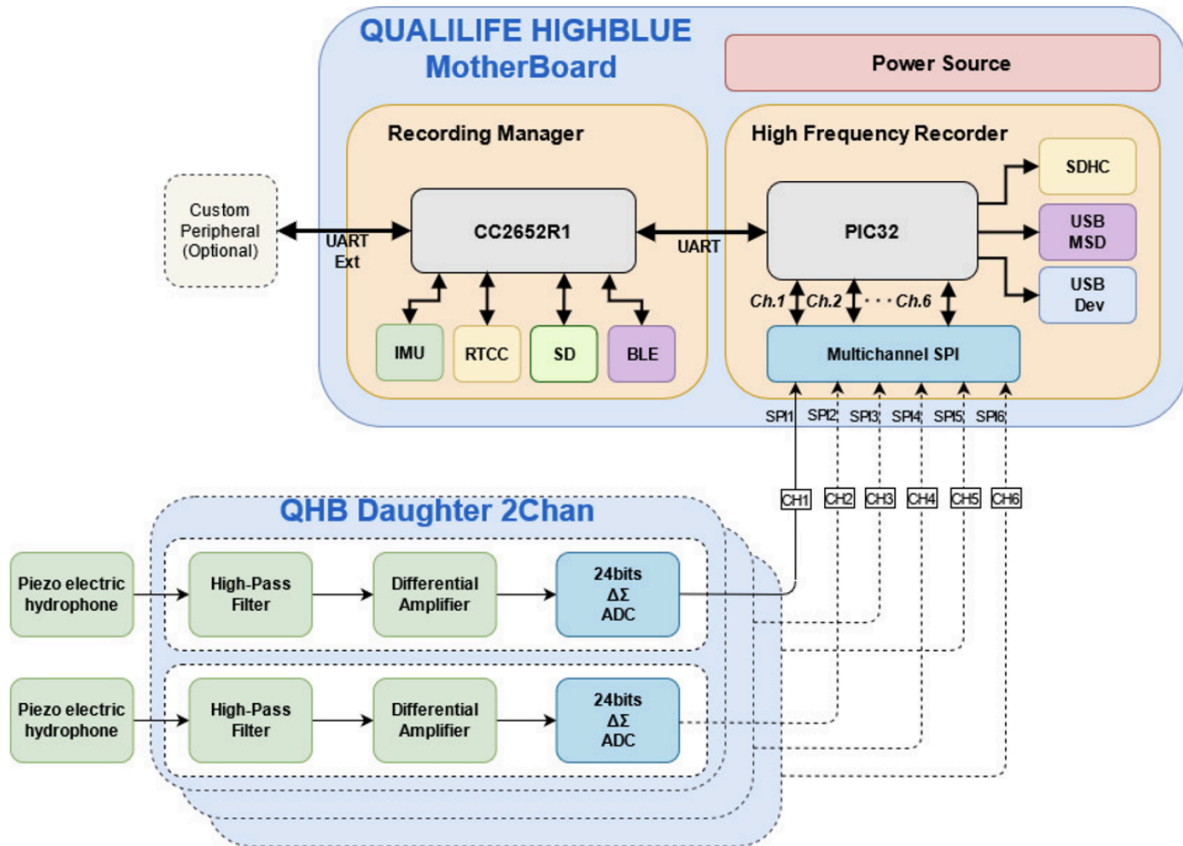


Figure 6.2 : Diagramme de QHB

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 ± 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

Deux missions ont été réalisées, totalisant 21 jours d'expérimentation à bord de l'Isbjorn (7 en 2022 et 14 en 2023). Ce sont **616 km** et **855 km** qui ont été parcourus à la recherche de chasse des orques et baleines à bosse sur les harengs. Notre stratégie était opportuniste, à l'aide des Whale watchers sur la zone, nous avons des informations concernant la position des animaux. 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.

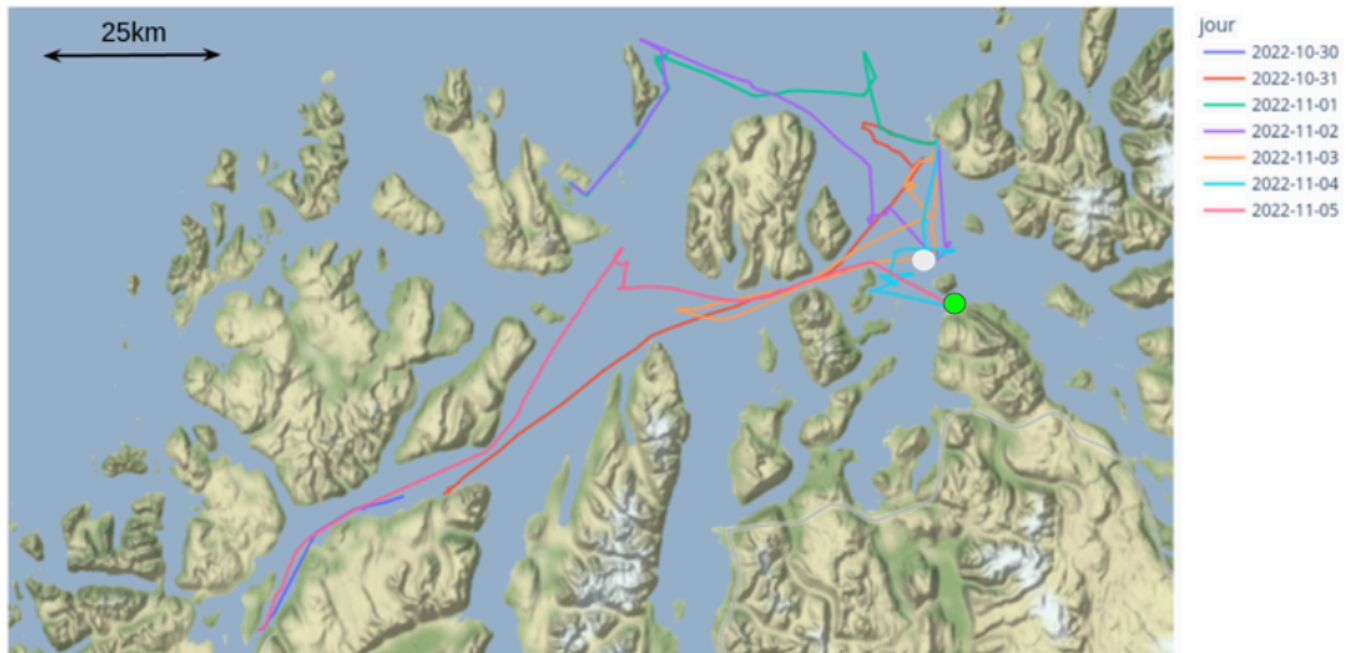


Figure 6.3 : Vue générale du transect réalisé par notre expédition en novembre 2022, sur une semaine. Le cercle blanc correspond au prélèvement d'eau et de la mesure dB du 3 novembre au soir. La mesure dB du 4 et 5 au soir a été faite au point vert.

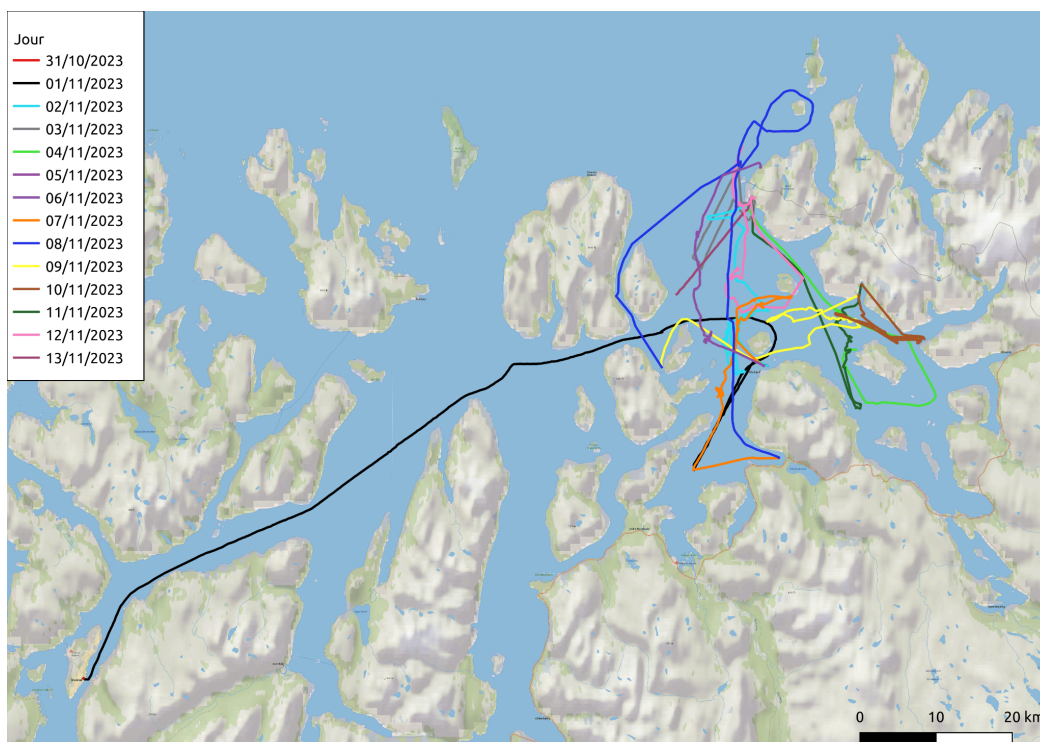


Figure 6.4 : Vue générale du transect réalisé pendant l'expédition en novembre 2023, sur 14 jours, total de 855 km.

6.3 Protocoles acoustiques déployés depuis l'Isbjorn

Nous disposons de 3 antennes acoustiques déployées depuis le navire d'expédition. La première est une antenne tétraédrique utilisant les enregistreurs QHB et composée 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), avec un tube contenant des batteries, et une carte High Blue (Fe: 256 kHz). Les deux suivantes sont des antennes monophones respectivement composé d'un C75, 20m de câble, et

branché sur une carte High Blue (Fe: 512 kHz) et d'un SQ26, 10m de câble, branché sur un enregistreur (Tascam) (Fe: 96 kHz).



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)

L'objectif de ce protocole était de filmer et d'enregistrer les animaux pendant les périodes de chasse. Deux campagnes d'acquisitions de deux semaines chacune ont été réalisées, l'une en novembre 2021 et l'autre en novembre 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). En 2022, des mises à l'eau ont été effectuées durant 9 jours pour la première antenne (Fig. 6.6), et 7 jours pour la seconde antenne.

Pendant ces scènes, une cacophonie d'émissions acoustiques est présente: les sifflements, les clics, les bruits de bateaux et il est impossible d'identifier la source du son émis. 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. Pouvons nous chercher des signatures individuelles chez les orques ou les baleines à bosse, comme celles connues chez les *Tursiops t.* (Janik et al 2006) ?



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

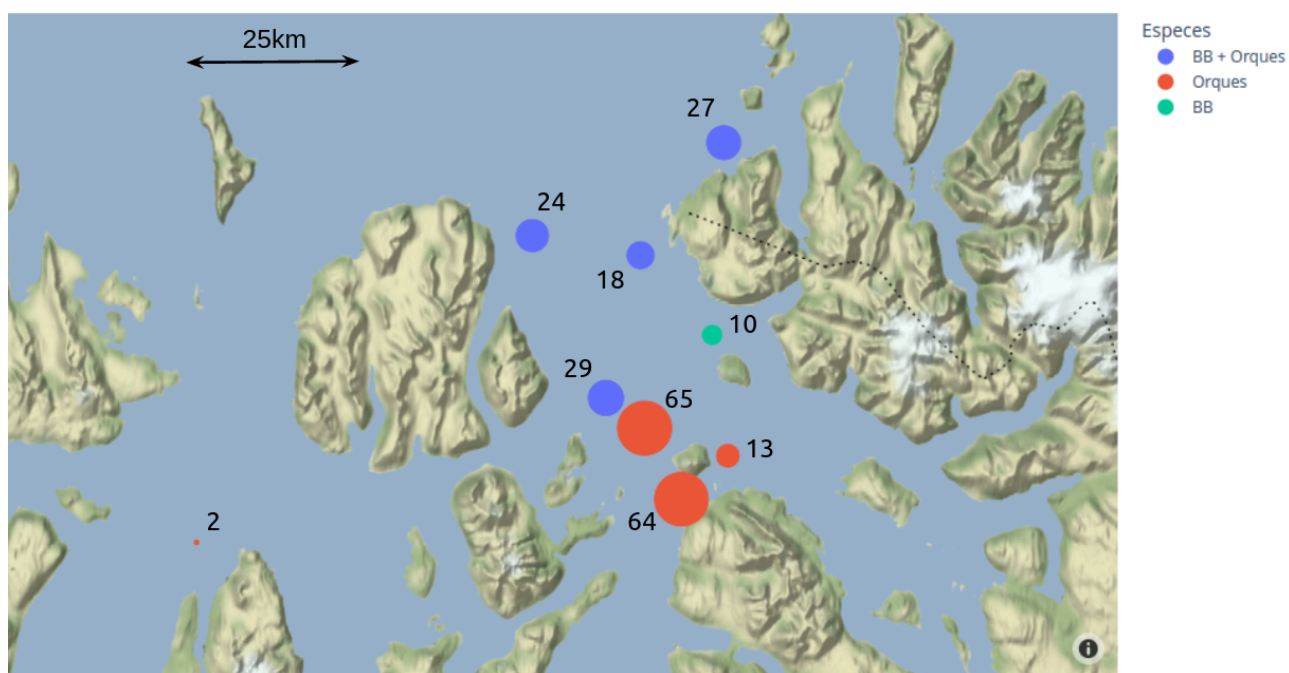


Figure 6.6 : Position des mises à l'eau pour l'antenne 1 en 2022. La largeur des points et le chiffre associé représentent la durée de la session en minutes. Les couleurs représentent les espèces présentes.

Des exemples de ces prises de vidéo avec nos antennes ou par des simples Go-pro qui sont efficaces 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 (SQ26) 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 192kHz x 2 x 16 bits. Elle est alimentée par secteur depuis la station *Valhallab*, permettant un enregistrement en continu sauvegardé via des disques durs branchés sur un PC. En 2022, l'acquisition a commencé le 02 novembre et s'est achevée en février 2023. 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, qui a été récupéré par nos partenaires Akvaplan-niva en janvier / février 2023. Elles caractérisent les entrées et sorties des animaux dans le Fjord.

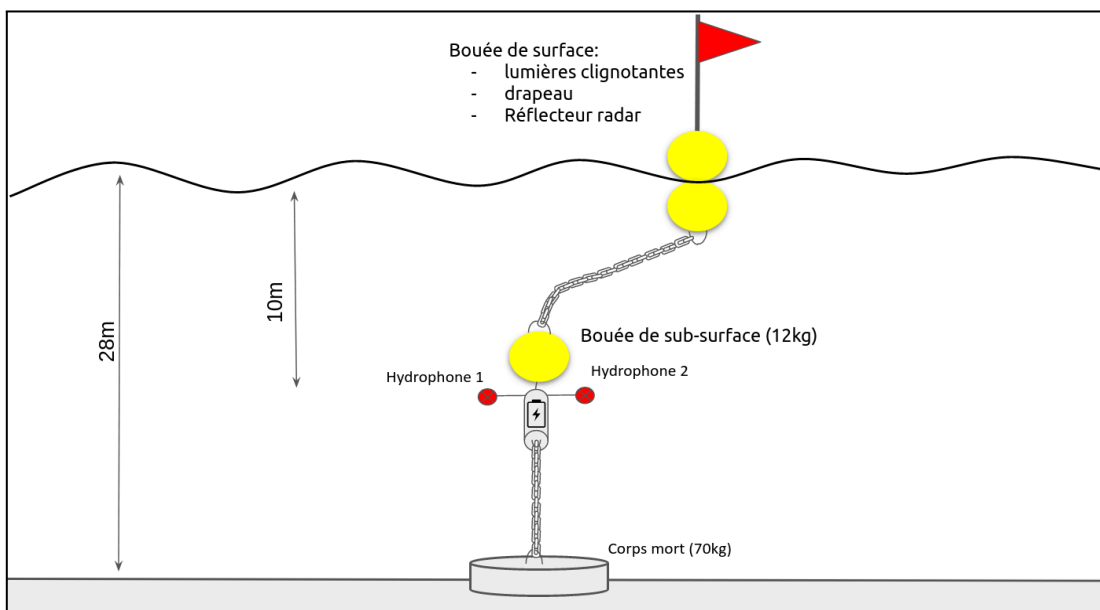


Figure 6.8 : Schéma représentant la bouée stéréophonique posée au Nord de Haukøya. Le mouillage a été conçu par Dyni et Akvaplan-niva, la bouée instrumentée par Dyni.

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, 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 OPALE

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)
type de données		256 kHz Fe 16 bits 4 voies	96 kHz Fe 16 bits 1 voie	512 kHz Fe 16 bits, 1 voie
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
TOTAL	616 km	31,98 Go	6,8 Go	72,34 Go

Le tableau 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

	station Seglvik toujours en cours d'enregistrement	bouée Bombyx Haudoya	antenne OPALE 1	antenne OPALE 2
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,	4 ou 5 voies, 256 kHz Fe 16 bit,

			ponctuel champ proche	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	1.5 To 70j	0.5 To 20j	0.2 To 5h	0.2 To 5h

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 le paysage acoustique au réchauffement du printemps, et encore 2 To fin d'été 2023, puis tous les 3 mois suivant. Ce modèle de station sera dupliqué sur un 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.

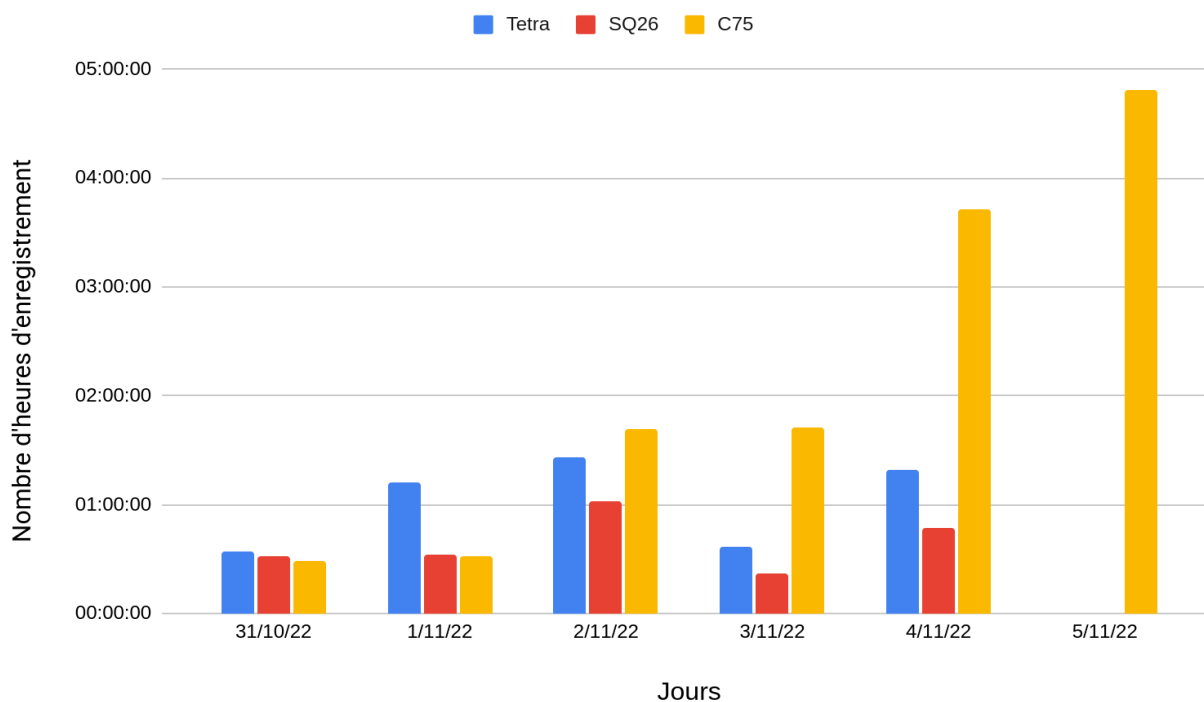


Figure 7.1: Graphique représentant l'effort d'acquisition acoustique (nombre d'heures) pour les 3 antennes déployées depuis le IsbjornII, par jour suivant les trois types de mesures : antenne de 4 hydrophones SQ26 (Tetra), ou hydrophone seul SQ26 à 60 kHz de bande passante ou large bande C75 seul.

7.2 Détecteurs automatiques IA

Afin d'analyser la présence acoustique des orques et baleines à bosse au sein des enregistrements acquis pendant les missions, un réseau convolutionnel développé par l'équipe DYNI (P. Best, 2022) a été utilisé. Ce modèle permet de détecter automatiquement les vocalises des deux espèces et calcule une probabilité de présence à chaque milliseconde du signal. Grâce à ce modèle, nous avons pu détecter les vocalises (avec un haut signal rapport sur bruit) des baleines à bosses et orques. La figure 7.2, représente l'évolution des prédictions du modèle sur 20 secondes de signal, contenant des vocalises d'orques. Chaque point rouge représente une détection.

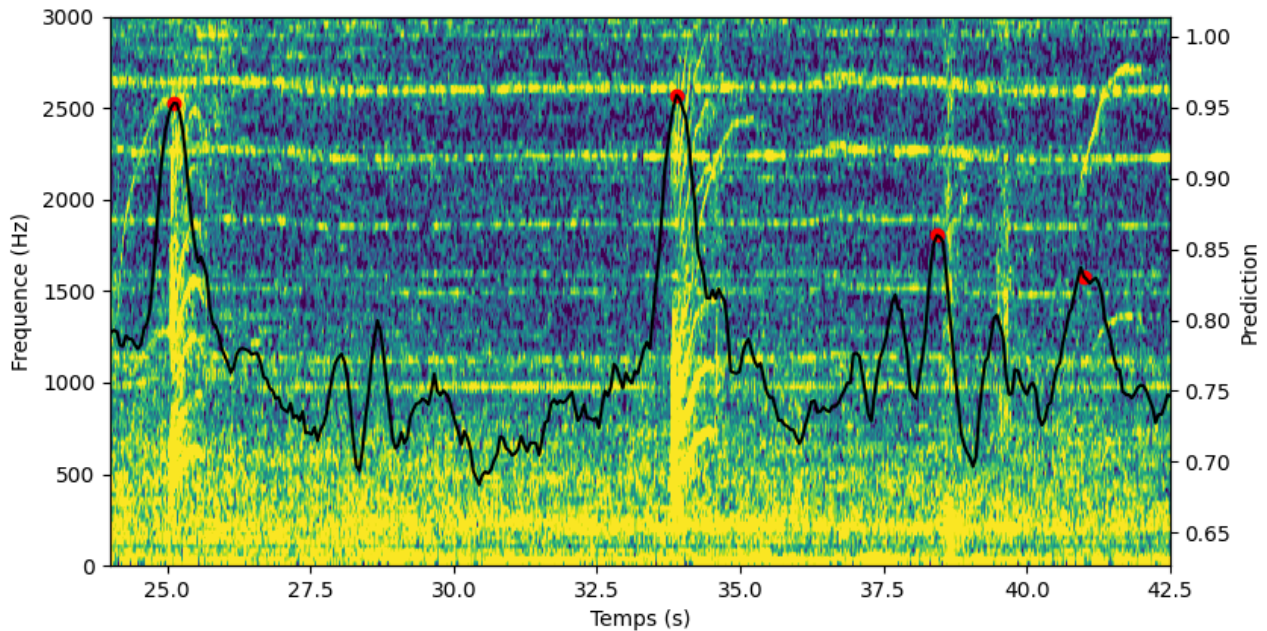


Figure 7.2: Exemple des prédictions du modèle IA DYNI sur 20 secondes de signal. Chaque point rouge représente une vocalise détectée.

Pour détecter automatiquement les vocalises d'orques et baleines à bosse et les pulses de rorquals dans les enregistrements de la station fixe, le programme de détection d'objets prêt à l'emploi appelé "You Only Look Once" (YOLO-v5), développé pour la détection d'objets dans les images et les vidéos (Redmon, J., et al., 2016) sur la base d'un réseau de neurones convolutifs (CNN) a été utilisé. Les enregistrements acoustiques sont représentés sous forme d'images de spectrogrammes et ces images sont fournies en entrée au modèle. En traitant des enregistrements audio et en fournissant au modèle des spectrogrammes s'étendant sur quelques secondes, ainsi que des annotations de vocalises ou de pulses, le réseau est capable d'apprendre à reconnaître puis à détecter ces objets dans de nouveaux enregistrements. Pour la détection des vocalises des baleines à bosse, des orques et des pulses des rorquals communs, deux modèles YOLOv5 ont été entraînés : YOLO1 et YOLO2. Le modèle YOLO1 a été entraîné à détecter les vocalises de baleines à bosse entre 0,1 et 6 kHz et les vocalises d'orques en dessous de 12 kHz. Le YOLO2 a été entraîné à détecter les pulses basse fréquence des rorquals communs (autour de 15Hz et 130Hz) (Fig. 7.3).

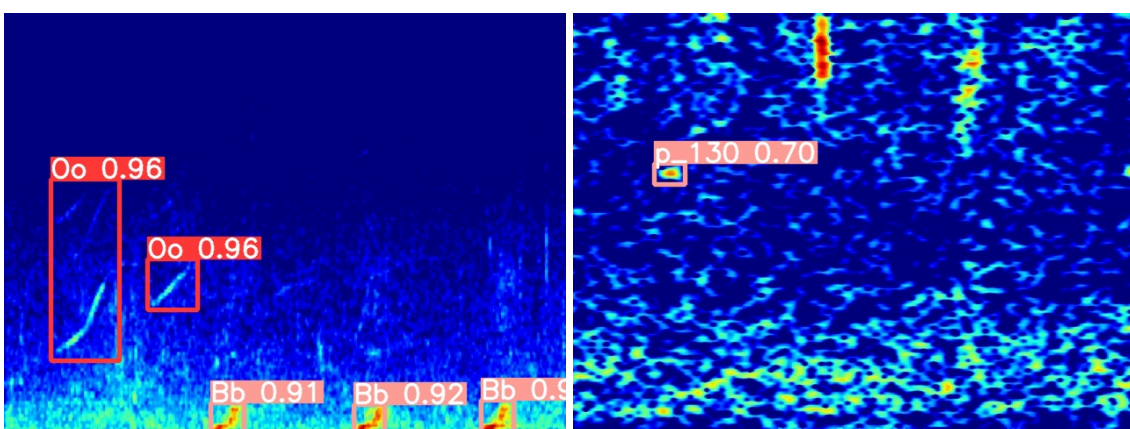


Figure 7.3 : (Gauche) Exemple de détections de YOLO1 (Oo=orque ; Bb=baleine à bosse), (à droite) YOLO2 (p_130=pulse de rorqual commun à 130Hz).

7.3 Détections acoustiques des signaux d'orques

Au total, **764** vocalises d'orques ont été détectées par le modèle, réparties sur les 6 jours d'expérimentation en novembre 2022 (Fig. 7.4). C'est pendant la journée du 04 Novembre que le plus grand nombre de vocalises a été détecté (271).

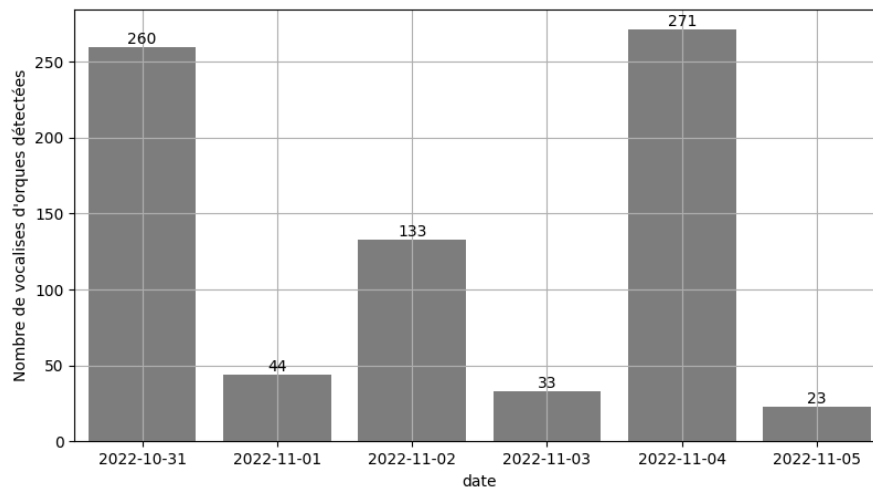


Figure 7.4: Nombre de vocalises d'orques détectées par jour par le CNN

L'analyse de ces enregistrements a permis d'identifier des probables codas, jamais observés ni publiés auparavant d'après nos connaissances. Ces codas 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).

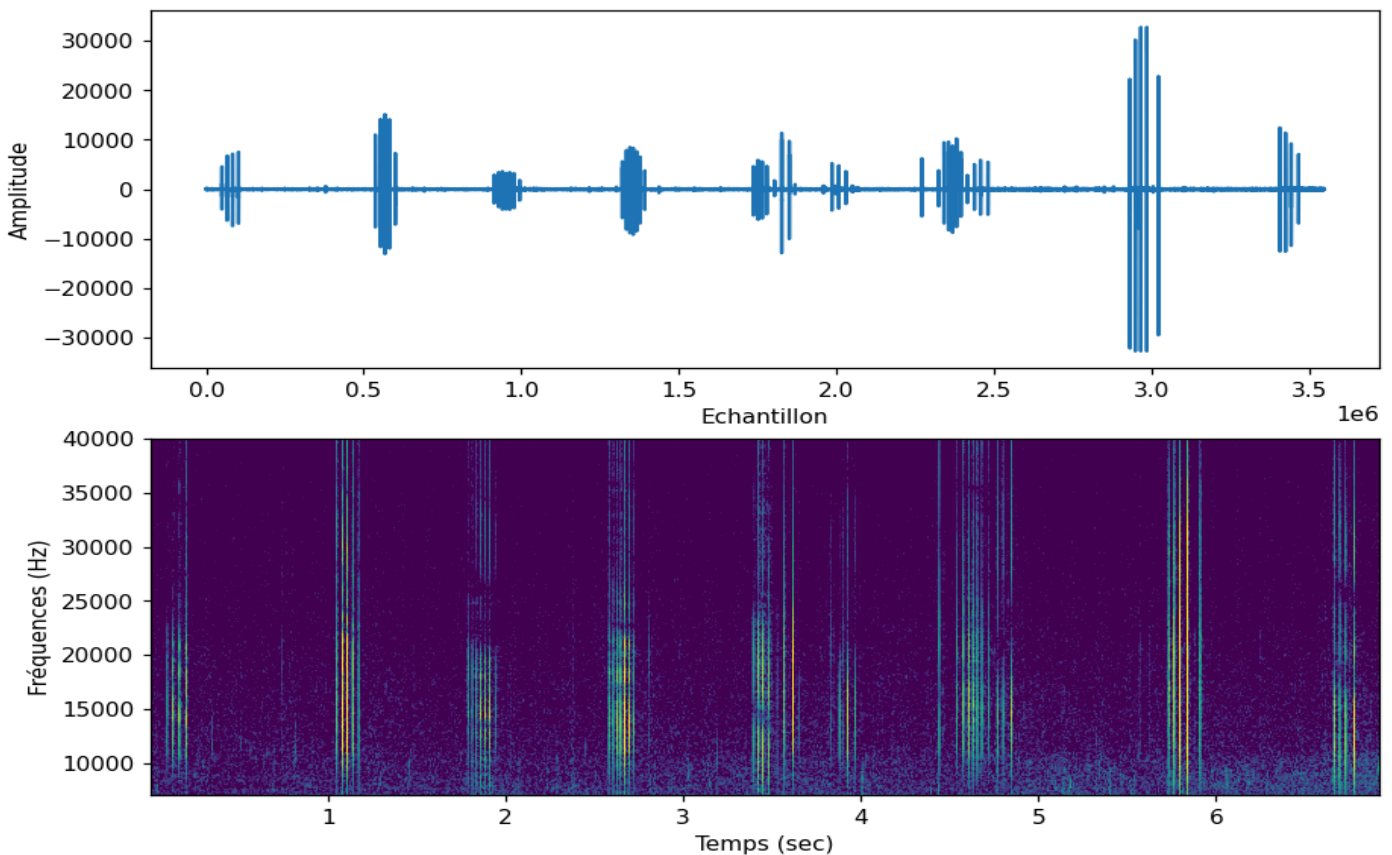


Figure 7.5: Plusieurs trains de clics d'orque (forme d'onde et spectrogramme) (l'orque est filmé durant cette émission) de type socialisation (pas une chasse). Chaque petit train de clics est émis à des rythmes a+b, de quelques unités et de même dB, comme le 4+1 juste avant la seconde 6.

La figure 7.6 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.

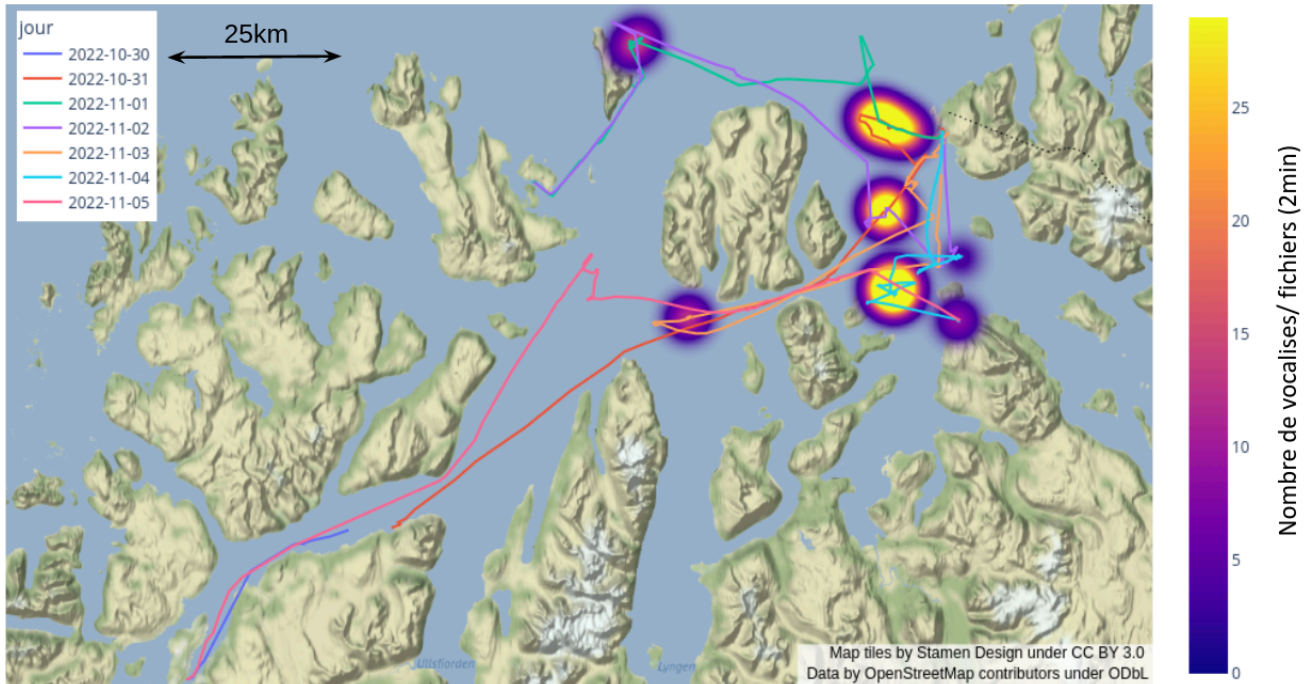


Figure 7.6: Carte représentant les trajets de l'Isbjorn et le nombre de vocalises d'orques détectées par enregistrement de deux minutes

7.4 Détections acoustiques par IA des baleines à bosse

Le même protocole que pour la détection des vocalises d'orques a été appliqué pour les baleines à bosse et a permis de détecter 422 vocalises. La majorité des vocalises a été détectée pendant la nuit du 04 au 05 Novembre, avec un total de 288 vocalises (Fig. 7.7, exemple de vocalises Fig 7.8). Le pic du nombre de vocalises durant cette nuit là se situe aux alentours de 3h du matin (Fig. 7.9).

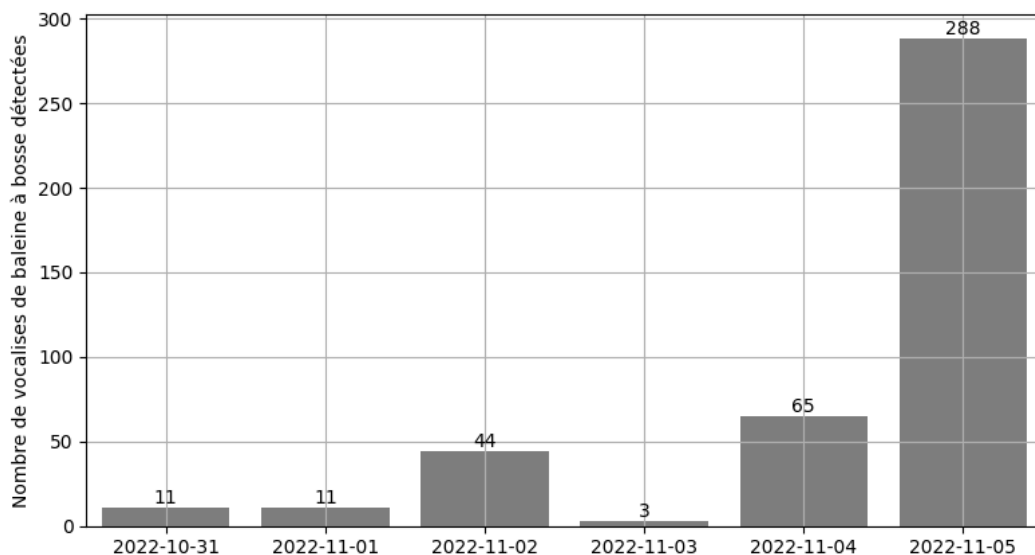


Figure 7.7: Nombre de vocalises de baleine à bosse détectées par jour par le CNN

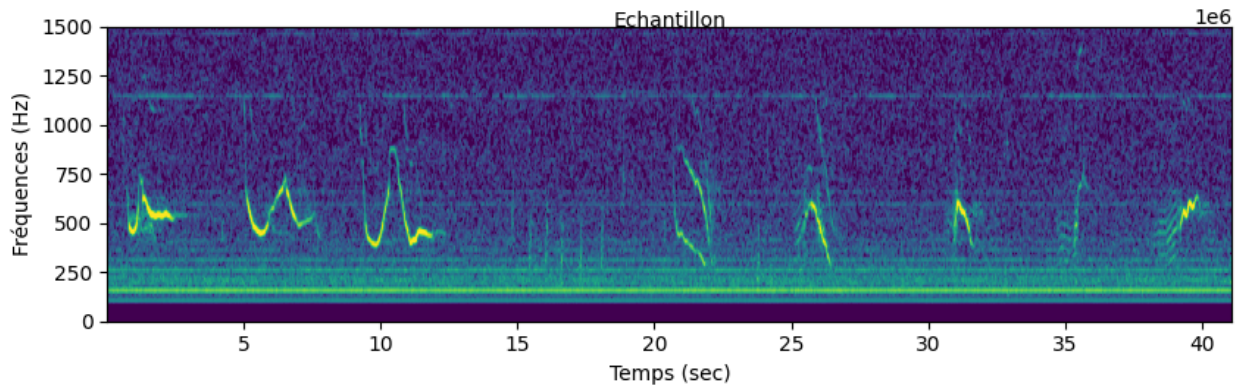


Figure 7.8: Exemple d'enregistrement de vocalises de baleine à bosse (05/11/22) à 2h53 du matin, à proximité de Skjervøy

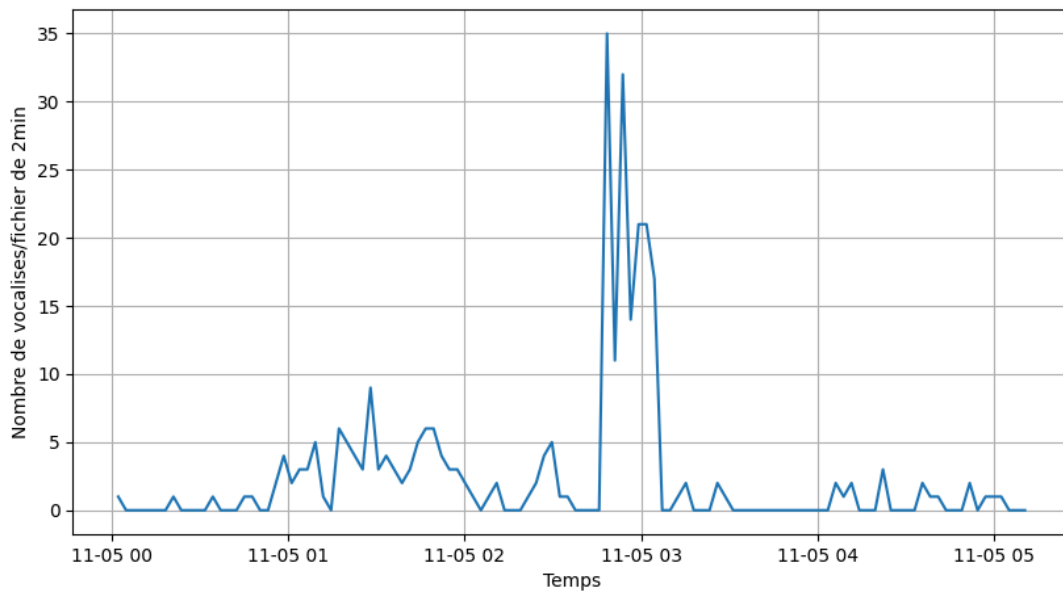


Figure 7.9 : Évolution du nombre de vocalises par fichier de 2 minutes lors de la nuit du 04 au 05 Novembre 2022.

Nous avons aussi mis en évidence des trains de pulses de baleines à bosse compatibles avec l'hypothèse biosonar BF de Au et al.
 La majorité des vocalises de baleines à bosse ont été enregistrées à l'intérieur du fjord, au sud et en face de Skjervøy (Fig. 7.10).

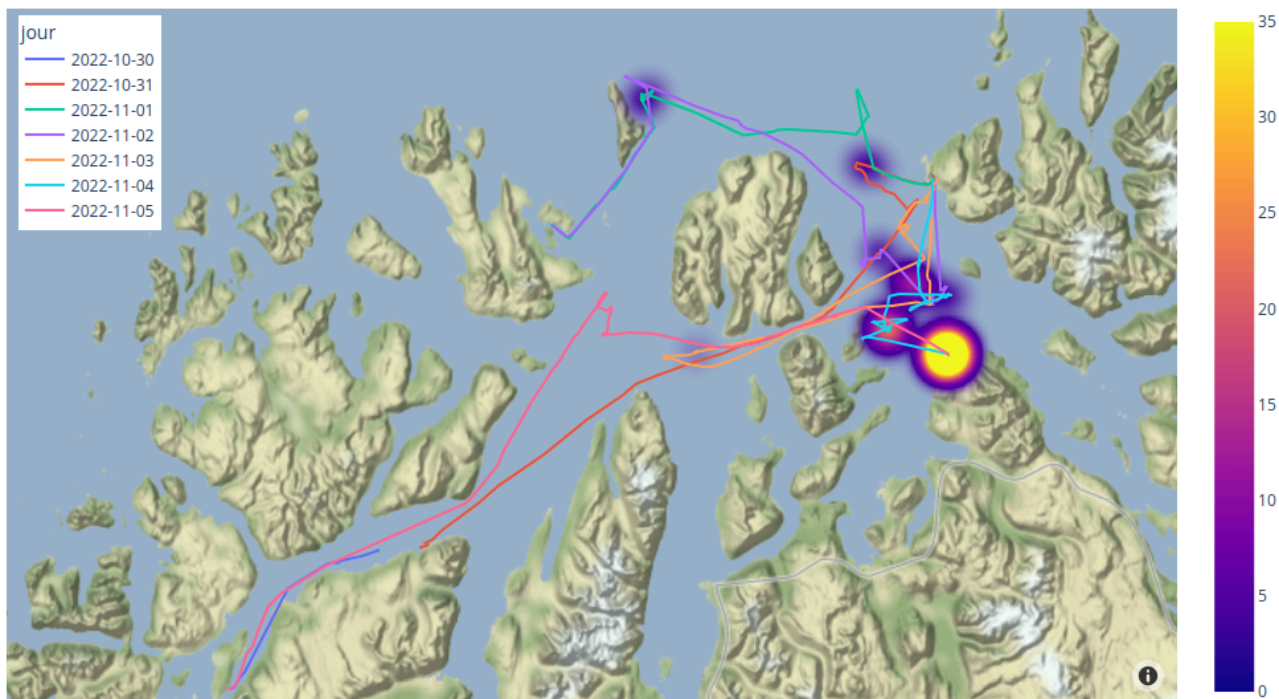


Figure 7.10: Carte représentant les trajets de l'Isbjorn et le nombre de vocalises de baleine à bosse détectées par intervalles de deux minutes.

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

Parmi toutes les vocalises détectées, un répertoire d'au moins 14 types a été identifié (Fig. 7.11).

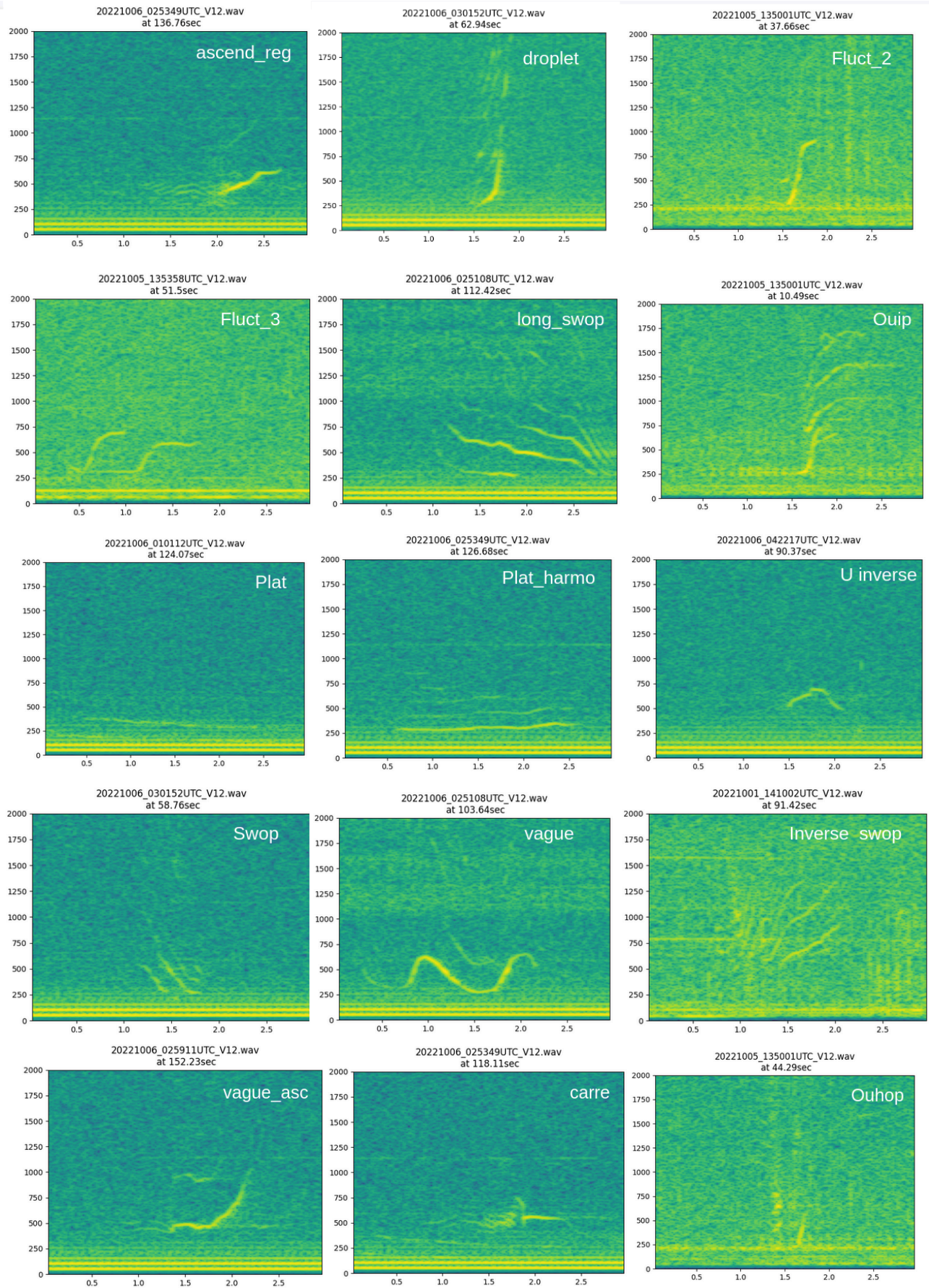


Figure 7.11 : les différents types de vocalises de baleine à bosse identifiées dans la mission

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) dont l'occurrence de chaque type est présenté en figure 7.12. Parmi ces 12 types, 4 sont également présents dans le répertoire acoustique identifié en Norvège (Fluct_2, Fluct_3, Plat_harmo et Droplet). Ce résultat confirme bien que les baleines à bosse présentes au Nord de la Norvège proviennent de la zone des Caraïbes. 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 populations aux bouleversements climatiques et les déplacements de populations.

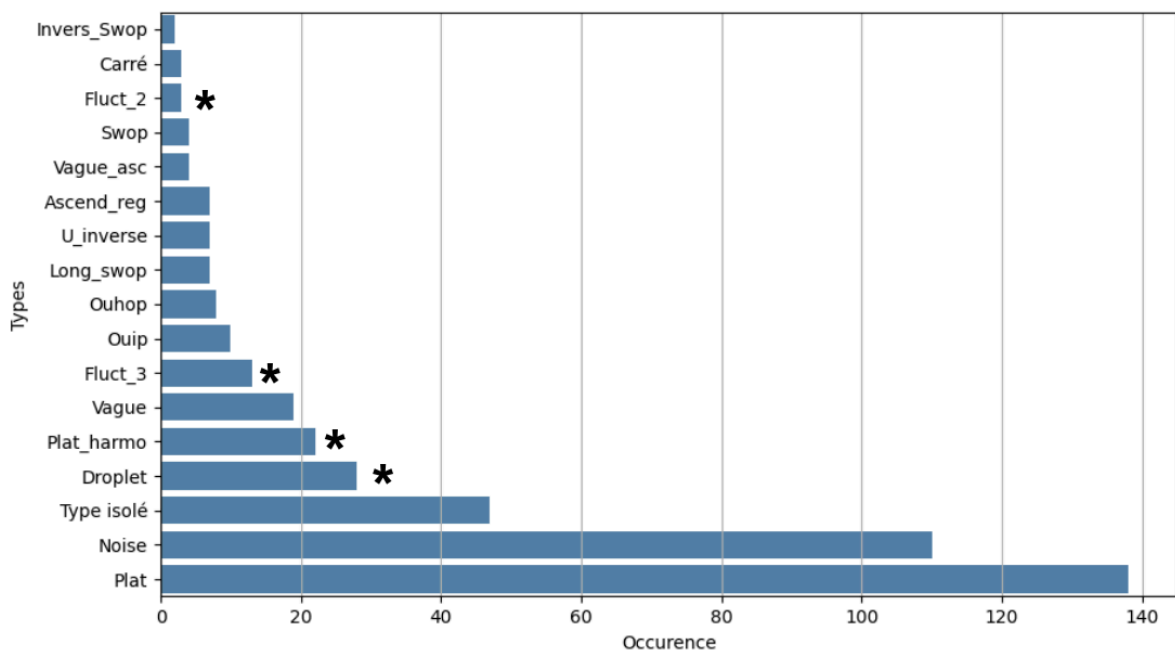


Figure 7.12 : Occurrence des types identifiés. Types isolés= vocalises présentent une seule fois dans la base de donnée. Noise=SNR trop faible pour l'identification. (*)=types présents dans les Caraïbes

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 a eu lieu. Le premier feeding a 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 a 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.7.13). 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.

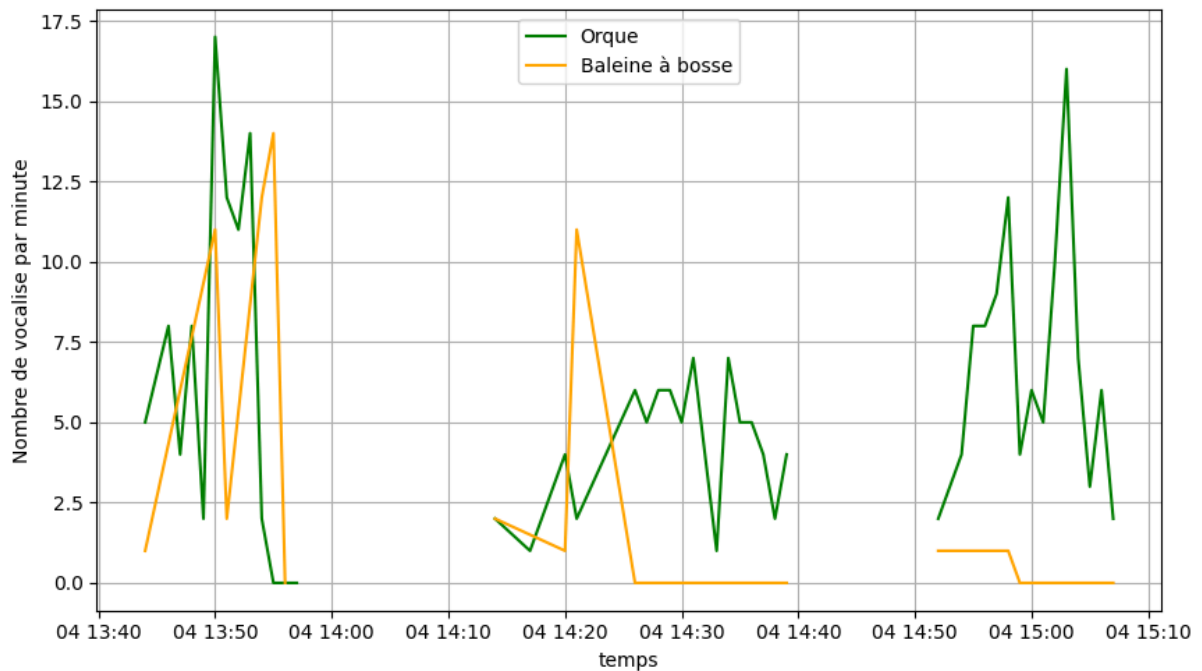


Figure 7.13: Calcul du Call Rate (nombre de vocalises/minute) lors des 3 feedings successifs du 04/11/22

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 constantes (Fig. 7.14).

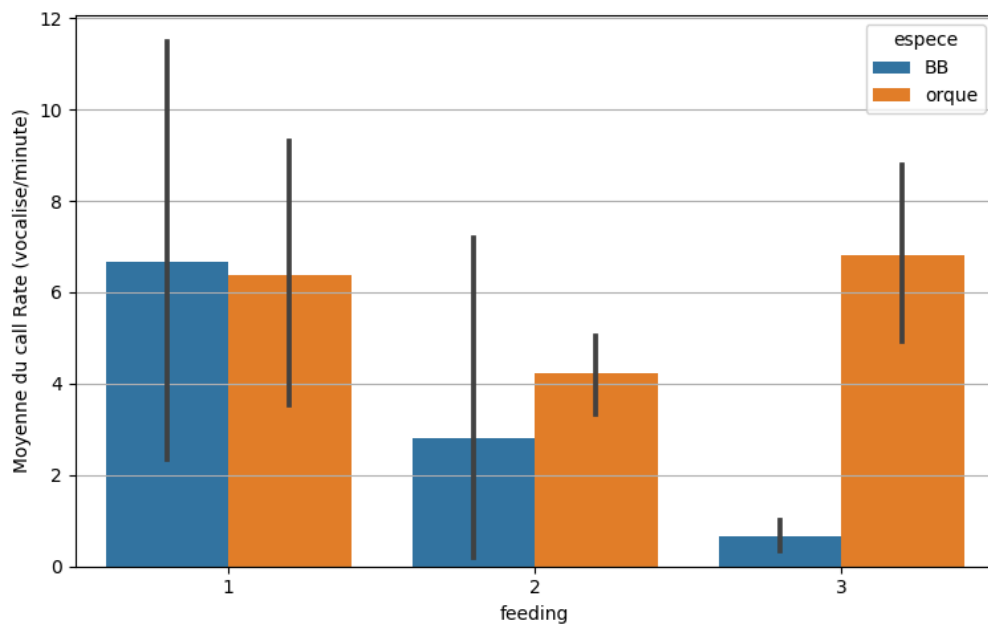


Figure 7.14: Moyenne du Call rate (nombre de vocalises/minute) lors des 3 feedings successifs du 04/11/22 pour les deux espèces

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.

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 7.15) 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.

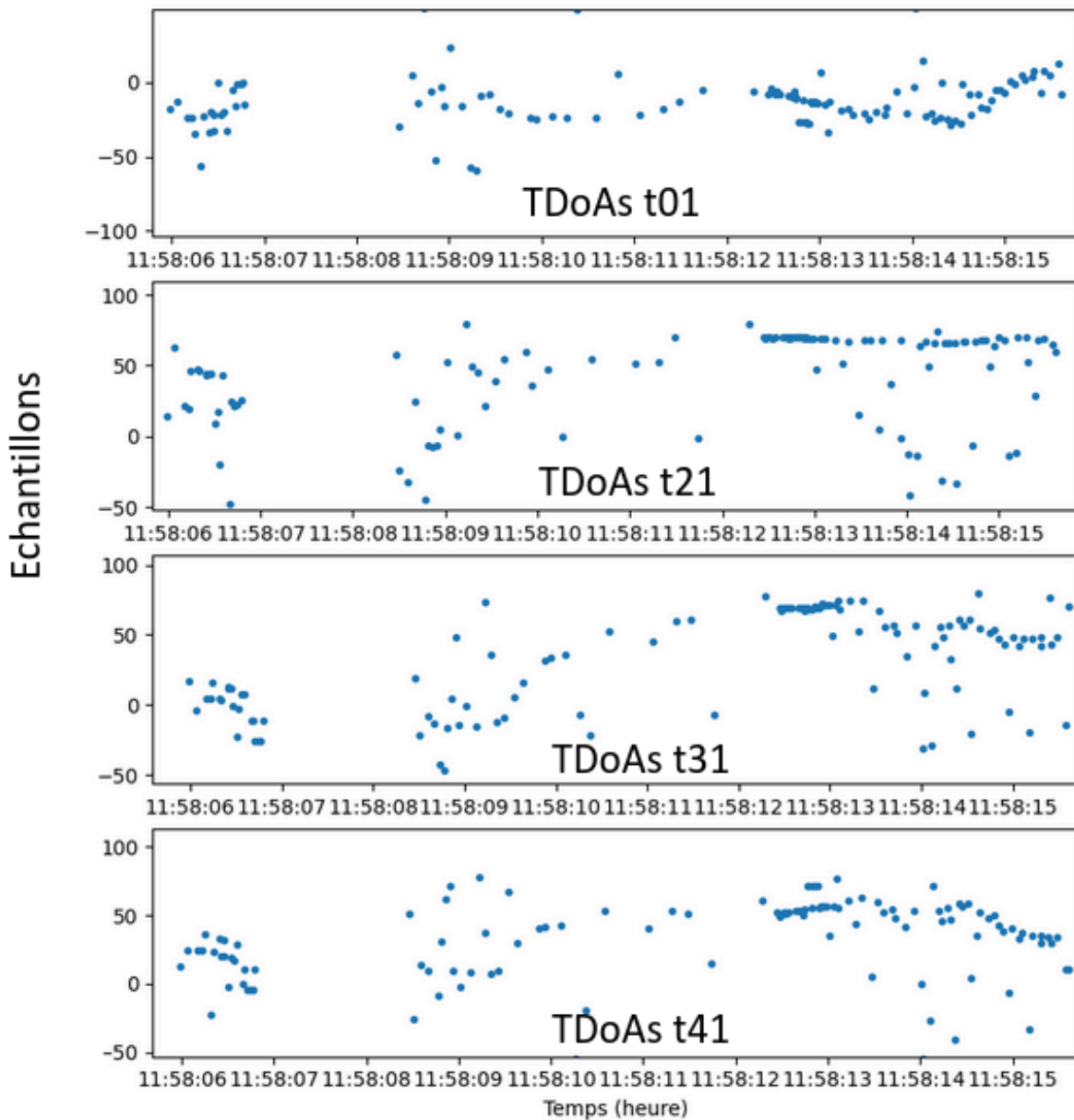


Figure 7.15: Exemple de temps de délai d'arrivée (TDoAs) en échantillons (256 kHz Fe, ordonnée) dans 8 secondes d'enregistrement (abscisse) de clics d'orque, pour chaque paire des 5 hydrophones de l'antenne Opale. On voit nettement les pistes de TDoA formées par une source ponctuelle : l'orque qui chasse ou qui socialise.

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 un exemple est présenté en Figure 7.16. Il n'y a donc qu'un seul individu qui vocalise à la fois dans cette scène, probablement le même étant donné les segments de même couleur qui se suivent.

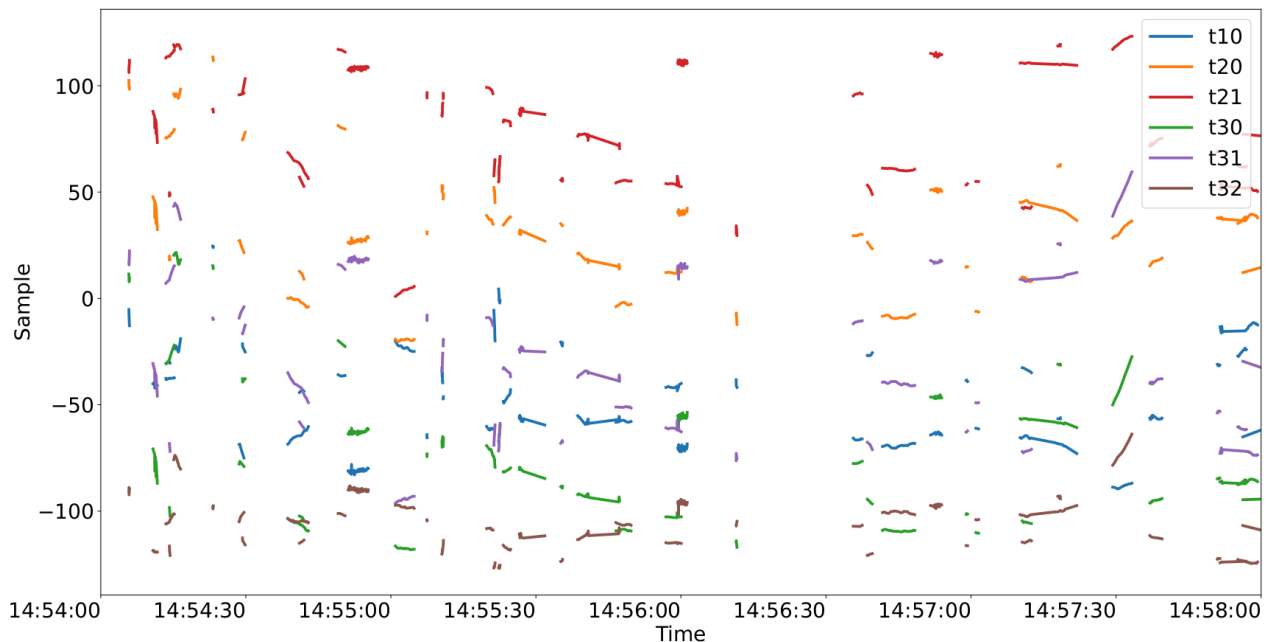


Figure 7.16: Exemple de temps de délai d'arrivée (TDoAs) en échantillons (Samples, 256 kHz Fe, ordonnée) dans 4 minutes d'enregistrement (abscisse) de clics d'orque, pour chaque paire des 4 hydrophones de l'antenne Tetra (t10, t20..). On voit nettement les pistes de TDoA formées par une source ponctuelle : l'orque qui chasse ou qui socialise.

7.9 Etude des interactions acoustique interspécifiques (baleine à bosse, orques, rorquals) par station fixe

Présence des espèces

Pendant les 80 jours d'enregistrement, un total de 154 585 vocalisations de baleines à bosse, 81 259 vocalises d'orques et 29 977 pulse de rorquals communs ont été automatiquement détectées par les modèles YOLO entraînés. Sur la base de ces détections, un calendrier illustrant le nombre de vocalisations par heure détectées sur trois mois a été créé pour fournir une vue d'ensemble des schémas d'activité acoustique (Fig.7.19). Cette représentation met en évidence une activité acoustique accrue des orques et baleines à bosse (de 0 à 800 vocalises par jour) comparé au rorqual (de 0 à 150 pulses par jour). La présence quasi continue des trois espèces au fil des jours pendant toute la période d'enregistrement de trois mois peut également être relevée. Les orques sont plus présentes/actives au début de la période d'enregistrement soit environ du 15 novembre à début décembre, suivi des rorquals qui sont majoritairement détectés du 10 au 26 décembre et enfin les baleines à bosse de fin décembre à fin janvier.

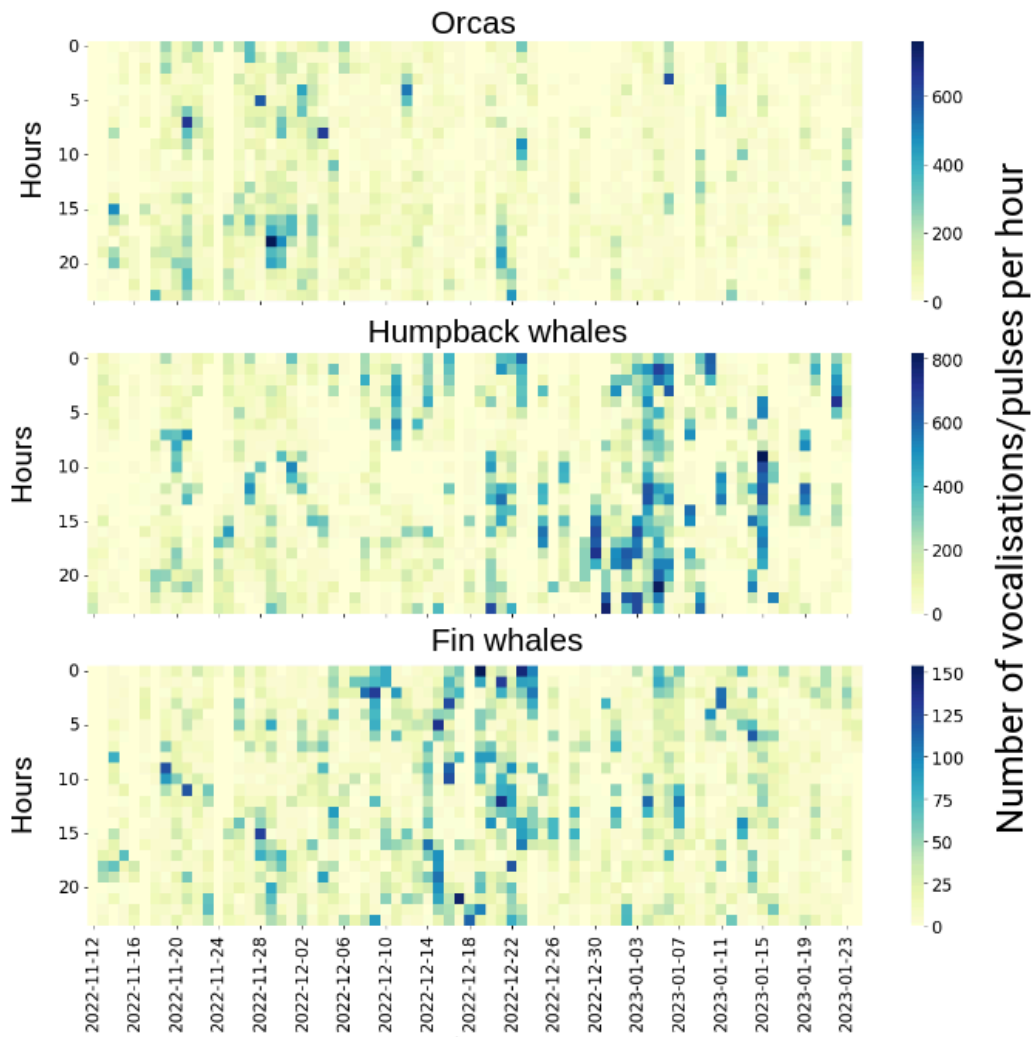


Figure 7.19 : calendrier du nombre de vocalises détecté par heure pour les trois espèces étudiées sur les trois mois d'enregistrements.

Rythme de présence journalier

Sur une base journalière, l'activité acoustique des baleines à bosse était relativement élevée tout au long de la journée, atteignant un minimum vers 7 heures du matin et un maximum la nuit, vers 1 heure du matin (Fig.7.20). L'activité acoustique des rorquals communs a suivi une tendance similaire, avec des pics d'activité centrés sur 1 heure et 14 heures. Inversement, les détections maximales moyennes d'orques ont eu lieu à 7 heures et à 16 heures.

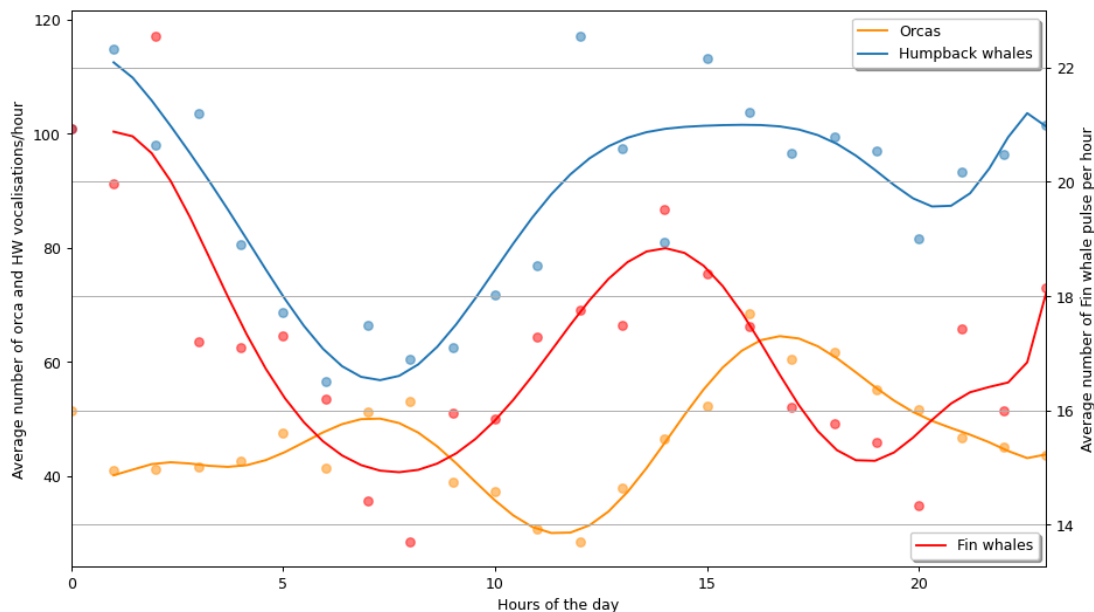


Figure 7.20 : fonctions polynomiales (degré=10) de la moyenne de chaque espèce (axe Y gauche : vocalisations des orques et des baleines à bosse. Axe Y droit : pulse des rorquals communs).

Pendant les mois d'hiver, il y a eu un déclin notable des heures de lumière du jour allant de 4 heures le 13 novembre (de 09:12 à 13:26), à la nuit polaire à partir du 25 novembre.

Pendant la période où le jour est encore visible, un test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour comparer l'occurrence de chaque espèce entre le jour et la nuit (Fig. 7.21). Les orques et les baleines à bosse ont été plus fréquemment détectées pendant la nuit (Kruskal Wallis p -value=1.5.10e-26 et p -value=2.3.10e-35 respectivement). Les pics de détection des orques se situaient juste avant ou juste après la lumière du jour, mais jamais pendant la journée. En revanche, il n'y a pas eu de différence significative dans les détections des pulses des rorquals bien que leur nombre soit légèrement plus élevé le jour (Kruskal Wallis ; p -value=0,08).

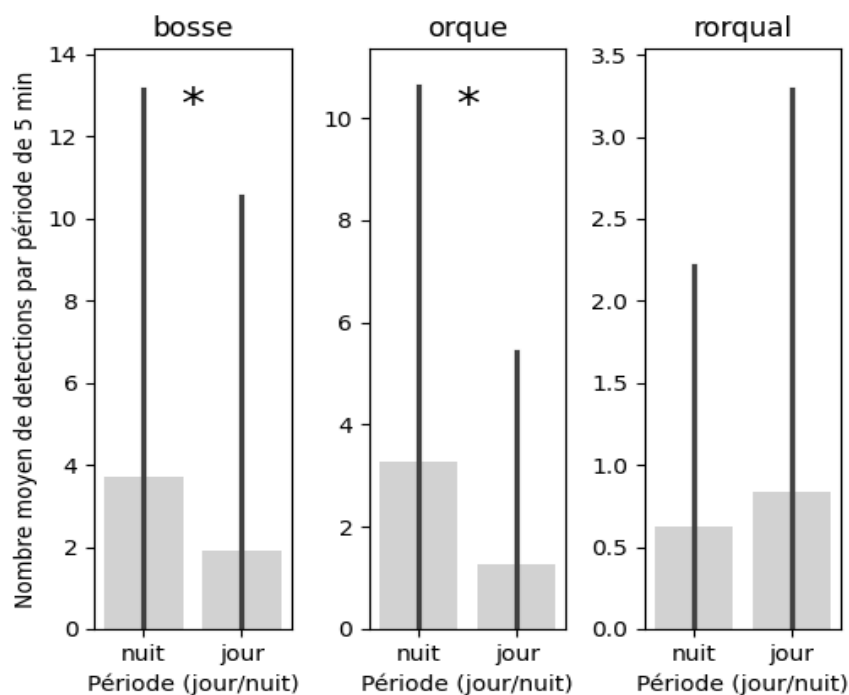


Figure 7.21 : Nombre moyen de vocalises et pulses détectés par période de 5 minutes pour chaque espèce pour les périodes nocturne et diurne (* indique une différence significative).

Pour étudier la corrélation potentielle entre la présence de différentes espèces, le coefficient de Pearson (r) a été calculé. Les résultats ont révélé une forte corrélation positive entre la présence acoustique des rorquals communs et des baleines à bosse ($r=0,69$, $p\text{-value}=3e-7$) ainsi qu'une légère corrélation négative entre les orques et les rorquals communs ($r=-0,29$, $p\text{-value}=0,0004$). En revanche, il n'y a pas de corrélation significative entre la présence acoustique des orques et des baleines à bosse ($r=0,12$, $p\text{-value}=0,131$).

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 étaient notés sur une feuille de route, avec heure et point GPS. Chaque observation d'orques a 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 peut aider l'analyse des données acoustiques et permettre de réaliser 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

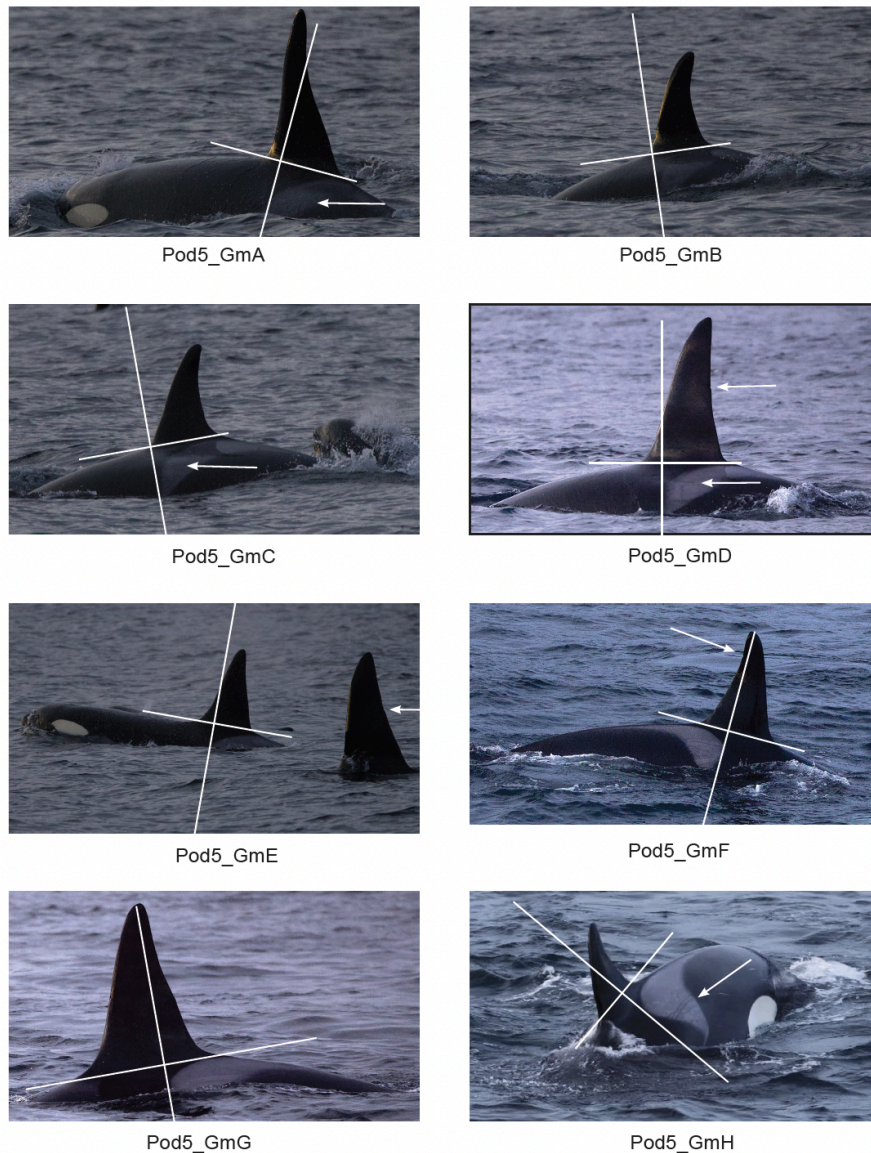


Figure 8.2 : photo-identification de 8 mâles du pod 5, observé le 4/11/2022. Les critères d'identification sont : la position de l'avant de la selle par rapport à l'axe de la dorsale (indiquée par la croix Fig 8.2), les indentations du bord de fuite de la dorsale et la présence de griffures sur la selle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

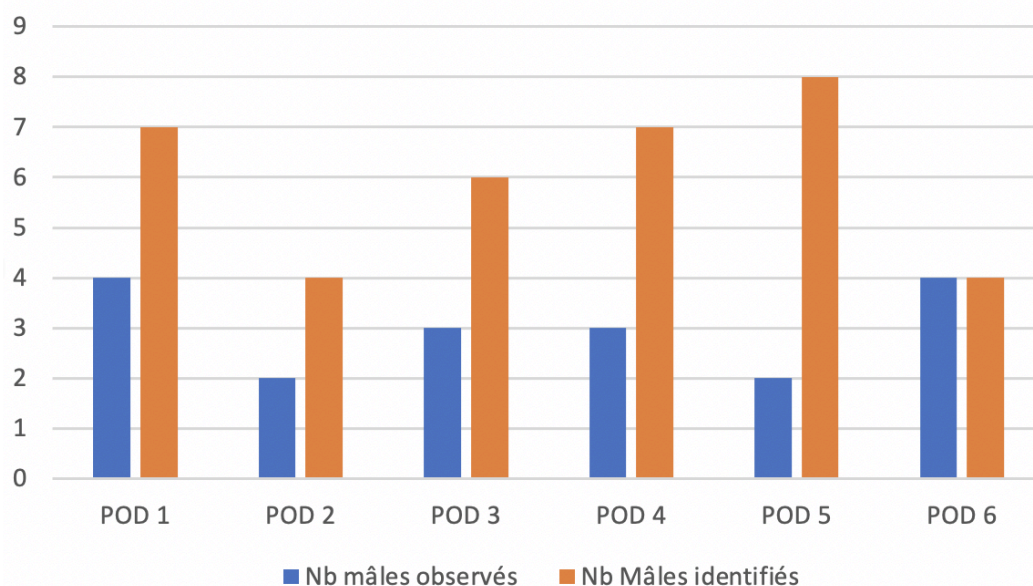


Figure 8.3 : Nombre de mâles comptés en mer et nombre de mâles identifiés d'après les photos/vidéos, pour chaque pod d'orques.

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

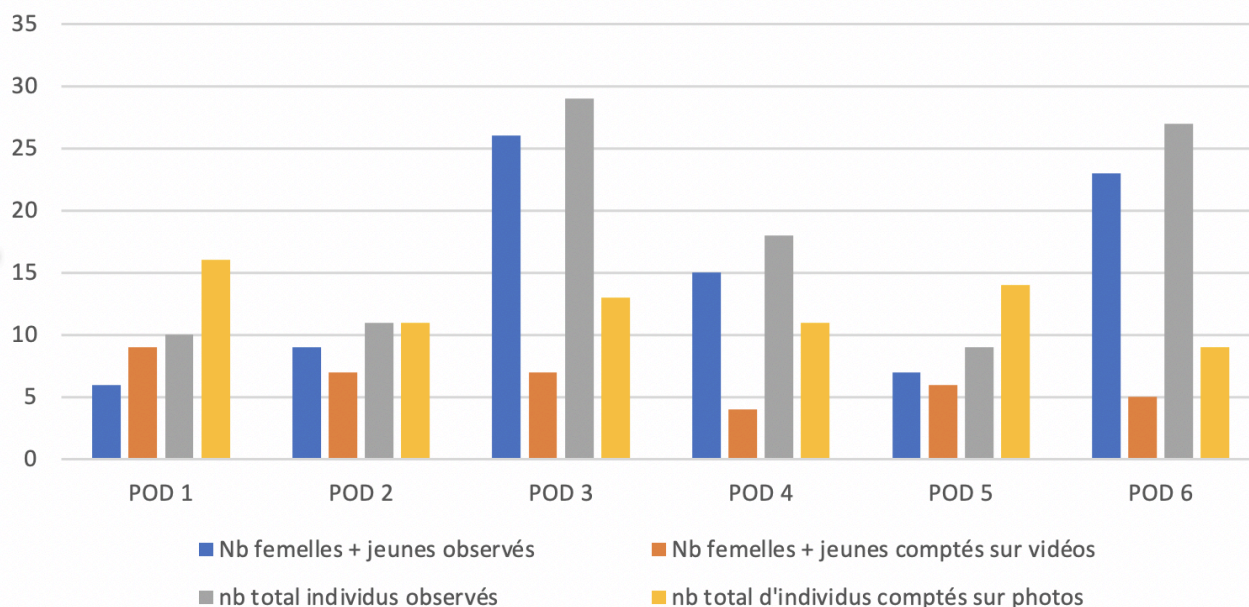


Figure 8.4 : Pour les 6 Pods étudiés, comparaison entre les nombres observés et comptés sur photos/vidéos, d'une part pour les femelles + jeunes, d'autre part pour le total d'individus

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.

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).





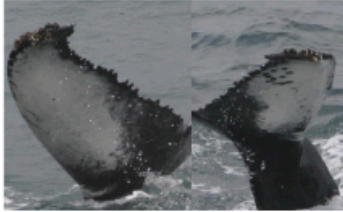



Individual	Iceland	Norway
ISMN0218		
ISMN0219		
ISMN0220		
ISMN0251		

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 pour la période fin 2022 et 2023 permettront de corrélérer 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 nefes 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 fjord. 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 baleines à bosse.

L'estimation des niveaux dB est, soit faite par DSP (Densité Spectrale de Puissance) (Ferrari et al. 2022 étude SHOM), soit mesurée par bande de fréquence. Pour cette dernière, les signaux ont été divisés en bandes d'octaves. Les bandes de fréquence traitées ici pour la station fixe sont les bandes de 10 à 400Hz et 6500 à 12500 HZ. Pour rappel, la fréquence d'échantillonnage de la station fixe était de 96 kHz du 13 au 17 novembre puis 192 kHz. Les dB absolus ont été calculés avec une sensibilité de -170, un gain de 10 et un voltage de 5.

9.2 Paysage sonore nocturne

Une analyse des mesures de dB prises sur site (Fig. 6.3) révèle la présence de plusieurs pics distincts dans les données (Fig. 9.1). 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. Les stations Bombyx et la station fixe Seglvik n'ont pas ces phénomènes inhérents dus au roulis du bateau.

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 bafflé 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. Des statistiques long terme en différents points du fjord devront être établies pour montrer des effets de bafflage et de puits de silence.

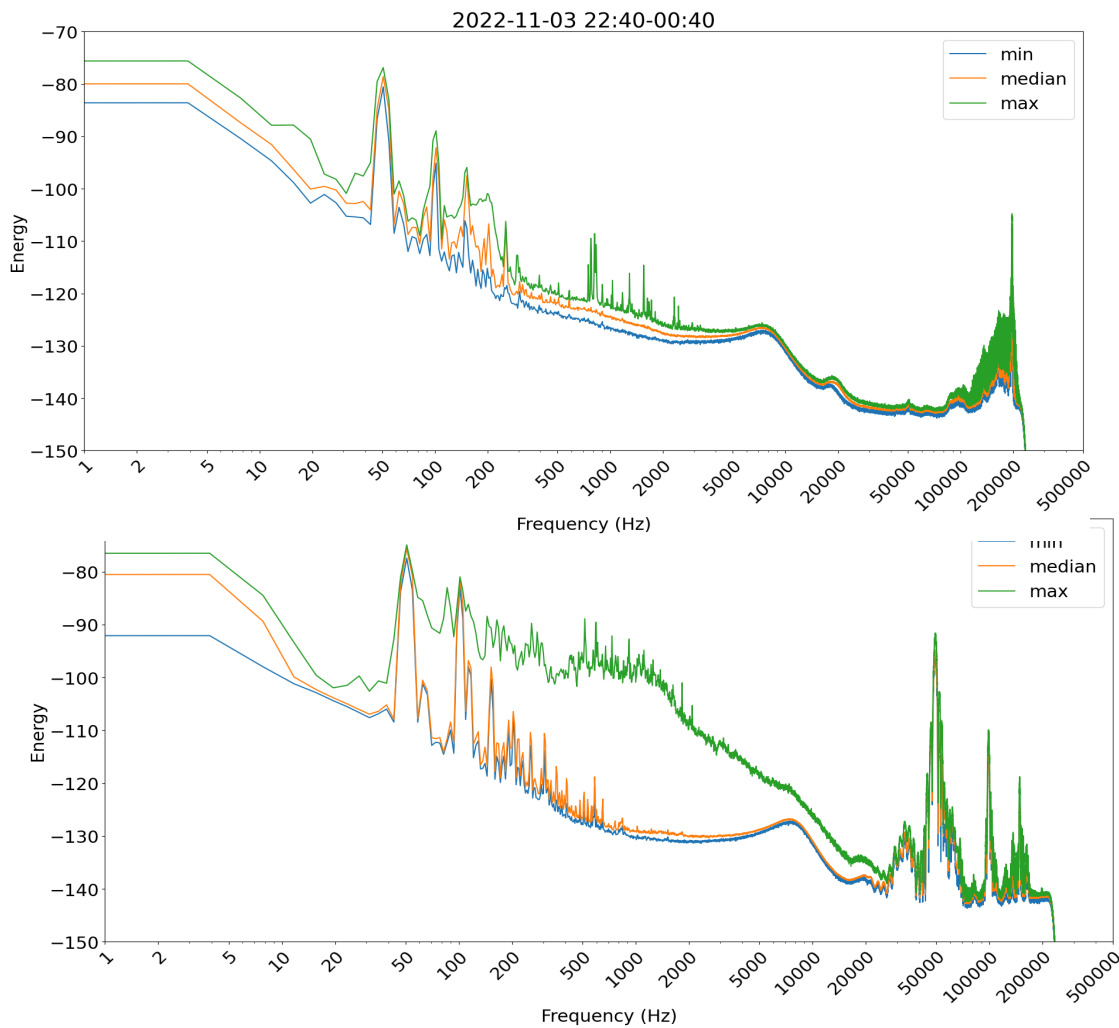


Figure 9.1 : Mesures dB sur 2 sites durant la nuit du 03 et 04 novembre 2022, (Haut) dans le fjord au Nord d'Haudoya (point Blanc sur carte 6.3), (Bas) derrière Haudoya point vert sur carte 6.3). Les énergies avant 300 Hz et après 5 kHz sont en partie des artefacts de l'observateur (bruits du bateau).

9.3 Paysage sonore du fjord Kvaenangen

Grâce à l'antenne fixe posée dans le fjord, le paysage sonore sur l'intégralité de la période hivernale a pu être étudié. Les niveaux dB médians ont été calculés dans les basses et moyennes fréquences (Fig 9.2 et 9.3).

Dans les basses fréquences, le bruit ambiant est situé aux alentours de 70 dB. Un dôme de bruit centré à midi est visible (entre 9h et 15h). Cela correspond en plus large à la période de jour, ou de plus forte luminosité pendant la nuit polaire et donc très certainement à l'activité des bateaux. Des

évènements ponctuels très bruyants avec +20 dB par rapport au reste de la période peuvent être relevés, par exemple le 08 et 09 décembre. Le niveau de bruit observé correspond, selon l'abaque de Wenz (1962), au bruit habituellement observé avec le trafic maritime en eau peu profonde.

Dans les hautes fréquences, le bruit de fond se situe aux alentours de 50 dB et est relativement stable sur le plan journalier. Quelques évènements sont notables avec +20 dB, par exemple le 08 et 09 décembre également

SEG_median_dsp_2022_10-400_Hz

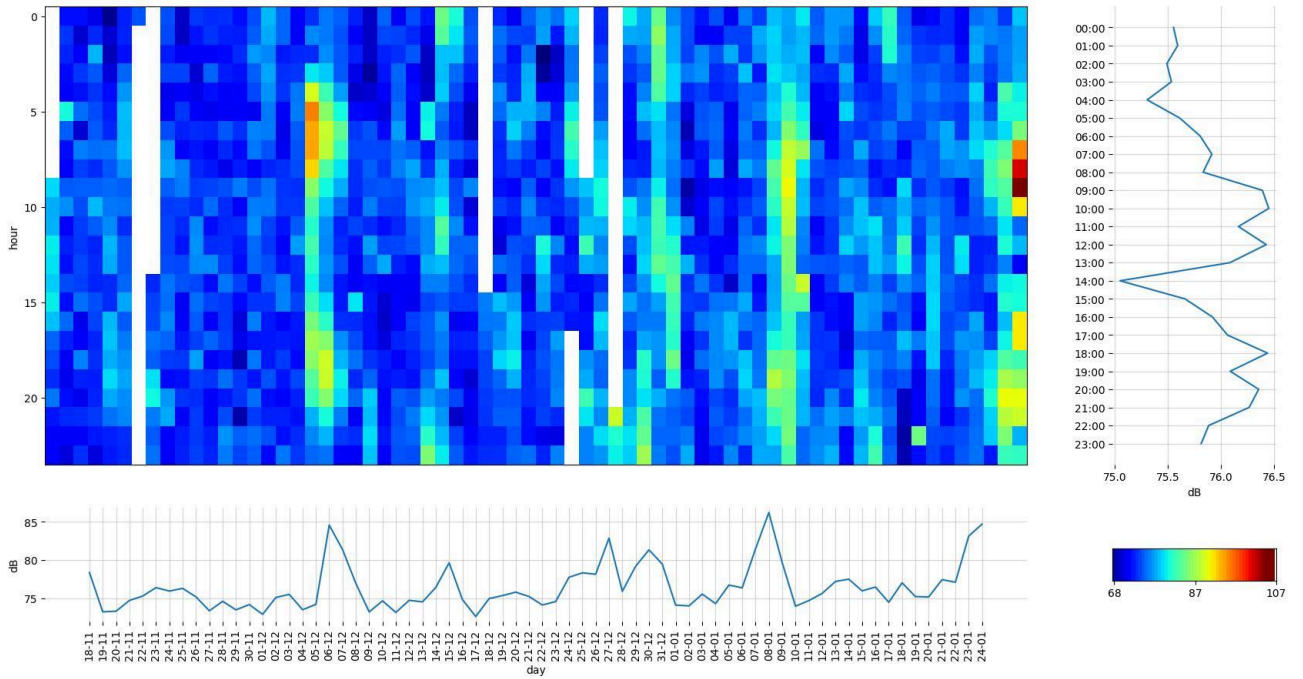


Fig 9.2 : Niveau dB médian par jour (abscisse) et par heure (en ligne, en UTC) entre les fréquences 10 Hz à 400 Hz.

SEG_median_dsp_2022_6500-12500_Hz

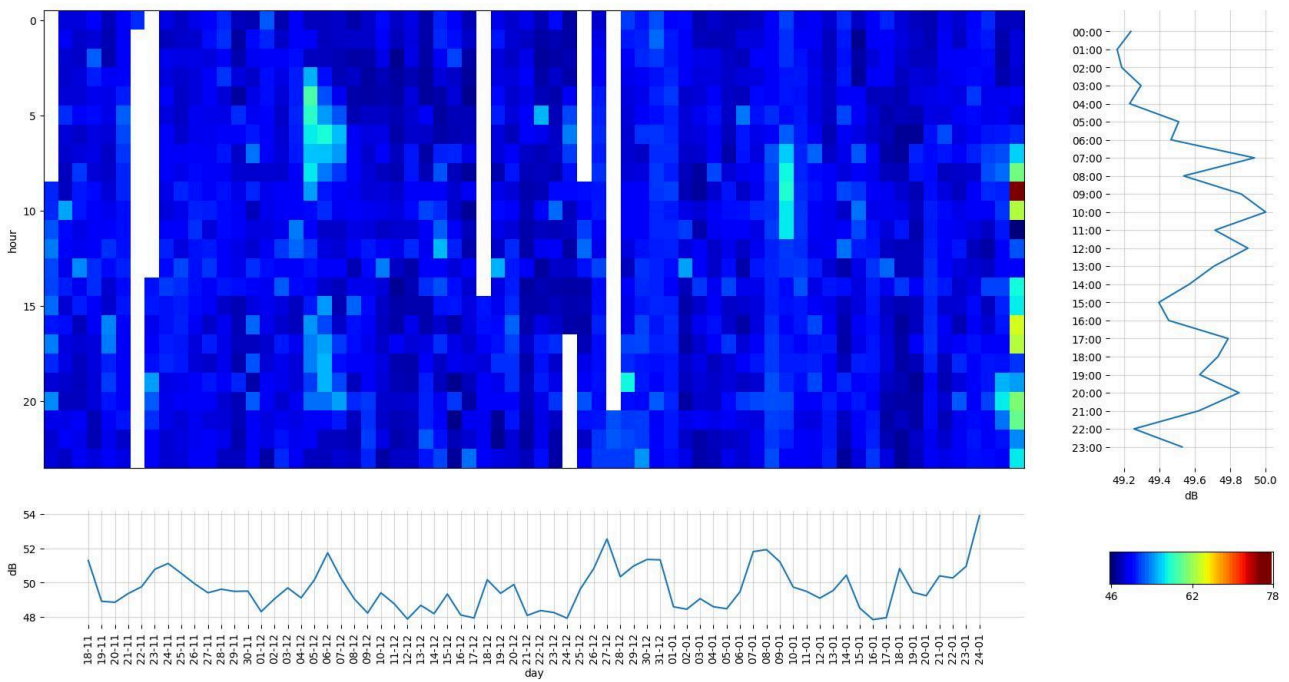


Fig 9.3 : Niveau dB médian par jour (abscisse) et par heure (en ligne, en UTC) entre les fréquences 6500 Hz à 12500 Hz.

9.4 Paysage sonore et présence acoustique des cétacés

Les bruits anthropiques ont une influence négative sur les mammifères marins. Ils pourraient affecter leur comportement et de nombreux processus vitaux (orientation, communication). Cette influence dépend de nombreuses caractéristiques acoustiques dont l'intensité, la largeur de bande ou la durée de l'exposition. Nous avons comparé l'évolution du niveau sonore médian par jour et par heure dans les basses (10:400 Hz), moyennes (400:4000 Hz) et hautes fréquences (6500:12500 Hz) à la présence acoustique des cétacés.

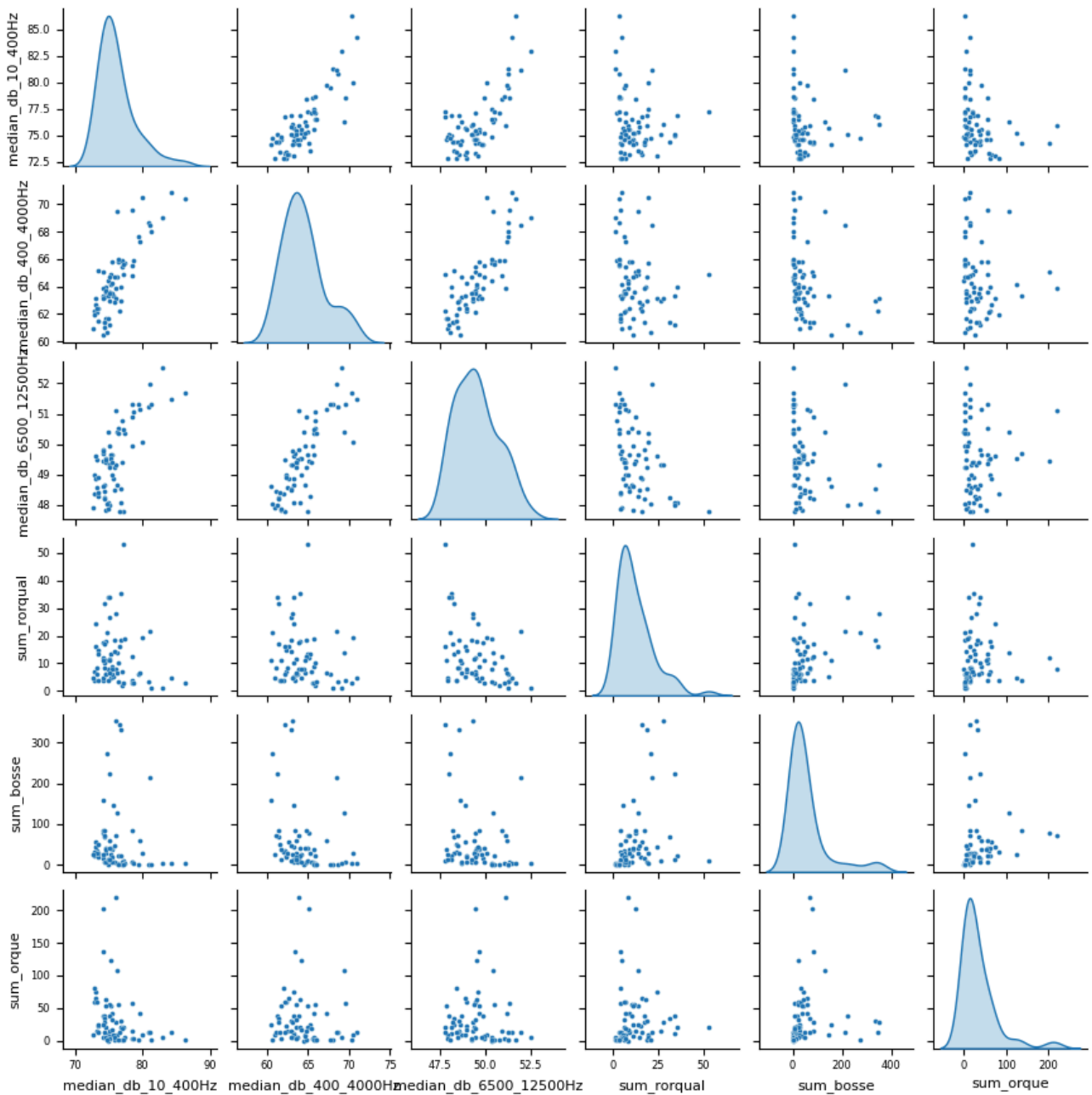


Fig 9.4 : Nombre de détections médianes par jour pour les trois espèces étudiées du 13 novembre 2022 au 22 janvier 2023 et niveau de bruit médian pour les basses et moyennes fréquences.

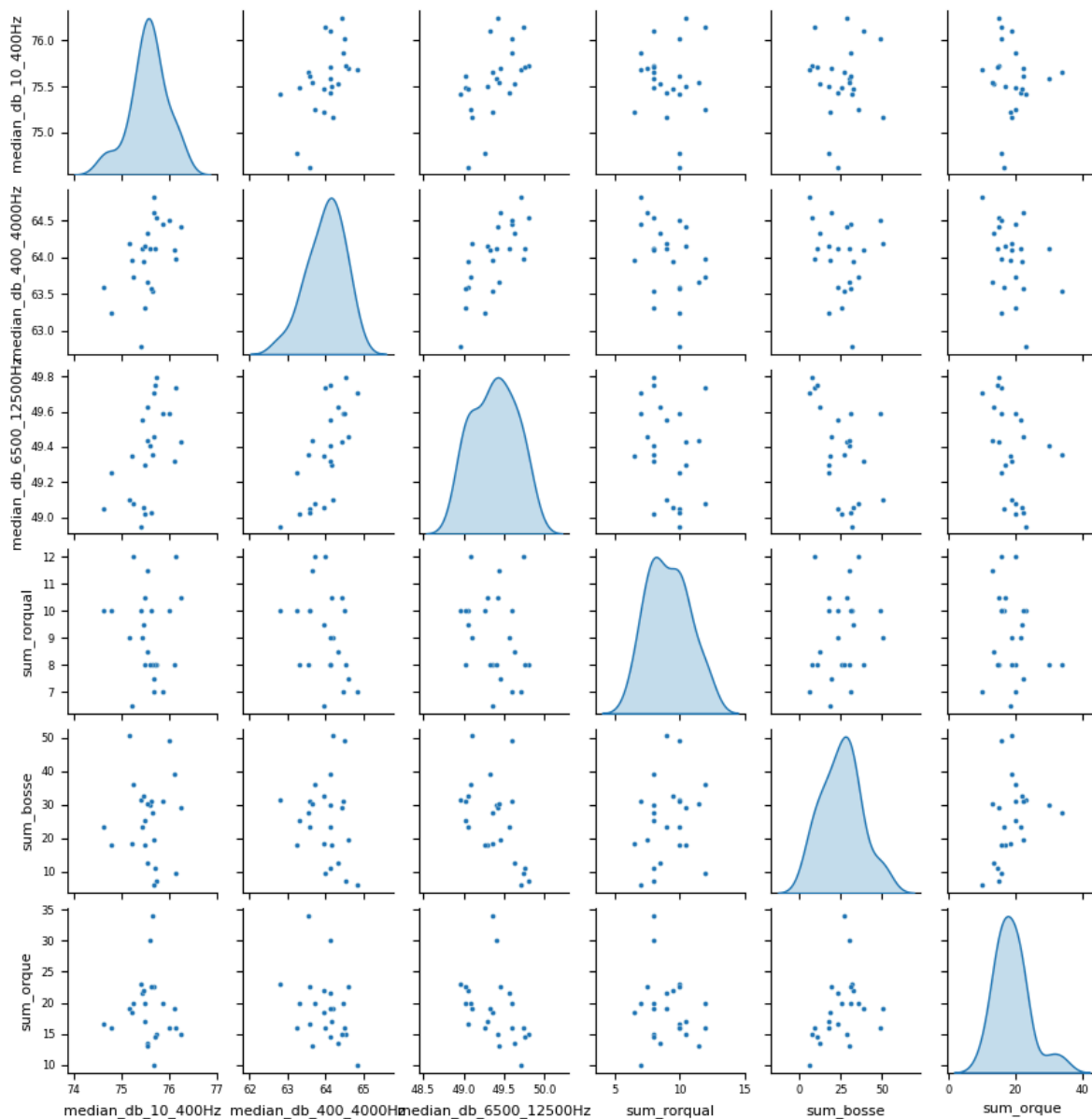


Fig 9.5 : Nombre de détections médianes par heure pour les trois espèces étudiées du 13 novembre 2022 au 22 janvier 2023 et niveau de bruit médian pour les basses et moyennes fréquences.

Une anti corrélation est observée entre le niveau de bruit médian par jour dans les hautes fréquences et le nombre de détection des rorquals ($r = -0.43$, $p\text{-value} = 0.0003$). Au niveau des heures (Fig 9.5), une anti-corrélation a également été trouvée entre le bruit médian dans les hautes fréquences et le nombre de détections des baleines à bosse ($r = -0.52$, $p\text{-value} = 0.009$). Ces espèces émettant dans des bandes de fréquences distinctes de celles avec lesquelles elles présentent des anti corrélations, montrent qu’il ne s’agit pas d’un biais de détection.

Les baleines à bosse et les rorquals pourraient donc adapter leur comportement acoustique et être actifs à moindre bruit ambiant. Cependant, il est important de noter que leur activité acoustique dépend aussi de leur comportement alimentaire. Dans la section précédente, nous avons vu que les baleines à bosse sont vocalement actives pendant les chasses mais diminuent progressivement leur activité au cours de celles-ci. Les rorquals, quant à eux, sont plus silencieux lorsqu’ils se nourrissent (Aulich et al. 2023). Ceux-ci pourraient alors être plus silencieux à cette période de la journée parce qu’ils se nourrissent. Il est également important de se rappeler que le nombre médian de détections par heure pour les rorquals est relativement faible.

L'activité acoustique des orques quant à elle, n'est pas influencée par le bruit ambiant, bien qu'une tendance semble indiquer que celles-ci sont moins présentes (ou moins détectées) lorsque le bruit haute fréquence est plus élevé ($r = -0.36$, $p\text{-value} = 0.08$). Les orques ont besoin de communiquer pour socialiser mais avant tout pour chasser et former les boules de hareng afin de se nourrir. L'alimentation étant prioritaire, les orques s'alimentent même dans un contexte de bruit ambiant élevé. Il reste maintenant à déterminer si le succès de ces chasses est impacté par le bruit ambiant.

10. SeGaMas : modélisation acoustique du fjord et modèles d'interaction par jeux sérieux

L'étude des cétacés est complexe du fait de l'inaccessibilité du milieu marin et de sa faible visibilité. L'acoustique passive est la solution la plus prometteuse pour les étudier de manière non invasive. Aujourd'hui, la détection et la classification des espèces enregistrées sont réalisées de manière automatique avec une bonne précision, notamment grâce à des méthodes IA. Cependant, utiliser de telles méthodes pour localiser les animaux est encore imprécis, à cause du manque de données sur leurs déplacements réels, et de la faible taille de nos antennes/bouées.

Pour pallier cela, nous travaillons à la création d'un modèle complet de scènes acoustiques, nommé SeGaMas (Serious Game for Marine (mammals) Survey). Ce modèle inclut la génération de trajectoires réalistes de cétacés, l'émission régulière d'un signal sonore, la modélisation de la propagation et l'atténuation de ce signal dans un environnement réel jusqu'à sa réception par un capteur. En entrée, le modèle recevra les données bathymétriques, océanographiques et le bruit ambiant moyen, ainsi que des paramètres liés au scénario à définir. En sortie, il fournira les trajectoires des animaux, le signal reçu et le trajet parcouru par ce signal (Fig. 10.1).

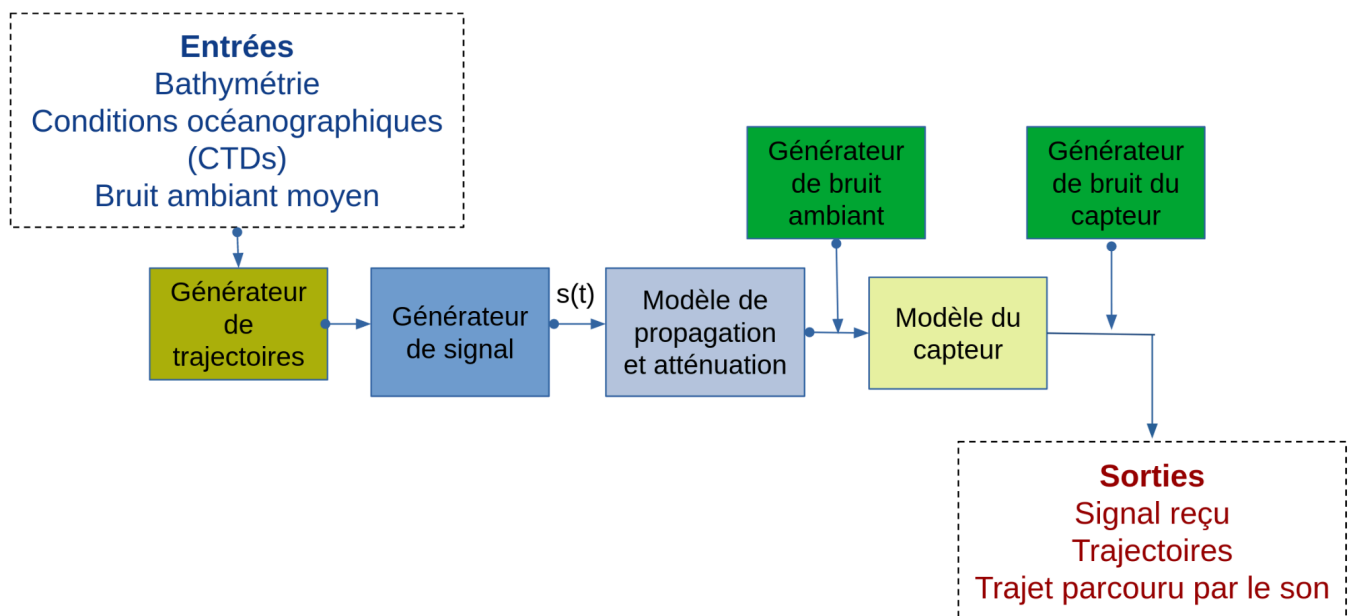


Fig 10.1 : Structure du modèle SeGaMas

Nous nous concentrons dans un premier temps sur un modèle de propagation du son en lancer de rayon, valide seulement pour les hautes fréquences. Ce modèle devrait bientôt fonctionner en 2 dimensions dans un environnement réel, avec l'hypothèse d'un océan uniforme horizontalement, sans phénomènes d'interférences ni de diffraction. Le modèle prendra en compte la réfraction du son dû aux différences de conditions océanographiques suivant la profondeur, ainsi que les

réflexions en surface et au fond de l'eau. Tout au long de sa trajectoire, le signal subira des modifications dues aux propriétés physiques et chimiques de l'eau, et un signal atténué sera reçu. Les premiers modèles sont testés dans le fjord de Kvaenangen sur 2 espèces d'odontocètes (orques et cachalots) au cours de la mission Adapredat.

A ce jour, nous sommes capables d'émettre des sons dans une zone du fjord (Fig. 10.2 10.3), et de tracer la propagation de plusieurs rayons jusqu'à un récepteur. Cependant, nous observons encore certains artefacts de traversée de la bathymétrie que nous essayons de corriger.

Une fois le modèle fiable en 2 dimensions, nous prévoyons de passer à des simulation en 3 dimensions. Une étape intermédiaire vers la 3D sera le N*2D, c'est-à-dire l'extraction de plusieurs bathymétries suivant des plans tournant autour d'un point (un hydrophone), suivi de la simulation de la propagation et de l'atténuation du son dans chacun des plans (Fig. 10.3). Cette partie du modèle est déjà opérationnelle.

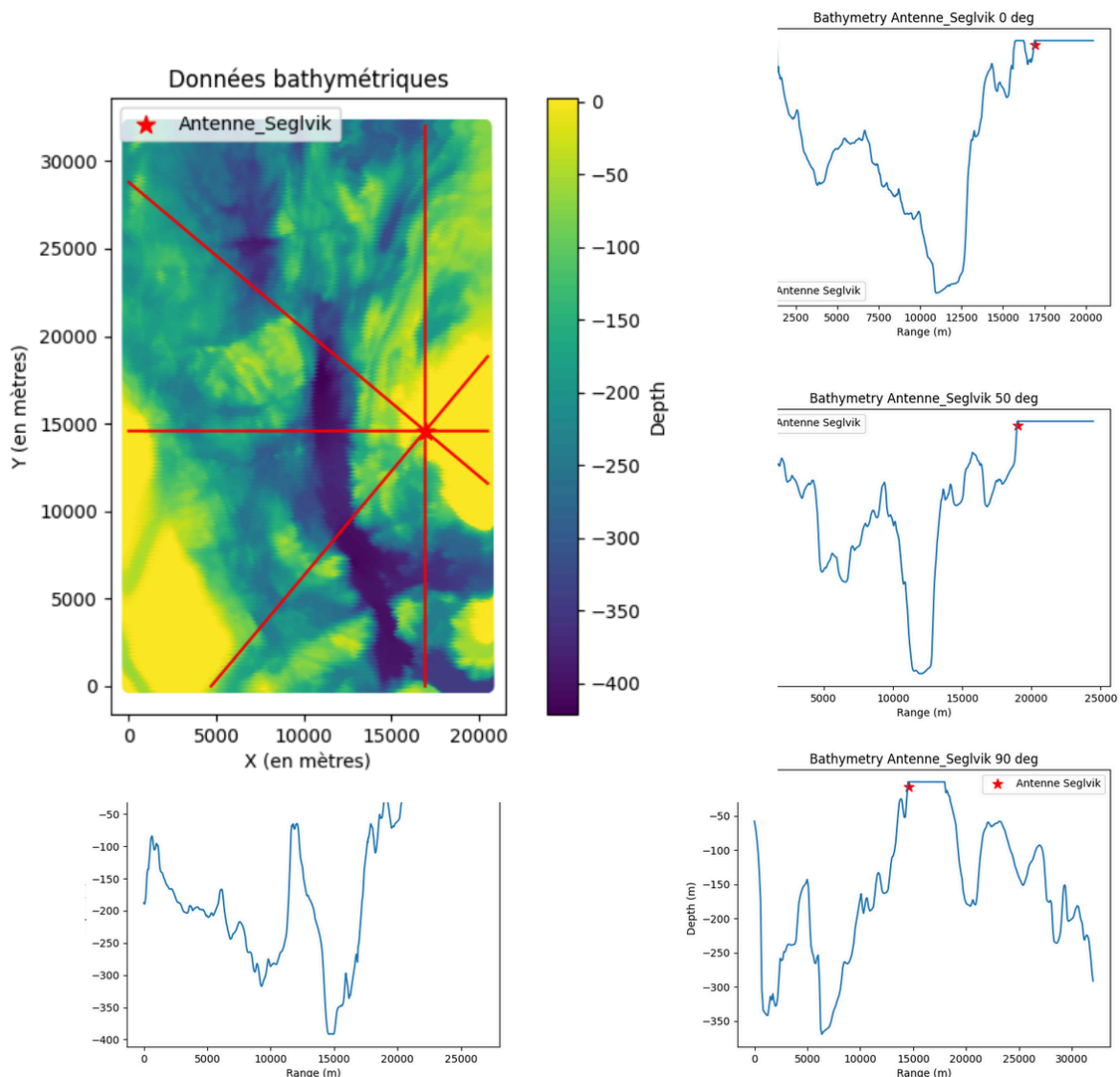


Fig 10.2 : Extractions de plusieurs bathymétries en 2D à partir de la carte bathymétrique 3D du fjord. L'utilisateur peut choisir les angles d'intérêt pour l'extraction (0°, 50°, 90° et 140° dans cet exemple)

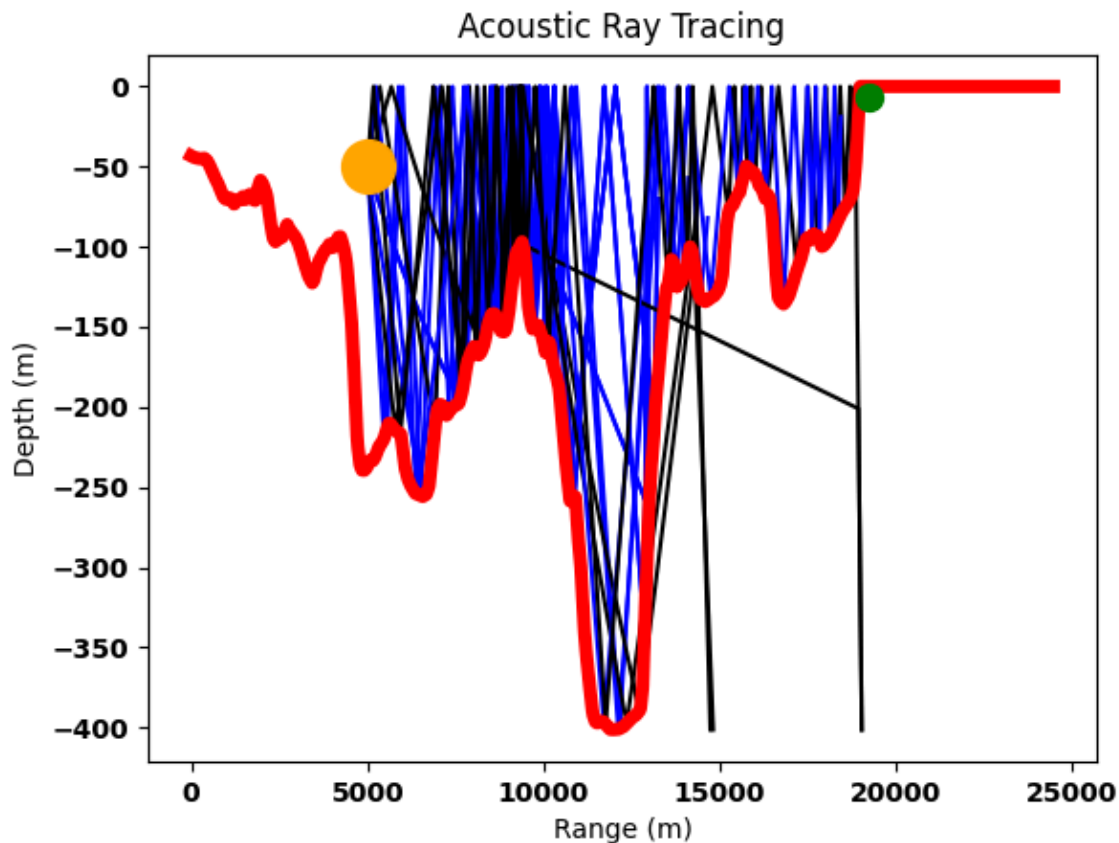


Fig 10.3 : Tracé du lancer de rayon dans ce fjord de Kvaenangen sur la coupe 50°. Les rayons sont émis au niveau de l'émetteur (en orange), se propagent dans le fjord, rebondissant en surface et au fond, jusqu'à leur arrivée sur un récepteur (en vert). Les rayons noirs sont ceux qui touchent le récepteur, et les bleus ceux qui ne l'atteignent pas. Certains rayons aberrants sont visibles et à corriger dans les prochaines versions du modèle.

La génération de trajectoires réalistes tiendra compte des contraintes cinématiques, de l'angle de la tête, du comportement des animaux et de leurs zones d'intérêt, de la bathymétrie, etc. A terme, nous espérons pouvoir recréer des scènes de vie des animaux, simulant la trajectoire de plusieurs individus en simultanément, où chacun émet des sons réguliers.

Les données simulées par SeGaMas seront ensuite utilisées pour améliorer nos estimateurs de TDoA et d'angles d'émission, puis pour créer des estimateurs de position et trajectoire par Machine Learning. Nous souhaitons aussi l'utiliser SeGaMas pour positionner de manière optimale nos capteurs, afin de s'assurer un maximum de détections dans une zone connue. Enfin, ce modèle nous fournira une meilleure compréhension de ce que les cétacés peuvent dire et entendre, grâce à la possibilité d'inverser les rôles émetteur-récepteur. Nous pourrions en effet simuler le passage d'un bateau (ici l'émetteur) et le trajet du son émis par ce bateau jusqu'à un cétacé (ici le récepteur), et ainsi mieux comprendre les perceptions de ces animaux.

11. 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.

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, ce qui est aujourd'hui confirmé par sexage moléculaire et analyses hormonales (Kettner et al. 2023).

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 actuelles, qui n'ont pas connu la situation avant la chasse, sont bien confrontées à la concurrence nouvelle des baleines à laquelle elles doivent s'adapter. 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.

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.

La station fixe, grâce à laquelle nous avons eu un enregistrement continu pendant l'hiver 2022-2023 nous a permis de mettre en évidence la co-occurrence de 3 espèces, bientôt quatre avec le cachalot dans les enregistrements de 2024 en cours d'analyses. Les analyses en cours étudient la variation des séquences et leur interdépendance, pour tester l'hypothèse de leur co-adaptation. Il en ressortirait notamment des connaissances sur la plasticité des systèmes acoustiques sensori moteurs des mammifères marins. Ces modèles sont attendus notamment vis à vis de leur adaptation éventuelle aux pollutions anthropophoniques.

The behaviour of parents and their offspring during feeding is influenced by one another. Parents feed depending on how much their offspring begs, while the offspring begs depending on how hungry it is. This would normally lead to a conflict of interest between parent and offspring, as the offspring will want to be fed as much as possible, whereas the parent can only invest a limited amount of energy into parental care. As such, selection would occur for the combination of begging and feeding behaviours that leads to the highest fitness, resulting in co-adaptation.^[10] Parent-offspring co-adaptation can be further influenced by information asymmetry, such as female blue tits being exposed more to begging behaviour in nature, resulting in them responding more than males to similar levels of stimuli.^[11]

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 11.1) 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.11.1).

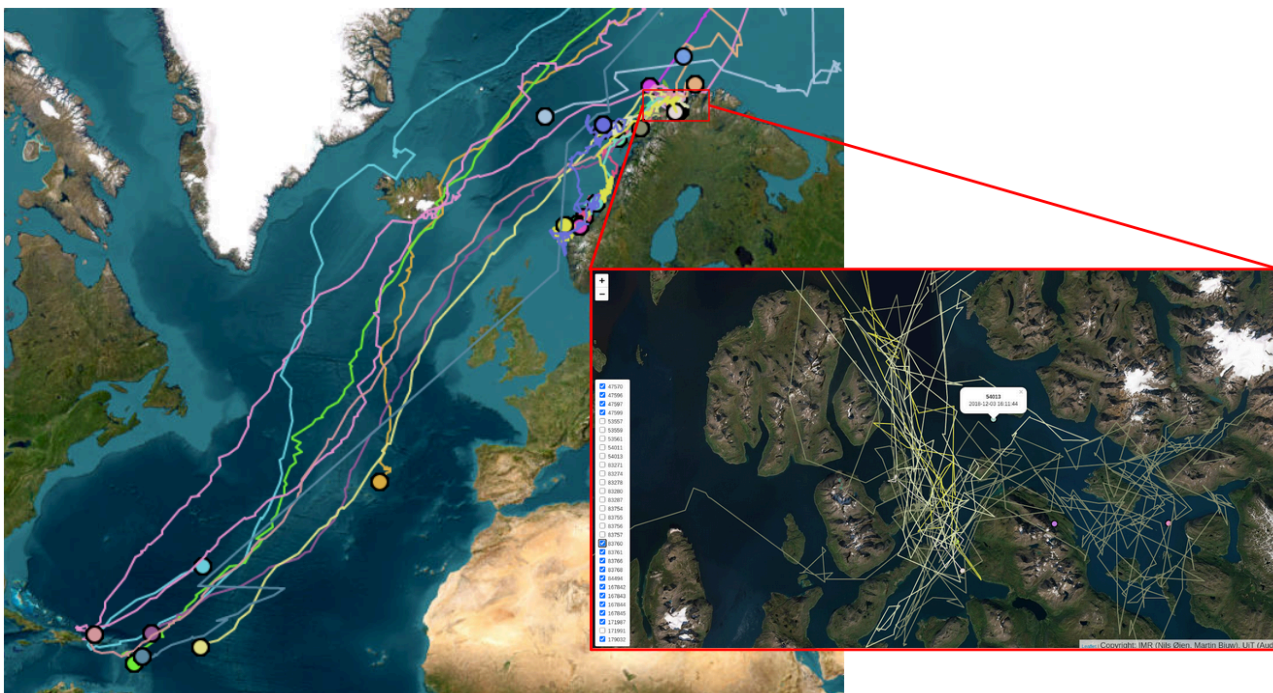


Figure 11.1 : Migration (par GPS TAG) des baleines à bosse Atlantique Nord en 2018 d'après <http://whaletracking2018.uit.no>. On retrouve bien le point focal Est Skjervoy / Bombyx ADAPREDAT comme en 2022 suivant nos densités de vocalises enregistrées.

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).

12. Conclusion

La matrice SWOT de ces missions 2022 et 2023 est donnée ci-dessous. Elle donne le bilan des atouts et risques suivant le retour d'expérience.

Tableau 12.1 : Matrice SWOT du projet

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 http://bioacoustics.lis-lab.fr . Instrumentation scientifique en avance de l'état de l'art. Annexe de l'Isbjorn permet des mesures en proche.</p> <p>Equipage complété en 2023 pour répondre au besoin.</p> <p>Premier modèle de prédateurs de 4 superprédateurs</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 : 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>

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 de 2022 est 2 To et la mission 2023 a récolté 4 To de données.

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 12.1 : Bouée quadriphonique BOMBYX3 DYNILIS CNRS, issue du programme FEDER GIAS de longue autonomie. Ces quatre 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 a été 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.

13 Diffusion, vulgarisation et 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 2026-2028 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.

Un spectacle a été diffusé au Palais des Congrès Toulon aux JS UTLN avec TripInLab et spatialisation des signaux de cette mission.

Ce spectacle sera diffusé à la conférence des Nations Unies sur les Océan en Mai 2025 à Nice (UNOC).

Un échantillon est disponible en ligne à <https://sabiiod.org/pub/ADAPREDAT>

14. ANNEXES

14.1 Exemple de fiche terrain

UNIVERSITÉ DE TOULON		L i 5		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 ^h 14	70° 04, 61	21° 15, 99	descente CTD ₃ - début - Inclinaison 0° - lest 10kg.				
12 ^h 53			- souffles toujours au 200° - Groupe 2 de tout à l'heure? - Info whale watches: feeding au N de Skervey ---				
12 ^h 20	70° 04, 62	21° 15, 97	CTD ₃ au fond / début remontée				
12 ^h 35	70° 04, 66	21° 15, 985'	CTD ₃ relevée / verticale sur toute la remontée				
12 ^h 38			Remontée du peris au à bord.				
12 ^h 40			Route vers feeding repéré - Cap 260° → jume S Anaya info de Walhalla.				
12 ^h 48	70° 04, 71	21° 13, 94	souffle au 215° = Av-Bb à 1,5 mille.				
12 ^h 50			2 caudales - les 2 B à B ont soulé				
12 ^h 54			2 souffles				
12 ^h 59	70° 04, 75	21° 10, 52	3 caudales au 230 à 1 mille, 5. 1 orque				
13 ^h 00			1 orque au 245 à 500m				
13 ^h 02	04, 75	9, 40	1 caudale au 210° isolée				

14.2 Sensibilité des hydrophones

Suivent les sensibilités des hydrophones données par le constructeur.

SQ26-07 Frequency Response

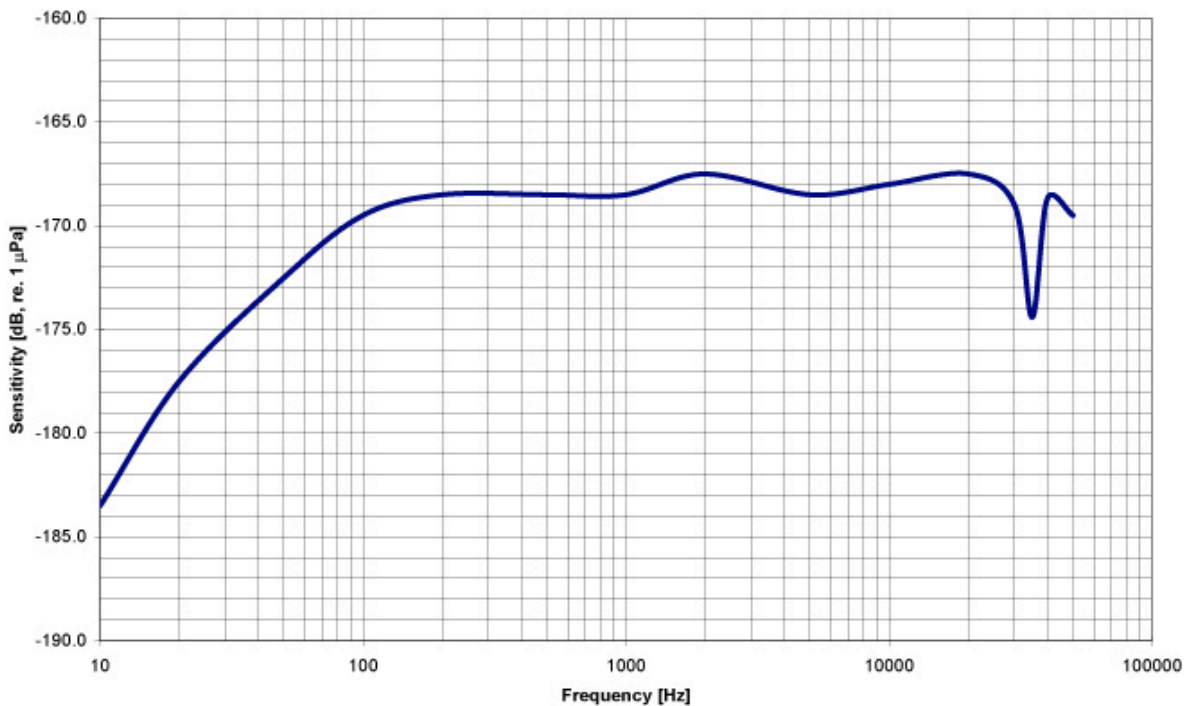
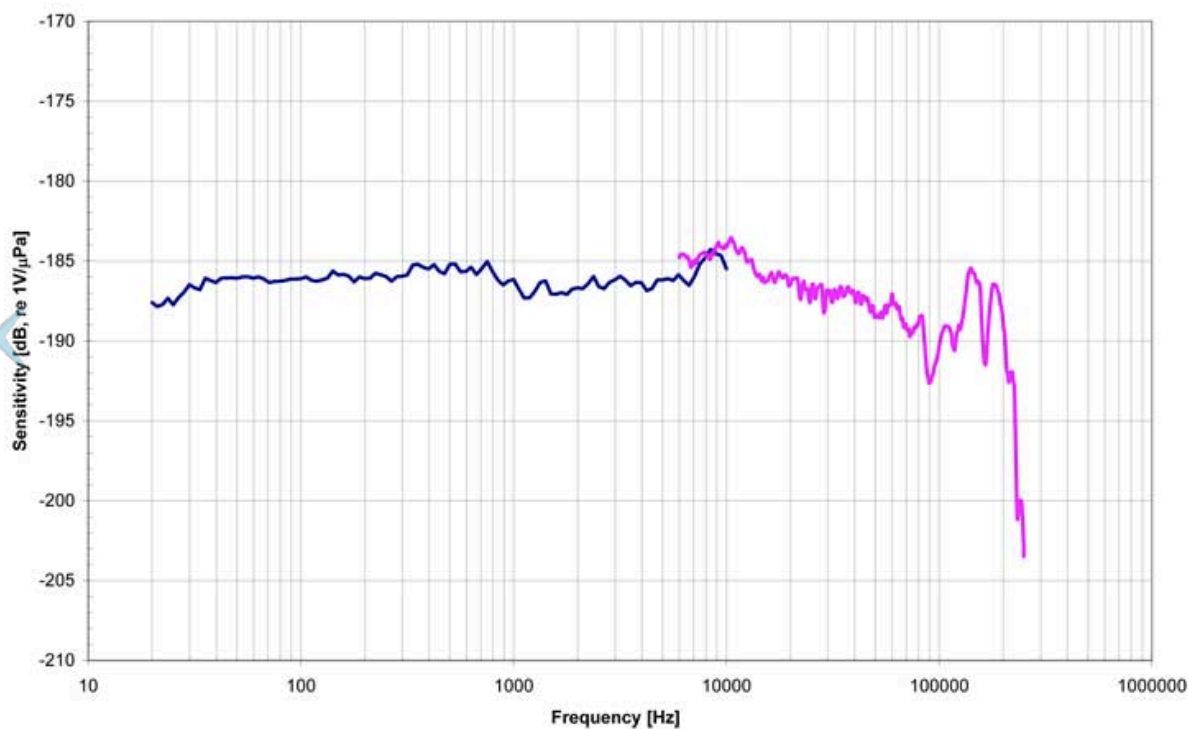


Figure 14.1 : sensibilité SQ26-07

Frequency Response graph for C75

C75/001 Frequency Response



CETACEAN RESEARCH™ C75 hydrophone Frequency Response graph - log scale

	C75 / C75X
Linear Frequency Response Range (± 3dB) [kHz]	0.010 to 170
Usable Frequency Range (+3/-12dB) [kHz]	0.003 to 250
Transducer Sensitivity* [dB, re 1V/ μ Pa]	-200
Preamplifier Gain [db]	20 / 33
Effective Sensitivity* [dB, re 1V/ μ Pa]	-180 / -167
SPL Equiv. Self Noise at 1kHz [dB, re 1 μ Pa/ \sqrt Hz]	51
Power Requirement [Vdc]	5 to 32
RMS Overload Acoustic Pressure [dB, re 1 μ Pa]	184 to 201 / 171 to 188
Maximum Operating Depth ** [m]	920
Operating Temperature Range [°C]	-40 to 85
Output Impedance [Ω]	10
Dimensions [mm]	92L x (25 to 18)dia.
Integral Connector†	Subconn MCBH3MSS
Directionality	omnidirectional

Figure 14.2 : Sensibilité du C75

14.3 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) Perceptuelle (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://sabiod.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' entendant 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://sabiod.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 :

- **Prévot D'Alvise N.**, Ascensio E., Richard S. Influence of EE2 exposure, age and sex on telomere length in European long-snouted seahorse (*Hippocampus guttulatus*). *General and Comparative Endocrinology* 346, 114419 (janvier 2024) [DOI: 10.1016/j.ygcen.2023.114419](https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2023.114419)
- **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 μ 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'École 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 pentaphonic 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. Hucke-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. Hucke-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

14.4 Bilans financiers

Bilan financier 2022

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

Bilan financier 2023

DATES	Séjour 1 : 01/11/23 au 8/11/23 – 8 jours
TARIF	Forfait privatisation du navire ISBJORN II : 24 900,00 € TTC (8 jours) <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)
	Total HT : 24 900,00 €
	Total TVA : 4 980,00€
	Total TTC : 29 880,00 €

DATES	Séjour 2 : 08/11/23 au 14/11/23 – 7 jours
TARIF	Forfait privatisation du navire ISBJORN II : 24 900,00 HT (7 jours) <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)
	Total HT : 24 900,00 €
	Total TVA : 4 980,00€
	Total TTC : 29 880,00 €

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

Date : 08/02/2023

Unité : UMR 7020

Numéro de pièce : 238919

Centre financier : 0851

Montant : 28000€

Destinataire : GLOTIN Hervé

Objet de la dotation: AAP «Adaptation du vivant- 2023» – Projet : FJORD3D- Etude acoustique de la compétition et adaptation de superprédateurs de l'Océan Arctique

Libellé	Financement	Dépenses
	28 000 €	
Affrètement du Navire ISBJORN II pour la mission POLAR 3D du 01/11/23 au 08/11/23 (fournisseur LET'S GO)		28 000 €
TOTAL	28 000 €	28 000 €

Nadine LATTANZIO
Responsable Administrative
du LIS
UMR 7020 AMU-CNRS



Autres dépenses 2023

Déplacements : 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)	
Fonctionnement y compris l'organisation de réunion Workshop au printemps 2023, 15 mars 2023, JS UTLN	1 500 €
Équipement (+APRI TPM acquis) Détail : prêt CTD et Échosondeur (Akvaplan-niva) Préparation hydrophones pour 2 bouées	6 000 €
Prestations de service étroitement liées à la mise en œuvre du projet analyse omique (+APRI TPM acquis) Analyses chimique de l'eau (400€/échantillon) et de tissus de harengs (400€/poisson) par Akvaplan-niva (28800 NOK équivalents à 2511 €)	4000 € <i>(non versés par TPM - analyses faites sur fonds propres de N. Prévot)</i>
Consommables partie "omique" Consommables : Kits d'extraction ADN, ARN, éthanol, RNAlater, divers consommables (lames, eppendorf...), amorces pour amplification, Kit d'amplification pour qPCR...	3 000 € achat non faits (seulement achat de huile essentielle de clou de girofle)

15. 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

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

Prévoit 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>

Løviknes, S., Jensen, K.H., Krafft, B.A., Anthonypillai, V., Nøttestad, L., 2021. Feeding Hotspots and Distribution of Fin and Humpback Whales in the Norwegian Sea From 2013 to 2018. *Front. Mar. Sci.* 8.

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., Węśławski, 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

Balestriero, 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/balestriero22a>

Balestriero, 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

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 : Mégafaune 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

Glotin, M. Poupard, P. Best, M. Ferrari. (2021). Observations Stéréophoniques sur 4 ans de la Bouée BOMBYX au Sud du Parc National de Port-Cros : Mégafaune et pollution anthropophonique. LOT 1 : Le cas du cachalot http://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://sabiody.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

Kettner LE et al. (2023) Don't mind if I do: Arctic humpback whales respond to winter foraging opportunities before migration. R. Soc. Open Sci. 10: 230069. <https://doi.org/10.1098/rsos.230069>

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

Redmon, J., D., S., Girshick, R, Farhadi, A., 2016. You only look once: Unified, real-time object detection. Presented at the Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 779–788.

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>