
SUIVI PAR ACOUSTIQUE PASSIVE DU BRUIT AMBIANT ET DE LA FREQUENTATION DES MAMMIFERES MARINS

PHASE D'INSTALLATION DES ANCRAGES — ANNEE 2023

Préparé par	Quiet-Oceans
Référence du suivi	SC8, SC9
Version	04.A
Date	18/09/2024



Informations du document

Préparé pour	EFGL
Contact	Samuel Lemièrre (samuel.lemiere@oceanwinds.com)
Numéro de contrat	CE443F43-5071-48BA-860F-9F434405D1E9
Référence du document	QO.20230510.10.RAP.001.04A
Code & nom du suivi	SC8/SC9 : Suivi par acoustique passive du bruit ambiant et de la fréquentation des mammifères marins

Révisions

VERSION	DATE	DESCRIPTION	AUTEURS	RELECTEUR
01.A	16/02/2024	Version initiale	J. Bellanger / J. Chompret	D. Clorennec
02.A	18/04/2024	Prise en compte des commentaires OW	J. Bellanger / J. Chompret	D. Clorennec
03.A	14/08/2024	Prise en compte des commentaires OW	J. Bellanger	
04.A	18/09/2024	Prise en compte des commentaires OW	J. Bellanger	

Coordonnées

	SIEGE	CHEF DE PROJET
NOM	Quiet-Oceans	Dominique Clorennec
ADRESSE	525 Av. Alexis de Rochon, 29280 Plouzané	
TEL.	09 82 28 21 23	
MAIL/SITE	https://www.quiet-oceans.com	dominique.clorennec@quiet-oceans.com



Tables des Matières

1. Présentation de l'étude	11
2. Introduction	12
2.1. La problématique du bruit sous-marin	12
2.2. Qu'est-ce que le chorus sonore sous-marin ?	13
3. Protocole de mesures acoustiques	16
3.1. Les systèmes de mesure	18
3.1.1. Enregistreurs acoustiques autonomes	18
3.1.2. Sonde CTD	19
3.2. Données collectées	22
3.2.1. Campagne du 14/11 au 11/12/2023	22
4. Analyse des niveaux sonores mesurés.....	24
4.1. Analyse statistique du bruit ambiant	24
4.2. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquence.....	29
5. Analyse spécifique des activités du chantier.....	31
5.1. Description des activités de construction	31
5.2. Croisement des activités du chantier avec les niveaux de bruit perçus.....	32
5.3. Estimation des niveaux sonores émis par le chantier	36
5.3.1. Protocole de traitement	36
5.3.2. Choix des périodes travaux	37
5.3.3. Analyse du bruit reçu	37
5.3.3.1. Phase : Tirage des ancres	37
5.3.3.2. Phase : installation des lignes d'ancrage	41
5.3.4. Inversion acoustique et estimation des niveaux à la source.....	44
6. Détection des signaux biologiques	49
6.1. Connaissances biologiques.....	49
6.1.1. Rappel sur la classification scientifique des espèces.....	49
6.1.2. Fréquentation a priori du site par les mammifères marins	50
6.1.3. Signature acoustique des cétacés	52
6.1.3.1. Sons émis par les Delphinidés.....	52
6.1.3.2. Sons émis par les Balénoptéridés	55
6.1.3.3. Sons émis par les Physétéridés	56
6.2. Portée de détection des enregistreurs acoustiques.....	56
6.3. Procédé de traitement bioacoustique.....	58



6.3.1. Algorithmes de détection et d'identification des événements sonores	59
6.3.1.1. Détection des signaux biologiques transitoires	59
6.3.1.2. Détection des signaux biologiques impulsifs	60
6.3.2. Validation des événements sonores	60
6.4. Résultats	60
6.4.1. Campagne du 14/11/2023 au 11/12/2023	61
6.4.1.1. Fréquentation du site par les mammifères marins	61
6.4.1.2. Comportements observés	65
6.4.1.3. Classification des signaux biologiques détectés	65
6.4.1.4. Synthèse de la fréquentation du site	66
6.4.2. Analyse en regard des activités du chantier	67
6.4.3. Analyse en regard de l'état initial (période du 02/08/2017 au 05/09/2017)	71
6.5. Limites et difficultés rencontrées	74
6.5.1. Traitement des données	74
6.5.2. Représentativité de la mesure	74
6.5.2.1. Portée de détection et représentativité spatiale	74
6.5.2.2. Comportement de l'animal et dénombrement	75
6.5.3. Algorithme de détection automatique	75
7. Conclusions	76
7.1. Analyse des niveaux sonores du chantier	76
7.2. Comparaison aux hypothèses de l'étude d'impact	77
7.3. Analyse de la fréquentation et du comportement des mammifères marins pendant le chantier	78
7.4. Prochaines étapes	79
8. Bibliographie	81
9. Annexes	83
9.1. Annexe 1 : Fiche protocole acoustique	83
9.2. Annexe 2: Empreinte sonore des différents ateliers suivis lors de la pose des ancrages	84



Table des Figures

Figure 1 : Contexte géographique de l'étude.	11
Figure 2 : Échelle qualitative des niveaux sonores émis (en dB ref 1μPa @1m) et fréquences des sources sonores anthropiques, biologiques et naturelles dans le milieu marin. (source : OSPAR).....	13
Figure 3 : Composition du chorus sonore sous-marin.	14
Figure 4 : Synthèse des niveaux de bruit typiques en fonction de la fréquence et de la nature de la source de bruit. Ces valeurs peuvent être très dépendantes du site, de la saison et du contexte. (source : Dosits.org, 2016).....	15
Figure 5 : Emplacement géographique des stations acoustiques.	17
Figure 6 : Illustration d'un mouillage acoustique type déployé pour le projet EFGL.	17
Figure 7 : Enregistreur acoustique autonome (à gauche) et ligne instrumentée avec son panier (à droite).	18
Figure 8 : Evolution des niveaux intégrés dans la bande [20Hz ; 40kHz] mesurés lors du suivi (station R1 en haut, R2 en bas).....	24
Figure 9 : Corrélation du bruit permanent (orange) avec les conditions météorologiques (bleu) dans la zone d'étude lors du suivi.....	25
Figure 10 : En haut, spectrogramme illustrant le passage très proche du navire chantier Maersk Transporter de la station acoustique R1, dans la soirée du 25 novembre 2023. En bas, évolution simultanée du niveau sonore exprimé dans la bande 20Hz-5kHz.	28
Figure 11 : Répartition fréquentielle de l'énergie acoustique mesurée lors du suivi (à gauche). Répartition horaire des émergences sonores lors du suivi, au percentile 50% dans la bande 7.1-8.9kHz (à droite).	30
Figure 12 : Schéma de placement des éléments temporaires et dédiés lors de l'installation d'une éolienne flottante (source : EFGL).....	31
Figure 13 : (à gauche) Ancre DEA sur le pont du navire Maersk Mariner. (source : EFGL)	32
Figure 14 : (à droite) Navire Maersk Mariner en opération sur la zone de chantier EFGL le 20/11/2023. (source : Association les PEUPLES de la MER).....	32
Figure 15 : Navire Maersk Transporter mobilisé pour les opérations de tirage en tandem, de type AHTS. (source : Biotope).....	32
Figure 16 : Exemple de trace AIS des navires chantier dans la journée du 25 novembre 2023. ..	34
Figure 17 : Corrélation entre le niveau de bruit reçu lors des travaux pour différentes fréquences (en bleu) et la distance séparant les navires de chantier de la station acoustique R1 (Maersk Mariner en rouge, Maersk Transporter en noir).	35
Figure 18 : Protocole de traitement des données.	36



Figure 19 : Traces des navires de chantier lors de la phase de tirage des ancres ML2 des éoliennes E02 et E03. Période considérée : du 26/11/2023 05:00 UTC au 27/11/2023 00:00 UTC.	39
Figure 20 : Tirage des ancres le 26/11/2023. [A] Niveaux reçus en fonction de la fréquence (dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) de l'atelier (médiane en bleu et distribution dans l'aire grise) comparés au bruit ambiant médian (jaune) et au bruit ambiant de référence (noir, P10% +6dB) utilisé pour l'inversion acoustique. [B] En haut, spectrogramme (20Hz-10kHz, exprimé en dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) du bruit reçu lors de l'atelier. En bas, évolution du niveau large bande (20Hz-10kHz, dB ref $1\mu\text{Pa}^2$) correspondant.	40
Figure 21 : Traces du navire de chantier en phase d'installation des lignes d'ancrage.....	42
Figure 22 : Installation des chaînes d'ancrage du 29/11 au 02/12/2023. [A] Niveaux reçus en fonction de la fréquence (dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) de l'atelier (médiane en bleu et distribution dans l'aire grise) comparés au bruit ambiant médian (jaune) et au bruit ambiant de référence (noir, P10% +6dB) utilisé pour l'inversion acoustique. [B] En haut, spectrogramme (20Hz-10kHz, exprimé en dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) du bruit reçu lors de l'atelier. En bas, évolution du niveau large bande (20Hz-10kHz, dB ref $1\mu\text{Pa}^2$) correspondant....	43
Figure 23 : Illustration du calcul des pertes acoustiques à la fréquence 500 Hz.	44
Figure 24 : Estimation des niveaux de source émis à 1 m en fonction de la fréquence, pour les ateliers étudiés (dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ @1m). Les valeurs médianes sont tracées en bleu, et les dispersions sont tracées en gris (clair : min/max, foncé : médiane $\pm \sigma$).	46
Figure 25 : Cartographie de l'empreinte sonore large bande (11Hz-5.65kHz) des empreintes sonores lors du tirage des ancres et de l'installation des chaînes d'ancrage.....	47
Figure 26 : Spectres médians des niveaux émis pour les ateliers étudiés (à gauche), gabarit utilisé lors de l'étude d'impact (à droite), exprimés en dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ @1m.	48
Figure 27 : Schéma de la classification scientifique des espèces océaniques et marines de mammifères (source : Quiet-Oceans).	50
Figure 28 : (à gauche) Famille des Delphinidés – Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>). (source : EcoOcéan Institut).....	52
Figure 29 : (à droite) Famille des Delphinidés – Dauphin commun (<i>Delphinus delphis</i>). (source : NOAA)	52
Figure 30 : (à gauche) Famille des Balénoptéridés – Rorqual commun (<i>Balaenoptera physalus</i>). (source : MICS)	52
Figure 31 : (à droite) Famille des Physétéridés – Cachalot (<i>Physeter macrocephalus</i>). (source : AMP)	52
Figure 32 : Sifflements de Delphinidés émis entre 2 kHz et 25 kHz. (source : Quiet-Oceans)	53
Figure 33 : Clics de Delphinidés émis entre 10 kHz et 180 kHz. (source : Quiet-Oceans)	53
Figure 34 : Pulses (downsweep) émis par un Rorqual commun (<i>Balaenoptera physalus</i>) entre 20 et 40 Hz (source : Quiet-Oceans, enregistrement recueilli le 09/09/2018 via un hydrophone positionné à 35 m de profondeur en mer Méditerranée).	55



Figure 35 : Pulses émis par le Rorqual commun (<i>Balaenoptera physalus</i>). (A) 20-Hz pulse (single), (B) 20-Hz pulse (doublet), (C) backbeat, (D) 130-Hz upsweep, (E) downsweep chirp (source : Garcia et al., 2020).	56
Figure 36 : Clics de Cachalot macrocéphale (<i>Physeter macrocephalus</i>) entre 2 et 30 kHz. (source : Quiet-Oceans)	56
Figure 37 : Portées de détection des enregistreurs acoustiques pour le Grand dauphin, à 25% et 75% du temps.	58
Figure 38 : Procédure générale appliquée à la donnée brute pour le traitement bioacoustique des enregistrements sonores.	59
Figure 39 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque station (R1 et R2) entre le 14 novembre et 11 décembre 2023.	62
Figure 40 : Clics de communication et buzz associés à quelques clics d'échololocation émis par les Delphinidés, à proximité de la station R1. Enregistrement du 10/12/2023 vers 19h38 UTC.	62
Figure 41 : Trains de clics de communication émis par les Delphinidés entre 15 kHz et 70 kHz, à proximité de la station R2. Enregistrement du 10/12/2023 vers 19h38 UTC.	62
Figure 42 : Trains de clics d'échololocation, buzz et sifflements émis par les Delphinidés évoquant un épisode de communication intense à proximité de la station R2. Enregistrement du 09/12/2023 vers 00h11 UTC.	63
Figure 43 : Périodes de détections des pulses émis par les Rorquals communs (<i>Balaenoptera physalus</i>) en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque station (R1 et R2) entre le 14 novembre et 11 décembre 2023.	64
Figure 44 : Pulses émis seul par un Rorqual commun, <i>Balaenoptera physalus</i> , entre 23 Hz et 17 Hz (« 20-Hz signal ») à proximité de la station R1. Enregistrement du 16/11/2023 vers 14h27 UTC.	64
Figure 45 : Pulses émis seul par un Rorqual commun, <i>Balaenoptera physalus</i> , entre 23 Hz et 17 Hz (« 20-Hz signal ») à proximité de la station R2. Enregistrement du 16/11/2023 vers 15h51 UTC.	64
Figure 46 : Sifflements émis par le Grand Dauphin entre 5 et 15 kHz, à proximité de la station R1. Enregistrement du 06/12/2023 vers 01h38 UTC.	66
Figure 47 : Sifflements émis par le Grand Dauphin entre 5 et 15 kHz, à proximité de la station R2. Enregistrement du 03/12/2023 vers 14h42 UTC.	66
Figure 48 : Sifflements de très faible intensité émis par un dauphin sp., à proximité de la station R1. Enregistrement du 07/12/2023 vers 18h25 UTC.	66
Figure 49 : Position théorique (étoile jaune) de l'enregistreur acoustique déployé dans l'aire d'étude immédiate du projet lors de l'état initial réalisé en été 2017 par la société SOMME. (source : SOMME, 2018)	72



Liste des Tableaux

Tableau 1 : Identification des stations de suivi acoustique.	16
Tableau 2 : Caractéristiques techniques de l'enregistreur SoundTrap.	19
Tableau 3 : Caractéristiques techniques de la sonde CTD.	20
Tableau 4 : Profils de célérité en fonction de la position et comparaison aux données de la base mondiale CMEMS.	21
Tableau 5 : Synthèse des informations sur les LEG réalisés durant cette étude	22
Tableau 6 : Synthèse des données acoustiques collectées durant la campagne du 14/11/2023 au 11/12/2023.	23
Tableau 7 : Statistiques des niveaux sonores (20Hz -40 kHz) à la station R1 (exprimés en dB ref 1μPa ²) lors du suivi	26
Tableau 8 : Statistiques des niveaux sonores (20Hz -40 kHz) à la station R2 (exprimés en dB ref 1μPa ²) lors du suivi.	26
Tableau 9 : Statistiques des niveaux sonores (20Hz -40 kHz) à la station R1 (exprimés en dB ref 1μPa ²) lors des travaux.	27
Tableau 10 : Statistiques des niveaux sonores (20Hz -40 kHz) à la station R2 (exprimés en dB ref 1μPa ²) lors des travaux.	27
Tableau 11 : Définition des périodes temporelles et des station retenues pour l'inversion acoustique.	37
Tableau 12 : Estimation des niveaux à la source intégrés dans la bande 20Hz-40kHz (dB ref 1μPa ² @1m) pour chaque atelier et comparaison à l'étude d'impact.	48
Tableau 13 : Synthèse des données concernant les mammifères marins susceptibles d'être présents au large du golfe du Lion et à proximité des zones d'étude. (source : Quiet-Oceans)	51
Tableau 14 : Exemple de la diversité de sifflements émis par les Delphinidés avec le spectrogramme des émissions des espèces supposées présentes au large du golfe du Lion.	54
Tableau 15 : Synthèse des portées de détection pour chaque zone d'étude en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes à proximité des zones d'études durant l'hiver 2023.	58
Tableau 16 : Définition des indicateurs de la fréquentation par les mammifères marins adaptés à la durée d'acquisition.	60
Tableau 17 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins entre le 14 novembre et 11 décembre 2023 au niveau des stations de mesure R1 et R2. Ces résultats ont été obtenus à la suite de l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement en continu).	67
Tableau 18 : Synthèse de la présence d'activités journalières liées à la phase d'installation du projet et la présence de mammifères marins sur site.	70



Tableau 19 : Synthèse des résultats quant à la présence de mammifères marins durant l'état initial (été 2017 – SOMME, 2018) et la phase d'installation du projet (automne 2023). Les résultats de la phase d'installation du projet ont été obtenus à la suite de l'analyse des détections réalisées par les enregistreurs acoustiques (enregistrement en continu). 73

Tableau 20 : Synthèse des résultats quant à la présence acoustique des mammifères marins au niveau de chacune des stations d'étude. Ces résultats ont été obtenus à la suite de l'analyse des détections réalisées par les enregistreurs acoustiques (enregistrement en continu). 79



1. Présentation de l'étude

Quiet-Oceans est en charge des mesures acoustiques nécessaires d'une part à l'évaluation des niveaux sonores induits par la phase d'installation des ancres du projet des Eoliennes Flottantes du Golfe du Lion (EFGL) (mesure SC8 : Suivi des émissions acoustiques sous-marines engendrées par l'installation et le fonctionnement du Projet), et d'autre part à la caractérisation de la fréquentation des mammifères marins à proximité de la zone de travaux (mesure SC9 : Analyse acoustique opportuniste de la présence des mammifères marins par hydrophone) pendant ces deux phases.

Cette étude fait suite à l'état initial acoustique réalisé par la société SOMME en 2017 (SOMME, 2018) et à l'étude d'impact sur l'environnement produite par BRLi en 2018.

Les objectifs de cette étude en phase d'installation des ancres sont de :

- Mettre en œuvre un suivi par acoustique passive à l'aide d'enregistreurs autonomes ;
- Caractériser les niveaux de bruit physique et leur variation dans le temps ;
- Cartographier l'empreinte sonore des travaux ;
- Estimer les effets des travaux en regard de l'étude d'impact sur l'environnement ;
- Caractériser la fréquentation du site par les mammifères marins et les comportements associés.

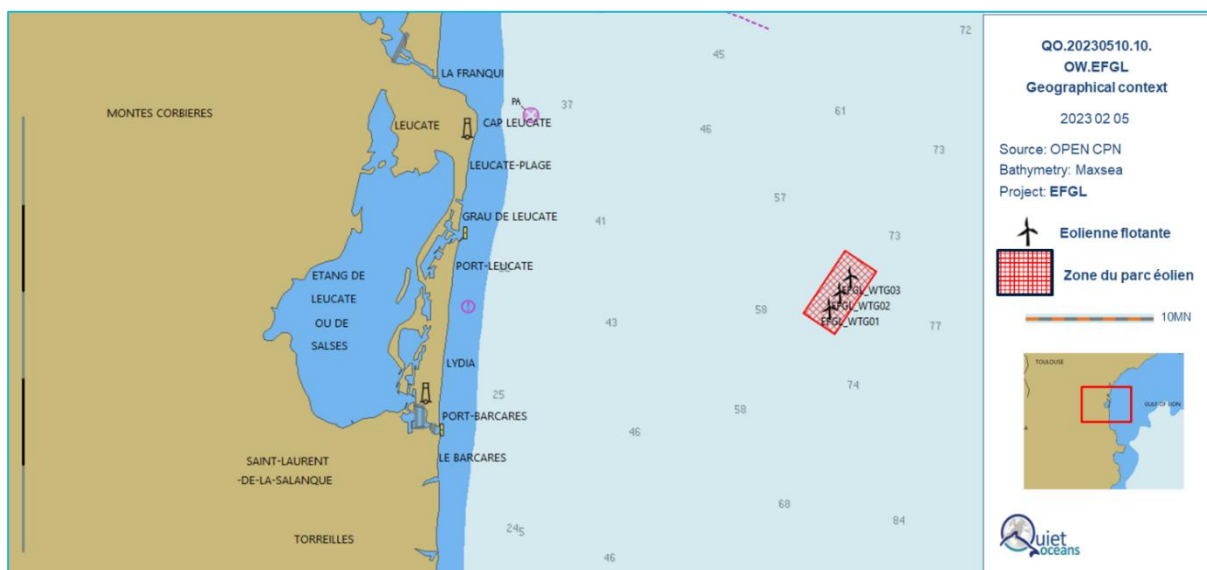


Figure 1 : Contexte géographique de l'étude.



2. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de familiariser le lecteur avec les grands principes de l'acoustique sous-marine afin de faciliter la compréhension de l'étude. Il fait référence à des termes spécifiques au domaine de l'acoustique sous-marine. Nous invitons le lecteur à se référer au lexique disponible au début du document.

2.1. La problématique du bruit sous-marin

Le monde sous-marin est tout sauf silencieux et est composé d'un chorus sonore regroupant trois familles de bruit : les bruits naturels (vagues, craquements sismiques...), les bruits biologiques (mammifères marins et autre biodiversité marine), et les bruits anthropiques (activités humaines, trafic maritime...).

Ces bruits sont de nature bien différente selon les endroits, les saisons, les conditions climatiques, l'heure de la journée, etc. Ainsi, le bruit sous-marin constitue une composante physique à évaluer dans un contexte géographique donné et dont les modifications peuvent potentiellement entraîner des conséquences sur l'écosystème et certains organismes marins sensibles à la pression.

Les niveaux de bruit sous-marin ne sont pas à comparer avec les niveaux de bruit aérien. En effet, le niveau de référence est de 1 μPa en acoustique sous-marine, contre 20 μPa dans l'air. De plus, avec une densité environ 1 000 fois plus élevée que l'air, le milieu océanique est considéré comme un milieu de propagation incompressible contrairement à l'air. Ainsi, toute comparaison est à proscrire.

La **Figure 2** donne, à titre illustratif, une échelle de niveaux sonores émis typiques, soit par les activités humaines, soit par la faune marine, soit par les conditions environnementales.



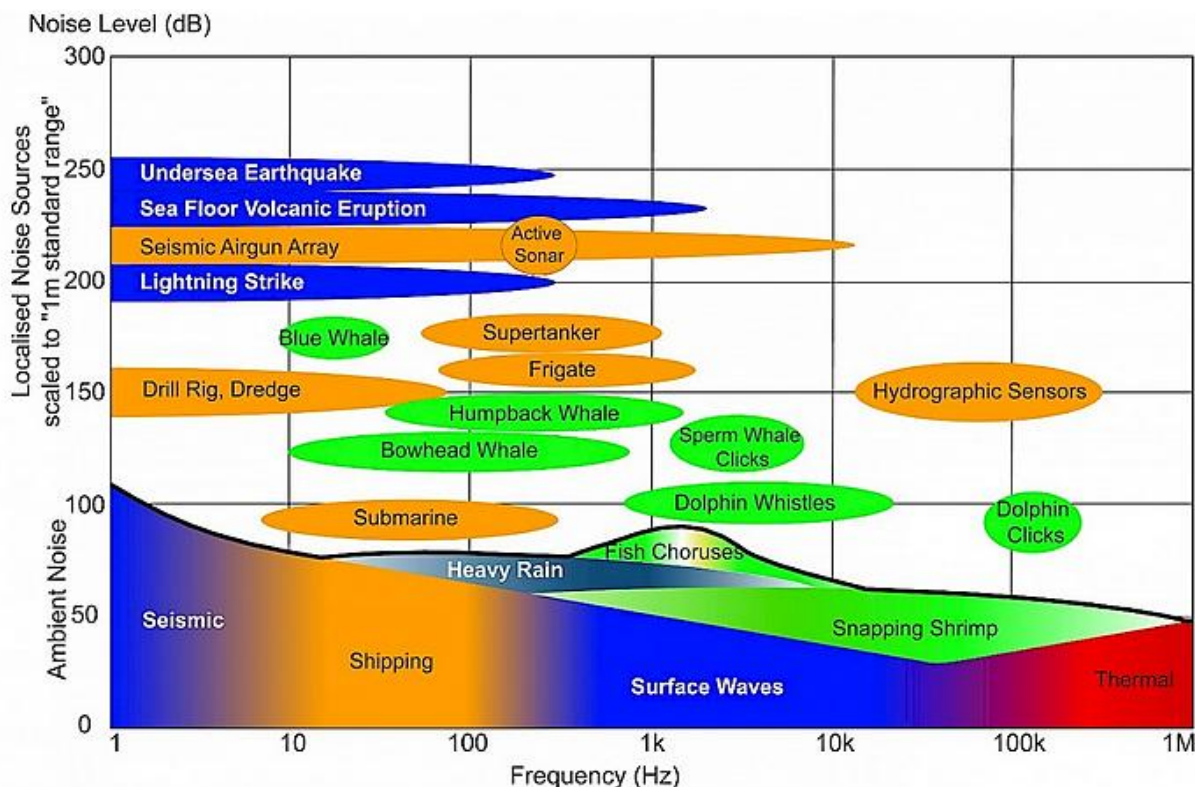


Figure 2 : Échelle qualitative des niveaux sonores émis (en dB ref 1µPa @1m) et fréquences des sources sonores anthropiques, biologiques et naturelles dans le milieu marin. (source : OSPAR)

2.2. Qu'est-ce que le chorus sonore sous-marin ?

Le bruit sous-marin est un véritable chorus sonore où des bruits de différentes natures et origines se mélangent :

- Les bruits naturels ou géophonie regroupent les bruits issus des craquements de la Terre, des déplacements des sédiments marins, du déferlement des vagues, des précipitations, etc.
- Les bruits biologiques ou biophonie regroupent les bruits d'origine biologique générés par la faune marine ;
- Les bruits anthropiques, ou anthropophonie, sont les bruits d'origine humaine générés par les activités maritimes.

Tous ces bruits interagissent les uns avec les autres, se dominent les uns par rapport aux autres pour former le contexte sonore d'une aire d'étude (**Figure 3**). La **Figure 4** synthétise les niveaux sonores typiques en dB ref 1µPa²/Hz en fonction de leur origine (anthropique, environnementale ou biologique) et en fonction de la gamme de fréquence (Dosits.org, 2016). L'ensemble des sources sonores contribue au bruit ambiant avec une prédominance très variable en fonction de la fréquence, des conditions environnementales, des activités humaines et du contexte local.



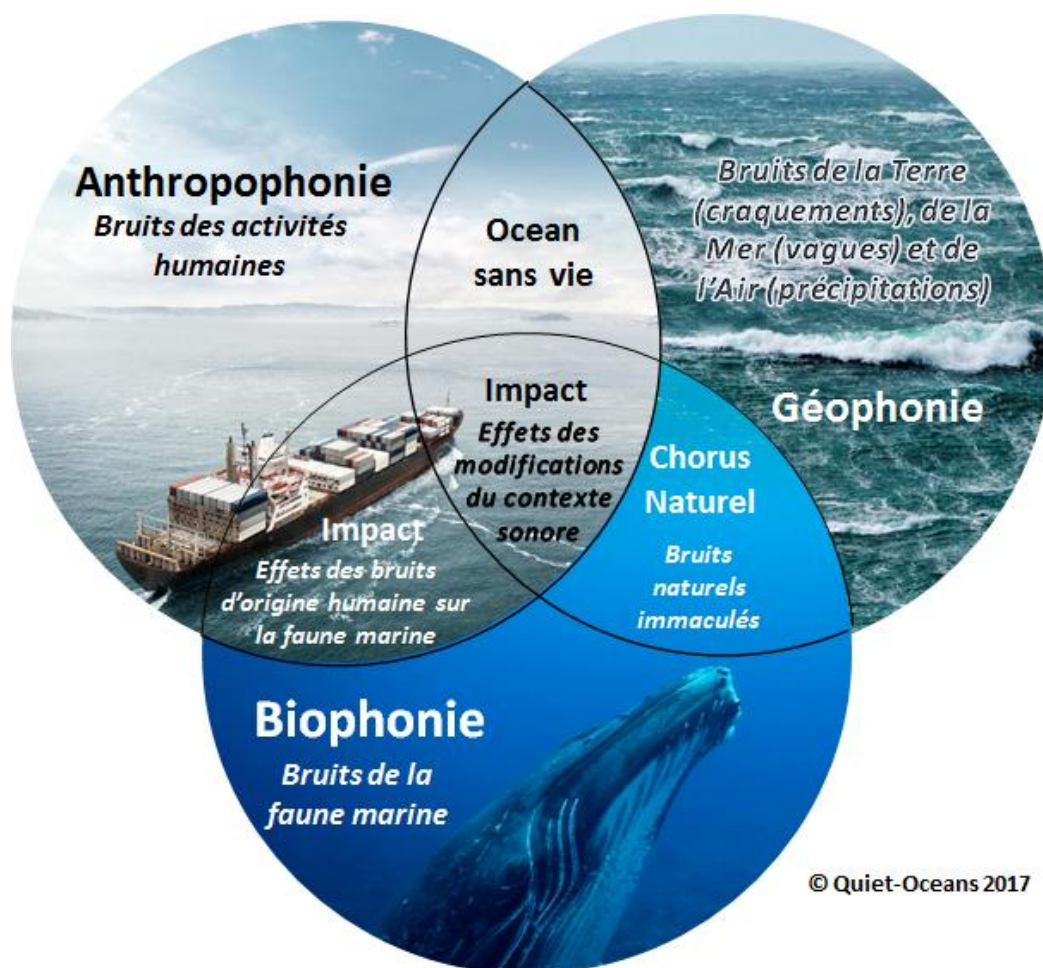


Figure 3 : Composition du chorus sonore sous-marin.

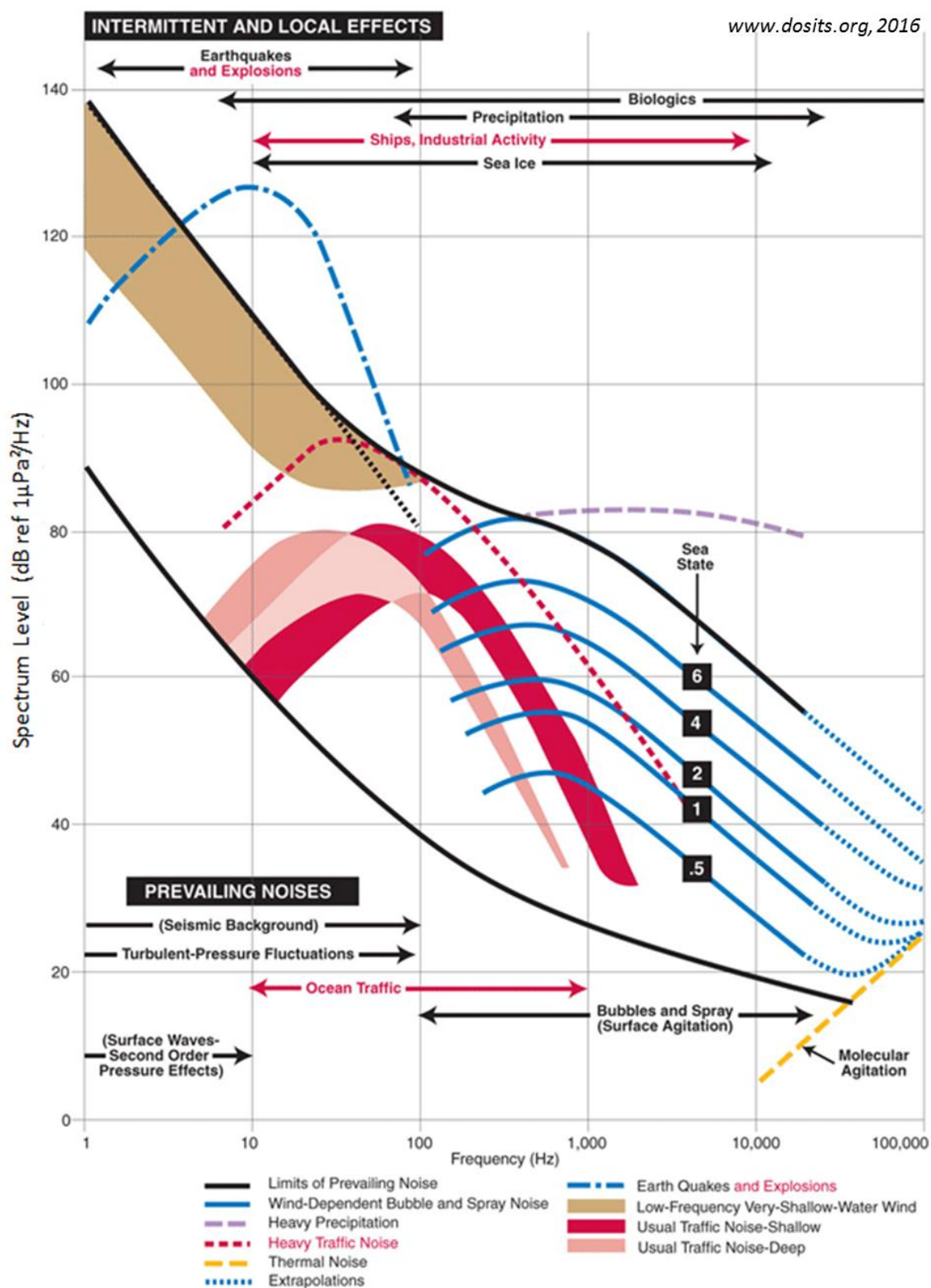


Figure 4 : Synthèse des niveaux de bruit typiques en fonction de la fréquence et de la nature de la source de bruit.
Ces valeurs peuvent être très dépendantes du site, de la saison et du contexte. (source : Dosits.org, 2016)



3. Protocole de mesures acoustiques

Afin de qualifier le bruit existant et caractériser la fréquentation du site par les mammifères marins lors de la phase d'installation, un protocole de suivi acoustique a été défini en concertation avec LEFGL et les parties prenantes. Ce protocole impose des mesures par acoustique passive au niveau de deux stations, concomitantes avec les travaux d'installation des ancrages. Ces deux stations sont situées dans l'emprise de la concession.

Pour chacune de ces mesures par acoustique passive, deux mouillages équipés d'un enregistreur acoustique autonome immergé à une profondeur intermédiaire dans la colonne d'eau ont été déployés (cf. **Figure 6**).

Chacun de ces systèmes acoustiques est déployé pour une durée de 30 jours, avec une proportion de temps d'acquisition (ou *duty cycle*) de 100%, soit une acquisition continue du signal acoustique. Le **Tableau 1** donne les caractéristiques des stations de suivi acoustique représentées en **Figure 5**.

A l'aide d'une sonde CTD, des mesures du profil de célérité (température et salinité) ont été menées lors des déploiements et récupérations des enregistreurs acoustiques afin de recueillir les variations du profil de célérité dans la zone du projet. Ces mesures permettront de valider l'utilisation des données océanographiques issues de la plateforme CMEMS pour cartographier le bruit ambiant sur zone. Le profil de célérité conditionne la propagation sonore.

LOCALISATION	IDENTIFIANT PROJET (STATION)	SYSTEME ACOUSTIQUE	SUPPORT
Dans l'emprise de la concession, à 340 m de la ligne d'ancrage E01-ML1	R1	Enregistreur autonome	Ligne instrumentée
Dans l'emprise de la concession, à 720 m de la ligne d'ancrage E01-ML1	R2	Enregistreur autonome	Ligne instrumentée

Tableau 1 : Identification des stations de suivi acoustique.



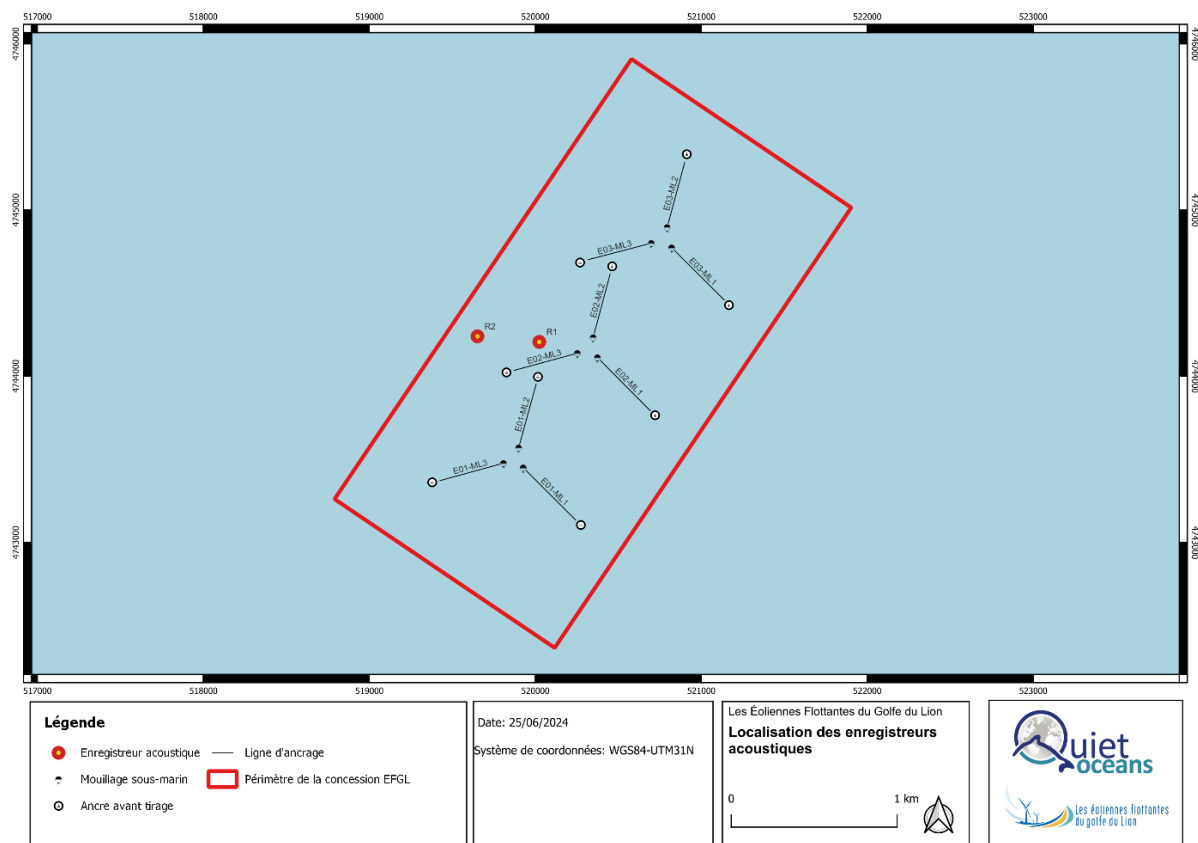


Figure 5 : Emplacement géographique des stations acoustiques.

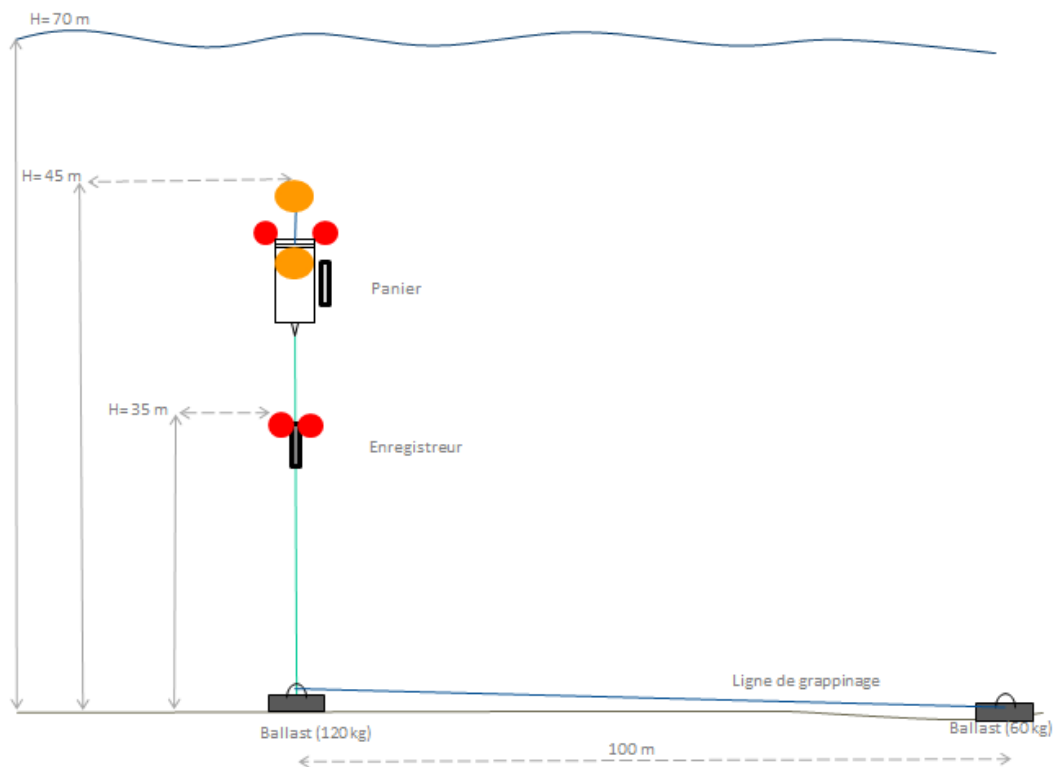


Figure 6 : Illustration d'un mouillage acoustique type déployé pour le projet EFGL.



3.1. Les systèmes de mesure

Des enregistreurs acoustiques autonomes sont utilisés pour capturer une série temporelle significative. Une sonde CTD, déployée ponctuellement, permet d'obtenir localement le profil de célérité du son dans la colonne d'eau.

3.1.1. Enregistreurs acoustiques autonomes

Le système de mesure mis en œuvre lors des suivis par acoustique passive est un enregistreur autonome. Ce dernier est équipé d'un hydrophone qui permet de capter la diversité des sons, de quantifier les niveaux sonores et de caractériser les signatures acoustiques émises par la faune marine en post-traitement.

L'enregistreur acoustique utilisé dans cette étude est un SoundTrap produit par la société Ocean Instruments et est intégré sur une ligne de mouillage équipé d'un flotteur subsurface (**Figure 7** et **Tableau 2**). Les caractéristiques techniques de cet enregistreur acoustique sont conformes aux recommandations listées en section 3.5 du document de référence *QUIETMED, D3.5 Best practice guidelines on continuous underwater noise measurement (criterion D11C2), 2018*.

L'enregistreur mesure le signal acoustique sur une bande de fréquences jusqu'à 180 kHz, suffisante pour caractériser :

- Les niveaux de bruit ambiant naturel ;
- Les bruits anthropiques liés en particulier aux opérations de construction et aux activités de pêche ;
- Les signatures acoustiques émises par les mammifères marins.

La sauvegarde des signaux bruts dans un disque de grande capacité permet de stocker l'équivalent de 30 jours de mesures continues (ou *duty cycle* de 100%). Ses caractéristiques techniques sont adaptées à l'étude des bruits biologiques sur la zone d'étude. Un tel système d'acquisition permet de collecter, sur une large plage temporelle et sur une large gamme de fréquence, la diversité des bruits présents dans la zone d'étude (bruits anthropiques, bruits naturels et bruits biologiques). Les traitements, détections et analyses effectués en laboratoire sur cette donnée brute peuvent être vérifiés et validés par un opérateur spécialisé.

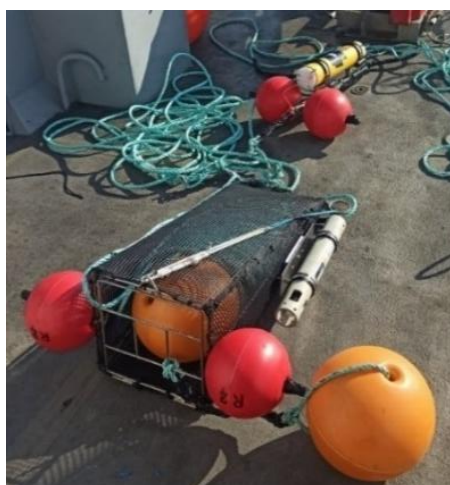


Figure 7 : Enregistreur acoustique autonome (à gauche) et ligne instrumentée avec son panier (à droite).

DESIGNATION	SOUNDTRAP ST 600 HF
Marque	Ocean Instruments
Autonomie	Jusqu'à 160 jours
Stockage	Jusqu'à 2To (90 jours mini)
Bande passante	20 Hz – 150 kHz
Sensibilité à la réception	-176 dB ref. 1V/μPA
Gain	0 dB
Fréquence d'échantillonnage	384 kHz
Résolution	16 bits
Format fichier	Format propriétaire (compression sans perte)

Tableau 2 : Caractéristiques techniques de l'enregistreur SoundTrap.

3.1.2. Sonde CTD

Une mesure par une sonde CTD, dont les caractéristiques sont présentées dans le **Tableau 3**, permet l'extraction du profil de vitesse du son au sein de la colonne d'eau.

Le **Tableau 4** synthétise pour chacune des campagnes de mesure les profils de célérité mesurés (courbes bleues) et les profils prédits par la plateforme CMEMS Copernicus Marine Environment Monitoring Service (courbes noires) aux mêmes emplacements et aux mêmes dates.

Globalement, ces profils montrent un bon accord entre les valeurs mesurées et les valeurs prédites par la plateforme de prédiction, la différence provient uniquement de l'écart absolu des valeurs. Ces écarts n'induisent pas d'augmentation quant à l'incertitude sur la cartographie du bruit. L'information prépondérante est la différence de vitesse relative dans la colonne d'eau qui influence l'orientation de la propagation des ondes acoustiques vers la surface dans le cas de la zone du Golfe du Lion. La différence des profils de célérité mesurés entre les deux LEGs provient très probablement de l'influence du courant de Ligure. Ces mesures valident de ce fait les données de prédiction de la plateforme CMEMS qui sont utilisées pour cartographier le bruit ambiant à l'échelle de la zone d'étude.



DESIGNATION	WISENS CTD300	
Marque	Garmin	
Profondeur (D)	Gamme : 300m – Précision : 0.15%	
Température (T)	Gamme : -2°C à +3°C – Précision : 0.005°C	
Conductivité (C)	Gamme : 0-70 mS/cm – Précision : 0,04 mS/cm	
Fréquence de mesure	1 Hz	
Format fichier	CSV	

Tableau 3 : Caractéristiques techniques de la sonde CTD.

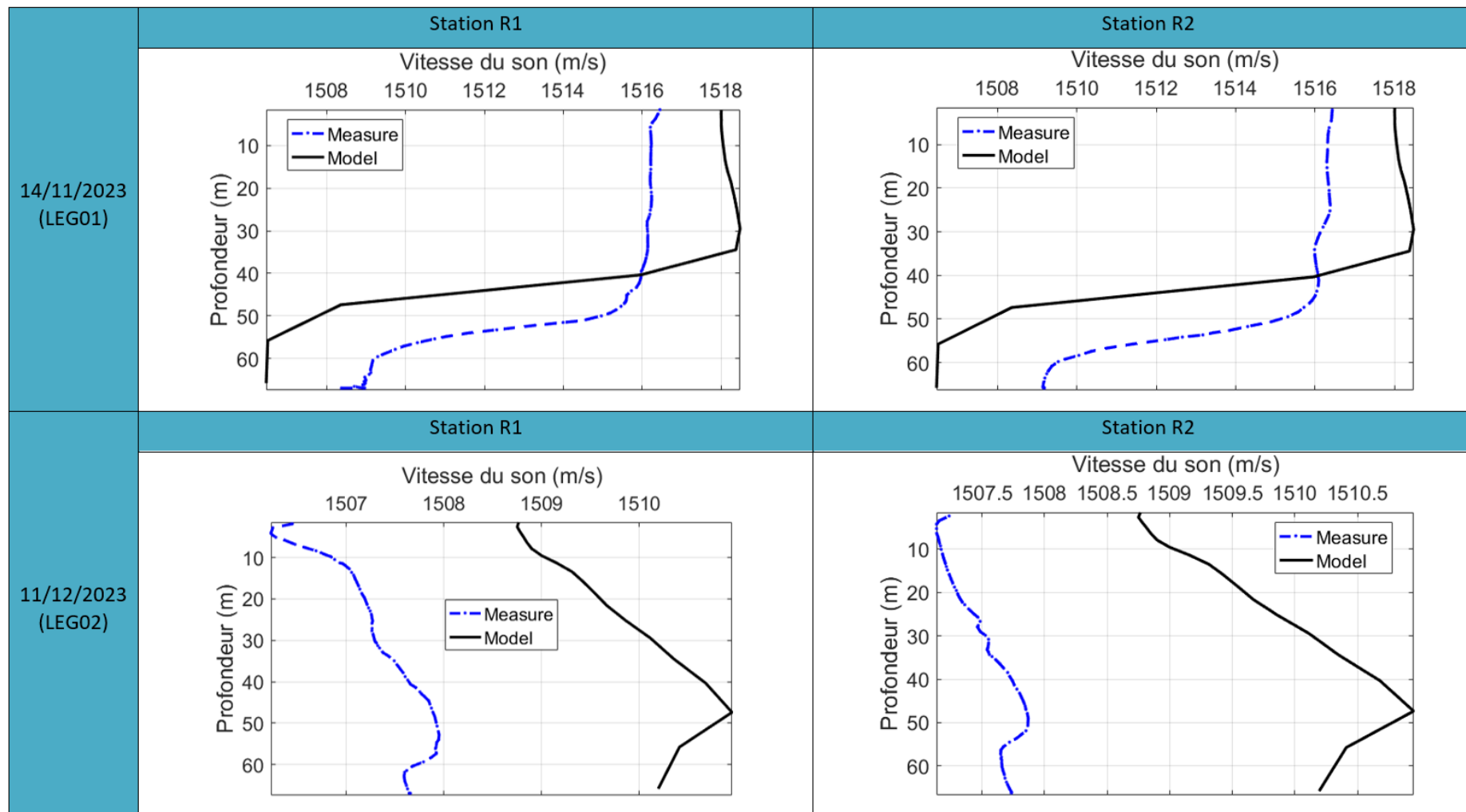


Tableau 4 : Profils de célérité en fonction de la position et comparaison aux données de la base mondiale CMEMS.



3.2. Données collectées

Pour les différentes campagnes de mesure, les paragraphes suivants font état des données collectées par les différents systèmes acoustiques déployés.

Afin d'aider à la compréhension de ce document, il faut distinguer :

- Un **LEG**, terme employé dans le domaine de l'instrumentation afin de caractériser une mission en mer sur une ou plusieurs journées. En d'autres termes, le LEG correspond aux opérations de relevage et/ou de déploiement des systèmes acoustiques (enregistreur) sur site et donc à une sortie bateau ;
- Une **CAMPAGNE** qui correspond à une période d'enregistrement des données.

Le **Tableau 5** synthétise les informations générales sur les LEG réalisés durant cette étude, à savoir le numéro de campagne (période de données collectées) associé à chaque LEG ainsi que l'activité correspondante (déploiement et/ou relevage des systèmes acoustiques).

N° LEG	N° CAMPAGNE CONCERNEE	DATE	ACTIVITE(S)	STATIONS CONCERNEES
01	01	14/11/2023	Déploiement	R1 et R2
02	01	11/12/2023	Relevage	R1 et R2

Tableau 5 : Synthèse des informations sur les LEG réalisés durant cette étude

3.2.1. Campagne du 14/11 au 11/12/2023

Durant cette période, un total de deux enregistreurs acoustiques passifs ont été déployés, soit un enregistreur acoustique au niveau de chaque station du 14 novembre au 11 décembre 2023. Le **Tableau 6** synthétise les données collectées par ces enregistreurs acoustiques pour chacune des zones d'étude. La durée en jour des données acquises est de 27 jours pour les enregistreurs des stations R1 et R2. Pour plus d'informations sur les conditions de déploiement et récupération des enregistreurs acoustiques, il est recommandé de consulter le document de compte rendu de mission suivant : *QO.20230510.10.CRM.002.02A.OW.EFGL.LEG02.pdf*.



Station	Nom enregistreur	Date de début	Date de fin	Durée campagne	Durée enregistrement (h)	Nb de fichiers	Quantité donnés (Go) ¹	Latitude	Longitude	Immersion système/fond (m)	Hauteur d' eau CM (m)
R1	ENR-097	14/11/2023	11/12/2023	27	27	908	458	042°51.012'N	003°14.693'E	35	66
R2	ENR-098	14/11/2023	11/12/2023	27	27	907	444	42° 51.029'N	003° 14.432'E	35	68

Données acoustiques collectées
 Données en attente de récupération
 Absence de données

¹ Les fichiers sont au format audio de type flac.

Tableau 6 : Synthèse des données acoustiques collectées durant la campagne du 14/11/2023 au 11/12/2023.



4. Analyse des niveaux sonores mesurés

Cette partie propose une analyse des niveaux sonores intégrés dans la bande filtrée de 20 Hz à 40 kHz ainsi qu'une caractérisation fréquentielle. Une analyse des niveaux sonores de la phase d'installation des lignes d'ancrage est réalisée à partir des données collectées par les enregistreurs acoustiques en chaque point de mesure.

4.1. Analyse statistique du bruit ambiant

La **Figure 8** montre l'évolution des niveaux sonores intégrés dans la bande de fréquence entre 20 Hz et 40 kHz, en fonction du temps (courbe bleue) pour chacune des stations lors de la période allant du 14 novembre au 11 décembre 2023. Cette bande de fréquence correspond aux fréquences prédominantes des émissions sonores anthropiques (navires de chantier, sondeur, activités de pêche, etc.), environnementales (houle, vent, vagues, déplacement sédimentaire, etc.) et biologiques (activité benthique, etc.). En complément, la courbe rouge superposée montre l'évolution du niveau de bruit permanent ou « pied de bruit » généralement conditionné par les contraintes météorologiques.

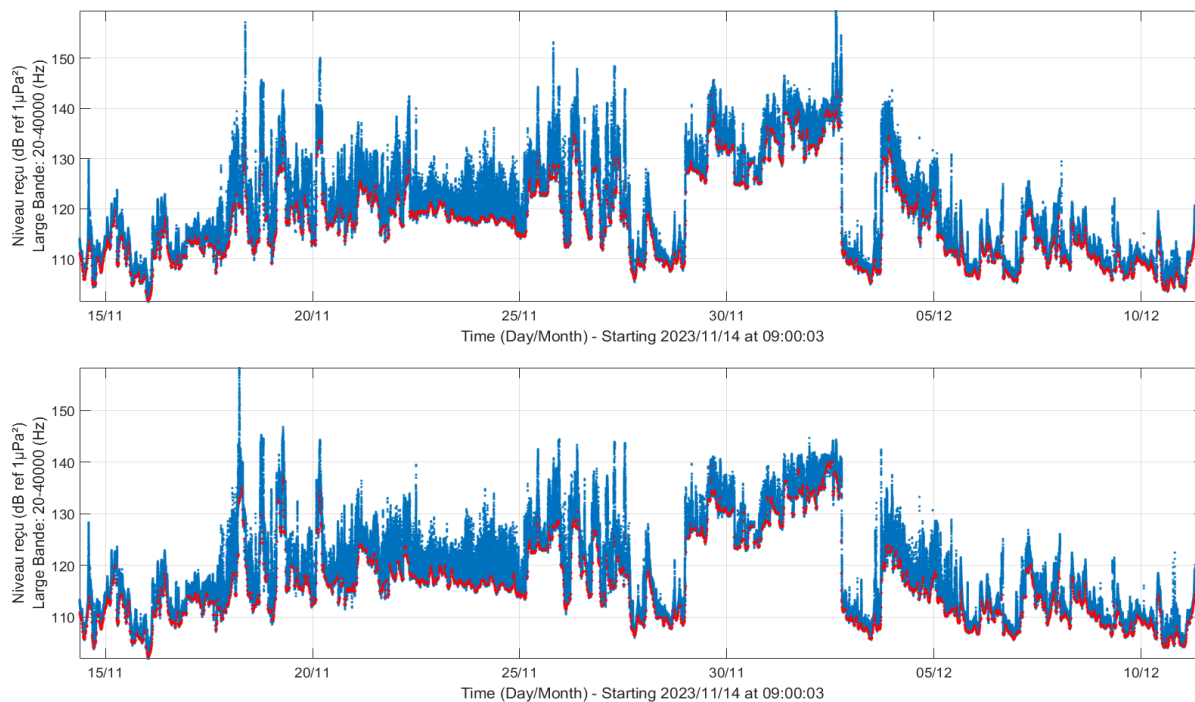


Figure 8 : Evolution des niveaux intégrés dans la bande [20Hz ; 40kHz] mesurés lors du suivi (station R1 en haut, R2 en bas).

En dehors des périodes de travaux effectifs, il apparaît que le bruit permanent fluctue entre 100 et 120 dB ref 1μPa² pour chacune des stations acoustiques. **Cet intervalle est cohérent avec le niveau médian de 110,5 dB re.1μPa² considéré pour définir l'empreinte acoustique du projet dans l'étude d'impact.**



Les facteurs les plus déterminants de ces variations correspondent aux phénomènes météorologiques, à savoir la vitesse du vent et la hauteur de vague, pour la majorité des fréquences étudiées (**Figure 9**). Par exemple, un coup de vent visible du 20 au 26 novembre fait augmenter la vitesse du vent à 17 m/s, ainsi que la hauteur de vague à environ 2 m. Cette dégradation des conditions météorologiques se traduit par des augmentations des niveaux de bruit permanent à 107 dB ref 1 μ Pa² à la fréquence de 160 Hz et 92 dB ref 1 μ Pa² à la fréquence de 5 kHz. Cette augmentation est partiellement masquée à 160 Hz en raison du stationnement des navires projet (Maersk Mariner et Maersk Transporter) à une distance d'environ 750 m des capteurs.

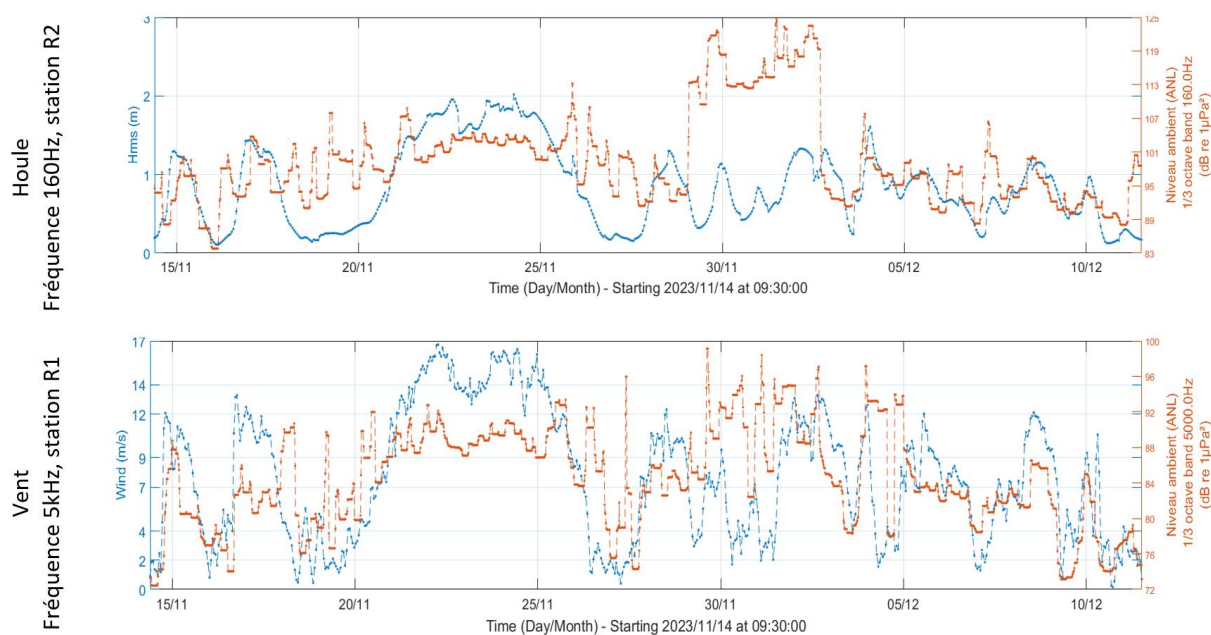


Figure 9 : Corrélation du bruit permanent (orange) avec les conditions météorologiques (bleu) dans la zone d'étude lors du suivi.

Les deux capteurs ont perçu le bruit engendré par le transit des navires rattachés aux travaux de pose des ancrages du projet EFGL. Ces opérations ont conduit à des augmentations de longue durée (jusqu'à plusieurs jours) du bruit jusqu'à des niveaux compris entre 120 et 150 dB ref 1 μ Pa², selon la distance entre les navires de chantier et les capteurs acoustiques.

La signature acoustique prépondérante associée au passage des navires du chantier est observable à différentes périodes :

- Du 18 au 22 novembre ;
- Du 25 au 27 novembre ;
- Du 29 novembre au 2 décembre ;
- Du 3 au 5 décembre.

Lors de ces périodes, le bruit naturel est partiellement masqué par le bruit du chantier. Une analyse plus fine de la corrélation entre les activités liées à l'installation du parc éolien et les niveaux sonores perçus par les capteurs est présentée au Chapitre 5. En fonction de la distance entre les capteurs acoustique, les passages proches et ponctuels des navires rattachés au projet font épisodiquement émerger les niveaux sonores jusqu'à 159,4 dB ref 1 μ Pa².



Afin de synthétiser l'information sur les niveaux sonores à l'échelle du suivi, les **Tableau 7** et **Tableau 8** donnent la répartition statistique du bruit intégrés dans la bande de fréquence de 20 Hz à 40 kHz durant la période allant du 14 novembre au 11 décembre 2023, pour chaque station :

- Les niveaux faibles (99% du temps) sur cette période sont de 105,2 dB ref 1 μ Pa² (R1) et de 105,3 dB ref 1 μ Pa² (R2) ;
- Les niveaux médians (50% du temps) sur cette période sont de 117,4 dB ref 1 μ Pa² (R1) et de 118,5 dB ref 1 μ Pa² (R2) ;
- Les niveaux les plus forts et rares (percentile 1%) sur la période sont de 142,6 dB ref 1 μ Pa² (R1) et de 140,7 dB ref 1 μ Pa² (R2). En raison de son positionnement plus au centre de la concession, la station R1 perçoit des niveaux sonores supérieurs de 1,9 dB à ceux mesurés à la station R1 au percentile 1% ;
- La différenciation jour/nuite permet également de mettre en évidence un accroissement modéré des niveaux de bruits le jour (de +0,7 dB à +2,2 dB) pour la plupart des percentiles.

		NIVEAU TRES COURANT			NIVEAU MEDIAN			NIVEAU TRES RARE		
R1	Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
	Toute la période	101,5	105,2	108,6	111,6	118,5	125,8	134,2	142,6	159,4
	Jour	103,4	105,6	109,3	113,1	118,9	124,9	134,6	142,9	159,4
	Nuit	101,5	104,9	108,3	110,9	118	126,4	134	141,1	154,5
	Ecart Jour/Nuit	2	0,7	1	2,2	1	-1,6	0,6	1,8	4,9

Tableau 7 : Statistiques des niveaux sonores (20Hz -40 kHz) à la station R1 (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) lors du suivi

		NIVEAU TRES COURANT			NIVEAU MEDIAN			NIVEAU TRES RARE		
R2	Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
	Toute la période	101,9	105,3	108,8	111,6	117,4	124	132,4	140,7	158,3
	Jour	103,9	105,7	109,5	113,1	117,7	123,6	131,3	140,9	145,7
	Nuit	101,9	105,1	108,5	111	117	124,3	132,4	139,9	158,3
	Ecart Jour/Nuit	2	0,7	1	2,1	0,7	-0,8	-1,1	1	-12,6

Tableau 8 : Statistiques des niveaux sonores (20Hz -40 kHz) à la station R2 (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) lors du suivi.

De manière similaire, les **Tableau 9** et **Tableau 10** donnent la répartition statistique du bruit intégrés dans la bande de fréquence de 20 Hz à 40 kHz durant la durée des travaux, soit du 18 novembre au 05 décembre 2023, pour chaque station :

- Les niveaux faibles (99% du temps) sur cette période sont de 107,3 dB ref 1 μ Pa² (R1) et de 107,6 dB ref 1 μ Pa² (R2) ;
- Les niveaux médians (50% du temps) sur cette période sont de 122,8 dB ref 1 μ Pa² (R1) et de 121,2 dB ref 1 μ Pa² (R2) ;
- Les niveaux les plus forts et rares (percentile 1%) sur la période sont de 143,5 dB ref 1 μ Pa² (R1) et de 141,3 dB ref 1 μ Pa² (R2). En raison de son positionnement plus au centre de la concession, la station R1 perçoit des niveaux sonores supérieurs de 2,2 dB à ceux mesurés à la station R2 au percentile 1%.



Ces niveaux sont en augmentation par rapport aux niveaux statistiques sur l'échelle de la période qui intègrent des périodes sans présence des navires supports.

		NIVEAU TRES COURANT			NIVEAU MEDIAN			NIVEAU TRES RARE		
	Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
R1	Toute la période	104,9	107,3	111	117,8	122,8	129,8	136,7	143,5	159,4
	Jour	104,9	107,2	110,9	118,5	122,6	129,2	138,7	143,4	159,4
	Nuit	105,4	107,3	111,1	117,2	122,8	130,7	135,8	142,9	154,5
	Ecart Jour/Nuit	-0,5	-0,1	-0,2	1,3	-0,2	-1,4	3	0,5	4,9

Tableau 9 : Statistiques des niveaux sonores (20Hz -40 kHz) à la station R1 (exprimés en dB ref 1μPa²) lors des travaux.

		NIVEAU TRES COURANT			NIVEAU MEDIAN			NIVEAU TRES RARE		
	Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
R2	Toute la période	105,5	107,6	111	116,6	121,2	127,9	134,8	141,3	158,3
	Jour	105,5	107,4	110,9	117	121,1	127,4	135,3	141,3	145,7
	Nuit	106	107,6	111,1	116,2	121,2	128,3	134,3	140,6	158,3
	Ecart Jour/Nuit	-0,4	-0,2	-0,2	0,8	-0,1	-0,9	1	0,8	-12,6

Tableau 10 : Statistiques des niveaux sonores (20Hz -40 kHz) à la station R2 (exprimés en dB ref 1μPa²) lors des travaux.

Ainsi, en comparaison des mesures réalisées en 2017 (SOMME, 2018) pour l'état initial de l'étude d'impact, traduisant une médiane de 110,5 dB ref 1μPa² dans la bande 20Hz-30kHz, **les travaux induisent une augmentation médiane des niveaux sonores de +12,3 dB au niveau de la station R1 et de +10,7 dB au niveau de la station R2.** Cette différence n'est à priori pas attribuable à l'ajout de la bande [30 ; 40 kHz].

La partie haute de la **Figure 10** trace le spectrogramme du bruit perçu par le capteur acoustique de la station R1 lors du passage en transit simple du navire chantier Maersk Transporter à une distance d'environ 20 mètres, dans la soirée du 25 novembre 2023. La partie basse de cette figure trace l'évolution du niveau sonore intégré dans la bande [20Hz ; 5kHz], qui est habituellement la plus énergétique pour les navires en transit :

- Lors de l'approche, le niveau sonore augmente au fur et à mesure que la distance séparant le navire de l'hydrophone décroît. Une émergence basse fréquence (>1 kHz) est déjà visible, et correspond à la propulsion du navire ;
- Au minimum de distance (CPA, *Closest Point of Approach*), une augmentation courte (3 minutes) du niveau sonore est visible jusqu'à 152 dB ref 1μPa², dans une bande fréquentielle entre 20 Hz et 5 kHz avec un maximum d'énergie pour les fréquences inférieures à 1 kHz (machinerie du navire). Les émergences visibles entre 1,5 et 5 kHz correspondent au bruit de transmission (arbre, hélice, etc.) et ne sont perçues qu'à courte distance entre le navire et l'hydrophone ;
- Lors de l'éloignement, le niveau décroît avec la distance.



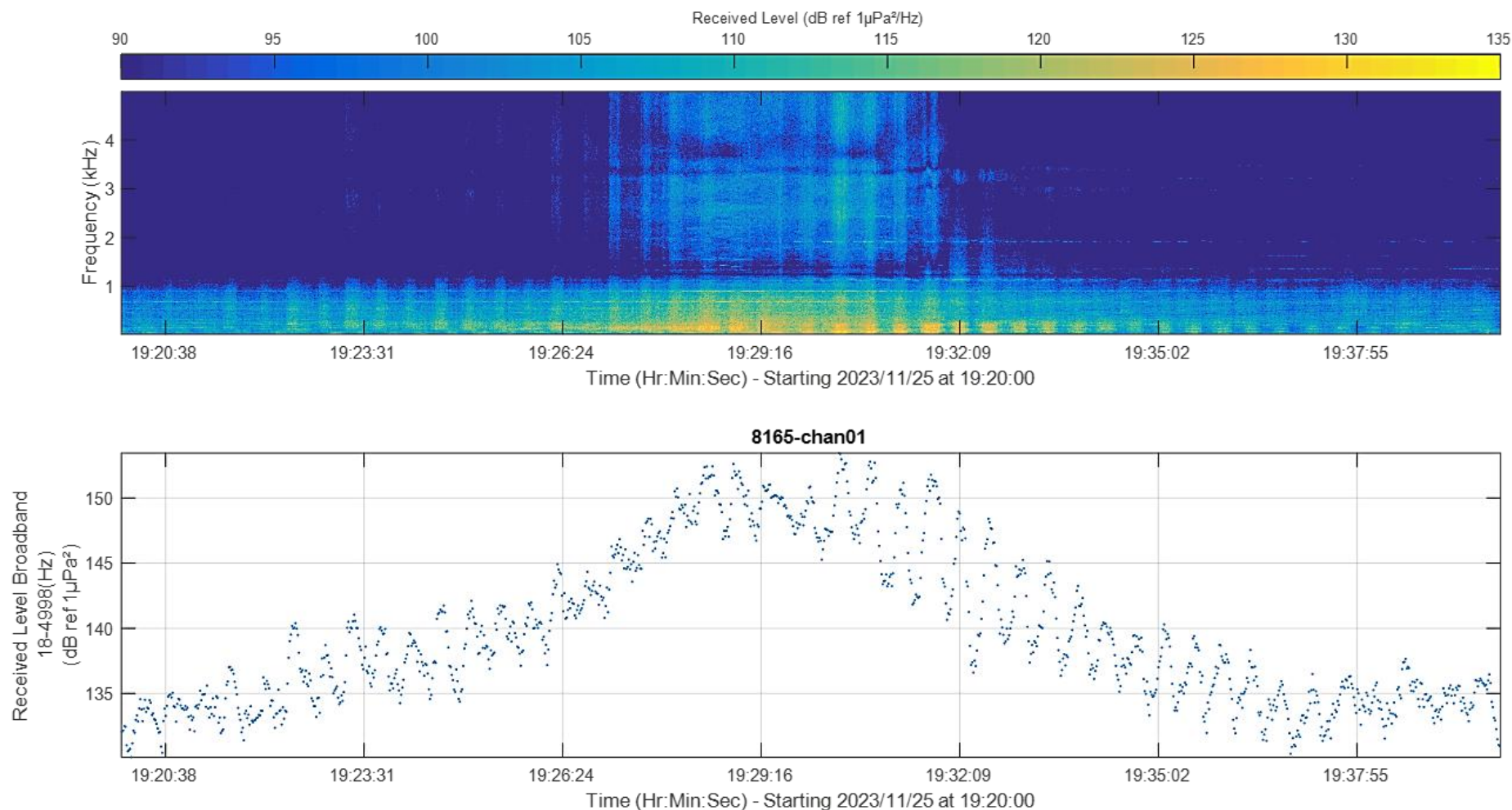


Figure 10 : En haut, spectrogramme illustrant le passage très proche du navire chantier Maersk Transporter de la station acoustique R1, dans la soirée du 25 novembre 2023. En bas, évolution simultanée du niveau sonore exprimé dans la bande 20Hz-5kHz.



4.2. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquence

La **Figure 11** (partie gauche) donne la répartition statistique fréquentielle de l'énergie sonore en fonction du point de mesure. Les courbes du modèle mondial de Wenz (courbes de référence) tracées en pointillés gris (Wenz, 1962) montrent l'état de référence acoustique d'un océan soumis uniquement au bruit environnemental.

- Concernant les percentiles forts (courbes vertes/violettes, percentiles inférieurs à 10%), l'influence des activités anthropiques est visible, notamment l'activité des navires de chantier lors des travaux de pose des ancrages, et crée une bosse de bruit significative entre 20 Hz et 1000 Hz avec des niveaux compris entre 90 et 120 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ pour les stations R1 et R2. A noter que la contribution acoustique des activités du chantier est visible jusqu'à la fréquence de 40 kHz, avec un profil de bruit reçu très proche entre les stations R1 et R2.
- L'allure des spectres aux percentiles médians à faibles (courbes jaunes/orange/bleue, percentiles supérieurs à 50%) est généralement corrélée au modèle de Wenz, ce qui n'est que partiellement le cas ici. En basse fréquence, la composante anthropique entre 20 et 1000 Hz reste visible avec des niveaux compris entre 60 et 85 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ pour le percentile 90%, et 70 et 90 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ pour le percentile 50%. Cette composante résulte ici de la compétition du trafic maritime extérieur au projet, et les activités des navires rattachés au projet. Les courbes montrent cependant une bonne corrélation avec le modèle de Wenz pour les fréquences comprises entre 1 et 4 kHz pour les percentiles 90 et 99%.
- Les spectres mettent en évidence l'activité des organismes benthiques, qui est visible par une bosse de bruit entre 4 et 30 kHz. Cette activité est observée au niveau des deux stations acoustiques avec des niveaux compris entre 48 et 55 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ selon la station étudiée.

Globalement, le bruit induit par les travaux a eu un effet sur la totalité du spectre du bruit reçu au moins 50% du temps. Une proportion comprise entre 10 et 50% du temps, les fréquences inférieures à 1000 Hz sont dominées par les activités anthropiques du chantier, tandis que les fréquences supérieures sont dominées par les effets météorologiques et les organismes benthique. Les stations R1 et R2 montrent une répartition spectrale du bruit reçu similaire, très probablement induite par la faible distance séparant les deux stations.

La partie droite de la **Figure 11** montre les variations horaires relatives des émergences sonores dans la bande de fréquence spécifique de 7,1 Hz à 8,9 kHz, au percentile 50%. Cette bande de fréquence est par opposition, représentative généralement de l'activité des organismes benthiques. Elle permet de mettre en évidence un accroissement relatif nocturne du niveau sonore, variant de +3 à +4 dB entre 18h00 et 06h00 UTC au niveau des stations R1 et R2.



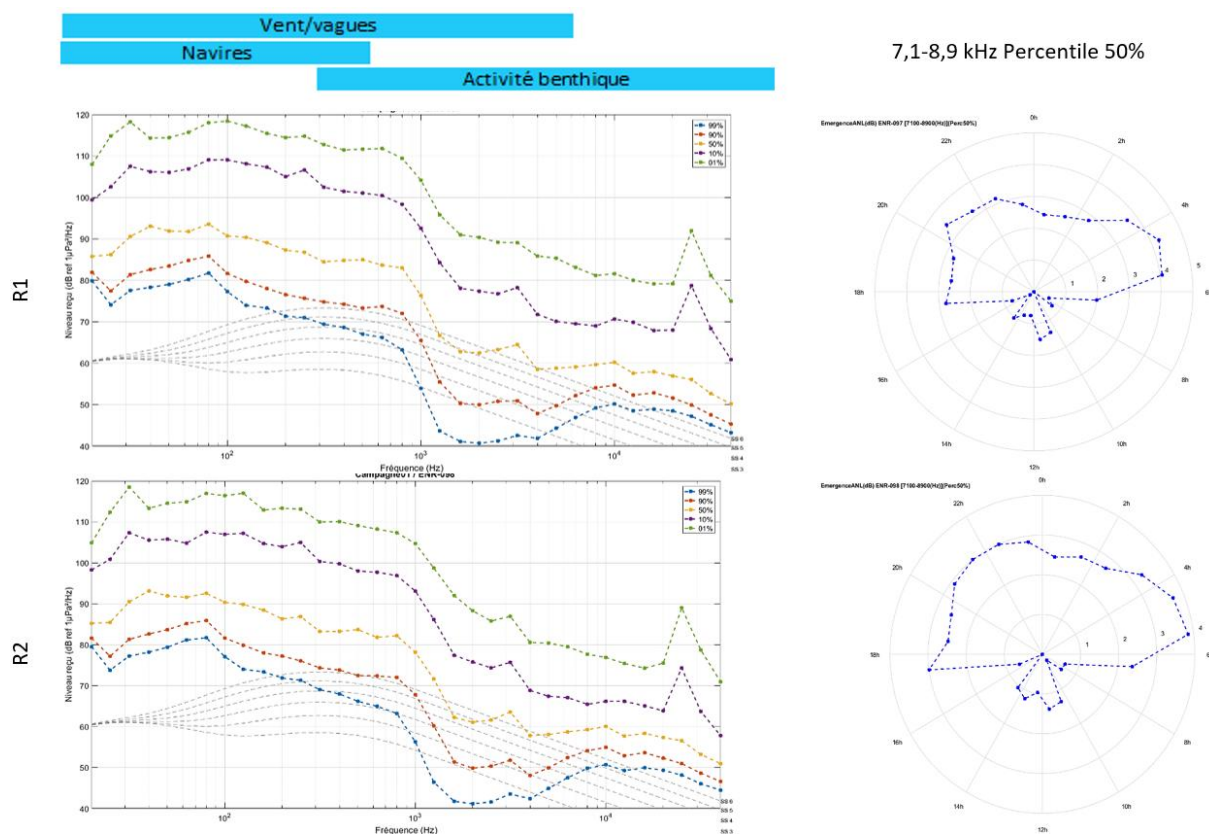


Figure 11 : Répartition fréquentielle de l'énergie acoustique mesurée lors du suivi (à gauche). Répartition horaire des émergences sonores lors du suivi, au percentile 50% dans la bande 7.1-8.9kHz (à droite).



5. Analyse spécifique des activités du chantier

Cette partie de l'étude vise à analyser la corrélation entre l'évolution des niveaux sonores perçus par les capteurs acoustiques et les activités spécifiques liées à l'installation des lignes d'ancrage du projet EFGL. Une analyse temporelle est proposée puis complétée par une étude par inversion acoustique pour estimer d'une part le niveau de source et d'autre part l'empreinte sonore de différents ateliers du projet en regard du bruit ambiant de référence.

5.1. Description des activités de construction

Conformément aux mesures de suivi SC8 et SC9 de l'étude d'impact, la période de suivi effective réalisée lors de cette étude comprend uniquement la phase de chantier la plus bruyante, à savoir le tirage des ancres et l'installation des lignes d'ancrage. Une brève explication de ces deux étapes est proposée ci-dessous (**Figure 12**) :

- Pour commencer, 9 ancres (**Figure 13**, trois par flotteur) assurant le positionnement futur du couple flotteur-éolienne sont déposées sur le fond avec des chaînes d'ancrage de 95 et de 152,4 mm. Elles sont ensuite mises en tension et tirées jusqu'à leur position nominale, par un navire de chantier (**Figure 14**) ou deux navires (**Figure 15**) dans le cas d'un tirage en tandem (tirage des ancres, partie haute de la **Figure 12**) ;
- Ensuite, des chaînes de 175 mm sont raccordées à l'ancre et aux chaînes d'ancrage déjà connectées, puis abandonnées (installation des chaînes, partie basse de la figure). L'ensemble de ces éléments sera ensuite raccordé au couple flotteur-éolienne via des lignes synthétiques, une fois le remorquage effectué.

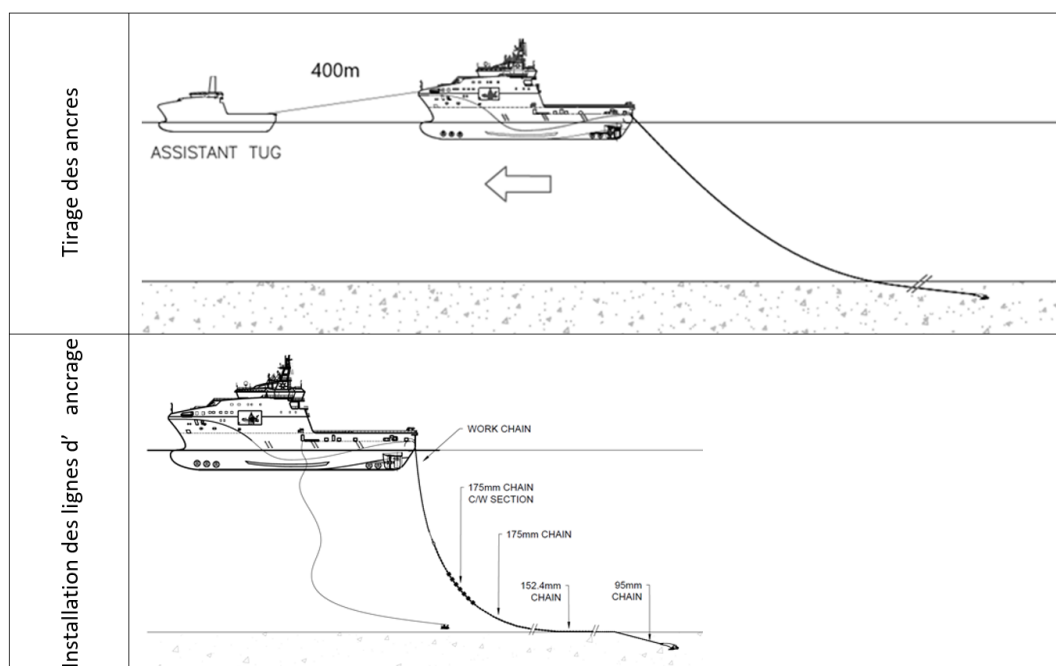


Figure 12 : Schéma de placement des éléments temporaires et dédiés lors de l'installation d'une éolienne flottante (source : EFGL).





Figure 13 : (à gauche) Ancre DEA sur le pont du navire Maersk Mariner. (source : EFGL)

Figure 14 : (à droite) Navire Maersk Mariner en opération sur la zone de chantier EFGL le 20/11/2023. (source : Association les PEUPLES de la MER)

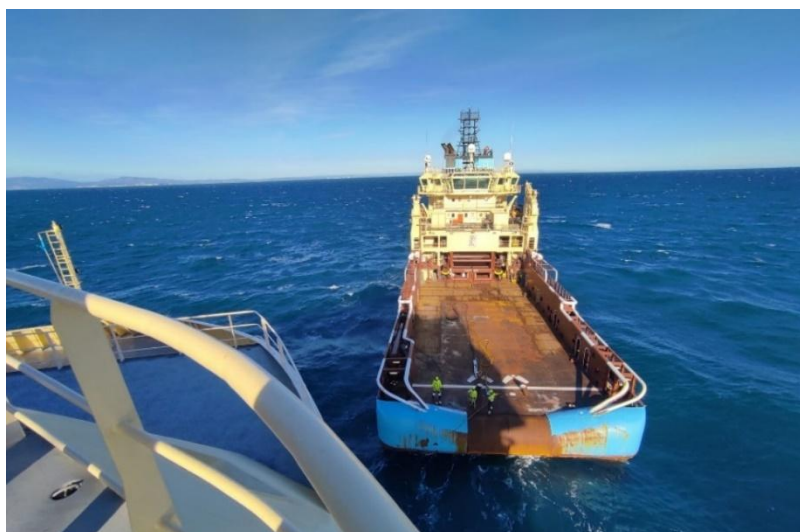


Figure 15 : Navire Maersk Transporter mobilisé pour les opérations de tirage en tandem, de type AHTS. (source : Biotope)

5.2. Croisement des activités du chantier avec les niveaux de bruit perçus

Sur la période des mesures acoustiques, la planification des activités de chantier a été communiquée par Ocean Winds à Quiet-Oceans par l'intermédiaire des DPR (*Daily Progress Report*). Ensuite, la distance séparant les navires de chantier des capteurs acoustiques a été déterminée par Quiet-Oceans en s'appuyant sur un rejeu de données AIS (exemple en **Figure 16**). Ainsi, une correspondance a pu être réalisée entre les périodes de travaux et les niveaux de bruit perçus par les différents systèmes acoustiques déployés au cours de la campagne de suivi, en fonction de la position des navires de chantier.



Pour affiner le croisement entre les sources de bruit rattachées au projet et les augmentations des niveaux sonores évoquées au Chapitre 4, la **Figure 17** trace l'évolution du niveau sonore reçu pour chaque station acoustique aux fréquences particulières de 200 Hz (partie haute) et 10 kHz (partie basse) en bleu. Ces fréquences permettent de voir l'effet du chantier à la fois d'un point de vue physique mais également bioacoustique, la fréquence 200 Hz étant située dans la bande d'audition des cétacés basse fréquence (Rorqual commun, par exemple) et la fréquence 10 kHz étant située dans la bande d'audition des cétacés moyenne fréquence (grand dauphin, par exemple). Les courbes rouge/noire superposées correspondent à la distance instantanée séparant les navires Maersk Mariner et Maersk Transporter (navires de chantier DP2 les plus bruyants) du capteur acoustique de la station R1.

Tout au long du suivi acoustique, l'élévation des niveaux sonores à ces deux fréquences caractéristiques est fortement corrélée à la distance séparant les navires de chantier du capteur acoustique.

A titre d'exemple, le tirage des ancres sur les éoliennes E1, E2 et E3 ayant eu lieu du 20 au 21 novembre 2023, a induit un rapprochement des navires à une distance minimale d'environ 250 m du capteur déployé au niveau de la station R1. Ces rapprochements ont conduit à des élévations du niveau sonores jusqu'à environ 133 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ dans le tiers d'octave 125 Hz et 135 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ dans le tiers d'octave 10 kHz, soit environ 35 à 40 dB d'élévation en regard des niveaux relevés le 17 novembre 2023.

En raison de mauvaises conditions météorologiques, le stationnement du Maersk Mariner du 22 au 25 novembre a engendré une augmentation durable des niveaux sonores à environ 113 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ dans le tiers d'octave 200 Hz. En comparaison des autres phases de travaux (par exemple 100-105 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ à une distance de 1 km lors du tirage des ancres le 27 novembre), l'augmentation est plus modérée au tiers d'octave 10 kHz lors de ce stationnement, ce qui laisse à penser que le navire de chantier utilise des équipements émissifs à haute fréquence lorsqu'ils sont en période d'activité effective.

Lors de la fin de la phase de tirage des ancres ayant eu lieu du 25 au 27 novembre 2023, ainsi que lors des phases de connexion des chaînes d'ancrage (du 29 novembre au 2 décembre et du 3 au 5 décembre), les élévations des niveaux sonores apparaissent également corrélées avec la distance séparant les navires de chantier du capteur acoustique. Ces élévations sont maximales lorsque le Maersk Mariner passe au plus près du capteur (6 m) dans la soirée du 2 décembre.

Bien qu'il soit impossible de nier l'influence des autres sources du projet (navires chiens de garde), la présence des navires Maersk Mariner et Transporter permet d'expliquer la majorité des élévations du niveau sonore relevées à ces fréquences, et par extension, du niveau sonore mesuré sur site.



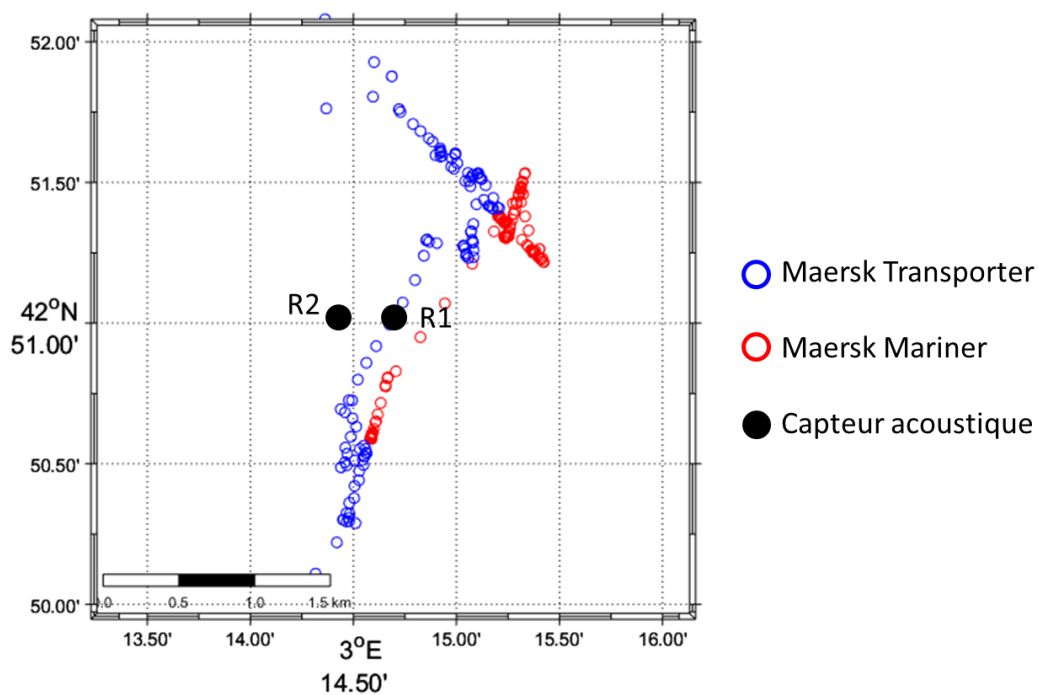


Figure 16 : Exemple de trace AIS des navires chantier dans la journée du 25 novembre 2023.



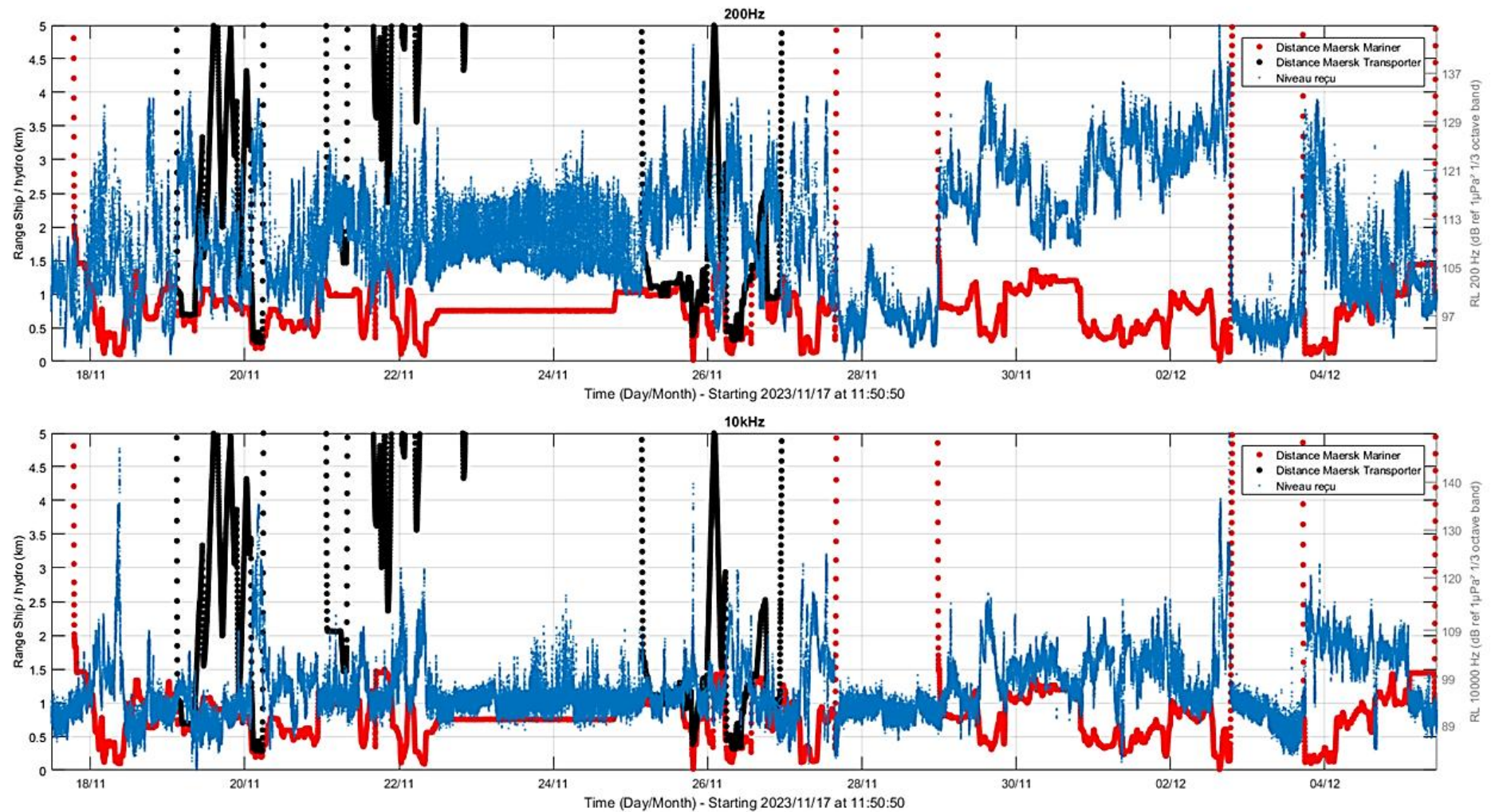


Figure 17 : Corrélation entre le niveau de bruit reçu lors des travaux pour différentes fréquences (en bleu) et la distance séparant les navires de chantier de la station acoustique R1 (Maersk Mariner en rouge, Maersk Transporter en noir).



5.3. Estimation des niveaux sonores émis par le chantier

Cette partie de l'étude vise à réaliser une estimation des niveaux sonores émis par les différents ateliers mis en place lors des travaux.

5.3.1. Protocole de traitement

A partir des mesures acoustiques collectées et des phases identifiées des travaux du projet, en fonction de la fréquence, les niveaux sonores d'un atelier sont mis en regard des niveaux sonores de référence afin d'établir l'émergence significative d'un atelier (dépassement du bruit existant) (**Figure 18**). Pour chaque fréquence, en utilisant la plateforme Quonops© de modélisation de la propagation sonore, les pertes de propagation sont estimées entre la source de bruit (atelier) et la position des capteurs. Cette plateforme prend en compte les données environnementales sur site, à savoir, la bathymétrie, la nature du fond et le profil de célérité à la date des travaux. Ces pertes acoustiques modélisées additionnées aux émergences sonores permettent d'estimer le gabarit de bruit (niveau à la source, référence 1 mètre) de l'atelier afin de cartographier son empreinte sonore dans une seconde étape (zone de perception).

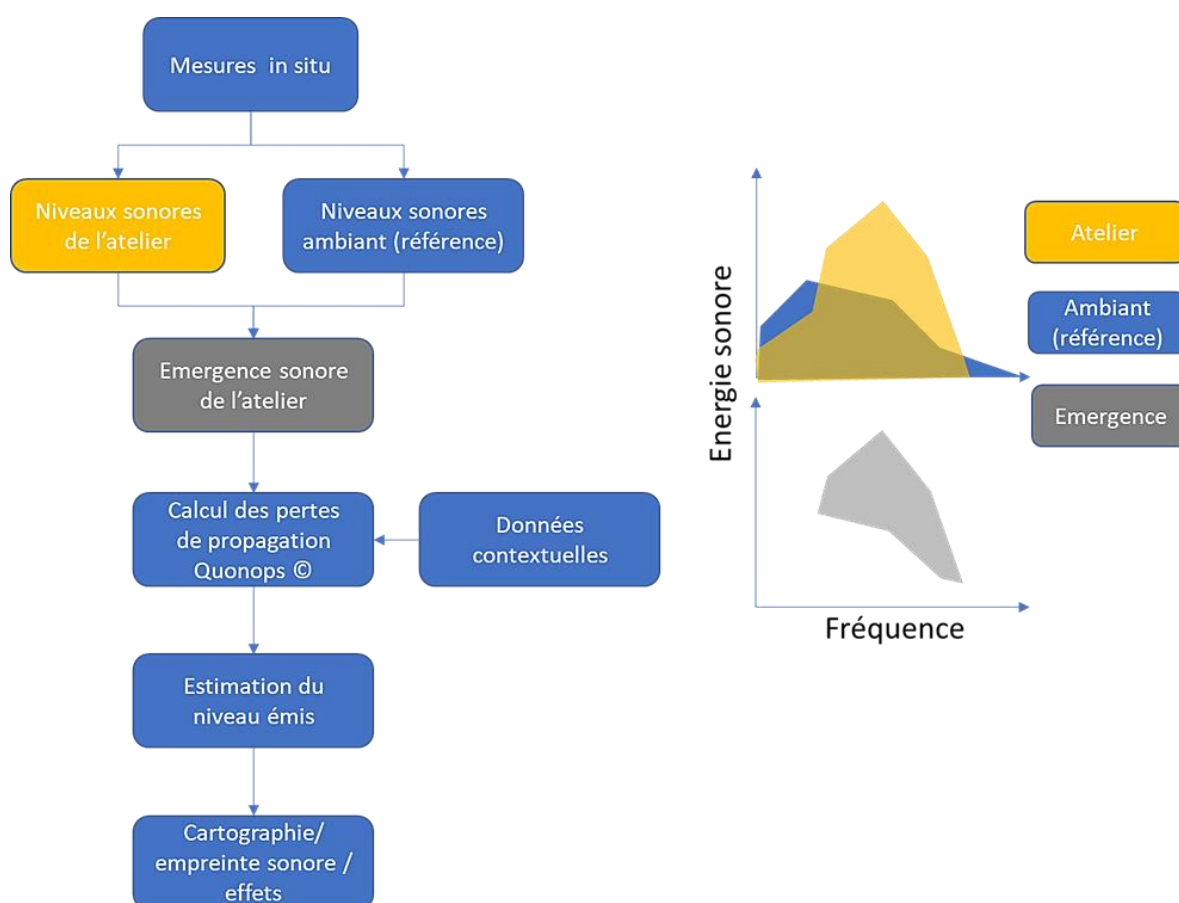


Figure 18 : Protocole de traitement des données.



5.3.2. Choix des périodes travaux

Le **Tableau 11** définit respectivement les dates de début et de fin (en heures UTC) des ateliers retenus pour l'inversion acoustique. Les dates servant à établir les niveaux de références (niveaux ambiants sans activité du chantier) sont indiquées dans les colonnes de droite. Cette période de référence correspond à la période avant le début des travaux offshore, avant l'arrivée des navires sur site, et est représentative de l'état non perturbé de la zone. Les inversions ont été effectuées à partir des données collectées par les deux stations acoustiques. Les résultats étant similaires, seuls sont présentés les résultats de la station R1, qui présente les émergences les plus significatives en raison de sa proximité avec les ateliers.

L'analyse s'intéresse en priorité à :

- Le tirage des ancres ML2 sur l'éolienne centrale (E02) et l'éolienne nord (E03), dans la journée du 26 novembre ;
- L'installation des chaînes d'ancrage sur la période allant du 29 novembre au 2 décembre 2023. Cette période couvre l'installation de la plupart des chaînes d'ancrage et permet de décrire la variabilité des opérations liées à cette phase. Seules les lignes E2/ML3 et E3/ML3 sont terminées par la suite, entre le 3 et le 5 décembre.

Pour rappel, les deux navires de chantier (Maersk Mariner et Transporter) travaillent en tandem lors du tirage des ancres. Le Maersk Mariner est seul lors de la phase d'installation des chaînes d'ancrage.

ATELIER	STATION	EOLIENNE	DEBUT PERIODE TRAVAUX (UTC)	FIN PERIODE TRAVAUX (UTC)	DEBUT PERIODE REFERENCE (UTC)	FIN PERIODE REFERENCE (UTC)
Tirage des ancres	R1	E02 et E03 (centrale et nord)	26/11/2023 05:00	27/11/2023 00:00	15/11/2023 12:00	16/11/2023 00:00
Installation des chaînes d'ancrage	R1	Toutes	29/11/2023 00:00	02/12/2023 18:00	15/11/2023 12:00	16/11/2023 00:00

Tableau 11 : Définition des périodes temporelles et des station retenues pour l'inversion acoustique.

5.3.3. Analyse du bruit reçu

Ce paragraphe analyse les niveaux de bruit reçus par les capteurs acoustique utilisés lors de chaque atelier étudié. Une analyse en fréquence est proposée en regard des niveaux de référence. Une analyse temps/fréquence complète la compréhension du bruit induit par chaque phase de travaux.

5.3.3.1. Phase : Tirage des ancres

La **Figure 19** retrace les positions (issues de l'AIS) des navires de chantier Maersk Transporter (en vert) et Maersk Mariner (en bleu) lors de la phase de tirage des ancres ML2 sur les éoliennes centrale (E02) et nord (E03), ainsi que la position des ancres avant tirage. Les positions associées à la phase de tirage effectif sont tracées en trait plus épais.



La **Figure 20 [A]** synthétise les niveaux reçus lors du tirage des ancres ML2 sur l'éolienne centrale (E02) et de l'ancre ML2 sur l'éolienne nord (E03), dans la journée du 26 novembre. Cette figure illustre :

- En bleu, le niveau reçu médian lors de la mise œuvre de l'atelier ;
- En gris, la dispersion (min/max) des niveaux reçus lors de la mise œuvre de l'atelier ;
- En jaune, niveau reçu médian lors de la période de référence ;
- En noir pointillé, le niveau sonore minimum de référence à atteindre lors de la mise œuvre de l'atelier afin d'effectuer l'inversion de propagation (critère : percentile 10% du bruit de référence +6 dB) : seule l'aire grise située au-dessus de ce seuil est utilisée pour réaliser l'inversion acoustique (émergence significative). De cette façon, pour chaque fréquence, seul le bruit généré par l'atelier fait l'objet d'une inversion.

La variabilité du bruit reçu lors de cet atelier est élevée notamment pour les fréquences inférieures à 1 kHz (dispersion de l'aire grise à un maximum de 40 dB de variabilité) et les spectres médians montrent des émergences modérées en regard du bruit permanent, ce qui suggère une période cumulée courte d'activité intense dans la fenêtre temporelle étudiée. Lors des phases d'activité intense, un maximum d'énergie est compris dans la bande de fréquence entre 50 Hz et 1 kHz, et des bosses ponctuelles de bruit (valeurs maximales) de 125 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ à 40 Hz, 123 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ à 100 Hz et 118 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ entre 300 et 800 Hz. Un bruit de sondeur est également visible et récurrent dans le tiers d'octave 25 kHz.

La partie haute de la **Figure 20 [B]** trace le spectrogramme du bruit reçu sur la journée du 26 novembre 2023 au point R1. La partie basse de la figure trace l'évolution du niveau sonore sur cette même période, intégré dans la bande 20Hz-10 kHz. Cette représentation permet de mettre en évidence des raies de bruit induites probablement par la machinerie interne du navire Maersk Mariner et de son ROV, avec une multitude de lignes horizontales réparties entre 0 et 10 kHz, par exemple vers 12h00 UTC. Des augmentations (+15 à +25 dB) allant jusqu'à plusieurs heures des niveaux sonores sont visibles jusqu'à 10 kHz, avec un maximum d'énergie dans la bande de fréquence de 0 à 500 Hz, engendrées très probablement par l'utilisation du positionnement dynamique par les navires de chantier.



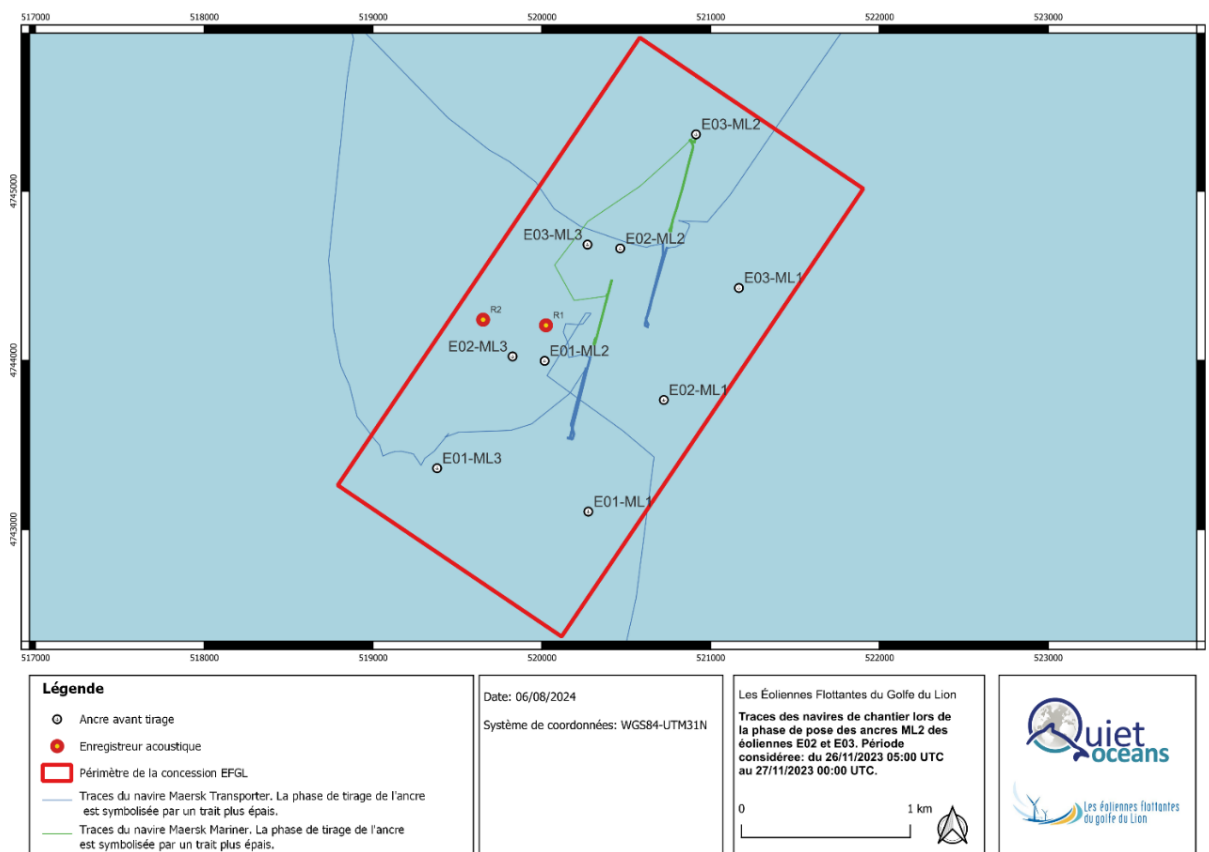


Figure 19 : Traces des navires de chantier lors de la phase de tirage des ancres ML2 des éoliennes E02 et E03.
Période considérée : du 26/11/2023 05:00 UTC au 27/11/2023 00:00 UTC.



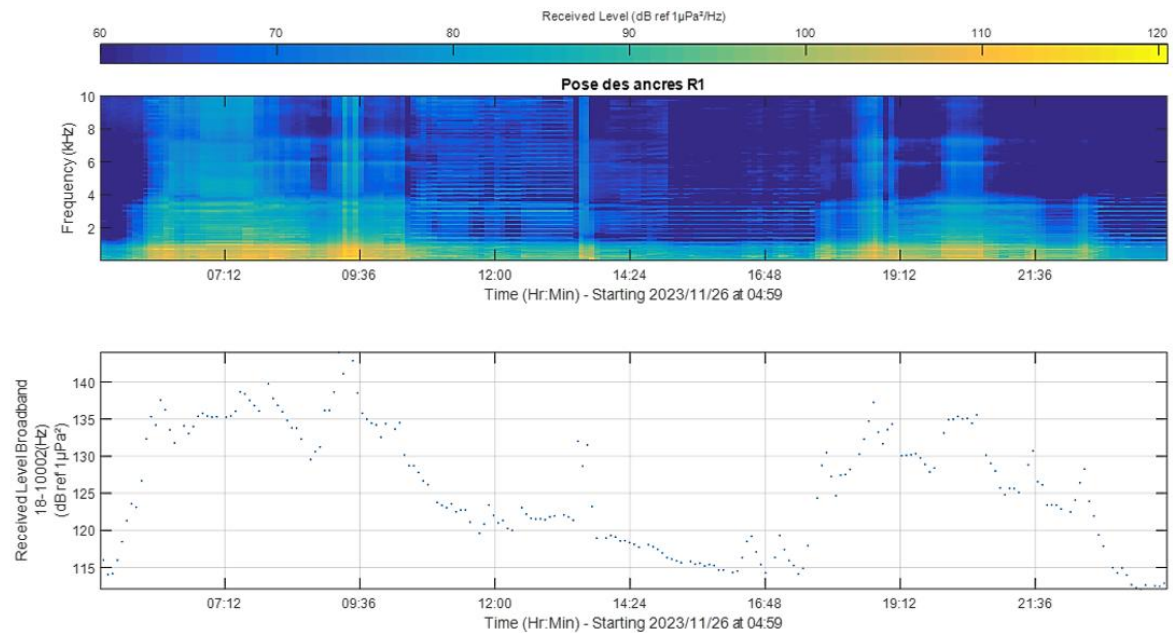
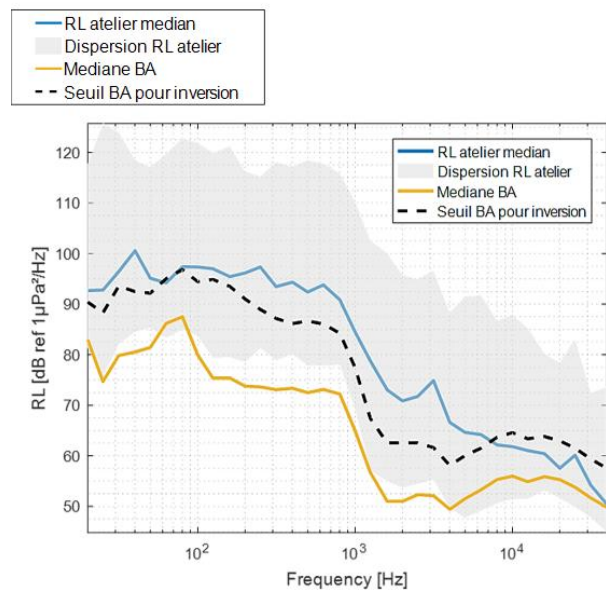


Figure 20 : Tirage des ancrs le 26/11/2023.

[A] Niveaux reçus en fonction de la fréquence (dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) de l'atelier (médiane en bleu et distribution dans l'aire grise) comparés au bruit ambiant médian (jaune) et au bruit ambiant de référence (noir, P10% +6dB) utilisé pour l'inversion acoustique. [B] En haut, spectrogramme (20Hz-10kHz, exprimé en dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) du bruit reçu lors de l'atelier. En bas, évolution du niveau large bande (20Hz-10kHz, dB ref $1\mu\text{Pa}^2$) correspondant.



5.3.3.2. Phase : installation des lignes d'ancrage

Lors de l'installation des chaînes d'ancrage sur la période allant du 29 novembre au 2 décembre 2023, la **Figure 21** retrace les positions (issues de l'AIS) du navire de chantier Maersk Mariner (en vert), et la **Figure 22 [A]** synthétise les niveaux reçus. La variabilité du bruit reçu lors de l'atelier est importante (dispersion des niveaux correspondant à maximum 40 dB de variabilité) notamment pour les fréquences supérieures à 1 kHz, et le spectre médian est éloigné du spectre maximum, ce qui suggère un fractionnement de l'activité en plusieurs phases. Les spectres du bruit reçu médian et maximum montrent un maximum d'énergie entre 50 Hz et 1 kHz, avec une énergie acoustique maximale comprise entre 125 et 135 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ sur cette bande de fréquence. Des pics de bruit sont également visibles à 3 et 10 kHz, avec des niveaux reçus maximums de 103 et 105 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$. Un bruit de sondeur persistant émerge à la fréquence de 25 kHz. La partie haute de la **Figure 22 [B]** trace le spectrogramme du bruit reçu lors de l'installation des chaînes d'ancrage sur la période allant du 29 novembre au 2 décembre 2023, au niveau de la station R1. Cette représentation permet de mettre en évidence :

- Un bruit continu basse fréquence (<500 Hz) correspondant au groupe propulseur du navire Maersk Mariner ;
- L'émergence d'un bruit dit « en peigne » induit probablement par la machinerie interne du Maersk Mariner et son ROV, avec une multitude de lignes horizontales réparties entre 0 et 10 kHz ;
- L'émergence ponctuelle d'un bruit entre 0 et 10 kHz, avec un maximum d'énergie situé en basse fréquence (>500 Hz) correspondant probablement à l'utilisation du positionnement dynamique par le Maersk Mariner ou à son transit sur la zone du chantier.

La partie basse de la figure trace l'évolution du niveau sonore sur cette même période, intégré dans la bande de fréquence de 20 Hz à 10 kHz. Ce niveau varie de 125 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ à 150 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ (+25 dB) en fonction de la distance séparant le navire du capteur. Un pic de bruit visible le 02 décembre aux environs de 15h UTC correspond à l'enchevêtrement du ROV sur la ligne de mouillage du capteur acoustique. Après analyse, cet événement isolé n'engendre à priori pas d'augmentation statistiquement significative du niveau de source calculé.



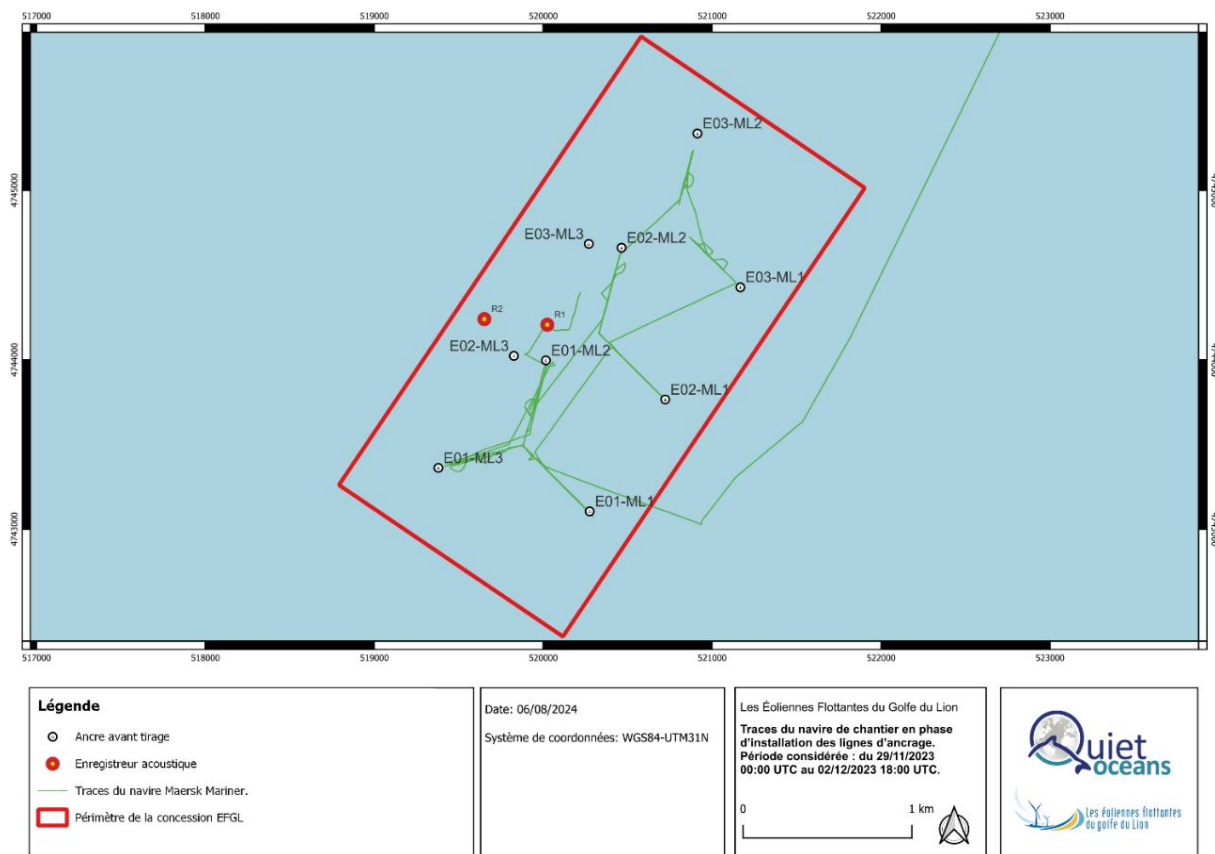


Figure 21 : Traces du navire de chantier en phase d'installation des lignes d'ancrage.



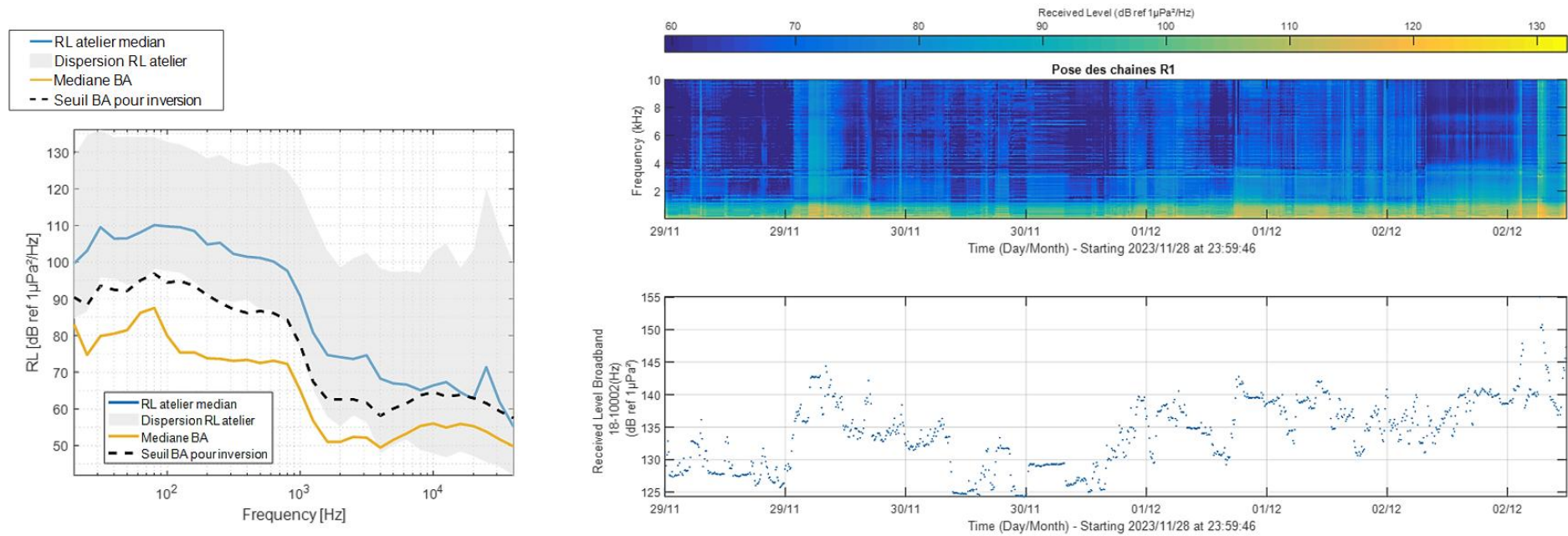


Figure 22 : Installation des chaînes d'ancrage du 29/11 au 02/12/2023.

[A] Niveaux reçus en fonction de la fréquence (dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) de l'atelier (médiane en bleu et distribution dans l'aire grise) comparés au bruit ambiant médian (jaune) et au bruit ambiant de référence (noir, P10% +6dB) utilisé pour l'inversion acoustique. [B] En haut, spectrogramme (20Hz-10kHz, exprimé en dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) du bruit reçu lors de l'atelier. En bas, évolution du niveau large bande (20Hz-10kHz, dB ref $1\mu\text{Pa}^2$) correspondant.

5.3.4. Inversion acoustique et estimation des niveaux à la source

A partir des données d'émergence sonore au niveau des capteurs et de la modélisation des pertes de transmission calculées par la plateforme Quonops®, l'estimation du niveau sonore émis (à 1 mètre par convention) est proposée. En considérant l'hypothèse que la source principale de bruit est assimilable au navire Maersk Mariner, la profondeur de source est placée au 2/3 du tirant d'eau du navire, soit environ à 7,3 m sous la surface. Le récepteur est quant à lui placé à 35 m du fond (immersion du capteur acoustique).

Pour tenir compte de la variabilité des distances source/récepteur, le calcul des pertes est réalisé pour chaque segment temporel de signal conservé à la suite du filtrage des émergences acoustiques. Une illustration des pertes de transmission calculées à la fréquence caractéristique de 500 Hz est proposée dans la **Figure 23**.

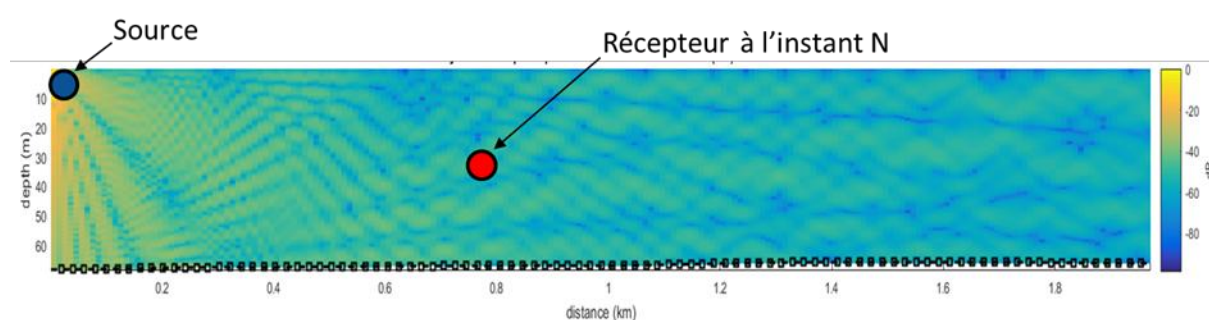


Figure 23 : Illustration du calcul des pertes acoustiques à la fréquence 500 Hz.

La **Figure 24** fournit les estimations spectrales du niveau sonore émis des ateliers (dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ @1m) :

- La distribution médiane d'énergie à la source est tracée en bleu ;
- La dispersion (min/max) de la distribution d'énergie à la source est tracée en gris clair ;
- La distribution médiane et l'écart type associé sont tracés en gris foncé.

En complément, la **Figure 26** synthétise les niveaux médians estimés à un mètre pour les ateliers analysés, en comparaison du gabarit utilisé dans l'étude d'impact (SOMME, 2018b). Pour rappel, l'évaluation des impacts des émissions sonores en phase de travaux considèrerait de manière conservatrice un unique niveau sonore à la source de 188 dB re.1 μPa @1m quel que soit le type d'activité (tirage des ancrages ou ensouillage du câble). Le spectre est visible en violet sur la partie droite de la figure.

Les profils de bruit émis estimés lors du tirage des ancres et lors de l'installation des chaînes d'ancrage montrent des tendances similaires, avec une concentration de l'énergie acoustique comprise dans une bande de fréquence entre 20 Hz et 1 kHz. Les profils médians calculés montrent des pics de bruits visibles sous 100 Hz, correspondant très probablement à la propulsion du/des navire(s) de chantier, avec des niveaux compris entre 163 et 170 dB ref $1\mu\text{Pa}$ @1m. Les niveaux décroissent ensuite relativement linéairement en fonction de la fréquence jusqu'à 1 kHz, avec une émergence visible à 800 Hz. Des pics de bruits secondaires de bruit sont également visibles lors du tirage des ancres, notamment à 160 Hz et 250 Hz. Lors des deux phases étudiées, un bruit de sondeur émerge à 25 kHz. Lors des périodes d'activité intenses, les profils maximums montrent des valeurs supérieures d'environ +20 dB en comparaison des spectres médians calculés, avec



l'apparition d'émergences à 3, 6 et 12 kHz, qui correspondent à la machinerie embarquée des navires de chantier et/ou à l'utilisation du ROV.

Les profils médians estimés via les mesures in-situ sont comparables dans leur allure à celui utilisé lors de l'étude d'impact. Le pic d'énergie estimé à 100 Hz, dans l'étude d'impact, semble toutefois apparaître mais à une fréquence inférieure, autour de 50 Hz d'après la mesure.

Les niveaux large bande médians enregistrés lors du tirage des ancrages et lors de l'installation des chaînes d'ancrage sont respectivement de 184 et 189 dB ref 1µPa@1m. Ces valeurs sont très proches (écart de moins de 1dB) de celles calculées à partir des données de la station R2.

L'excès de 5 dB visible lors de l'installation des chaînes d'ancrage est probablement dû à un usage intensif des propulseurs à positionnement dynamique du navire Maersk Mariner par rapport à la phase de tirage des ancrages, durant laquelle ce sont les propulseurs principaux du navire qui sont sollicités. Ces niveaux large bande sont conformes à ceux mesurés pour des navires DP2 similaires dans d'autres projets éoliens en mer. Lors de phases d'activité intense (1% du temps), ces niveaux augmentent épisodiquement jusqu'à 200 et 205 dB ref 1µPa@1m.

Comparativement à l'hypothèse formulée dans l'étude d'impact, le niveau large bande médian est soit inférieur de 4 dB (tirage des ancrages), soit comparable (installation des chaînes) au niveau de référence médian de 188 dB ref 1µPa@1m.

A partir des mesures in-situ, sans tenir compte de la sensibilité auditive des espèces, une cartographie de l'empreinte sonore des navires de chantier est établie par la plateforme Quonops. Cette cartographie est réalisée pour les deux activités étudiées, à savoir le tirage des ancrages et l'installation des chaînes d'ancrage. La source est placée au niveau au niveau de l'éolienne centrale (E02) du parc.

La cartographie présentée dans la partie haute de la **Figure 25** montre l'empreinte sonore large bande des navires de chantier lors du tirage des ancrages (niveau de source de 184 dB ref 1µPa@1m) seuillée à 110,5 dB ref 1µPa (niveau de bruit ambiant médian mesuré lors de l'étude d'impact initiale), sans notion d'audiogramme des mammifères marins. Avec ces hypothèses, la cartographie permet d'estimer que la présence des navires DP induit une augmentation du bruit médiane perçue jusqu'à 7,9 km (198 km²) autour des navires. Lors de rares instants (correspondant à 5% du temps) et lorsque la sollicitation des navires est plus importante, l'empreinte sonore maximale s'étend jusqu'à 11,1 km (384 km²).

La cartographie présentée dans la partie basse de la figure montre l'empreinte sonore large bande des navires de chantier lors de l'installation des lignes d'ancrage (niveau de source de 189 dB ref 1 µPa@1m) seuillée à 110,5 dB ref 1µPa. La cartographie donne une perception du bruit maximale jusqu'à 14 km (621 km²). Cette empreinte est atteinte 5% du temps et correspond au tirage des 9 lignes d'ancrage. Ces opérations, d'une durée unitaire allant de 15 à 40 min, correspondent à une durée cumulée d'environ 6 heures, qui est courte à l'échelle des travaux. L'empreinte sonore médiane est perçue jusqu'à 11,1 km (388 km²) autour des navires. Cette empreinte peut être plus étendue en direction du large en raison de l'augmentation du profil bathymétrique.

Les cartographies des empreintes sonores avec l'application des audiogrammes des cétacés basse et moyenne fréquence sont disponibles en Annexe 2 (§9.2) de ce rapport.



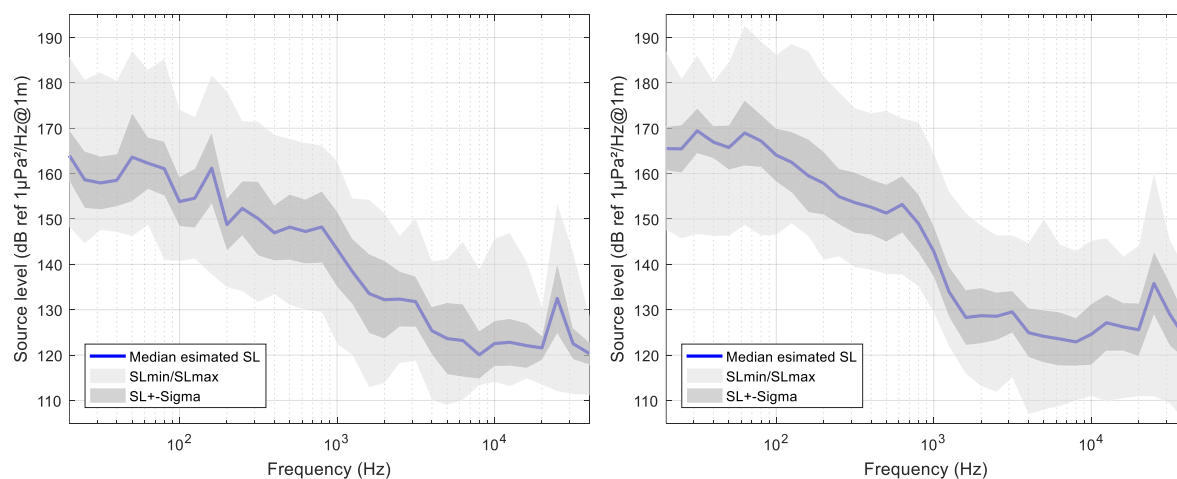
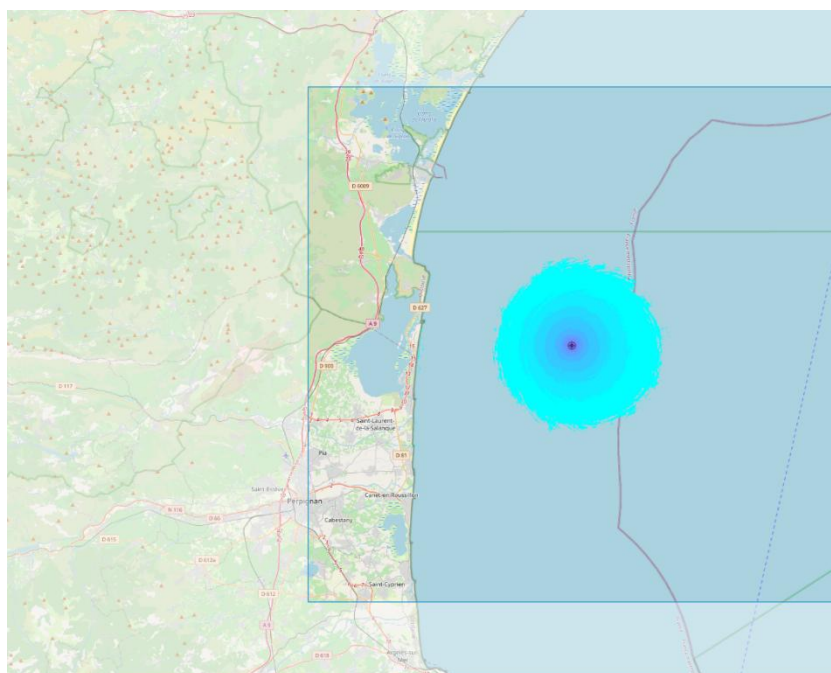


Figure 24 : Estimation des niveaux de source émis à 1 m en fonction de la fréquence, pour les ateliers étudiés (dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ @1m). Les valeurs médianes sont tracées en bleu, et les dispersions sont tracées en gris (clair : min/max, foncé : médiane $\pm \sigma$).



Tirage des ancres (et globalement, présence des navires DP) au
percentile 50%



Installation des lignes d'ancrage au percentile 5%

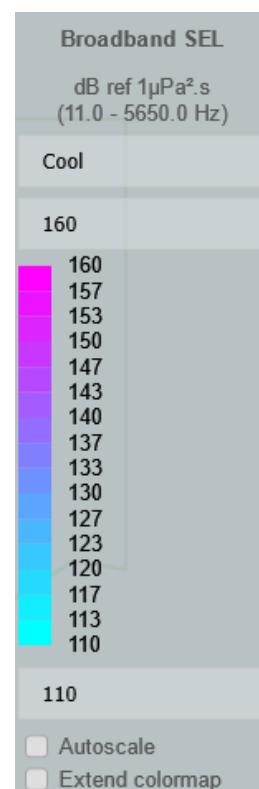
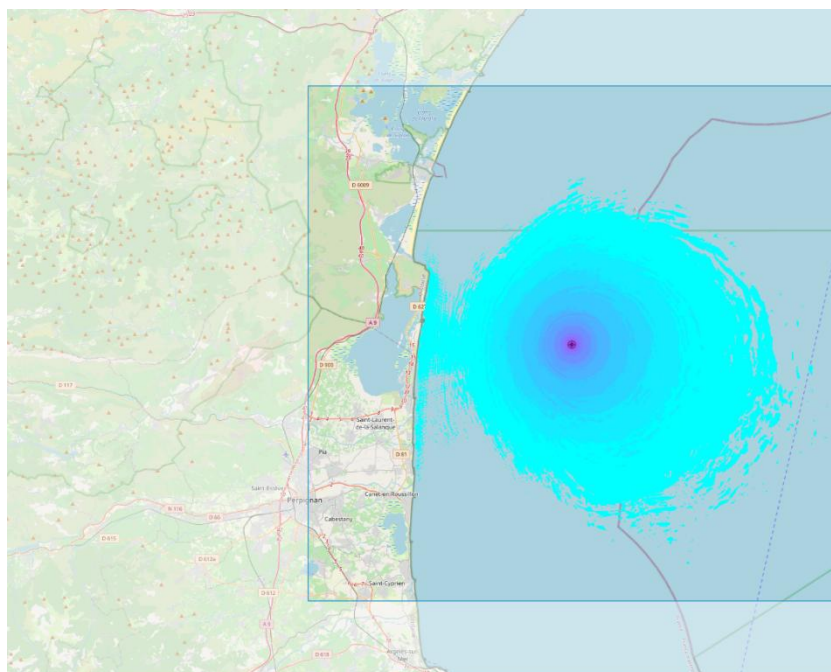


Figure 25 : Cartographie de l'empreinte sonore large bande (11Hz-5.65kHz) des empreintes sonores lors du tirage des ancres et de l'installation des chaînes d'ancrage.



En conclusion, en comparaison à l'étude d'impact :

Pour la phase de tirage des ancres :

- **L'empreinte sonore médiane des travaux calculée à partir des mesures in-situ est très largement inférieure : 198 km² contre 376 km², soit -47%.**
- **La perception médiane des travaux est également très largement inférieure : 7,9 km contre 12,4 km, soit -36%.**

Pour la phase d'installation des lignes d'ancrage :

- **L'empreinte sonore médiane des travaux calculée à partir des mesures in-situ est similaire : 388 km² contre 376 km², soit +3%.**
- **La perception médiane des travaux est légèrement inférieure : 11,1 km contre 12,4 km (-10%).**

Par ailleurs, le **Tableau 12** donne les niveaux large bande (exprimés en dB ref 1μPa@1m) pour chaque prédiction, à différents percentiles, ainsi que pour l'étude d'impact¹.

ATELIER	NIVEAU EMIS EN DB REF 1μPA @1M			
	P99%	P50%	P1%	Etude d'impact
Tirage des ancres	171	184	200	188
Installation des lignes d'ancrage	178	189	205	188

Tableau 12 : Estimation des niveaux à la source intégrés dans la bande 20Hz-40kHz (dB ref 1μPa² @1m) pour chaque atelier et comparaison à l'étude d'impact.

Enfin, les spectres médians issus des mesures in-situ sont comparés aux hypothèses de l'étude d'impact sur la figure suivante :

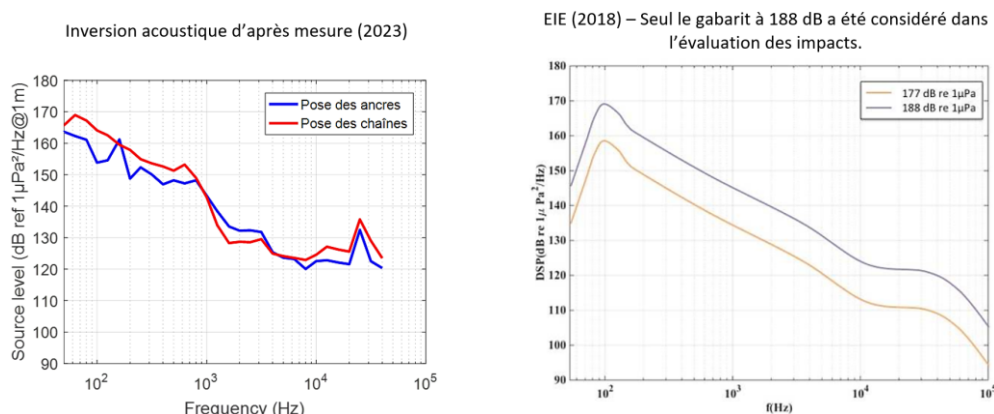


Figure 26 : Spectres médians des niveaux émis pour les ateliers étudiés (à gauche), gabarit utilisé lors de l'étude d'impact (à droite), exprimés en dB ref 1μPa²/Hz @1m.

¹ Lors de l'état initial acoustique réalisé par SOMME en 2017 (SOMME, 2018), la bande fréquentielle utilisée pour calculer les niveaux de source large bande est [20Hz ; 30kHz]. L'énergie cumulée dans la bande [30kHz ; 40kHz] est supposée minoritaire et ne cause qu'un écart minime avec les niveaux proposés dans la bande [20Hz ; 40kHz].



6. Détection des signaux biologiques

6.1. Connaissances biologiques

6.1.1. Rappel sur la classification scientifique des espèces

La classification scientifique des espèces océaniques et marines de mammifères est répartie selon trois ordres : les Cétacés, les Pinnipèdes et les Siréniens (**Figure 27**).

L'ordre des Cétacés est divisé selon le sous-ordre des Mysticètes (cétacés à fanons) et le sous-ordre des Odontocètes (cétacés à dents). Chacun de ces sous-ordres comporte des familles dans lesquelles sont réparties les différentes espèces de mammifères marins :

- Sous-ordre des Mysticètes
 - Famille des Balénidés regroupant les espèces de Baleine franche ;
 - Famille des Balénoptéridés regroupant les espèces de Rorquals et la Baleine à bosse ;
 - Famille des Eschrichtiidés ne comportant qu'une seule espèce, la Baleine grise (*Eschrichtius robustus*).
- Sous-ordre des Odontocètes
 - Famille des Delphinidés regroupant les espèces de Dauphins, d'Orques et de Globicéphales ;
 - Famille des Kogiidés ne comportant que deux espèces, le Cachalot pygmé (*Kogia breviceps*) et le Cachalot nain (*Kogia simus*) ;
 - Famille des Monodontidés ne comportant que deux espèces, le Béluga (*Delphinapterus leucas*) et le Narval (*Monodon monoceros*) ;
 - Famille des Phocoenidés regroupant les espèces de Marsouins ;
 - Famille des Physétéridés ne comportant qu'une seule espèce, le Cachalot macrocéphale (*Physeter macrocephalus*) ;
 - Famille des Ziphiidés regroupant les espèces de Baleines à bec.

L'ordre des Pinnipèdes est composé de trois familles. La famille des Odobénidés dont la seule espèce caractéristique est le Morse (*Odobenus rosmarus*), la famille des Otariidés qui regroupe les espèces d'Otaries et le Lion de mer, et la famille des Phocidés qui regroupe les espèces de Phoques et l'éléphant de mer (*Mirounga sp.*).

L'ordre des Siréniens est divisé en deux familles de mammifères marins herbivores avec la famille des Trichéichidés qui regroupe les espèces de Lamantins et la famille des Dugongidés qui est représentée uniquement par le Dugong (*Dugong dugong*).



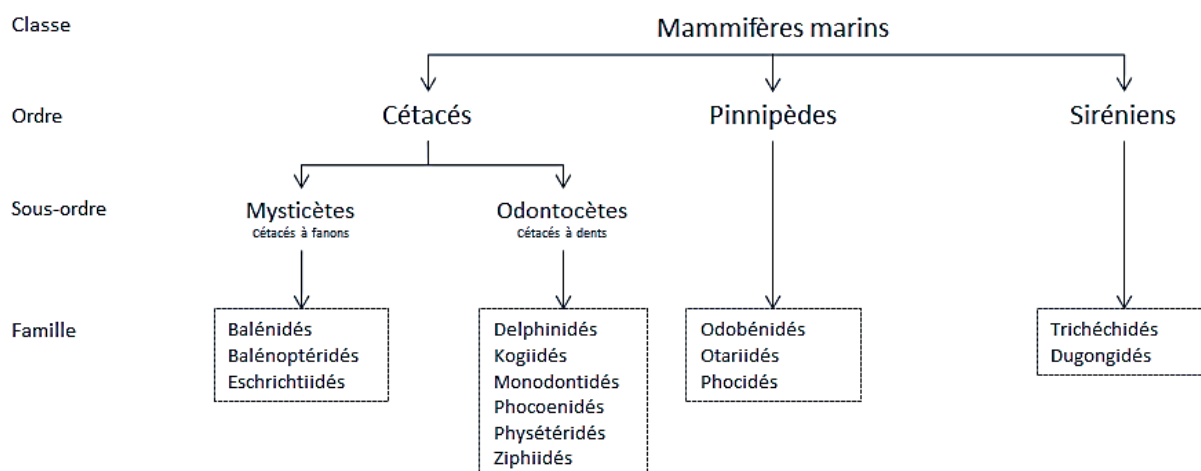


Figure 27 : Schéma de la classification scientifique des espèces océaniques et marines de mammifères (source : Quiet-Oceans).

6.1.2. Fréquentation a priori du site par les mammifères marins

Le **Tableau 13** synthétise les informations recensées via des données bibliographiques concernant les mammifères marins susceptibles d'être rencontrés au large du golfe du Lion, et à proximité des zones étudiées (cf. **Figure 5**).

Il est à noter que l'espèce emblématique de ce secteur est le Grand dauphin (*Tursiops truncatus*), seule espèce observée lors des campagnes embarquées de 2017/2018 et de 2021/2022.

En Méditerranée Nord-Occidentale, son abondance est estimée à **3 575 en été et 7 945 en hiver** d'après les résultats de la campagne SAMM² I (2011/2012), et à **9 028 en été et 11 919 en hiver** d'après les résultats de la campagne SAMM II (2021).

De plus, plusieurs groupes (à minima 2) semblent fréquenter la zone d'étude d'après les suivis réalisés par l'association « Les Peuples de la mer ». Ces groupes semblent plutôt fréquenter le large (au-delà de 10 km) mais la pression d'observation mise en œuvre ne reflète sans doute pas la réelle répartition des groupes au sein de l'aire d'étude élargie. Pour plus d'informations, il est possible de consulter le rapport d'analyse des observations in-situ réalisé par Biotopie sur l'aire d'étude en 2023 (Biotopie, 2023).

Ce recensement permet de définir les familles de mammifères marins qui seront acoustiquement recherchées durant le traitement et l'analyse bioacoustique de la donnée collectée.

Le statut UICN de chaque espèce correspond aux codes d'évaluation des menaces qui renvoient aux Catégories de la Liste Rouge 2001 UICN et aux Critères version 3.1. Les espèces évaluées sont classifiées ainsi :

- DD = Données Insuffisantes (manque d'informations suffisantes sur les espèces et leur abondance) ;
- LC = Moins Concernée (l'espèce est largement répartie et abondante) ;

² Le Programme SAMM (Suivi Aérien de la Méga-faune Marine) correspond à des campagnes de recensement des mammifères marins par survol des eaux métropolitaines françaises conduites en 2011/2012 et en 2021 (Blanchard et al., 2021; Pettex, 2014)



- NT = Non Menacée (l'espèce n'est pas menacée, mais le sera probablement dans un avenir proche) ;
- VU = Vulnérable (l'espèce présente un risque élevé d'extinction dans la nature sauvage) ;
- EN = En Danger (l'espèce affronte un risque très élevé d'extinction dans la nature) ;
- CR = En Danger Critique (risque extrêmement élevé d'extinction dans la nature).

Plus d'informations sur les catégories UICN sont consultables sur le site <http://www.redlist.org>.

Dans la zone d'étude, quatre espèces de mammifères marins susceptibles d'être présentes au large du golfe du Lion sont référencées selon un risque fort selon les critères UICN :

- Globicéphale noir (*Globicephala melas*) ;
- Dauphin de Risso (*Grampus griseus*) ;
- Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) ;
- Cachalot (*Physeter macrocephalus*).

Du point de vue acoustique, chaque espèce de mammifères marins est catégorisée en quatre classes définies par (Southall et al., 2019):

- Basses fréquences (acronyme LF) : 0,2 - 19 kHz ;
- Hautes fréquences (acronyme HF) : 8,8 - 110 kHz ;
- Très hautes fréquences (acronyme VHF) : 12-140 kHz ;
- Les pinnipèdes ont leur propre catégorie acoustique (acronyme PCW) : 1,9 -30 kHz.

FAMILLE	ESPECE		STATUT UICN EN FRANCE	CATEGORIE ACOUSTIQUE
	Nom commun	Nom Latin		
Delphinidés	Grand Dauphin	<i>Tursiops truncatus</i>	LC	HF
	Dauphin commun	<i>Delphinus delphis</i>	LC	HF
	Dauphin bleu et blanc	<i>Stenella coeruleoalba</i>	LC	HF
	Globicéphale noir	<i>Globicephala melas</i>	VU	HF
	Dauphin de Risso	<i>Grampus griseus</i>	VU	HF
Balénoptéridés	Rorqual commun	<i>Balaenoptera physalus</i>	VU	LF
Physétéridés	Cachalot	<i>Physeter macrocephalus</i>	VU	HF

Tableau 13 : Synthèse des données concernant les mammifères marins susceptibles d'être présents au large du golfe du Lion et à proximité des zones d'étude. (source : Quiet-Oceans)





© L. David / EcoOcéan Institut



Figure 28 : (à gauche) Famille des Delphinidés – Grand dauphin (*Tursiops truncatus*). (source : EcoOcéan Institut)

Figure 29 : (à droite) Famille des Delphinidés – Dauphin commun (*Delphinus delphis*). (source : NOAA)



Figure 30 : (à gauche) Famille des Balénoptéridés – Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*). (source : MICS)



Figure 31 : (à droite) Famille des Physétéridés – Cachalot (*Physeter macrocephalus*). (source : AMP)

6.1.3. Signature acoustique des cétacés

Chaque famille de mammifères marins se caractérise par des émissions sonores, transitoires et/ou impulsives, qui dans le cadre d'un suivi par acoustique passive permettent l'identification des espèces ainsi qu'un suivi de la fréquentation du site par ces derniers.

6.1.3.1. Sons émis par les Delphinidés

Les Delphinidés se caractérisent acoustiquement par des émissions de sifflements (signaux transitoires) et de clics (signaux impulsifs) représentés respectivement par la **Figure 32** et la **Figure 33**.

Les sifflements, utilisés pour la communication entre les différents individus (but social), sont émis dans une bande fréquentielle allant généralement de 2 à 25 kHz. Chaque espèce de Delphinidés a sa propre gamme d'émissions caractéristique pour une grande diversité de sifflements émis (**Tableau 14**). Il est possible à partir des caractéristiques acoustiques de ces signaux, d'identifier les espèces de Delphinidés émettrices. Toutefois, la similarité de ces caractéristiques pour certaines espèces peut complexifier l'exercice de leur classification³.

³ La classification permet d'associer l'espèce animale correspondante à un signal biologique.



Les clics émis dans la bande fréquentielle allant de 10 à 85 kHz servent également à la communication, tandis que ceux émis entre 10 et 180 kHz sont utilisés pour l'écholocalisation⁴. A noter que les ensembles de 100 à 1 000 clics par secondes sont nommés « buzz » et sont particulièrement émis durant les activités de chasse.

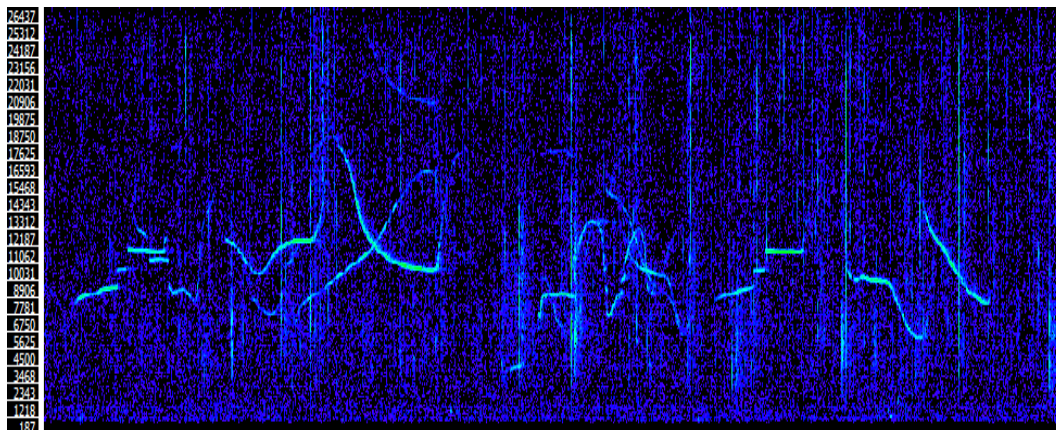


Figure 32 : Sifflements de Delphinidés émis entre 2 kHz et 25 kHz. (source : Quiet-Oceans)

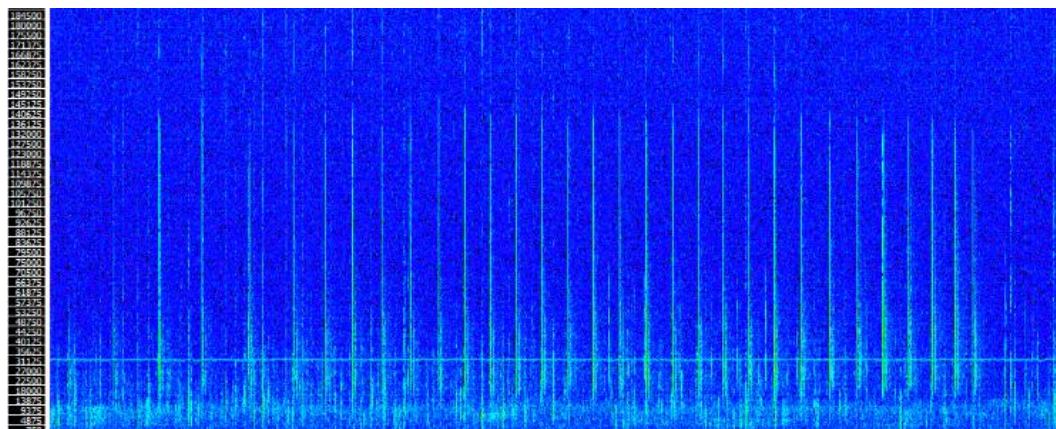


Figure 33 : Clics de Delphinidés émis entre 10 kHz et 180 kHz. (source : Quiet-Oceans)

⁴ Evènement renseignant les Delphinidés sur le milieu dans lequel ils évoluent mais également indicateur d'une quête de nourriture.

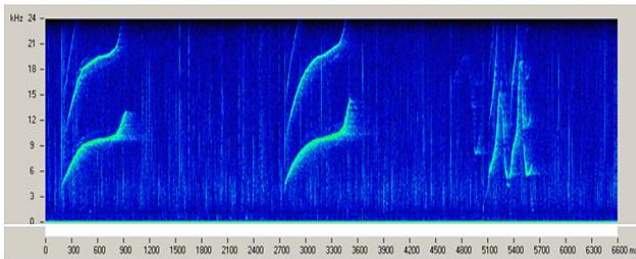
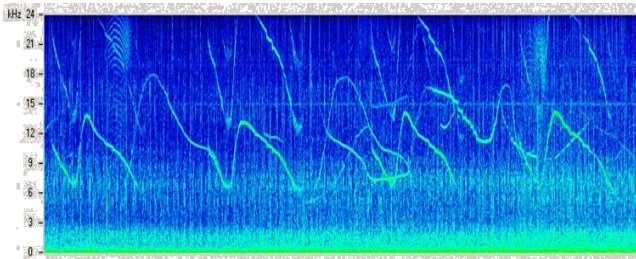
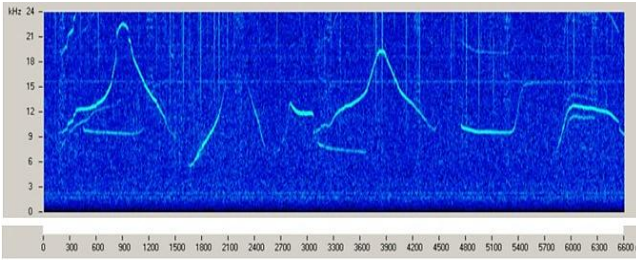
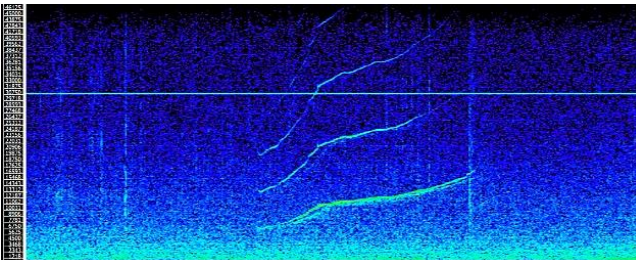
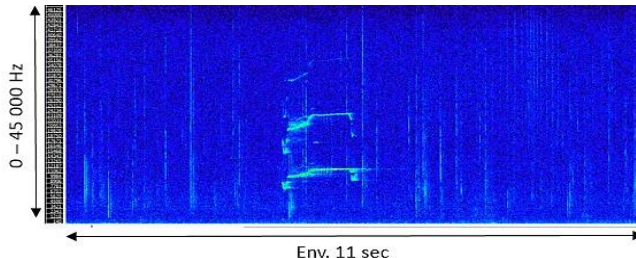
ESPECE	BANDE DE FREQUENCE	SPECTROGRAMME
Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	5 à 25 kHz	 http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html
Dauphin bleu-et-blanc (<i>Stenella coeruleoalba</i>)	3,5 à 28,5 kHz	 http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html
Dauphin commun (<i>Delphinus delphis</i>)	Variation géographique mais en moyenne entre 5 et 20 kHz	 http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html
Globicéphale noir (<i>Globicephala melas</i>)	4,2 à 8,9 kHz	 Source : Quiet-Oceans
Dauphin de Risso (<i>Grampus griseus</i>)	4 à 22 kHz	 Source : Quiet-Oceans

Tableau 14 : Exemple de la diversité de sifflements émis par les Delphinidés avec le spectrogramme des émissions des espèces supposées présentes au large du golfe du Lion.



6.1.3.2. Sons émis par les Balénoptéridés

Le Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) se caractérise acoustiquement par l'émission de pulses en très basse fréquence, entre 15 Hz et 130 Hz. L'émission la plus connue est une impulsion à modulation de fréquence descendante (« down sweep ») qui a une durée moyenne d'environ 1 seconde et une fréquence fondamentale aux alentours de 20 Hz, ce qui lui vaut d'être communément connue sous le nom de « 20-Hz signal » (**Figure 34**). Ce signal est émis soit seul (**Figure 35 [A]**), en doublet (**Figure 35 [B]**) ou en triplet, et est associé à la cohésion sociale et la reproduction (Erbe et al., 2017; Samaran et al., 2009). Cette impulsion de 20 Hz est parfois associée à (1) l'émission d'un « short pulse », signal émis avec une durée similaire en plus haute fréquence aux alentours de 99 Hz et (2) un signal plus court et très peu modulé aux alentours de 15 Hz qui est nommé « backbeat » (**Figure 35 [C]**, Garcia et al., 2020; Samaran et al., 2009). Le Rorqual commun émet également des impulsions à modulation de fréquence descendante entre 30 et 100 Hz et à modulation de fréquence ascendante entre 125 et 130 Hz qui sont respectivement connus sous le nom de « down sweep chirps » (**Figure 35 [E]**) et « 130-Hz up sweep » (**Figure 35 [D]**, Garcia et al., 2020).

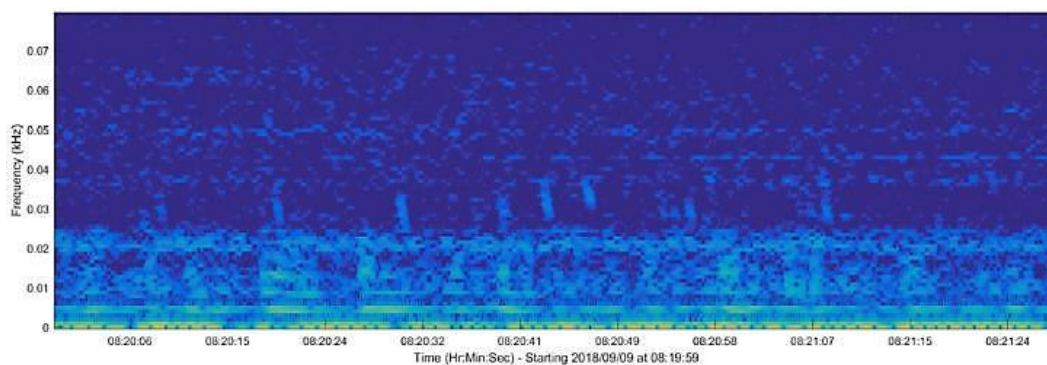


Figure 34 : Pulses (downsweep) émis par un Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) entre 20 et 40 Hz (source : Quiet-Oceans, enregistrement recueilli le 09/09/2018 via un hydrophone positionné à 35 m de profondeur en mer Méditerranée).

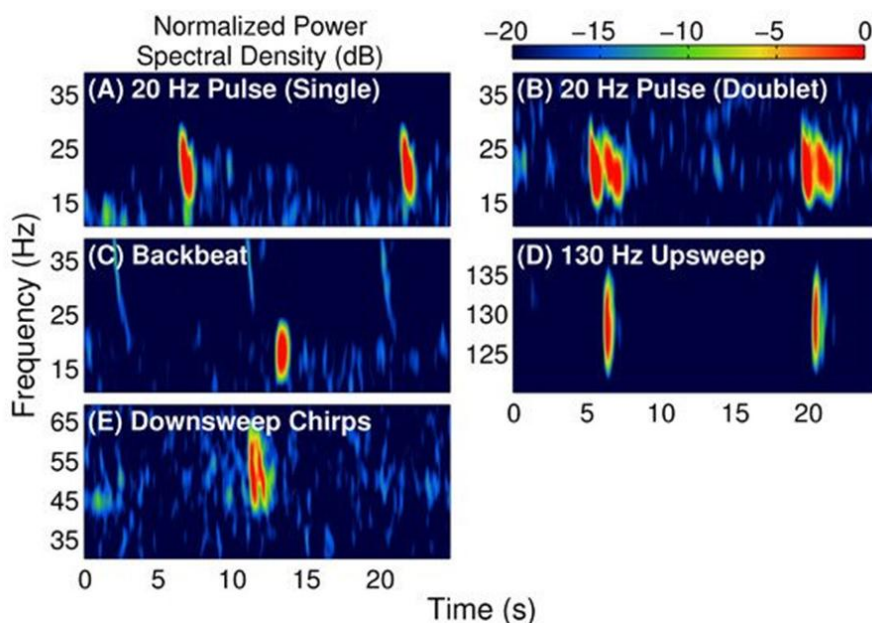


Figure 35 : Pulses émis par le Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*). (A) 20-Hz pulse (single), (B) 20-Hz pulse (doublet), (C) backbeat, (D) 130-Hz upsweep, (E) downsweep chirp (source : Garcia et al., 2020).

6.1.3.3. Sons émis par les Physétéridés

La famille des Physétéridés est représentée par une seule espèce de mammifère marin : le Cachalot macrocéphale (*Physeter macrocephalus*). Ce dernier émet exclusivement des clics, hautement directionnels, dans une gamme de fréquence allant de 2 à 30 kHz et d'une durée moyenne de 20 ms (**Figure 36**) (Erbe et al., 2017).

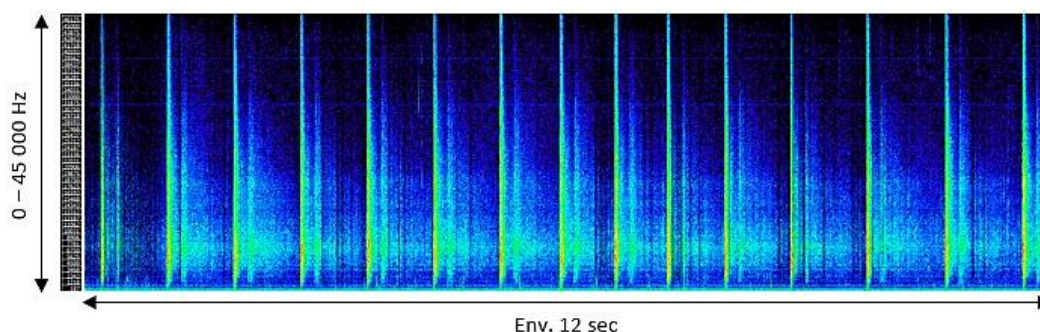


Figure 36 : Clics de Cachalot macrocéphale (*Physeter macrocephalus*) entre 2 et 30 kHz. (source : Quiet-Oceans)

6.2. Portée de détection des enregistreurs acoustiques

Comme énoncé dans les paragraphes précédents, le recensement des espèces susceptibles d'être présentes sur zone renseigne sur le caractère commun ou occasionnel de ces dernières au large du golfe du Lion. Dans ce contexte, il est possible d'estimer la distance de détection pour deux espèces en particulier grâce à la disponibilité des caractéristiques de leur émissions acoustiques (sifflements) dans la littérature (Richardson et al., 2013):

- Le Grand dauphin (*Tursiops truncatus*) émet des sifflements à des niveaux sonores compris entre 125 et 173 dB ref. 1μPa @1m dans la bande de fréquence [800 Hz-24 kHz] ;



- Le Dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*) émet des sifflements à des niveaux sonores de l'ordre de 130 dB ref. 1μPa @1m dans la bande de fréquence [6 kHz-24 kHz].

Les connaissances sur les caractéristiques acoustiques concernant le Dauphin commun (*Delphinus delphis*) ne sont, à ce jour, pas suffisamment fines pour estimer avec certitude la portée de détection pour cette espèce. Toutefois, les émissions de sifflements par les Dauphins communs se rapprochent en intensité et en bande de fréquence de celles du Grand Dauphin. En première approximation, les portées de détection de cette espèce peuvent donc être extrapolées à celles du Dauphin commun.

Le calcul des portées de détection quant aux émissions de signaux impulsifs (clics) par les mammifères marins ne peut être réalisé faute d'informations suffisantes sur leurs caractéristiques acoustiques. Toutefois, la littérature renseigne sur la portée de détection des clics de Cachalots (*Physeter macrocephalus*). Ces derniers émettent des clics hautement directionnels, entre 2 et 30 kHz, qui sont généralement audibles dans un rayon de 8 à 40 km autour de l'enregistreur acoustique (Todd et al., 2015).

La portée acoustique de détection des individus est fonction du bruit ambiant instantané, des caractéristiques acoustiques d'émission des espèces et des conditions de propagation des signaux des espèces autour de l'hydrophone. En effet, plus le bruit environnant est élevé, plus il est difficile de capter le son d'un animal lointain. De même, plus l'espèce émet un son fort, plus il sera possible de capter ses sons à de grandes distances. Enfin, plus les sons des mammifères marins sont absorbés par le milieu marin, plus il sera difficile de capter un son lointain. La connaissance de ces paramètres permet donc d'estimer les portées de détection théoriques pour chacune des espèces étudiées. Ces paramètres sont calculés (1) à partir du bruit ambiant mesuré par les enregistreurs acoustiques et (2) par modélisation des signaux des espèces recensées pour différentes situations environnementales représentatives de la période de mesure. Le calcul du rapport signal (des espèces) sur bruit (ambiant) permet alors d'évaluer les distances de détection.

Le **Tableau 15** synthétise les statistiques des distances de détection théoriques pour les espèces de Delphinidés potentiellement présentes au large du Golfe du Lion à la période hivernale 2023. Les portées de détection sont fournies pour différentes proportions de temps (95%, 50%, etc.) et pour chaque zone d'étude équipée d'un enregistreur acoustique, soit pour les stations R1 et R2.

Les résultats obtenus mettent en évidence une différence significative de portée de détection médiane (50% du temps) entre les différentes espèces de Delphinidés. Cette différence peut être expliquée d'une part, par l'écart entre les niveaux d'émission de chaque espèce et d'autre part, par l'intensité du bruit existant dans la bande de fréquence spécifique du signal bioacoustique de l'espèce considérée. En particulier, le Dauphin bleu-et-blanc, dont les sifflements sont émis à un niveau sonore plus faible que celui du Grand Dauphin, montre une portée de détection beaucoup plus faible (environ 200 m). Pour le Grand Dauphin, les portées de détection théoriques à 25% et 75% du temps sont représentées sur la **Figure 37**.

A noter, les portées de détections sont similaires au niveau des stations R1 et R2. Ce phénomène s'explique par la faible distance séparant les deux stations, environ 380 m, au nord de la zone de concession du parc.



FAMILLE	ESPÈCE	ZONE	PORTÉE DE DÉTECTION (m)				
			Proportion du temps (%)				
			95	75	50	25	5
Delphinidés	Grand dauphin <i>Tursiops truncatus</i>	R1	52	207	558	1022	1620
		R2	69	253	557	951	1511
	Dauphin bleu-et-blanc <i>Stenella coeruleoalba</i>	R1	12	64	134	173	282
		R2	21	84	133	170	259

Tableau 15 : Synthèse des portées de détection pour chaque zone d'étude en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes à proximité des zones d'études durant l'hiver 2023.

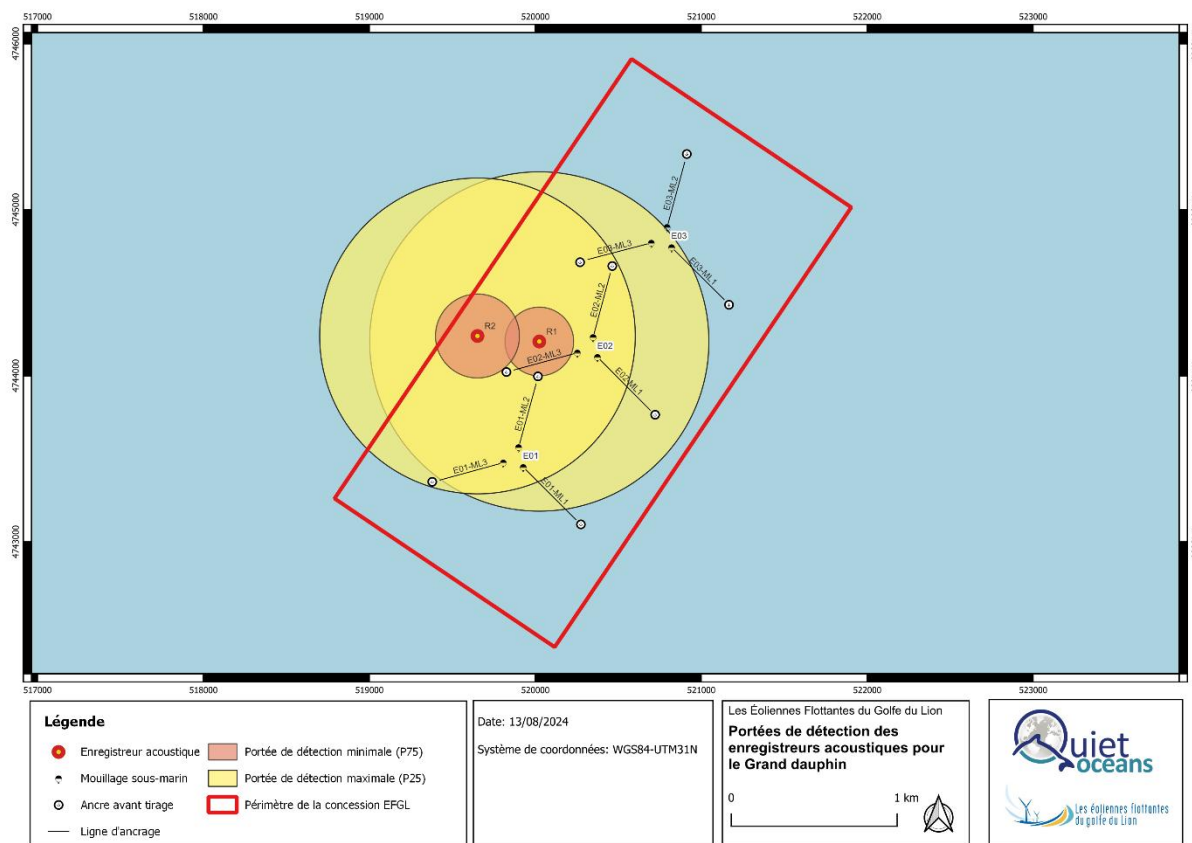


Figure 37 : Portées de détection des enregistreurs acoustiques pour le Grand dauphin, à 25% et 75% du temps.

6.3. Procédé de traitement bioacoustique

La **Figure 38** illustre la procédure générale appliquée à la donnée brute pour le traitement bioacoustique des enregistrements sonores. Ce traitement bioacoustique consiste à détecter les signaux biologiques dans les données audio brutes (au format FLAC) à l'aide d'un logiciel dédié, puis



à réaliser le contrôle et l'analyse des résultats obtenus via une validation manuelle des évènements sonores détectés.

A noter, chaque enregistreur permet la détection des signatures acoustiques des mammifères marins dans un périmètre plus ou moins étendu en fonction de l'espèce autour du capteur (cf. 6.2). Toutefois, étant donnée le dispositif de mesure équipé d'un seul hydrophone, il n'est pas possible de localiser l'espèce détectée. De plus, étant donné le plan d'échantillonnage des capteurs déployés (plusieurs kilomètres entre les points de mesure) et les propriétés de chaque capteur (absence de synchronisation pps), aucune méthode de triangulation n'est applicable pour localiser un mammifère marin acoustiquement détecté.

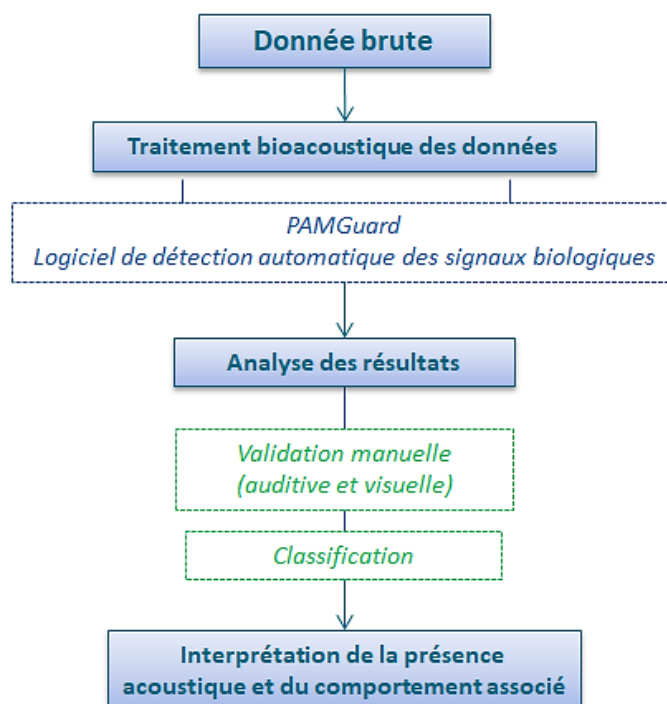


Figure 38 : Procédure générale appliquée à la donnée brute pour le traitement bioacoustique des enregistrements sonores.

6.3.1. Algorithmes de détection et d'identification des évènements sonores

La détection automatique des signaux biologiques dans les enregistrements sonores a été réalisée par le logiciel PAMGuard (version Beta_2.01.05) développé par le laboratoire Sea Mammal Research Unit (SMRU) de l'Université de Saint-Andrews en Ecosse. Il s'agit d'un logiciel libre d'utilisation qui a été développé dans le but de fournir une interface universelle pour la détection, la classification et la localisation des signaux émis par les mammifères marins. Bien qu'ayant une portée biologique, un détecteur tel que celui proposé par PAMGuard appuie sa recherche sur des signaux physiques, spécifiques au type de signal à détecter.

6.3.1.1. Détection des signaux biologiques transitoires

Dans le cadre de cette étude, deux détecteurs de signaux transitoires, issus du module « Whistle and Moan detector » de PAMGuard, ont été créés et calibrés afin de permettre la détection de signaux d'origine biologique de type « sifflement » émis par les Delphinidés et de type « pulse » émis par les



Balénoptéridés. Les algorithmes permettent la détection d'une part de signaux transitoires allant de 2 kHz à 20 kHz, bande fréquentielle couvrant les différentes variétés d'émissions de sifflements par les Delphinidés, et d'autre part de signaux de type « pulses » inférieurs à 100 Hz émis par les Balénoptéridés.

6.3.1.2. Détection des signaux biologiques impulsifs

La détection automatique des signaux impulsifs se base sur l'émergence de leur énergie sonore dans la bande d'émission préférentielle de chaque famille de mammifères marins. Deux détecteurs spécifiques, issus du module « Click detector » de PAMGuard, ont donc été créés et calibrés afin d'obtenir une détection optimale des signaux de type « clics » émis par les Delphinidés entre 25 et 85 kHz, et les Cachalots entre 2 et 30 kHz.

6.3.2. Validation des évènements sonores

Afin de mesurer la justesse et la cohérence des résultats issus des algorithmes de détection automatique, une validation manuelle (visuelle et auditive) a été réalisée par l'experte bioacoustique de Quiet-Oceans. Cette validation permet d'une part de qualifier l'ensemble des résultats de la détection automatique et d'autre part d'analyser finement le comportement des espèces détectées.

Cette validation est complétée par la réalisation d'une classification manuelle et visuelle. Cette classification, ou reconnaissance taxonomique, fait intervenir des critères portant sur la gamme fréquentielle (fréquence de début et de fin des signaux, fréquences minimum et maximum, etc...) et la durée des vocalises, ainsi que sur le nombre de points d'inflexion et d'harmoniques permettant d'identifier le cétacé à l'origine des émissions transitoires. Dans cette étude, aucune classification automatique n'a été mise en œuvre via PAMGuard. En effet, la classification dans ce logiciel est encore à un stade de développement en ce qui concerne les eaux méditerranéennes.

6.4. Résultats

La fréquentation de chaque zone par les mammifères marins a été établie sur l'ensemble de la période d'écoute soit pour une durée d'étude de 28 jours. Le **Tableau 16** définit les indicateurs de présence permettant de caractériser le type de fréquentation aux alentours de chacune des stations de mesure.

FREQUENTATION	PERIODES DE DETECTIONS	TAUX DE PRESENCE SUR LA PERIODE D'ETUDE
Fréquente/quotidienne	Une période de détections minimum tous les 1 à 4 jours	> 70%
Régulière	Une période de détections minimum tous les 5 jours ou plus	50 à 70%
Occasionnelle	Périodes de détections irrégulières dans le temps	10 à 50%
Exceptionnelle	Une ou deux périodes de détections sur la période d'étude	< 10%
Absence	Absence de détection	0 %

Tableau 16 : Définition des indicateurs de la fréquentation par les mammifères marins adaptés à la durée d'acquisition.



6.4.1. Campagne du 14/11/2023 au 11/12/2023

Durant cette campagne, le déploiement d'un enregistreur acoustique a été réalisé au niveau de chacune des stations du projet, soit au niveau des stations R1 et R2 situées au centre-ouest de la concession du projet EFGL, du 14 novembre au 11 décembre 2023.

6.4.1.1. Fréquentation du site par les mammifères marins

Famille des Delphinidés

La **Figure 39** représente les périodes de présence acoustique des Delphinidés (détections des clics et sifflements) dans la donnée recueillie par les enregistreurs acoustiques au niveau des stations R1 et R2 pour la période du 14 novembre au 11 décembre 2023.

À la suite de la vérification manuelle des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard, il apparaît que les Delphinidés sont occasionnellement présents au niveau de la station R1, située au centre-ouest de la zone de concession du parc, avec un taux de présence acoustique inférieur à 45%. En effet, 40 périodes de détections de clics et sifflements ont été observées sur 12 jours pour un total de 28 jours d'enregistrement. Bien qu'occasionnelle sur l'ensemble de la période, la présence des Delphinidés apparaît significativement plus marquée à partir de début décembre 2023. De manière générale, la détection des signatures acoustiques des Delphinidés a été réalisée en période nocturne à hauteur de 72.5%. Le comportement des Delphinidés sur site est associé principalement à des interactions sociales avec la présence majoritaire de sifflements dans les enregistrements et de quelques clics de communication entre 15 et 80 kHz associés à des clics d'écholocation (**Figure 40**).

Au niveau de la station R2, située également au centre-ouest de la zone de concession du parc, les résultats de l'analyse bioacoustique sont similaires à ceux obtenus au niveau de la station R1. Ce phénomène est cohérent et s'explique par la faible distance séparant les deux stations (environ 380 m). Les distances de détection théoriques pour les espèces de Delphinidés présentes au large du Golfe du Lion sont donc identiques pour chacune des stations (cf. 6.2). Dans ce contexte, les Delphinidés sont occasionnellement présents au niveau de la station R2 avec un taux de présence acoustique inférieur à 45% (50 périodes de détections de clics et sifflements sur 12 jours pour un total de 28 jours d'enregistrement) et une présence plus marquée à partir de début décembre 2023. De manière générale, la détection des signatures acoustiques des Delphinidés a été réalisée en période nocturne à hauteur de 60% et la présence majoritaire de sifflements observés dans les enregistrements permet de supposer un comportement associé à la socialisation/communication. Ce résultat est renforcé par la présence de clics de communication dont la fréquence d'émission est inférieure à 80 kHz (**Figure 41**). A noter, un épisode de communication intense a été mis en évidence le 09 décembre 2023 vers 00h11 UTC (**Figure 42**) :

- Détections de nombreux clics d'écholocation entre 15 et 192 kHz ;
- Détections de « buzzs » ;
- Détections de sifflements.

Au niveau de chacune des stations, il apparaît que la plupart des signatures acoustiques détectées sont émises avec une faible intensité évoquant un passage des Delphinidés à environ 1 km du point d'écoute, sans distinction de la direction. Cette hypothèse est principalement associée aux émissions de sifflements par les Delphinidés qui représentent la majorité des détections réalisées dans la donnée recueillie.



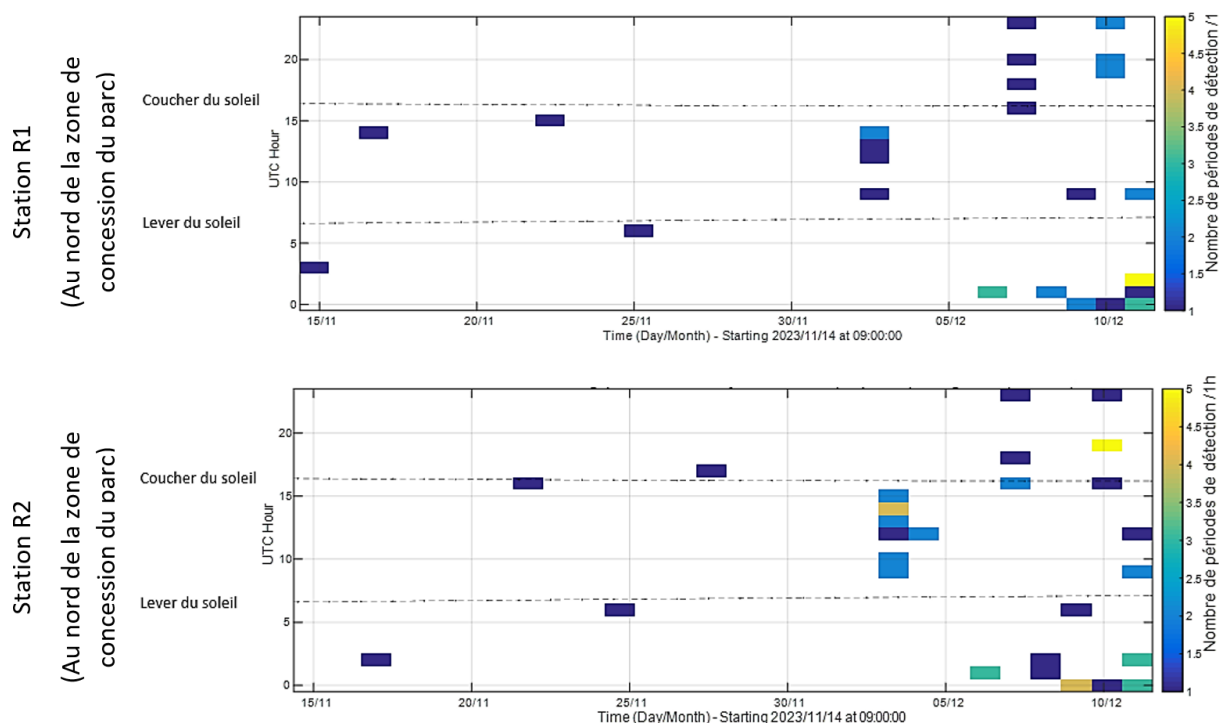


Figure 39 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque station (R1 et R2) entre le 14 novembre et 11 décembre 2023.

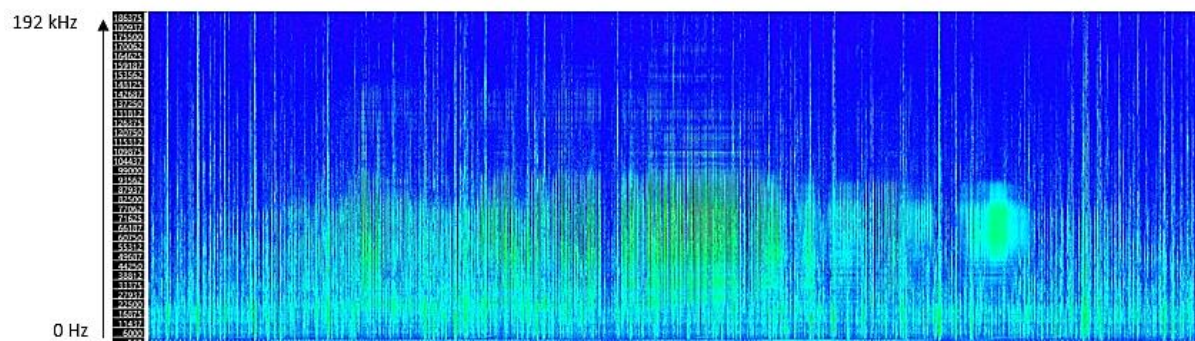


Figure 40 : Clics de communication et buzz associés à quelques clics d'écholocation émis par les Delphinidés, à proximité de la station R1. Enregistrement du 10/12/2023 vers 19h38 UTC.

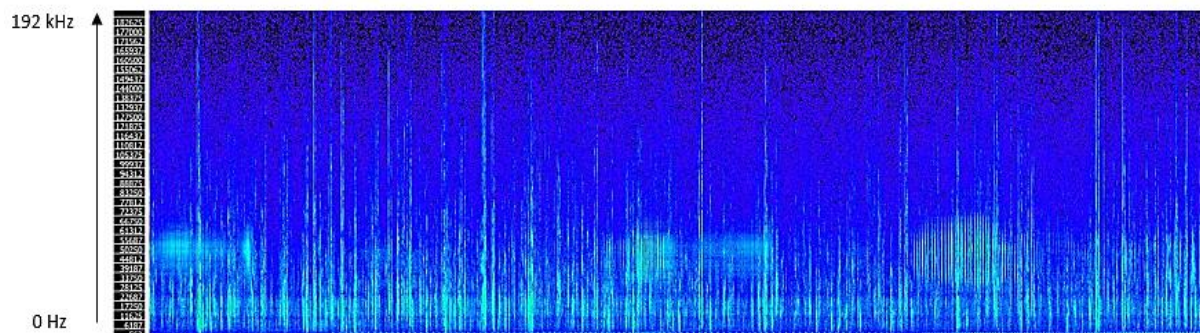


Figure 41 : Trains de clics de communication émis par les Delphinidés entre 15 kHz et 70 kHz, à proximité de la station R2. Enregistrement du 10/12/2023 vers 19h38 UTC.



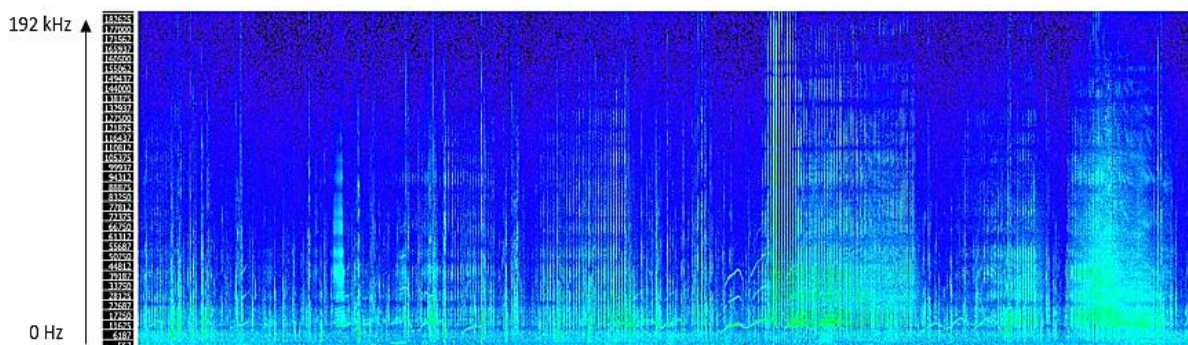


Figure 42 : Trains de clics d'écholocation, buzz et sifflements émis par les Delphinidés évoquant un épisode de communication intense à proximité de la station R2. Enregistrement du 09/12/2023 vers 00h11 UTC.

Famille des Balénoptéridés

La **Figure 43** représente les périodes de détections des signaux acoustiques basses fréquences émis par les Rorquals communs (*Balaenoptera physalus*) dans la donnée recueillie par les enregistreurs acoustiques au niveau des stations R1 et R2 pour la période du 14 novembre au 11 décembre 2023. Il apparaît que la présence du Rorqual commun est exceptionnelle au niveau de chacune des stations de mesure avec un taux de présence acoustique respectif proche de :

- 7% au niveau de la station R1 avec 49 périodes de détections d'impulsions basses fréquences observées sur 2 jours pour un total de 28 jours de mesure ;
- 4% au niveau de la station R2 avec 36 périodes de détections d'impulsions basses fréquences observées sur 1 jour pour un total de 28 jours de mesure.

Au niveau de chacune des stations, la détection des impulsions basses fréquences a été réalisée en grande majorité en période diurne et se concentre principalement sur la journée du 16 novembre 2023 entre 02h00 et 18h00 UTC. Les signatures acoustiques détectées sur cette journée correspondent à des impulsions de 20 Hz (pulses ou « 20-Hz signal », cf. 6.1.3.2) émis seuls (**Figure 44** et **Figure 45**). Ces pulses sont associés à une fonction sociale et seraient émis par les Rorquals communs (1) lors d'un déplacement en groupe afin de maintenir la cohésion sociale via des émissions à intervalle irrégulier et/ou (2) uniquement par les mâles pendant la saison de reproduction connue de l'espèce c'est-à-dire durant l'hiver via des émissions à intervalle régulier (Romagosa et al., 2021a; Širović et al., 2013). Les pulses détectés dans la donnée ont été émis par les Rorquals communs à intervalle régulier avec un Intervalle Inter-Pulse (IPI) d'environ 10 secondes. Ces émissions forment un chant et sont donc associées au comportement reproductif de l'espèce (Varga et al., 2018).



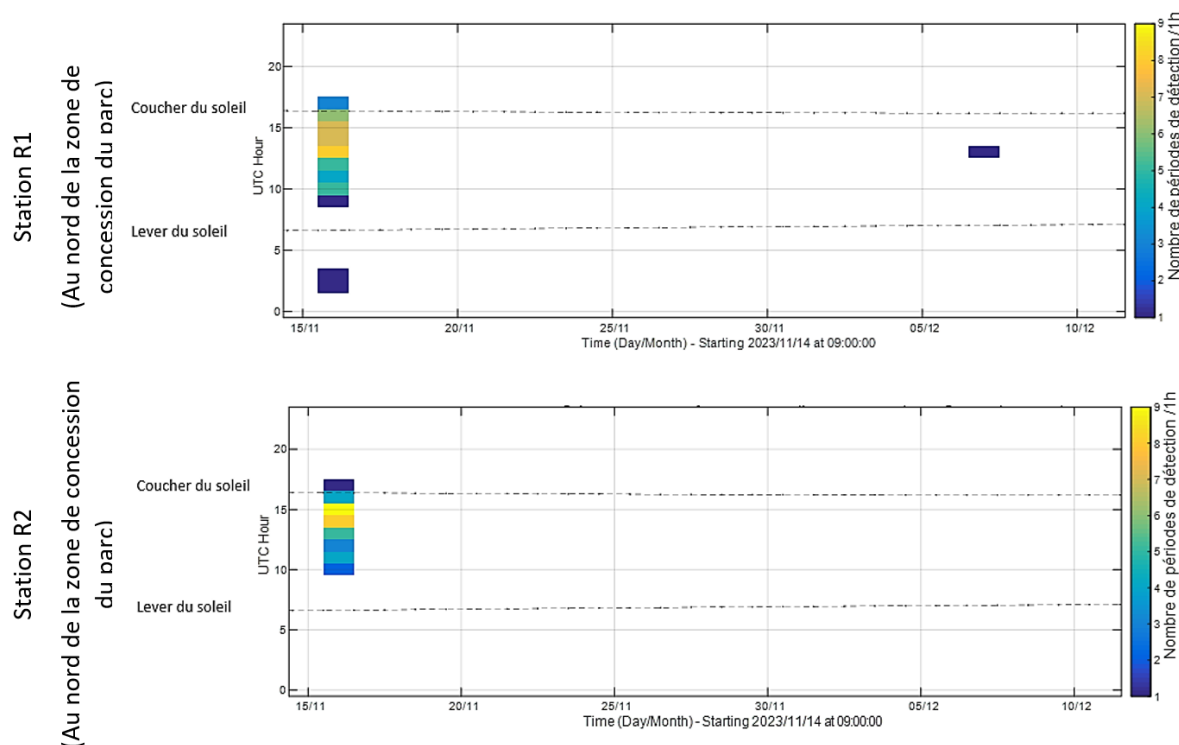


Figure 43 : Périodes de détections des pulses émis par les Rorquals communs (*Balaenoptera physalus*) en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque station (R1 et R2) entre le 14 novembre et 11 décembre 2023.

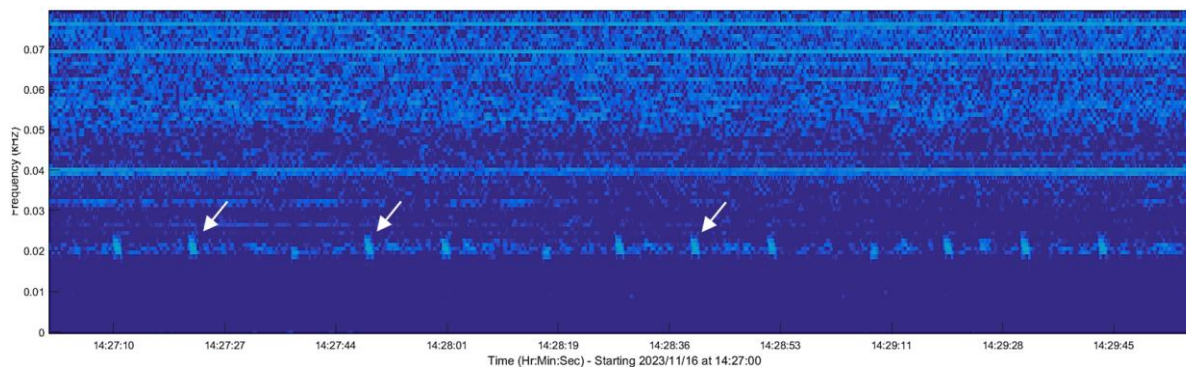


Figure 44 : Pulses émis seul par un Rorqual commun, *Balaenoptera physalus*, entre 23 Hz et 17 Hz (« 20-Hz signal ») à proximité de la station R1. Enregistrement du 16/11/2023 vers 14h27 UTC.

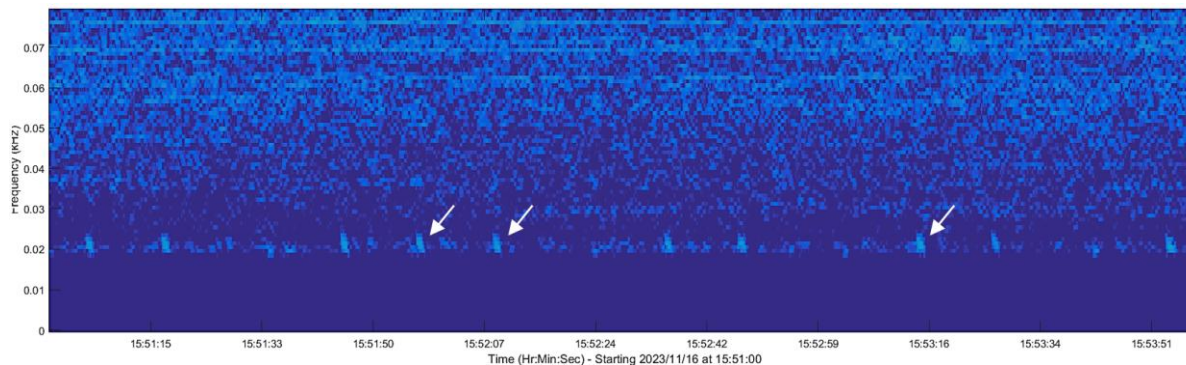


Figure 45 : Pulses émis seul par un Rorqual commun, *Balaenoptera physalus*, entre 23 Hz et 17 Hz (« 20-Hz signal ») à proximité de la station R2. Enregistrement du 16/11/2023 vers 15h51 UTC.



Famille des Physétérédés

Le Cachalot, *Physeter macrocephalus*, est considéré acoustiquement absent entre le 14 novembre et 11 décembre 2023 au niveau de chacune des stations (R1 et R2). En effet, aucun signal acoustique associé à la présence de Cachalots sur site (clics hautement directionnels émis entre 2 et 30 kHz) n'a été détecté sur la totalité de la période.

6.4.1.2. Comportements observés

Sur la période allant du 14 novembre au 11 décembre 2023, l'analyse des enregistrements qui contiennent des contacts acoustiques de Delphinidés indiquent de manière générale des comportements de socialisation par la présence majoritaire de sifflements entre 2 et 25 kHz, et de quelques clics dont la fréquence d'émission est inférieure à 80 kHz. A noter, la faible intensité d'émission des signatures acoustiques des Delphinidés observées dans la donnée pour la période automnale 2023 évoquent un probable transit de ces derniers au large des deux stations d'étude (R1 et R2). Cette hypothèse est associée principalement aux émissions de sifflements par les Delphinidés qui représentent la majorité des détections réalisées dans la donnée recueillie.

Concernant les Rorquals communs, une analyse des impulsions basses fréquences détectées aux alentours de 20 Hz sur la période du 14 novembre au 11 décembre 2023 a mis en évidence une régularité dans l'émission de ces signaux. La communauté scientifique s'accorde à dire que cette régularité est à l'origine de la formation d'un chant émis principalement par les mâles pendant la saison de reproduction de l'espèce (Romagosa et al., 2021b; Širović et al., 2013; Varga et al., 2018). Ainsi les impulsions de 20 Hz (« 20-Hz signal ») observées dans la donnée émis par les Rorquals communs sont associés à une fonction de cohésion sociale et de reproduction.

6.4.1.3. Classification des signaux biologiques détectés

Une classification des sifflements observés dans la bande fréquentielle allant de 2 à 25 kHz lors de l'étape de validation auditive et visuelle des signaux biologiques a été réalisée afin d'identifier les espèces émettrices (cf. 6.3.2). Après analyse des caractéristiques acoustiques des sifflements détectés, il a été possible d'identifier des sifflements émis par le Grand Dauphin, entre 5 et 15 kHz au niveau de chacune des stations d'étude (**Figure 46** et **Figure 47**).

A noter que la faible intensité sonore de la plupart des sifflements détectés rend les caractéristiques acoustiques de ces signaux peu visibles et donc, peu propices à la classification. Dans ce contexte, afin de garantir la qualité des informations d'identification, seuls les sifflements à contraste significatif ont été utilisés lors de cette opération de classification. Toutes les espèces de Delphinidés n'ont donc pas pu être identifiées avec certitude, mais il est possible d'affirmer leur appartenance au genre dauphin sp. (**Figure 48**).

Le Rorqual commun est à l'origine des pulses de type « downsweep » détectés entre 17 et 23 Hz dans les enregistrements (cf. **Figure 44** et **Figure 45**).



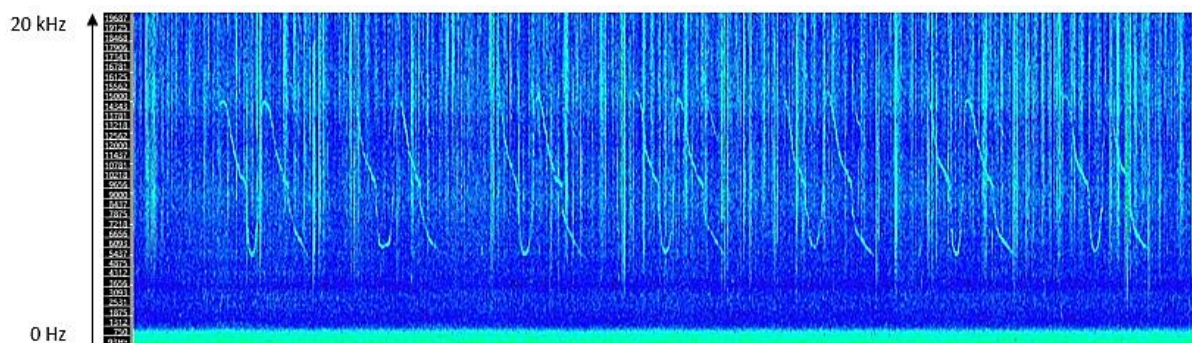


Figure 46 : Sifflements émis par le Grand Dauphin entre 5 et 15 kHz, à proximité de la station R1. Enregistrement du 06/12/2023 vers 01h38 UTC.

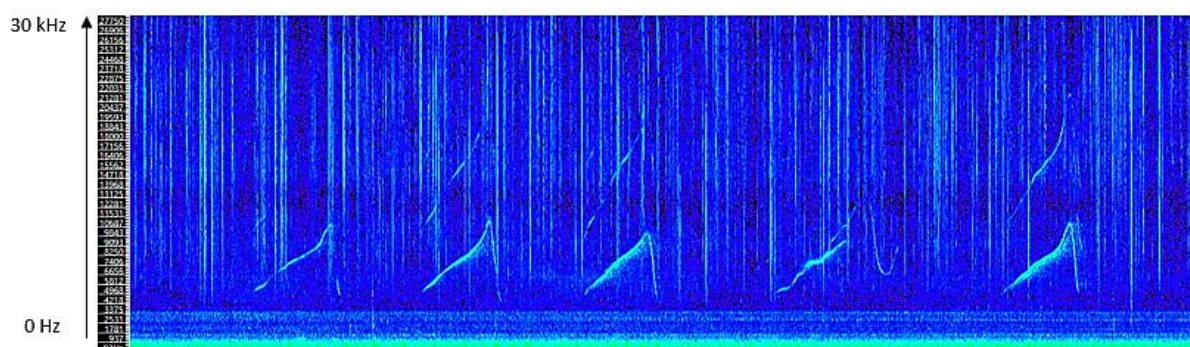


Figure 47 : Sifflements émis par le Grand Dauphin entre 5 et 15 kHz, à proximité de la station R2. Enregistrement du 03/12/2023 vers 14h42 UTC.

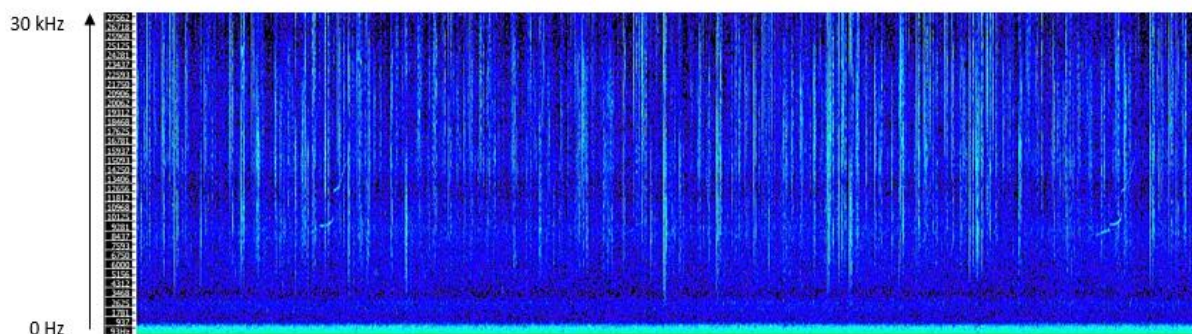


Figure 48 : Sifflements de très faible intensité émis par un dauphin sp., à proximité de la station R1. Enregistrement du 07/12/2023 vers 18h25 UTC.

6.4.1.4. Synthèse de la fréquentation du site

Le **Tableau 17** synthétise les résultats obtenus via les enregistreurs acoustiques (enregistrement en continu) quant à la présence des mammifères marins au niveau des stations de mesure R1 et R2 entre le 14 novembre et 11 décembre 2023 (période automnale) :

- Les stations d'étude sont principalement fréquentées par les Delphinidés avec une présence acoustique occasionnelle, soit un taux de présence de 43% au niveau de chacune des stations ;



- Les stations d'études sont très peu fréquentées par le Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) avec une présence acoustique exceptionnelle sur R1 et R2, présence principalement notable sur la journée du 16 novembre 2023 (cf. 6.4.1.1) ;
- Le Cachalot (*Physeter macrocephalus*) est acoustiquement absent sur l'ensemble des stations d'étude.

Le comportement prédominant des Delphinidés à proximité de chacune des stations d'étude est la **socialisation avec une présence majoritaire de sifflements observés dans les enregistrements**. Concernant les Rorquals communs, le comportement prédominant est associé à la **saison de reproduction de l'espèce avec l'émission de chants en basse fréquence par les individus mâles** (Varga et al., 2018).

	Fréquentation du site		Comportement	
	R1	R2	R1	R2
	Centre-Ouest de la zone de concession du parc		Centre-Ouest de la zone de concession du parc	
Delphinidés	Occasionnelle (43%)	Occasionnelle (43%)	Socialisation / transit	Socialisation / transit
Balénoptéridés	Exceptionnelle (7%)	Exceptionnelle (4%)	Cohésion sociale et associé à la période de reproduction de l'espèce	Cohésion sociale et associé à la période de reproduction de l'espèce
Physétéridés	Absence (0%)	Absence (0%)	N/A	N/A

Tableau 17 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins entre le 14 novembre et 11 décembre 2023 au niveau des stations de mesure R1 et R2. Ces résultats ont été obtenus à la suite de l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement en continu).

6.4.2. Analyse en regard des activités du chantier

Pour rappel, des activités spécifiques liées au projet d'installation du parc Eolien Flottant du Golfe du Lion (EFGL) ont été réalisées selon un planning défini. La période de suivi effective réalisée lors de cette étude couvre uniquement les phases de tirage des ancres et d'installation des chaînes d'ancrage (**Tableau 18**).

Des mesures longues durées (28 jours) ont donc été réalisées en simultané de ces phases de travaux à l'aide d'enregistreurs acoustiques sur la période allant du 14 novembre au 11 décembre 2023. Les données collectées ont permis de déterminer, entre autres, la fréquentation acoustique du site par les mammifères marins. Un croisement de ces données, c'est-à-dire des résultats obtenus pour la fréquentation des mammifères marins et la présence de ces activités sur site, a été réalisé afin de pouvoir évaluer un éventuel impact biologique.



De manière générale, la présence de Delphinidés sur site est observée principalement en dehors des périodes d'activités de la phase d'installation du projet. En effet, la détection de signatures acoustiques émises par les Delphinidés est majoritaire au niveau de chacune des stations d'étude après la date du 05/12/2023, date de démobilisation et de départ du site des navires de chantier. Quelques rares détections ont été réalisées en simultané avec des activités sur site à la date du 25 novembre 2023, 03 et 04 décembre 2023.

Concernant les Balénoptéridés, et plus précisément le Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), la détection des impulsions basses fréquences émises par cette espèce se concentre sur la journée du 16 novembre 2023 avec un nombre important de périodes de détections, journée pour laquelle aucune activité sur site n'a été recensée.

Bien qu'une interprétation de ces résultats reste difficile à établir sur la base d'une période de suivi acoustique de 28 jours, une corrélation est notable à l'échelle de la journée entre la fréquentation biologique et les activités de la phase d'installation sur site. En effet, en présence de travaux, une très faible présence de mammifères marins est relevée sur site tandis qu'en l'absence de travaux, une présence régulière de mammifères marins est observée et ce, quelle que soit la station. À la suite de ces constatations, il est supposé qu'après la fin des activités de la phase d'installation sur site, soit sur la base de cinq jours d'enregistrements, **aucun effet de désertion n'est observé pour les mammifères marins, et plus particulièrement pour les Delphinidés**. Ces derniers sont majoritairement présents sur le site et ce, dès la fin des travaux.



Date	Activité sur site	Présence de mammifères marins sur site (Nombre de périodes de détections sur la journée)			
		Station R1		Station R2	
		Delphinidés	Balénoptéridés	Delphinidés	Balénoptéridés
14/11/2023	Absence d'activités sur site	1	Absence	Absence	Absence
15/11/2023	Absence d'activités sur site	1	Absence	Absence	Absence
16/11/2023	Absence d'activités sur site	Absence	48	Absence	36
17/11/2023	Absence d'activités sur site	1	Absence	1	Absence
18/11/2023	Arrivée sur site des navires de chantier Tests et mesures du point d'ancrage	Absence	Absence	Absence	Absence
19/11/2023	Préparation des lignes de mouillage	Absence	Absence	Absence	Absence
20/11/2023	Tirage des ancrs sur éoliennes E1 et E2	Absence	Absence	Absence	Absence
21/11/2023	Tirage des ancrs sur éolienne E3	Absence	Absence	Absence	Absence
22/11/2023	Absence d'activités sur site (Mauvaises conditions météorologiques)	1	Absence	1	Absence
23/11/2023	Absence d'activités sur site (Mauvaises conditions météorologiques)	Absence	Absence	Absence	Absence
24/11/2023	Absence d'activités sur site (Mauvaises conditions météorologiques)	Absence	Absence	Absence	Absence
25/11/2023	Tirage des ancrs sur éoliennes E1 et E3	1	Absence	1	Absence
26/11/2023	Tirage des ancrs sur éoliennes E2 et E3	Absence	Absence	Absence	Absence
27/11/2023	Tirage des ancrs sur éoliennes E2 et E1	Absence	Absence	Absence	Absence
28/11/2023	Absence d'activités sur site	Absence	Absence	1	Absence
29/11/2023	Installation des chaînes d'ancrage sur E1 et E2	Absence	Absence	Absence	Absence
30/11/2023	Installation des chaînes d'ancrage sur E2 et E3	Absence	Absence	Absence	Absence
01/12/2023	Installation des chaînes d'ancrage sur E1 et E2	Absence	Absence	Absence	Absence
02/12/2023	Installation des chaînes d'ancrage sur E1	Absence	Absence	Absence	Absence
03/12/2023	Transit aller-retour des navires de chantier au port de Sète	5	Absence	13	Absence



Date	Activité sur site	Présence de mammifères marins sur site (Nombre de périodes de détections sur la journée)			
		Station R1		Station R2	
		Delphinidés	Balénoptéridés	Delphinidés	Balénoptéridés
	Installation des chaînes d'ancrage sur E2				
04/12/2023	Installation des chaînes d'ancrage sur E2 et E3	Absence	Absence	2	Absence
05/12/2023	Installation des chaînes d'ancrage sur E3 Démobilisation et départ du site	Absence	Absence	Absence	Absence
06/12/2023	Absence d'activités sur site	3	Absence	3	Absence
07/12/2023	Absence d'activités sur site	4	1	4	Absence
08/12/2023	Absence d'activités sur site	2	Absence	2	Absence
09/12/2023	Absence d'activités sur site	3	Absence	5	Absence
10/12/2023	Absence d'activités sur site	7	Absence	8	Absence
11/12/2023	Absence d'activités sur site	11	Absence	9	Absence

	Présence d'activités de chantier sur site
	Présence de mammifères marins sur site

Tableau 18 : Synthèse de la présence d'activités journalières liées à la phase d'installation du projet et la présence de mammifères marins sur site.



6.4.3. Analyse en regard de l'état initial (période du 02/08/2017 au 05/09/2017)

Pour rappel, l'état initial acoustique de ce projet a été réalisé par la société SOMME (Société d'Observation Multi-Modale de l'Environnement) sur la période d'étude du 02 août au 05 septembre 2017, soit durant la fin de la période estivale 2017. Sur cette période, un enregistreur acoustique a été déployé dans l'aire d'étude immédiate du projet (**Figure 49**) afin de caractériser la fréquentation du site par les mammifères marins par acoustique passive.

L'analyse des résultats obtenus par acoustique passive lors de cet état initial a permis de mettre en évidence l'absence acoustique des Delphinidés et des Cachalots (*Physeter macrocephalus*) au niveau de l'aire d'étude immédiate du projet. En effet, aucun signal acoustique associé à la présence de ces mammifères marins sur site (sifflements ou clics) n'a été détecté sur la totalité de la période, soit 33 jours d'enregistrement.

Une comparaison des résultats, sur une durée comparable (environ 30 jours), obtenus pour l'état initial (02/08 au 05/09/2017 – sans activités anthropiques sur site du projet) et la phase d'installation (14/11 au 11/12/2023 – avec activités anthropiques) du projet a pu être réalisée pour les stations R1 et R2 située au centre-ouest de la zone de concession du parc soit dans l'aire d'étude immédiate du projet à deux saisons différentes, i.e. durant la saison estivale pour l'état initial en 2017 et la saison automnale pour la phase d'installation en 2023 (**Tableau 19**). Cette comparaison permet de mettre en évidence la hausse de fréquentation du site par les mammifères marins avec une présence occasionnelle de Delphinidés en automne 2023, qui apparaît alors comme une saison propice à leur présence par rapport à la saison estivale 2017.

Que ce soit en été 2017 (état initial) ou en automne 2023 (phase d'installation), le Cachalot est une espèce acoustiquement absente de la zone d'étude. Ce résultat est cohérent avec la phénologie de l'espèce. En effet, le Cachalot est habituellement observé à la limite entre la plaine abyssale et le talus continental soit bien au-delà de la zone d'étude. Sa présence dans la liste des espèces a priori recensées au large du golfe du lion (cf. 6.1.2) est anecdotique et correspond à un écart de son aire de répartition (SOMME, 2018a).

A noter, la présence acoustique exceptionnelle du Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) sur site en automne 2023 serait principalement associée à la période de reproduction de l'espèce connue de l'espèce c'est-à-dire à la fin de l'automne et durant l'hiver (Romagosa et al., 2021a; Širović et al., 2013). En l'absence d'information sur la présence de cette espèce durant l'été 2017, aucune comparaison n'est possible entre l'état initial et la phase d'installation.



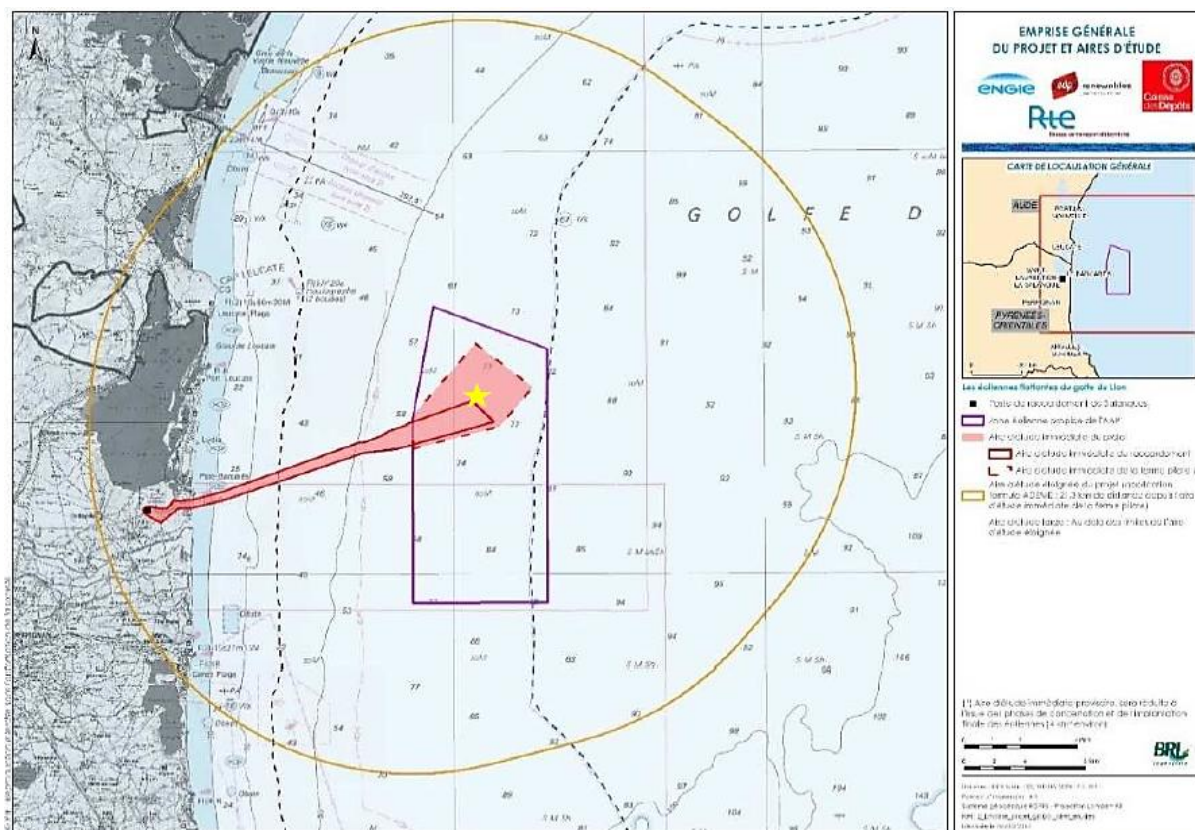


Figure 49 : Position théorique (étoile jaune) de l'enregistreur acoustique déployé dans l'aire d'étude immédiate du projet lors de l'état initial réalisé en été 2017 par la société SOMME. (source : SOMME, 2018)



			Aire d'étude immédiate du projet		
			Delphinidés	Balénoptéridés	Physétéridés
Etat Initial	Été 2017 02/08/2017 au 05/09/2017	Fréquentation du site	Absence (0%)	Absence d'information	Absence (0%)
		Plage horaire préférentielle	N/A	N/A	N/A
		Comportement	N/A	N/A	N/A
		Classification	N/A	N/A	N/A

			Station R1 Au centre-ouest de la zone de concession EFGL			Station R2 Au centre-ouest de la zone de concession EFGL		
			Delphinidés	Balénoptéridés	Physétéridés	Delphinidés	Balénoptéridés	Physétéridés
Phase d' installation	Automne 2023 14/11/2023 au 11/12/2023	Fréquentation du site	Occasionnelle (43%)	Exceptionnelle (7%)	Absence (0%)	Occasionnelle (43%)	Exceptionnelle (4%)	Absence (0%)
		Plage horaire préférentielle	Nuit	Jour	N/A	Nuit	Jour	N/A
		Comportement	Socialisation / transit	Cohésion sociale et associé à la période de reproduction	N/A	Socialisation / transit	Cohésion sociale et associé à la période de reproduction	N/A
		Classification	<i>Tursiops truncatus</i>	<i>Balaenoptera physalus</i>	N/A	<i>Tursiops truncatus</i>	<i>Balaenoptera physalus</i>	N/A

	Hausse de la fréquentation en regard de l'état initial 2017
	Fréquentation similaire à l'état initial 2017
	Baisse de la fréquentation en regard de l'état initial 2017
	Pas de comparaison possible avec l'état initial 2017

Tableau 19 : Synthèse des résultats quant à la présence de mammifères marins durant l'état initial (été 2017 – SOMME, 2018) et la phase d'installation du projet (automne 2023). Les résultats de la phase d'installation du projet ont été obtenus à la suite de l'analyse des détections réalisées par les enregistreurs acoustiques (enregistrement en continu).



6.5. Limites et difficultés rencontrées

La bioacoustique est une science puissante en termes de détections d'activités biologiques sous-marines. Elle permet d'acquérir des enregistrements par acoustique passive des sons émis par les animaux et ce, quelle que soit l'heure du jour et de la nuit. Toutefois, l'objectif même de détecter des sons d'origine animale aux caractéristiques variables et dans un environnement extrêmement fluctuant tel que celui de la mer, conduit à des limitations qu'il est nécessaire de prendre en compte lors de l'analyse et de l'interprétation des résultats.

6.5.1. Traitement des données

La représentativité temporelle élevée est l'un des points forts de l'acquisition par acoustique passive. Cet avantage est toutefois controversé : si les conditions de bruit ambiant sont difficiles un volume très important de signatures acoustiques est généré dans la donnée. Le traitement de ces données peut alors s'avérer chronophage et coûteux. Pour pallier ce problème de temps de traitement des données, des algorithmes de détection automatique peuvent être utilisés. Lorsque l'efficacité de ces algorithmes est erronée en raison de la présence d'un fort bruit ambiant dans la donnée, une solution alternative consiste à recourir à la validation humaine des échantillons.

De manière générale, lorsque des algorithmes de détections automatiques sont utilisés pour le traitement de données audio, un post-traitement (à base de filtre) et un effort de validation humaine sont requis afin de pouvoir confirmer les résultats obtenus.

Dans le cadre de cette étude, un bruit ambiant persistant a été mis en évidence dans les composantes basses fréquences. Ce bruit ambiant est principalement dû à la présence de signaux anthropiques (passage de navires). Un post-traitement et une validation des détections automatiques provenant des enregistreurs ont donc été réalisés afin de pouvoir confirmer les résultats obtenus.

6.5.2. Représentativité de la mesure

6.5.2.1. Portée de détection et représentativité spatiale

La distance de détection d'un son émis par un mammifère marin est influencée par de nombreux facteurs. D'une part, les caractéristiques de l'émission sonore sont dépendantes de la source, c'est-à-dire de l'animal lui-même. La fréquence, l'amplitude et le type de son vont influencer sur la distance de détection et vont être fonction de l'espèce, du comportement et de l'orientation de l'animal par rapport à l'hydrophone. D'autre part, les caractéristiques de la propagation de l'émission sonore varient selon le milieu dans lequel elle se propage. Ces caractéristiques dépendent principalement de la température et salinité de l'eau, de la profondeur et de la proximité d'interfaces (côte, fond, cisaillement des masses d'eau). La détection est également fortement dépendante du bruit ambiant, qu'il soit généré par l'environnement, les organismes biologiques ou les activités humaines. L'ensemble de ces caractéristiques déterminent donc pour chaque espèce la portée de détection et par conséquent le périmètre de présence biologique associé (cf. 6.2).

En général, la portée de détection d'un mysticète est bien supérieure à celle d'un petit Delphinidé. Dans ce contexte, bien que la force de l'acoustique passive tienne à l'excellente représentativité temporelle de l'acquisition, il est important de pallier la faible représentativité spatiale lorsqu'on recherche la présence de petits Delphinidés, tel que le Dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*) potentiellement présent au large de du golfe du Lion.



Dans le cadre de cette étude, la solution mise en œuvre pour atteindre cet objectif est un choix adapté de la sensibilité de l'hydrophone qui permet d'optimiser la distance de détection tout en minimisant la saturation en présence d'un fort bruit ambiant.

6.5.2.2. Comportement de l'animal et dénombrement

En ce qui concerne la détection des mammifères marins par acoustique passive, le comportement de l'animal représente le facteur principal qui va influencer sur la détection des sons émis par ce dernier. En effet, les mammifères marins sont généralement plus actifs vocalement lorsqu'ils sont en socialisation ou en activité de chasse que lorsque qu'ils sont en transit ou au repos. Certaines espèces sont également plus discrètes que d'autres d'un point de vue acoustique : les petites espèces limiteront leurs vocalises afin d'éviter d'être repérées par leurs prédateurs (par exemple les Orques), tandis que d'autres espèces comme les Baleines à bec (Ziphiidae) sont discrètes de nature aussi bien dans leur comportement de surface que dans leurs vocalises. Dans ces conditions, il est donc probable qu'un individu ou un groupe qui passe à proximité de l'hydrophone ne soit pas détecté.

Il est important de préciser la difficulté d'estimer le nombre d'individus au sein d'un groupe sur la base seule de leurs émissions sonores. Cet exercice est quasi-impossible. Toutefois, il peut être possible de détecter si un individu est probablement seul ou en présence d'un groupe d'individus.

6.5.3. Algorithme de détection automatique

De manière générale, les algorithmes de détection automatique identifient de manière fiable la présence, le cas échéant, de signaux impulsifs et/ou transitoires dans la donnée mesurée par acoustique passive. Toutefois, il apparaît qu'en présence d'un chorus sonore bruyant (1) le nombre de détections réalisées soit surestimé et, (2) les détections biologiques réalisées par l'algorithme s'apparentent en réalité à la détection de signaux anthropiques. En effet, la présence de bruit de mouillage tels que des chocs ou des grincements, provoqués par des chocs sur une surface ou par les vibrations d'éléments du mouillage acoustique à des fréquences inférieures à 5 kHz, peut entraîner une confusion pour l'algorithme de détection entre les signaux transitoires biologiques et ces signaux transitoires anthropiques. Dans un contexte similaire, la présence intensive de signaux impulsifs anthropiques dans la donnée mesurée, tels que ceux émis par un sonar actif, peut donner lieu à des faux positifs c'est-à-dire à la détection des signaux impulsifs émis par le sonar actif dans la bande de fréquence d'émission des clics de Delphinidés. La vérification humaine offre alors une alternative satisfaisante dans la grande majorité des cas pour confirmer l'origine des détections réalisées.



7. Conclusions

Quiet-Oceans a été mandatée par la société LEFGL pour réaliser le suivi des niveaux sonores (SC8) ainsi que le suivi de la fréquentation des mammifères marins par acoustique passive (SC9) à proximité de la zone de chantier, lors des phases de tirage des ancres et d'installation des lignes d'ancrage du projet. Cette étude fait suite à la phase d'état initial acoustique réalisé en 2018 (SOMME, 2018b) et aux engagements du maître d'ouvrage en matière de suivi des effets du projet l'environnement et d'amélioration de la connaissance.

- Les objectifs de cette étude en phase d'installation sont de :
- Mettre en œuvre un suivi par acoustique passive à l'aide d'enregistreurs autonomes ;
- Caractériser les niveaux de bruit physique et leur variation dans le temps ;
- Estimer les effets des travaux en regard de l'état initial ;
- Cartographier l'empreinte sonore des travaux ;
- Caractériser la fréquentation du site par les mammifères marins et les comportements associés.

Pour répondre à ces objectifs et conformément à la fiche protocole disponible en Annexe 1 (§9.1), les campagnes de mesures suivantes ont été menées :

- Une campagne de mesures par acoustique passive d'un mois, impliquant deux stations de mesure (**Figure 5**) ;
- Deux campagnes de profils de célérité (température et salinité) lors des déploiements et récupération des enregistreurs acoustiques, afin de valider l'utilisation des données issues de la plateforme CMEMS pour cartographier le bruit du projet sur zone.

Les résultats obtenus sont représentatifs des niveaux sonores et de la distribution spatio-temporelle des espèces de mammifères marins pour la phase d'installation allant du 14 novembre au 11 décembre 2023.

7.1. Analyse des niveaux sonores du chantier

L'analyse du bruit physique sur la période de mesure montre l'existence d'un bruit permanent, dépendant majoritairement de la hauteur de vague et de la force du vent pour la majorité des fréquences étudiées, et variant de 100 à 120 dB ref 1 μ Pa² en l'absence de travaux.

Tous les capteurs ont perçu le bruit produit par les opérations des navires rattachés aux travaux de tirage des ancres et d'installation des lignes d'ancrage. Ces opérations ont conduit à des augmentations de longue durée (jusqu'à plusieurs jours) du bruit jusqu'à des niveaux courants compris entre 120 et 150 dB ref 1 μ Pa², selon la distance entre les navires et les enregistreurs acoustiques.

En résumé, pendant la période des travaux, soit du 18 novembre au 05 décembre 2023 :

- Les niveaux faibles (99% du temps) sur cette période sont de 107,3 dB ref 1 μ Pa² (station R1) et de 107,6 dB ref 1 μ Pa² (station R2) ;



- Les niveaux médians (50% du temps) sur cette période sont de 122,8 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ (station R1) et de 121,2 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ (station R2).
- Les niveaux les plus forts et rares (percentile 1%) sur la période sont de 143,5 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ (station R1) et de 141,3 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ (station R2). En raison de son positionnement plus à l'intérieur du périmètre du parc (et donc de sa proximité accrue avec les navires de chantier), la station R1 a observé des niveaux sonores supérieurs de 2,2 dB à ceux mesurés à la station R2 au percentile 1%.

En comparaison des mesures réalisées lors de l'état initial (médiane de 110,5 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ dans la bande 20Hz-30kHz), les travaux induisent une augmentation médiane des niveaux sonores de +12,3 dB au niveau de la station R1 et de +10,7 dB au niveau de la station R2.

L'analyse spectrale montre également que le bruit induit par les travaux d'installation a eu un effet sur la totalité du spectre du bruit reçu au moins 50% du temps. Pour une proportion du temps comprise entre 10 et 50%, les fréquences inférieures à 1 000 Hz sont dominées par les activités anthropiques, tandis que les fréquences supérieures sont dominées par les effets météorologiques et la vie benthique. Les stations R1 et R2 montrent un profil de bruit reçu très proche.

L'analyse horaire des émergences sonores dans une bande fréquentielle spécifique à l'activité des organismes benthiques (7,1-8,9kHz, P50%) permet de mettre en évidence un accroissement du niveau sonore allant de +3 à +4 dB entre 18h00 et 06h00 UTC.

7.2. Comparaison aux hypothèses de l'étude d'impact

À la suite de l'analyse fine du séquençage des opérations de chantier fournies par LEFGL, une corrélation a pu être établie entre les périodes de travaux déclarées et les niveaux de bruit perçus. En comparaison au bruit ambiant sur zone, **la phase de travaux a généré une augmentation des niveaux sonores dans les proportions prévues par l'étude d'impact sur l'environnement, pour des durées variant de quelques heures à plusieurs jours.**

Le croisement des niveaux sonores mesurés aux fréquences spécifiques de 200 Hz et 10 kHz avec la navigation des navires de chantier Maersk Mariner et Maersk Transporter permet d'expliquer la majorité des variations des niveaux sonores large bande mesurés lors de la phase de travaux, avec une corrélation nette entre les niveaux sonores et la distance des navires aux capteurs.

Ces mesures in-situ ont été exploitées pour dériver les niveaux à la source lors des deux activités distinctes du chantier, à savoir le tirage des ancres et l'installation des lignes d'ancrage.

D'un point de vue spectral, les profils de bruit émis pour ces deux activités montrent des similitudes, avec une concentration d'énergie acoustique entre 20 Hz et 1 kHz. Des pics de bruit sont observés sous 100 Hz, puis les niveaux diminuent linéairement jusqu'à 1 kHz, avec une émergence à 800 Hz. Ces profils sont comparables en allure et en amplitude avec celui considéré dans l'étude d'impact.

D'un point de vue quantitatif, les niveaux de bruit médians estimés lors du tirage des ancres et de l'installation des lignes d'ancrage sont respectivement de 184 et 189 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ @1m. L'excès de 5 dB visible lors de l'installation des chaînes d'ancrage est probablement dû à un usage intensif des propulseurs à positionnement dynamique du navire Maersk Mariner par rapport à la phase de tirage des ancres, durant laquelle ce sont les propulseurs principaux du navire qui sont sollicités. Ces niveaux large bande sont conformes à ceux mesurés pour des navires DP2 similaires dans d'autres projets éoliens en mer. Lors de phases d'activité intense (1% du temps), ces niveaux augmentent épisodiquement jusqu'à 200 et 205 dB ref $1\mu\text{Pa}$ @1m.



Comparativement à l'hypothèse formulée dans l'étude d'impact, le niveau large bande médian est soit inférieur de 4 dB (tirage des ancres), soit comparable (installation des chaînes) au niveau de référence médian de 188 dB ref 1µPa@1m.

A partir des niveaux sonores émis, et sans tenir compte de la sensibilité auditive des espèces, la cartographie de l'empreinte sonore du projet pendant les deux étapes de chantier permet de conclure que :

Pour la phase de tirage des ancres :

- **L'empreinte sonore médiane des travaux a été très largement inférieure à celle modélisée pour l'EIE : 198 km² contre 376 km², soit -47%.**
- **La perception médiane des travaux a également été très largement inférieure : 7,9 km contre 12,4 km, soit -36%.**

Pour la phase d'installation des lignes d'ancrage :

- **L'empreinte sonore médiane des travaux a été similaire à celle modélisée dans l'EIE : 388 km² contre 376 km², soit +3%.**
- **La perception médiane des travaux a été légèrement inférieure : 11,1 km contre 12,4 km (-10%).**

Les cartographies incluant les audiogrammes des cétacés basse et moyenne fréquence sont disponibles en Annexe 2 (§9.2) de ce rapport.

7.3. Analyse de la fréquentation et du comportement des mammifères marins pendant le chantier

Le suivi par acoustique passive en temps différé permet de renseigner sur la fréquentation du site par les mammifères marins via l'analyse des signatures bioacoustiques détectées au niveau de chaque station. Un traitement spécifique semi-automatique a été réalisé afin d'établir des statistiques de fréquentation des familles de mammifères marins (Delphinidés, Balénoptéridés et Physétéridés) présentant sur la zone d'étude.

Le traitement bioacoustique de la donnée recueillie par les enregistreurs acoustiques consiste à détecter les signaux biologiques dans les données collectées à l'aide du logiciel PAMGuard, interface experte de la détection et classification des signaux émis par les mammifères marins. L'algorithme de détection appuie sa recherche sur des signaux physiques, impulsifs et/ou transitoires, qui peuvent être perturbés par une présence dominante de signaux physiques d'origine anthropique. Dans ce contexte, une validation manuelle (auditive et visuelle) des événements sonores détectés par ce logiciel a été réalisée par l'experte bioacoustique de Quiet-Oceans. Cette validation permet d'une part de qualifier les résultats de la détection automatique et d'autre part, d'analyser finement le comportement des espèces détectées.

La fréquentation de chaque zone par les mammifères marins a été établie pour la période automnale 2023 conformément au cahier des charges du projet. L'analyse des données des enregistreurs acoustiques a permis de confirmer la présence acoustique de Delphinidés, tels que le Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*) au niveau de chaque station de mesure et le Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), mais également de noter l'absence acoustique du Cachalot (*Physeter macrocephalus*) sur site.



Sur la période d'étude, **l'analyse des signaux bioacoustiques émis par les mammifères marins dans le parc éolien montre une présence acoustique occasionnelle de Delphinidés au niveau des stations R1 et R2**, avec une fréquentation plus marquée au début de mois de décembre 2023. Les détections réalisées permettent de noter un comportement prédominant de socialisation via la détection majoritaire des sifflements et de quelques clics émis dont la fréquence d'émission est inférieure à 80 kHz.

Les Rorquals communs sont, quant à eux, exceptionnellement présents au niveau des stations R1 et R2 durant la période automnale 2023. Les signatures acoustiques basses fréquences (pulses ou « 20-Hz signal ») émises à intervalle régulier par ces mammifères marins sont à l'origine d'un chant qui selon la communauté scientifique serait produit par les mâles pendant la saison de reproduction de l'espèce (Romagosa et al., 2021b; Širović et al., 2013; Varga et al., 2018). Quelle que soit la zone d'étude, la majorité des détections des « 20-Hz pulse » émis par les Rorquals communs se concentrent sur la journée du 16 novembre 2023 entre 02h00 et 18h00 UTC. Le **Tableau 20** propose une synthèse de la fréquentation des mammifères marins en fonction de la station d'écoute et de la période.

A noter qu'à partir des données collectées, **il a été possible de mettre en évidence une corrélation à l'échelle de la journée entre la fréquentation biologique et les activités de chantier sur site**. De manière générale, la présence de Delphinidés et Balénoptéridés sur site est observée majoritairement en dehors des périodes d'activités du chantier. En conclusion, **aucun effet de désertion n'a donc été observé pour les mammifères marins, et plus particulièrement pour les Delphinidés, dont le retour à proximité du site a été observé dès la fin des travaux**.

		Station R1			Station R2		
		Delphinidés	Balénoptéridés	Physétéridés	Delphinidés	Balénoptéridés	Physétéridés
14/11/2023 au 11/12/2023	Fréquentation du site	Occasionnelle (43%)	Exceptionnelle (7%)	Absence (0%)	Occasionnelle (43%)	Exceptionnelle (4%)	Absence (0%)
	Plage horaire préférentielle	Nuit	Jour	N/A	Nuit	Jour	N/A
	Comportement	Socialisation / transit	Cohésion sociale et associé à la période de reproduction	N/A	Socialisation / transit	Cohésion sociale et associé à la période de reproduction	N/A
	Classification	<i>Tursiops truncatus</i>	<i>Balaenoptera physalus</i>	N/A	<i>Tursiops truncatus</i>	<i>Balaenoptera physalus</i>	N/A

Fréquentation				
Quotidienne >70%	Régulière 50 à 70%	Occasionnelle 10 à 50%	Exceptionnelle <10%	Absence 0%

Tableau 20 : Synthèse des résultats quant à la présence acoustique des mammifères marins au niveau de chacune des stations d'étude. Ces résultats ont été obtenus à la suite de l'analyse des détections réalisées par les enregistreurs acoustiques (enregistrement en continu).

7.4. Prochaines étapes

Le programme de suivi du projet EFGL prévoit la poursuite des suivis acoustiques en phase d'exploitation, sur une année en continu à partir de la mise en service du projet, via le déploiement d'un enregistreur acoustique.

Afin de pouvoir disposer du recul nécessaire à l'interprétation quant à la fréquentation des mammifères marins sur site, nous recommandons effectivement de poursuivre le suivi acoustique des mammifères marins au niveau d'une station située au centre-ouest de la zone de concession du



parc et à proximité des emplacements déjà utilisés. Ce suivi acoustique doit impérativement inclure les saisons estivale et automnale, saisons similaires à l'état initial et à la phase d'installation.

Ces recommandations s'inscrivent dans le cadre du protocole BACI (Before-After-Control-Impact) qui recommande de suivre l'évolution des indicateurs avant, pendant et après les travaux.



8. Bibliographie

Biotope. (2023). Synthèse des informations récoltées dans le cadre de l'état de référence 2021/2022. 93–104.

Blanchard, A., Dorémus, G., Laran, S., Nivière, M., Sanchez, T., Spitz, J., & Van Canneyt, O. (2021). Distribution et abondance de la mégafaune marine en France métropolitaine. Rapport de campagne SAMM II Atlantique-Manche - Hiver 2021, de l'Observatoire Pelagis (UMS 3462, La Rochelle Université / CNRS) pour la Direction de l'Eau et de la Biodiversité et . 103. <http://www.observatoire-pelagis>

Erbe, C., Dunlop, R., Jenner, K. C. S., Jenner, M. N. M., McCauley, R. D., Parnum, I., Parsons, M., Rogers, T., & Salgado-Kent, C. (2017). Review of Underwater and In-Air Sounds Emitted by Australian and Antarctic Marine Mammals. *Acoustics Australia*. <https://doi.org/10.1007/s40857-017-0101-z>

Garcia, H. A., Couture, T., Galor, A., Topple, J. M., Huang, W., Tiwari, D., & Ratilal, P. (2020). Comparing performances of five distinct automatic classifiers for fin whale vocalizations in beamformed spectrograms of coherent hydrophone array. *Remote Sensing*, 12(2), 1–25. <https://doi.org/10.3390/rs12020326>

MacGillivray, A., Ainsworth, L., Zhao, J., Frouin-Mouy, H., Dolman, J., & Bahtiarian, M. (2020). ECHO vessel noise correlations study. Technical Report 02025, May.

Pettex. (2014). Suivi Aérien de la Mégafaune Marine en France métropolitaine.

Richardson, W. J., Greene, C. R., Malme, C. I., Thomson, D. H., Moore, S. E., & Wiirsig, B. (2013). Marine Mammals and Noise. In *Marine Mammals and Noise*. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02253-3>

Risch, D. (2023). Characterisation of underwater operational noise of two types of floating offshore wind turbines.

Romagosa, M., Pérez-Jorge, S., Cascão, I., Mouriño, H., Lehodey, P., Pereira, A., Marques, T. A., Matias, L., & Silva, M. A. (2021a). Food talk: 40-Hz fin whale calls are associated with prey biomass. In *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 288, Issue 1954). <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.1156>

Romagosa, M., Pérez-Jorge, S., Cascão, I., Mouriño, H., Lehodey, P., Pereira, A., Marques, T. A., Matias, L., & Silva, M. A. (2021b). Food talk: 40-Hz fin whale calls are associated with prey biomass. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 288(1954). <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.1156>

Samaran, F., Des, A., Acoustiques, S., Biologique, D. O., Stafford, K., Ridoux, V., Adam, O., & Guinet, C. (2009). ANALYSE DES SIGNAUX ACOUSTIQUES D'ORIGINE BIOLOGIQUE ENREGISTRES DANS L'OCEAN INDIEN: IMPLICATIONS DANS LE RECENSEMENT ET LE SUIVI DES MOUVEMENTS SAISONNIERS DES CETACES Flore Samaran To cite this version : HAL Id : tel-00365083. Université de la Rochelle.

Širović, A., Williams, L. N., Kerosky, S. M., Wiggins, S. M., & Hildebrand, J. A. (2013). Temporal separation of two fin whale call types across the eastern North Pacific. *Marine Biology*. <https://doi.org/10.1007/s00227-012-2061-z>

SOMME. (2018a). Eoliennes flottantes du Golfe du Lion - Etude d'impact sur l'environnement, volet acoustique sous-marine version finale.



SOMME. (2018b). ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT VOLET ACOUSTIQUE SOUS-MARINE
VERSION FINALE.

Southall, B. L., Finneran, J. J., Reichmuth, C., Nachtigall, P. E., Ketten, D. R., Bowles, A. E., Ellison, W. T., Nowacek, D. P., & Tyack, P. L. (2019). Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals*, 45(2), 125–232. <https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125>

Todd, V., Todd, I. B., Gardiner, J. C., & Morrin, E. C. N. (2015). Marine mammal observer & passive acoustic monitoring handbook (O. S. C. Ltd (ed.)). Pelagic Publishing.

Varga, L. M., Wiggins, S. M., & Hildebrand, J. A. (2018). Behavior of singing fin whales *Balaenoptera physalus* tracked acoustically offshore of Southern California. *Endangered Species Research*. <https://doi.org/10.3354/esr00881>



9. Annexes

9.1. Annexe 1 : Fiche protocole acoustique



9.2. Annexe 2: Empreinte sonore des différents ateliers suivis lors de la pose des ancres





Suivi par acoustique passive du bruit ambiant et de la fréquentation des mammifères marins

Phase d'installation des ancres

Septembre 2024



Les éoliennes flottantes
du golfe du Lion