

Suivi acoustique passif du bruit ambiant et des mammifères marins dans le cadre de l'aménagement portuaire du port de Galisbay

Etat de reference

Identification du document

Référence du document	QO.20211104.10.RAP.001.03A
Donneur d'ordre	Etablissement portuaire de Saint Martin (EPSM)
Client	Etablissement portuaire de Saint Martin (EPSM)
Reference du contrat	
Contact	Didier Grosdemange (dgrosdemange@gaia-terrebleue.fr) Alberic Ellis (Alberic.Ellis@portdemarigot.com)

PROJET	DOC	CHRONO	VER	IND	CLIENT	ACRO	DATE	TYPE	CLASS
QO.20211104.10	RAP	001	03	A	EPSM	GBM	11.01.2024	PROD	DR



Historique du document

Ver	Ind.	Responsable	Date	Vérification	Validation	Transmission	Description
01	A	J. Bellanger	01.06.2022	J. Chompret	D. Clorennec	04.07.2022	Version initiale
02	A	J. Bellanger	22.08.2022	J. Chompret	D. Clorennec	02.09.2022	Ajout résultats de la saison estivale 2022
03	A			J. Chompret	D. Clorennec	15.09.2022	Prise en compte corrections Client

Citation

J. Bellanger, J. Chompret, D. Clorennec (2022), Suivi acoustique passif du bruit ambiant et des mammifères marins dans le cadre de l'aménagement portuaire du port de Galisbay, Etat de reference, numéro QO.20211104.10.RAP.001.03A, Quiet-Oceans, Brest, France



PROJET FINANCÉ
par le fonds européen
de développement régional

*Dans le cadre de REACT-EU :
dispositif de relance de l'Union en
réponse à la pandémie de COVID-19*

Table des matières

Liste des figures	5
Liste des tableaux	7
Lexique des mots techniques	8
Chapitre I. Présentation de l'étude.....	11
Chapitre II. Introduction.....	12
II.1. La problématique du bruit sous-marin	12
II.2. Qu'est-ce que le chorus sonore sous-marin.....	13
II.3. Approche retenue pour l'évaluation de l'état de référence	15
Chapitre III. Protocole des mesures.....	16
III.1. Les systèmes de mesure	17
III.1.1. Enregistreur acoustique passif	17
III.1.2. Le système d'émission PULSE.....	18
III.1.3. Sonde CTD	19
III.2. Données collectées.....	20
III.2.1. Campagne printemps 2022	21
III.2.2. Campagne été 2022	22
III.2.3. Synthèse des données collectées	23
Chapitre IV. Analyse des niveaux sonores mesurés	24
IV.1. Campagne printemps 2022.....	24
IV.1.1. Analyse des mesures actives	24
IV.1.2. Analyse du bruit ambiant large bande	26
IV.1.3. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquences	28
IV.2. Campagne été 2022.....	31
IV.2.1. Analyse du bruit ambiant large bande	31
IV.2.2. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquences	34
IV.3. Comparaison saisonnière des niveaux sonores mesurés : printemps et été 2022	36
Chapitre V. Détection des signaux biologiques	37
V.1. Connaissance biologique a priori du site	37
V.1.1. Rappel sur la classification scientifique des espèces.....	37
V.1.2. Fréquentation a priori du site par les mammifères marins	38
V.1.3. Signature acoustique des cétacés	40
V.2. Portée de détection des enregistreurs acoustiques.....	42
V.3. Procédé de traitement bioacoustique.....	44
V.3.1. Algorithmes de détection et d'identification des évènements sonores.....	44
V.3.2. Validation des évènements sonores.....	45
V.4. Résultats	45
V.4.1. Campagne printemps 2022	46
V.4.2. Campagne été 2022	51
V.5. Limites et difficultés rencontrées.....	54



V.5.1. Traitement des données	54
V.5.2. Représentativité de la mesure	55
V.5.3. Algorithme de détection automatique	55
Chapitre VI. Conclusions	57
VI.1. Campagne printemps 2022.....	57
VI.1.1. Analyse du bruit physique	57
VI.1.2. Analyse des signaux biologiques.....	58
VI.2. Campagne été 2022.....	58
VI.2.1. Analyse du bruit physique	58
VI.2.2. Analyse des signaux biologiques.....	58
VI.3. Recommandations.....	59
Bibliographie	61

Liste des figures

Figure 1 : Contexte géographique de l'étude.....	11
Figure 2 : Echelle qualitative des niveaux de bruits sous-marins émis à un mètre dans une bande basse fréquence de quelques kHz.	12
Figure 3 : Composition du chorus sonore sous-marin.	13
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 (Dosits.org, 2016).	14
Figure 5: Protocole géographique des mesures.	16
Figure 6 : Enregistreur acoustique Sylence et schéma de déploiement.	17
Figure 7 : Système de mesures acoustiques actives.	18
Figure 8 : Protocole des émissions acoustiques actives effectuées le 08/03/2022.	24
Figure 9 : Niveau sonore large bande (20Hz -40 kHz) durant la saison printemps 2022.	27
Figure 10 : Illustration des détections anthropiques sur la période printemps 2022 (à gauche), illustration des émergences anthropiques courtes, sur la période printemps 2022, en fonction de l'heure UTC (heure locale +4).	27
Figure 11 : Corrélation du bruit environnemental à 1500Hz avec la vitesse du vent, printemps 2022.	27
Figure 12 : Spectrogramme d'un passage de navire en R1 le 09/03/2022.	28
Figure 13 : Statistiques de niveaux sonores en fonction de la fréquence durant le printemps 2022. (Courbes grises, référence d'après modèle de Wenz).	29
Figure 14 : Illustration du niveau sonore en fonction du jour et de l'heure pour différentes bandes de fréquence (les traits pointillés donnent les lever et coucher du soleil).	30
Figure 15 : Niveau sonore large bande (20Hz -40 kHz) durant la saison été 2022.	31
Figure 16 : Illustration des détections anthropiques sur la période été 2022 (à gauche), illustration des émergences anthropiques courtes, sur la période été 2022, en fonction de l'heure UTC (heure locale +4).	32
Figure 17 : Corrélation du bruit environnemental à différentes fréquences avec la vitesse du vent durant la saison estivale 2022.	32
Figure 18 : Spectrogrammes illustratifs des passages de navires durant l'été 2022.	33
Figure 19 : Statistiques de niveaux sonores en fonction de la fréquence durant l'été 2022 (Courbes grises, référence d'après modèle de Wenz).	35
Figure 20 : Schéma de la classification scientifique des espèces océaniques et marines de mammifères. Source : Quiet-Oceans.	38
Figure 21 : Famille des Delphinidés – Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>). Source : EcoOcéan Institut.	39
Figure 22 : Famille des Delphinidés – Globicéphale tropical (<i>Globicephala macrorhynchus</i>). Source : Globice..	39
Figure 23 : Famille des Physétéridés – Cachalot (<i>Physeter macrocephalus</i>). Source : AMP.	39
Figure 24 : Famille des Balénoptéridés – Baleine à bosse (<i>Megaptera novaeangliae</i>). Source : MICS.	39
Figure 25 : Sifflements de Delphinidés émis entre 2 kHz et 25 kHz. Source : Quiet-Oceans.	40
Figure 26 : Clics de Delphinidés émis entre 10 kHz et 180 kHz. Source : Quiet-Oceans.	40
Figure 27 : Mugissements de Baleine à bosse (<i>Megaptera novaeangliae</i>) émis entre 100 Hz et 4 kHz. Source : Quiet-Oceans.	42
Figure 28 : Train de pulse « slow-down » émis par un Petit Rorqual, <i>Balaenoptera acutorostrata</i> (Risch, et al., 2013).	42
Figure 29 : Clics de Cachalot macrocéphale (<i>Physeter macrocephalus</i>) entre 2 et 30 kHz. Source : Quiet-Oceans.	42
Figure 30 : Procédure générale appliquée à la donnée brute pour le traitement bioacoustique des enregistrements sonores.	44
Figure 31 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit au niveau de la zone R2 (08/03/2022 au 19/04/2022).	46

Figure 32 : Probable épisode de chasse opportuniste observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone R2. Journée du 03 avril 2022 vers 23h10 UTC...	47
Figure 33 : Clics d'écholocation de Delphinidés détectés sur la journée du 03 avril 2022 vers 23h08 UTC à proximité de la zone R2. A noter, présence de la trace d'un navire en-dessous de 20 kHz.	47
Figure 34 : Périodes de détections des mugissements émis par les Baleines à bosse (<i>Megaptera novaeanglie</i>) en fonction du jour et de la nuit au niveau de la zone R2 (08/03/2022 au 19/04/2022).	48
Figure 35 : Mugissements de Baleine à bosse (<i>Megaptera novaeangliae</i>) détectés sur la journée du 16 mars 2022 vers 05h49 UTC à proximité de la zone R2.	48
Figure 36 : Chant de Baleine à bosse (<i>Megaptera novaeangliae</i>) détecté sur la journée du 16 mars 2022 vers 09h30 UTC à proximité de la zone R2.	48
Figure 37: Sifflements probablement émis par le Dauphin tacheté de l'Atlantique (<i>Stenella frontalis</i>) entre 4 et 18 kHz, le 25 mars 2022 vers 10h40 UTC au niveau de la zone R2.	49
Figure 38 : Sifflements probablement émis par le Dauphin tacheté pantropical (<i>Stenella attenuata</i>) entre 7 et 20 kHz, le 31 mars 2022 vers 00h46 UTC au niveau de la zone R2.	50
Figure 39 : Sifflements de faible intensité observés sur l'enregistrement du 09 mars 2022 à 21h55 UTC, au niveau de la zone R2, appartenant au genre dauphin <i>sp.</i>	50
Figure 40: Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit au niveau de la zone R2 (28/06/2022 au 28/07/2022).	52
Figure 41 : Clics de communication de faible densité et intensité émis par un Delphinidé le 23 juillet 2022 vers 23h51 UTC à proximité de la zone R2.	52
Figure 42 : Clics d'écholocation de Delphinidés (faible intensité) détectés dans la nuit du 26 juillet 2022 vers 23h20 UTC à proximité de la zone R2.	52
Figure 43 : Sifflements de très faible intensité observés sur l'enregistrement du 08 juillet 2022 à 02h57 UTC, au niveau de la zone R2, appartenant au genre dauphin <i>sp.</i>	53
Figure 44 : Sifflements émis par le genre dauphin <i>sp.</i> , observés sur l'enregistrement du 16 juillet 2022 à 11h31 UTC au niveau de la zone R2.	53

Liste des tableaux

Tableau 1: Zones d'implantation du suivi acoustique.	16
Tableau 2 : Caractéristiques techniques de l'enregistreur acoustique.....	18
Tableau 3 : Propriétés du système PULSE.....	18
Tableau 4 : Caractéristiques de la sonde CTD.	19
Tableau 5 : Profils de célérité en fonction de la position et comparaison aux données de la base mondiale CMEMS.	19
Tableau 6: Synthèse des données acoustiques collectées durant la saison printemps 2022.....	21
Tableau 7: Synthèse des données acoustiques collectées durant la saison été 2022.....	22
Tableau 8 : Synthèse des mesures acoustiques collectées.....	23
Tableau 9 : Comparaison des pertes de propagation entre mesures () et modélisation ().	25
Tableau 10 : Synthèse des propriétés géo-acoustiques équivalentes.....	26
Tableau 11 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) (exprimés en dB ref 1µPa ²) durant la saison printemps 2022.....	28
Tableau 12 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) (exprimés en dB ref 1µPa ²) durant la saison été 2022.	34
Tableau 13 : Répartition horaire des bruits anthropiques et benthiques mesurés au point R2 lors de l'été 2022.	35
Tableau 14 : Comparaison des niveaux sonores mesurés lors de l'été et du printemps 2022, dans la zone R2, en fonction du percentile.	36
Tableau 15 : Synthèse des données concernant les mammifères marins susceptibles d'être présents en mer au large de Galisbay à proximité de la zone étudiée (Impact Mer).	39
Tableau 16 : Exemple de la diversité de sifflements émis par les Delphinidés avec le spectrogramme des émissions des espèces supposées présentes au large de Galisbay.....	40
Tableau 17 : Synthèse des portées de détection pour la zone d'étude R2 en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes au large de Galisbay (saison printanière 2022).....	43
Tableau 18 : Synthèse des portées de détection pour la zone d'étude R2 en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes au large de Galisbay (saison estivale 2022).	44
Tableau 19 : Définition des indicateurs de la fréquentation par les mammifères marins.....	45
Tableau 20 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins au niveau de la zone R2 en saison printanière, entre le 08 mars et 19 avril 2022. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement en continu).	51
Tableau 21 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins au niveau de la zone R2 en saison estivale, entre le 28 juin et 28 juillet 2022. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement en continu)...	54
Tableau 22 : Synthèse des résultats quant à la présence acoustique des mammifères marins durant les périodes printanière et estivale 2022 au niveau de la zone R2. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées par l'enregistreur acoustique (enregistrement en continu).	60

Lexique des mots techniques

L'acoustique sous-marine est un domaine scientifique de la mécanique des fluides. Elle utilise son propre vocabulaire et ses propres unités. Une définition des principaux termes utilisés est présentée dans ce lexique afin de faciliter la compréhension du document par le lecteur.

Acoustique active

Emission de signaux acoustiques de référence afin de quantifier les pertes subies par les ondes acoustiques lorsqu'elles se propagent dans le milieu marin.

Acoustique passive

Mesure du bruit ambiant sans générer de bruit parasite qui puisse affecter l'observation du chorus sonore.

AIS

Automated Identification System est un système à bord des navires qui transmet à un réseau d'observation leurs identifications et leurs localisations en quasi temps-réel. Différentes stations réceptrices, mis en œuvre par les services de l'Etat ou des sociétés privées permettent ainsi de surveiller le trafic maritime en quasi-temps-réel. La couverture maximale peut atteindre 30 miles nautiques des côtes en fonction des conditions climatiques.

Chorus sonore

Le chorus sonore représente la diversité des sources sonores présentes dans le milieu marin. Il se compose de trois natures de bruits : les bruits naturel (ou géophonie), les bruits biologiques (ou biophonie) et les bruits d'origine humaine (anthropophonie).

CPA

Closest Point of Approach (en anglais) correspond à la distance minimale entre une trajectoire linéaire d'un navire et une position géographique (hydrophone par exemple).

Décibel

Le décibel (dB) est une mesure du niveau de pression acoustique, une quantité qui se trouve à la base de la perception du volume sonore. C'est une échelle logarithmique qui décrit un multiple d'une valeur de référence. Lorsque la puissance sonore double, la valeur en décibel augmente de 3 dB. En acoustique sous-marine, le niveau de référence du décibel est 1 μPa (micro Pascal), référence différente de l'acoustique aérienne. Les deux échelles ne sont donc pas comparables.

Empreinte sonore

Une empreinte sonore représente la distribution du niveau sonore d'une source de bruit qui émerge au-dessus du bruit existant lorsque cette source est absente.

Energie acoustique reçue

L'énergie reçue est égale au carré du signal de pression acoustique reçu. Elle s'exprime en dB réf. $1\mu\text{Pa}^2$.

Fréquence sonore

La fréquence correspond au nombre d'oscillations de la pression sonore en une seconde. Les sons graves ont une fréquence basse, les sons aigus ont une fréquence élevée. L'unité de la fréquence est l'Hertz (Hz). A titre d'illustration, l'oreille humaine ne perçoit que les fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz, bien que la limite supérieure diminue généralement avec l'âge. Les espèces sous-marines ont un spectre auditif différent.

Gabarit de bruit

Niveau de pression ou d'énergie sonore émis par une source à un mètre de distance, décrit en fonction de la fréquence.

Hydrophone

Un hydrophone est un microphone destiné à être utilisé sous l'eau. Il convertit une variation de pression en variation de tension électrique permettant ainsi l'enregistrement de la pression acoustique en fonction du temps.

ICI

ICI (Inter-Click Interval) fait référence à l'intervalle de temps entre deux clics (signaux impulsifs) consécutifs émis par un mammifère marin.

IPI

IPI (Inter-Pulse Interval) fait référence à l'intervalle de temps entre deux pulses consécutifs émis par un mammifère marin.

Mitigation

Mesure de réduction de bruit qui agit soit au niveau de la source soit au niveau de la propagation.

Octave

Une octave est l'intervalle séparant deux sons dont la fréquence fondamentale de l'un vaut le double de la fréquence de l'autre. Un tiers ou dixième d'octave est une fraction d'octave. La norme américaine American National Standard Institut (ANSI S1.11 2004) définit les fréquences centrales et les caractéristiques des filtres servant à les distinguer.

Marnage

Modification de la hauteur d'eau principalement lié à l'effet des marées. Il s'exprime en mètres et est référencé sur le zéro hydrographique. Le zéro hydrographique est voisin du niveau des plus basses mers astronomiques.

Niveau d'exposition sonore

Le niveau d'exposition sonore est l'intégrale de l'énergie acoustique reçue sur une bande de fréquence de sensibilité biologique (bande de fréquence effectivement perçue par une espèce) pendant une durée donnée. Il s'exprime en dB réf. $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$.

PAM (Passive Acoustic monitoring).

Système de mesures acoustiques temps-réel et/ou autonome permettant le suivi sur de longues périodes de la présence/fréquentation des espèces marines et des niveaux sonores.

Percentile, ou centile, quantile

Un percentile correspond à la proportion du temps et de l'espace pour lequel le bruit dépasse un niveau donné. Dans le cas de cette étude, un percentile N donne donc le niveau de pression acoustique minimum que l'on mesurerait avec une probabilité de N% dans la zone géographique et la période de temps considérée.

Cette notion est très répandue, même dans la vie de tous les jours. A titre d'exemple, les carnets de santé de chaque individu présentent des courbes de répartition du poids de la population infantile en fonction de l'âge en percentiles : on peut par exemple y voir, pour chaque âge, « le poids moyen du dernier percentile », c'est-à-dire le poids moyen des 10 % des enfants les plus lourds, ou encore, le poids moyen des 5 % des enfants les plus légers. Le 50ⁱème percentile représente quant à lui le poids médian, c'est-à-dire le poids de 50% des enfants d'un même âge.

Pertes de propagation

Les pertes de propagation acoustique correspondent à l'atténuation des ondes causée par le milieu de propagation en fonction de la distance à la source.

Pression acoustique crête à crête

La pression acoustique crête à crête est la différence d'amplitude de la pression acoustique entre sa valeur maximale et sa valeur minimale sur une période.

Pression acoustique émise

La pression acoustique émise par une source de bruit est l'amplitude du signal qui serait généré à un mètre de cette source si celle-ci était ponctuelle. Cette pression peut être exprimée en valeur instantanée, valeur moyenne, valeur efficace, ou en valeur maximale. Elle s'exprime en dB réf. $1\mu\text{Pa}$ @1m.

Pression acoustique reçue

La pression acoustique reçue est l'amplitude du signal acoustique tel qu'il peut être mesuré sur la bande de fréquences de réception d'un hydrophone à une distance donnée de toute source sonore. Cette pression peut être exprimée en valeur instantanée, valeur efficace, ou valeur maximale. Elle s'exprime en dB réf. $1\mu\text{Pa}$.

Profil de célérité

La célérité décrit la vitesse à laquelle les ondes sonores se déplacent dans le milieu marin. Elle est fonction de la profondeur, de la température et de la salinité. Sa variabilité est temporelle (en fonction des saisons, des événements météorologiques, etc.) et spatiale.

Quantile

Voir percentile.

Spectrogramme

Un spectrogramme est le résultat d'un traitement du signal acoustique qui permet la visualisation de ce signal en fonction du temps et de la fréquence. Cette représentation du signal offre des possibilités intéressantes quant à son analyse.

Chapitre I. Présentation de l'étude

Dans le cadre de l'appel d'offres de l'établissement portuaire de Saint-Martin pour l'élaboration du dossier d'autorisation environnementale unique et la réalisation de modélisations océanographiques relatifs aux projets de dragage et d'extension du port de commerce de Galisbay, Gaïa Terre Bleue (Gaïa) sollicite Quiet-Oceans pour le volet acoustique sous-marin.

Les travaux prévus comprennent des opérations de dragage et de battage pour l'extension du port et la création de nouveaux quais. Selon une étude d'impact, réalisée par Impact Mer en 2015, un risque acoustique fort existe pour plusieurs espèces marines sur une distance allant jusqu'à 2 km.

L'étude traitée dans ce rapport vise à établir un état de référence du paysage acoustique avant travaux à Galisbay, qui servira par la suite comme base de comparaison pour les phases de travaux.

Les objectifs de l'état de référence sont :

- ✓ De mettre en œuvre un suivi acoustique à l'aide d'enregistreurs acoustiques autonomes ;
- ✓ De traiter les données mesurées afin de déterminer le bruit ambiant sous-marin ainsi que la fréquentation et le comportement des mammifères marins ;
- ✓ De connaître les conditions de propagation acoustique sous-marine dans la Grand'Baie.

Pour répondre à ces objectifs, des campagnes de mesures acoustiques ont été menées, à savoir :

- ✓ Deux campagnes de mesures acoustiques passives d'un mois chacune ;
- ✓ Deux campagnes de mesures acoustiques actives pour la mesure de propagation du son à différentes stations dans la Grand'Baie lors du déploiement des enregistreurs acoustiques passifs ;
- ✓ Quatre campagnes de profils de célérité (température et salinité) lors des déploiements et récupération des enregistreurs acoustiques.

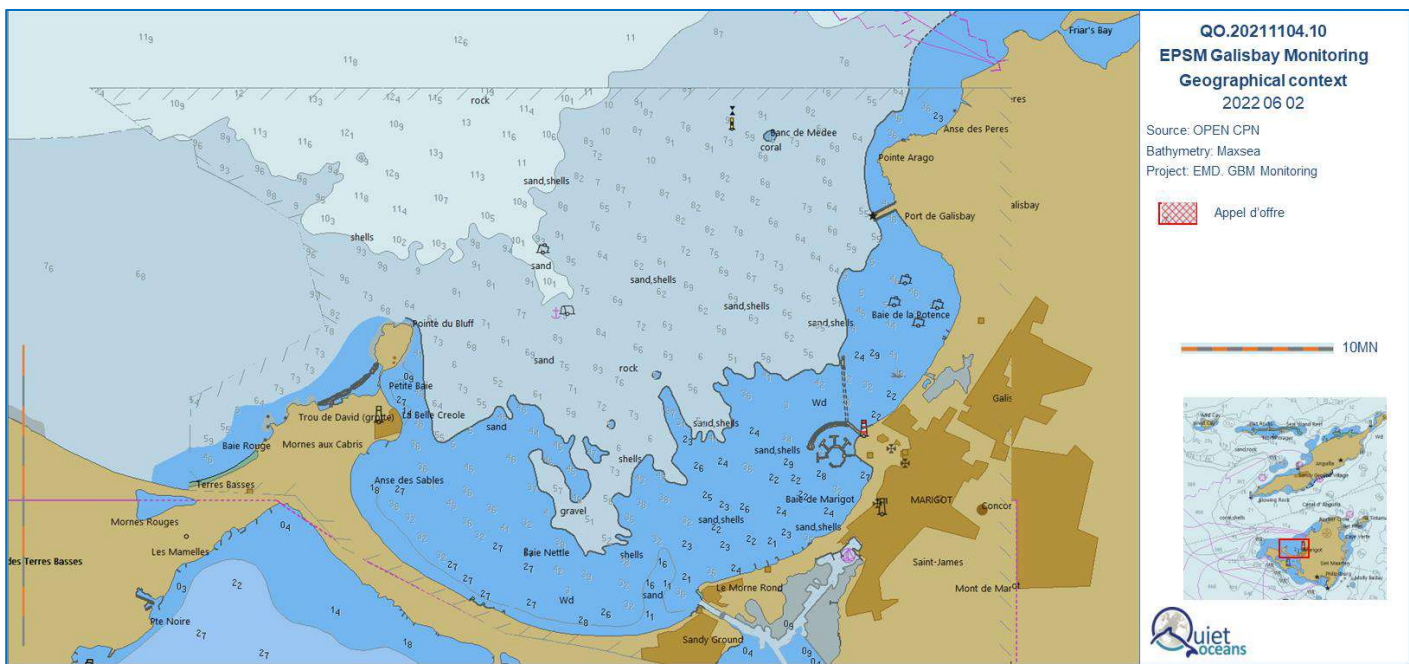


Figure 1 : Contexte géographique de l'étude.

Chapitre II. Introduction

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

II.1. La problématique du bruit sous-marin

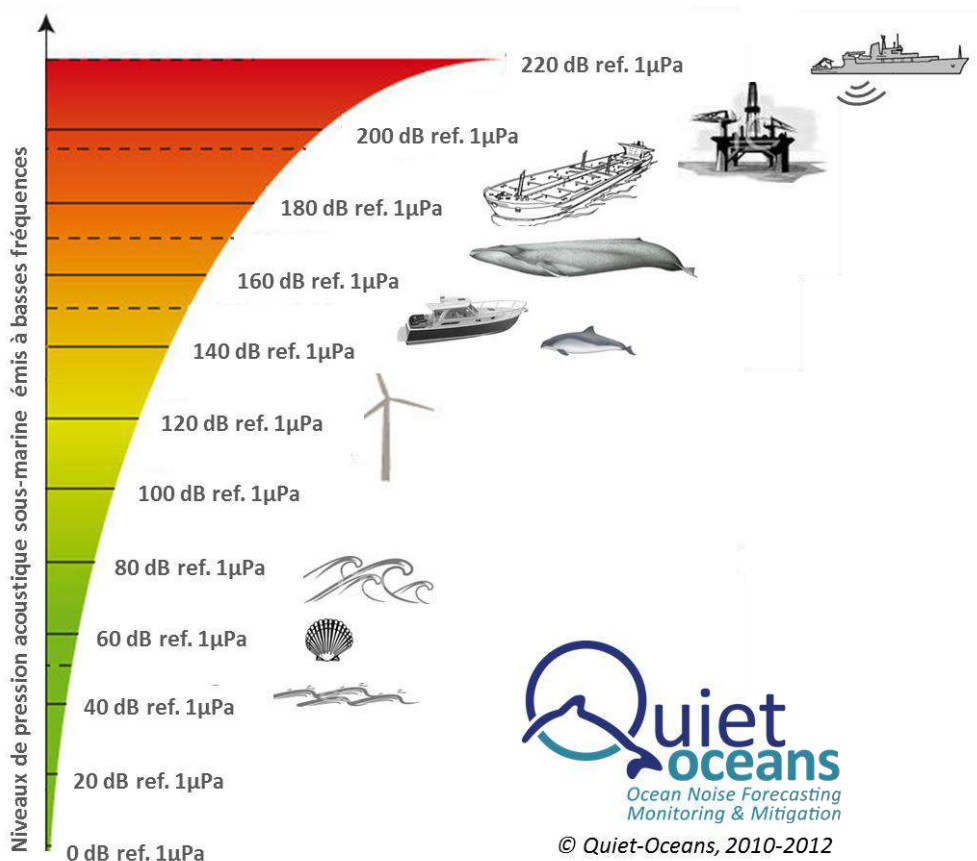
Le monde sous-marin est tout sauf silencieux, et est composé d'un chorus sonore regroupant trois familles de bruit : les bruits naturels (vagues, craquements sismiques...), les bruits biologiques (mammifères marins et autre biodiversité marine), et les bruits anthropiques (activités humaines, trafic 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 avoir 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 $1 \mu\text{Pa}$ en acoustique sous-marine, contre $20 \mu\text{Pa}$ dans l'air. De plus, avec une densité environ 1000 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 : Echelle qualitative des niveaux de bruits sous-marins émis à un mètre dans une bande basse fréquence de quelques kHz.



Source : Quiet-Oceans

II.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 $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ 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.

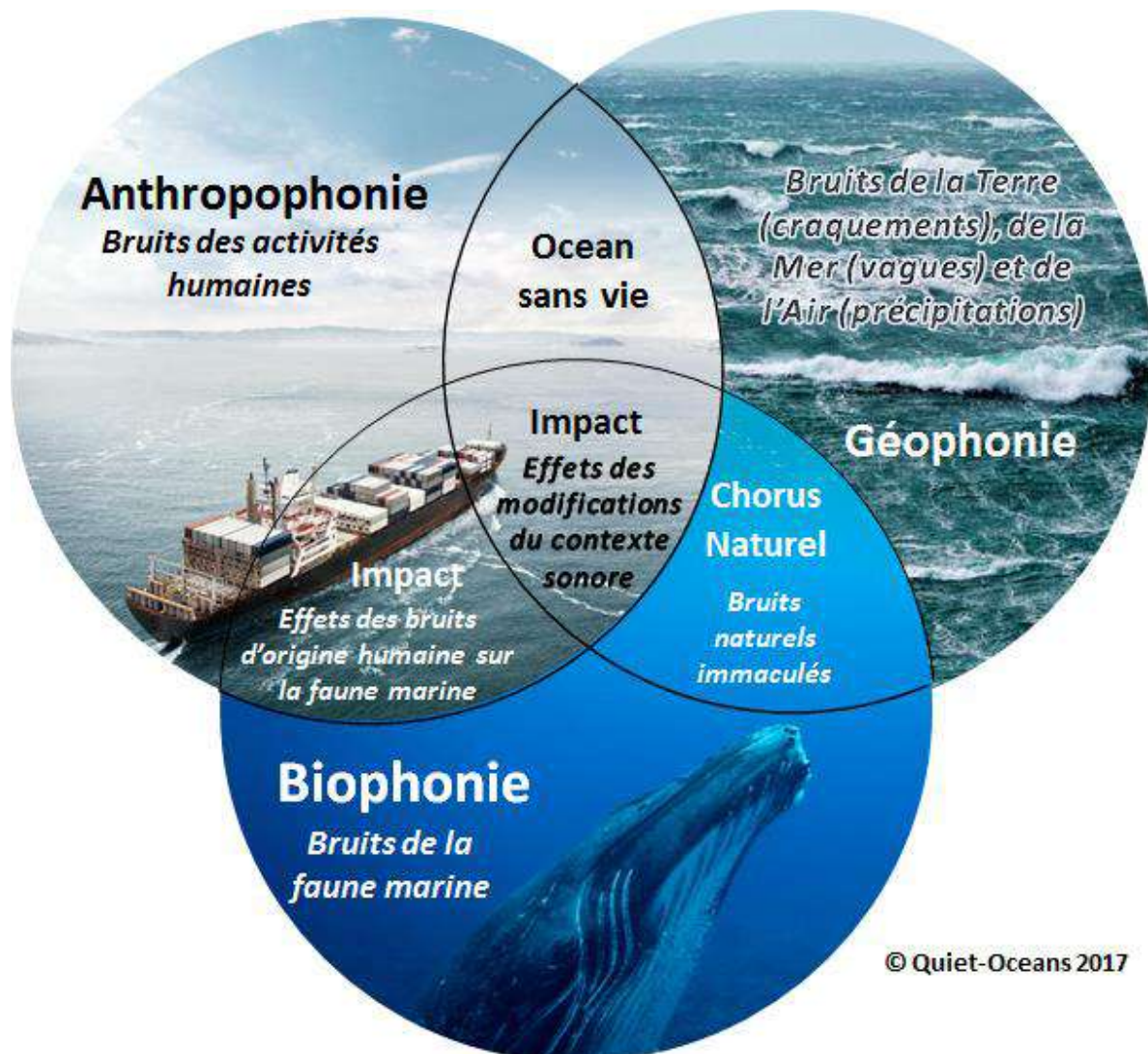


Figure 3 : Composition du chorus sonore sous-marin.

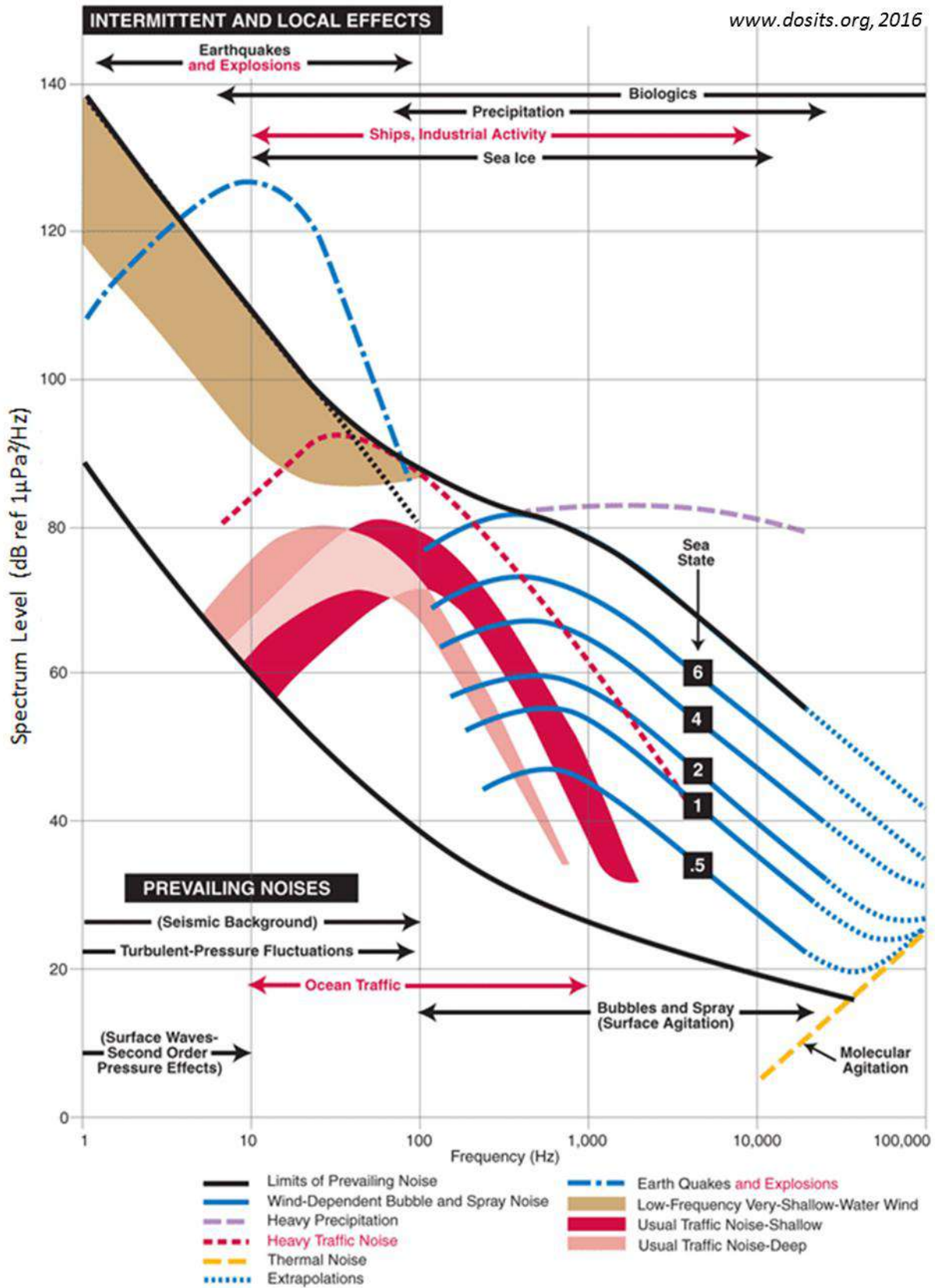


Figure 4 : Synthèse des niveaux de bruit typiques en fonction de la fréquence et de la nature de la source de bruit. Ces valeurs peuvent être très dépendantes du site, de la saison, et du contexte (Dosits.org, 2016).

II.3. Approche retenue pour l'évaluation de l'état de référence

La méthodologie proposée repose sur deux étapes :

- ✓ La mesure du bruit à l'aide d'enregistreurs acoustiques durant deux saisons (printemps et été 2022) ;
- ✓ L'analyse du bruit physique et l'analyse de la fréquentation de la zone par les mammifères marins.

Chapitre III. Protocole des mesures

Le protocole de suivi acoustique a été défini en concertation avec le donneur d'ordre et les parties prenantes. Ce protocole impose des mesures par acoustique passive sur deux saisons différentes soit, dans le cadre de ce projet, printemps et été 2022.

En complément, des mesures d'acoustique active ont été menées afin d'établir les propriétés géo-acoustiques du sédiment qui conditionne la propagation acoustique. Cette donnée servira au moment de l'étude d'impact.

A l'aide d'une sonde CTD, des mesures du profil de célérité sont menées afin de recueillir les variations saisonnières dans la zone du projet. Le profil de célérité conditionne également la propagation sonore. Ainsi cette donnée de mesure sera exploitée dans l'étude d'impact acoustique des travaux.

Pour chacune des deux saisons de suivi, les objectifs opérationnels des mesures concernent :

- ✓ Le déploiement ponctuel d'un enregistreur acoustique autonome en R1, pour une mesure active de la propagation acoustique ;
- ✓ Le déploiement d'un enregistreur acoustique autonome en R2, immergé à mi-hauteur d'eau, pour une durée d'un mois.

Le Tableau 1 et la Figure 5 définissent la zone d'implantation de chacun de ces instruments.

Tableau 1: Zones d'implantation du suivi acoustique.

Point de suivi acoustique	Système acoustique	Zone géographique
R1	Enregistreur acoustique	Proximité de la zone des travaux
R2	Enregistreur acoustique	Bouée cardinale ouest de la Médée

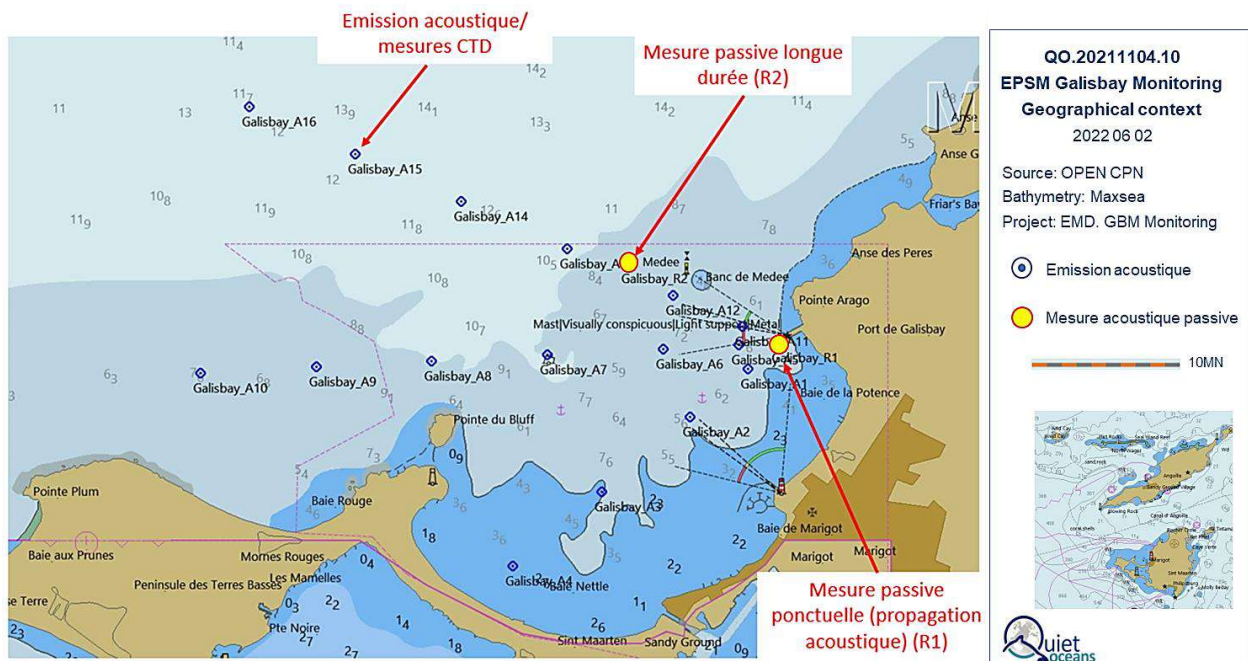


Figure 5: Protocole géographique des mesures.

III.1. Les systèmes de mesure

Un enregistreur acoustique équipé d'un hydrophone permet d'estimer les niveaux sonores et de capter les signatures acoustiques émises par la faune marine.

Un système d'émission sonore synthétique calibrée permet d'émettre des signaux référencés et ainsi d'estimer, après traitement, les pertes de propagation engendrées par l'environnement (bathymétrie, nature du sédiment, océanographie).

Des mesures complémentaires ont été effectuées à l'aide d'une sonde CTD afin d'obtenir les profils de vitesse du son dans la colonne d'eau. Ces variations de vitesse conditionnent la propagation acoustique.

III.1.1. Enregistreur acoustique passif

L'enregistreur acoustique utilisé dans cette étude est du type Sylence LP produit par la société RTSYS. Il est immergé à mi-hauteur dans la colonne d'eau (Tableau 2 et Figure 6) ce qui permet d'obtenir la meilleure qualité de mesure en réduisant le bruit système (frottements, chocs...). L'enregistreur mesure le signal acoustique sur une bande de fréquences entre 5 Hz et 125 kHz, suffisante pour caractériser :

- (1) les niveaux de bruit ambiant naturel,
- (2) les bruits anthropiques liés en particulier au trafic maritime et aux activités de pêche,
- (3) les niveaux de bruit émis par les mammifères marins.

La sauvegarde des signaux bruts dans une carte micro SD de grande capacité permet de stocker l'équivalent de 45 jours de mesures continues. Ses caractéristiques techniques sont adaptées à l'étude des bruits biologiques sur la zone de Galisbay. 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 6 : Enregistreur acoustique Sylence et schéma de déploiement.

Tableau 2 : Caractéristiques techniques de l'enregistreur acoustique.

Type	Caractéristiques
Enregistreur	RTSYS Sylence LP440
Hydrophone	HTI-99-HF
Bande de fréquence	125 kHz
Fréquence maximale d'échantillonnage	512 kHz
Sensibilité de l'hydrophone	-169 dB re: 1V/ μ Pa
Réglage du gain	- 14.7 dB
SPL max	De 167 dB à 155 dB re: 1V/ μ Pa
SPL min	De 70 dB à 55 dB re: 1V/ μ Pa
Format des fichiers audio	Wav
Autonomie pour une mesure continue	45 jours (carte SD 4 To)
Dimensions	440 mm long, 90 mm diam
Poids	4,5 kg
Profondeur de fonctionnement maximale	200 m

III.1.2. Le système d'émission PULSE

Le système d'émission PULSE © permet des émissions synthétiques calibrées et datées dans la bande de fréquence entre 300 Hz et 20 KHz. Cette campagne d'émissions sonores synthétiques a pour objectif de quantifier les propriétés géo-acoustiques (valeurs de densité, célérité, et atténuation) du sédiment qui influent fortement sur la propagation des ondes sonores sous-marines.



Figure 7 : Système de mesures acoustiques actives.

Tableau 3 : Propriétés du système PULSE.

Nom	PULSE ©
Suivi	Logbook des émissions (GPS et horodatage)
Niveau de source	130 -180 dB ref 1 μ Pa@1m
Gamme de fréquence	300 Hz- 20 kHz
Autonomie	2h sur batterie
Alimentation électrique	12V-24V DC/230 V AC
Poids	20 kg

III.1.3. Sonde CTD

En différents emplacements des émissions actives, une mesure simultanée par une sonde CTD (Tableau 4) permet d'extraire le profil de vitesse.

Le Tableau 5 synthétise pour les deux campagnes de mesure (6 stations le 08/03/2022, 5 stations le 19/04/2022), les profils de célérité mesurés (courbes bleues) et les profils prédits par la plateforme CMEMS Copernicus (courbes noires) aux mêmes emplacements et aux mêmes dates. Ces profils montrent un bon accord entre les valeurs mesurées et les valeurs prédites, la différence provient uniquement de l'écart absolu des valeurs. L'information prépondérante est la différence de vitesse relative dans la colonne d'eau qui influence la propagation des ondes acoustiques vers la surface dans le cas de la zone GalisBay. Dans ces faibles hauteurs d'eau (inférieures à 15m), la température apparait homogène et l'effet de pression induit cette légère augmentation de vitesse (+ 0.2m/s) proportionnellement à la profondeur. Ces mesures valident de ce fait les données de prédiction de la plateforme CMEMS qui seront utilisées lors de l'étude d'impact acoustique sur l'ensemble de la zone d'étude.

Tableau 4 : Caractéristiques de la sonde CTD.

Caractéristiques	Valeurs
Marque	GARMIN
Modèle	WISENS CTD300
Profondeur (D)	Gamme : 300m Précision : 0.15%
Température (T)	Gamme : -2C to +35°C Précision : 0.005°C
Conductivité (C)	Gamme : 0-70 mS/cm Précision : 0,04 mS/cm
Cadence de mesure	1 Hz
Format	CSV


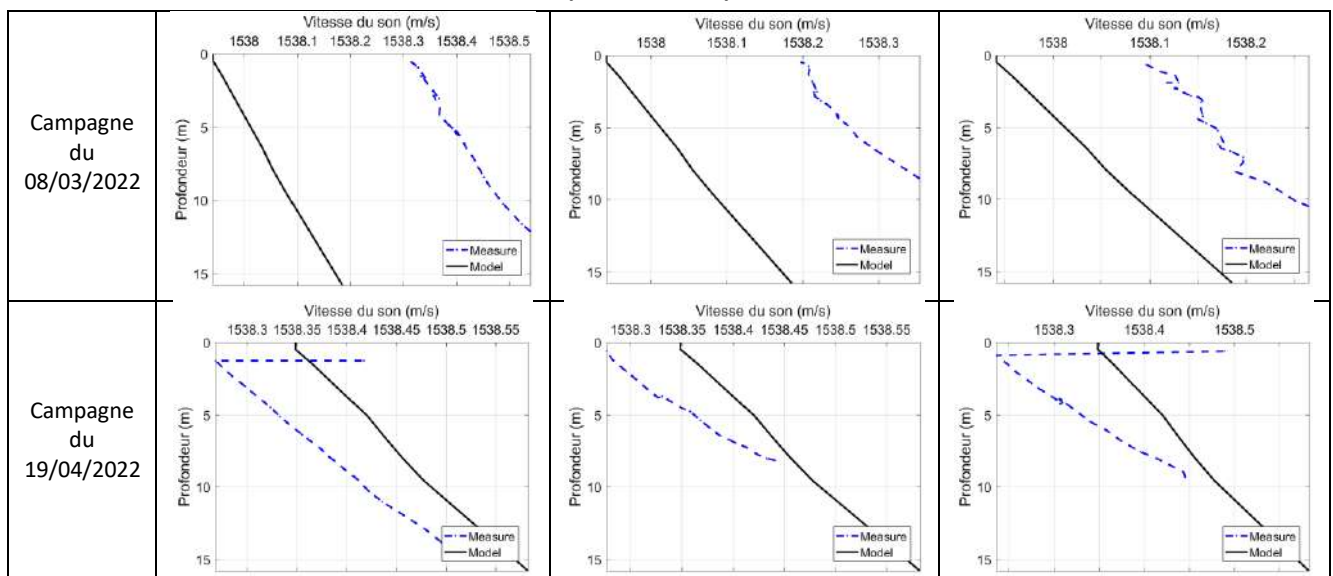
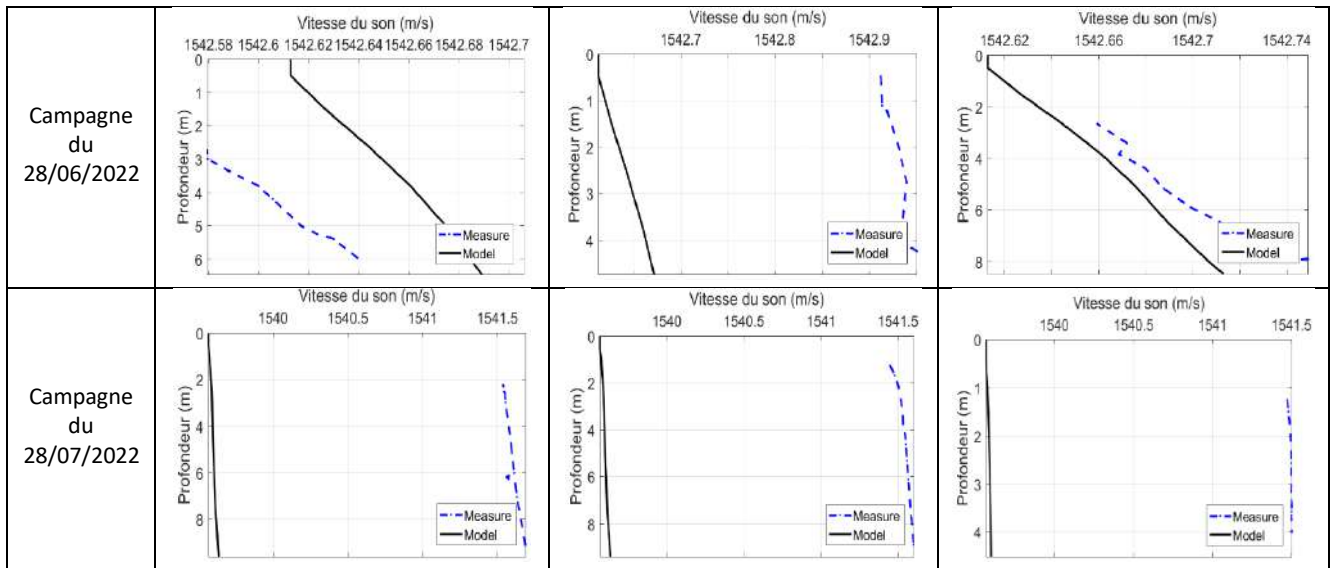


Tableau 5 : Profils de célérité en fonction de la position et comparaison aux données de la base mondiale CMEMS.





III.2. Données collectées

Dans le cadre de cette étude, les paragraphes suivants font état des données collectées par les différents systèmes acoustiques déployés pour les différentes campagnes de mesure.

III.2.1. Campagne printemps 2022

Le Tableau 6 synthétise les données qui ont été collectées par les systèmes acoustiques déployés au niveau des zones R1 et R2. L'enregistreur acoustique situé au niveau de la zone R1 a été déployé sur la journée du 08 mars 2022 pour estimer les pertes de propagation engendrées par l'environnement via une mesure active. L'enregistreur acoustique déployé au niveau de la zone R2 entre le 08 mars et 19 avril 2022 a pour objectif de fixer un état de référence du paysage sonore, avant travaux. A noter que sur la zone R2, l'enregistrement est continu (100% du temps) sur une durée de 43 jours.

Tableau 6: Synthèse des données acoustiques collectées durant la saison printemps 2022.

Campagne	Zone	Type de système	Nom enregistreur	Date de début (UTC)	Date de fin (UTC)	Durée campagne (j)	Durée enregistrement (j)	Latitude	Longitude	Immersion système/fond (m)	Hauteur d' eau LAT (m)	Fréquence d' échantillonnage (kHz)	Objectifs
01	R1	Iclisten SCW1983	ENR-027	08/03/2022	08/03/2022	0.25	0.25	18°4.982N	63°5.193'W	3	6	256	CTD + émissions actives
02	R2	Rtsys-Sylence	ENR-064	08/03/2022	19/04/2022	43	43	18°5.354' N	63°5.957' W	4,7	9,2	256	Bruit ambiant + Bioacoustique

III.2.2. Campagne été 2022

Le Tableau 7 synthétise les données qui ont été collectées par les systèmes acoustiques déployés au niveau des zones R1 et R2. L'enregistreur acoustique situé au niveau de la zone R1 a été déployé sur la journée du 28 Juin 2022 pour estimer les pertes de propagation engendrées par l'environnement via une mesure active.

L'enregistreur acoustique déployé au niveau de la zone R2 entre le 28 Juin et le 28 Juillet 2022 a pour objectif de compléter l'état de référence débuté au printemps 2022, afin de détecter une potentielle saisonnalité dans le paysage sonore. Pour rappel, l'enregistrement en R2 est continu (100% du temps) sur une durée de 30 jours.

Tableau 7: Synthèse des données acoustiques collectées durant la saison été 2022.

Campagne	Zone	Type de système	Nom enregistreur	Date de début	Date de fin	Durée campagne (j)	Durée enregistrement (j)	Latitude	Longitude	Immersion système/fond (m)	Hauteur d' eau LAT (m)	Fréquence d' échantillonnage (kHz)	Objectifs
03	R1	Porpoise	ENR-062+E NR-029	28/06/2022	28/06/2022	0.25	0.25	18°4.982'N	63°5.193'W		6.3	256	CTD + émissions actives
04	R2	Rtsys-Sylence	ENR-064	28/06/2022	28/07/2022	30	30	18°5.346'N	63°5.996W	4.5	9.5	256	Bruit ambiant + Bioacoustique

III.2.3. Synthèse des données collectées

Une synthèse des mesures acoustiques acquises pour chaque saison et chaque zone est fournie dans le Tableau 8.

Lors de la mesure par acoustique passive, un total de 43 jours a été collectés pour la saison printanière 2022 et un total de 30 jours pour la saison estivale 2022. Pour chacune de ces saisons, le nombre de jours collectés par acoustique passive est conforme aux attentes.

Tableau 8 : Synthèse des mesures acoustiques collectées.

Saison	Emplacement	Système	Date de début	Date de fin	Nb de jours collectés
Printemps 2022 (mesures actives)	R1	Iclisten SCW1983	08/03/2022	08/03/2022	0.25
Printemps 2022 (mesures passives)	R2	Sylence LP440	08/03/2022	19/04/2022	43
Été 2022 (mesures actives)	R1	Porpoise	28/06/2022	28/06/2022	0.25
Été 2022 (mesures passives)	R2	Sylence LP440	28/06/2022	28/07/2022	30

Chapitre IV. Analyse des niveaux sonores mesurés

L'analyse vise à établir un état de référence acoustique, basé sur les campagnes de mesure « printemps » et « été » 2022. Cet état servira de base aux comparaisons avec les phases « travaux » et « après travaux ».

IV.1. Campagne printemps 2022

IV.1.1. Analyse des mesures actives

La Figure 8 illustre le protocole de mesure mis en œuvre. Un enregistreur passif est déployé sur une position fixe à proximité immédiate de l'emplacement des travaux, au milieu de la colonne d'eau, et le système actif PULSE © (Figure 7) est déployé depuis une embarcation mobile, afin de générer des émissions calibrées à différentes distances (de 50 à 1500m) de l'enregistreur acoustique selon quatre radiales ou azimuts (225°, 270°, 315°, 340°). Ce procédé permet d'estimer les pertes de propagation du son en fonction de la distance séparant la source du récepteur acoustique à l'extérieur du port et vers le large, qui sont principalement liées aux propriétés du fond marin aux distances considérées ; et ainsi de caractériser acoustiquement le sédiment dans la zone d'étude.

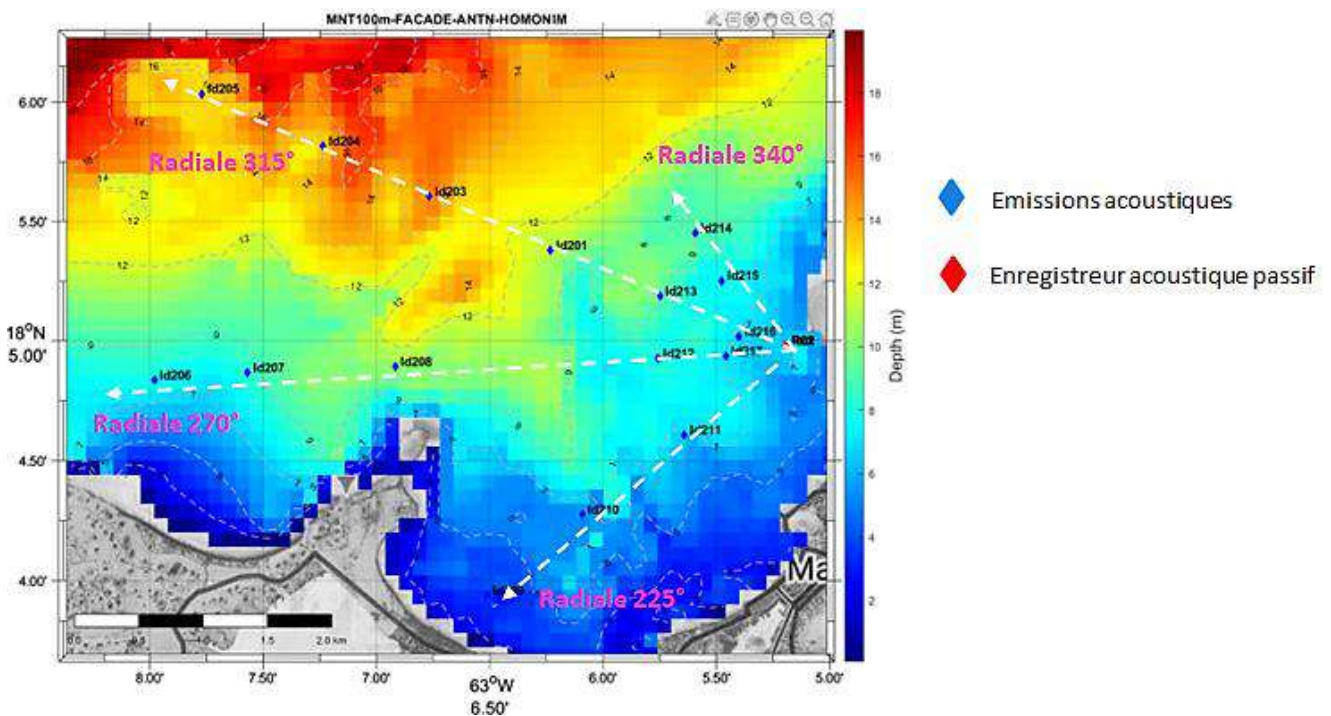


Figure 8 : Protocole des émissions acoustiques actives effectuées le 08/03/2022.

La méthodologie consiste à comparer les résultats obtenus par analyse des mesures in-situ et par prédiction via la plateforme Quonops®, et d'identifier par dichotomie le substrat équivalent en termes de propriétés géo-acoustiques.

Le Tableau 9 illustre l'évolution des pertes de propagation acoustique en fonction de la distance source-récepteur pour les fréquences caractéristiques (1000, 1250 et 1600 Hz) et pour un type de sédiment caractérisé par sa célérité.

Au-devant du port de Galisbay, le Tableau 10 synthétise en fonction de la direction de propagation les propriétés géo-acoustiques d'un milieu équivalent acoustiquement. Ces valeurs mettent en évidence un milieu équivalent légèrement plus dur dans la zone Sud du projet avec un passage d'une vitesse de 1600 m/s (équivalent à sable

vaseux) à 1750 m/s (fond sableux). Ces données serviront au moment de la prédiction cartographique du bruit existant et des travaux du chantier.

Tableau 9 : Comparaison des pertes de propagation entre mesures (I) et modélisation (◊).

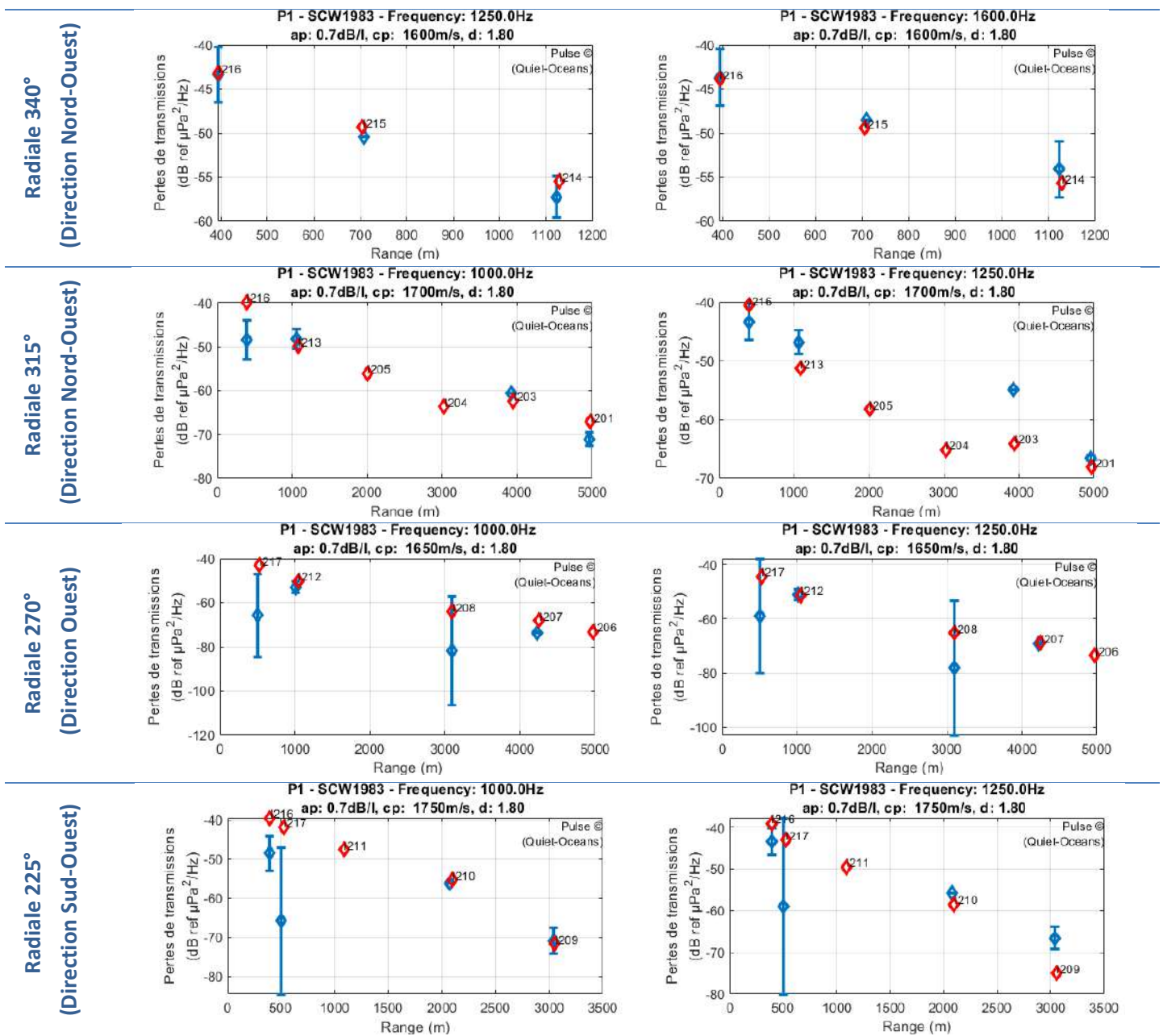


Tableau 10 : Synthèse des propriétés géo-acoustiques équivalentes.

Direction de propagation	Propriétés géo-acoustiques équivalentes		
	Densité (T/m ³)	Vitesse de compression (m/s)	Atténuation (dB/λ)
Radiale 340° (Direction Nord-Ouest)	1.8	1600	0.7
Radiale 315° (Direction Nord-Ouest)	1.8	1700	0.7
Radiale 270° (Direction Ouest)	1.8	1650	0.7
Radiale 225° (Direction Sud-Ouest)	1.8	1750	0.7

IV.1.2. Analyse du bruit ambiant large bande

La Figure 9 montre le niveau sonore large bande mesuré (courbes bleues) par l'enregistreur acoustique autonome pendant la période du printemps 2022. Celle-ci met en évidence la superposition :

- ✓ D'un bruit permanent ou pied de bruit (courbe rouge), dépendant majoritairement du vent, comme illustré dans la Figure 11 et de l'activité benthique, qui apporte une variabilité journalière d'environ 2 dB en saison printemps 2022 ;
- ✓ De bruits forts dominant le bruit permanent pendant des durées de l'ordre de 5 à 15 minutes, représentatifs du passage de navires à proximité de l'hydrophone, répertoriés dans la Figure 10. Durant la saison printemps, ces passages de navires entraînent des élévations ponctuelles entre 30 à 50 dB. La fréquentation moyenne du site par les navires engendrant une émergence significative de 15 dB au-dessus du bruit permanent (courbe rouge) s'établit à 28 navires par jour.

Le **Figure 12** illustre spécifiquement un passage type de navire le 09 Mars à 19h45 UTC : on peut observer une émergence tonale à 200Hz durant plusieurs minutes, dont l'intensité dépend de la distance entre la source de bruit et l'hydrophone (phase d'approche/d'éloignement). Cette émergence est suivie d'un bruit large bande intense et très court (1 à 2 minutes), lorsque l'embarcation est au plus près de l'hydrophone.

La Figure 10 met en évidence la diurnité des bruits forts et courts (anthropiques) : la quasi-totalité est située entre 12h et 22h UTC, soit entre 8h et 18h heure locale. Ce graphique montre également un pic régulier de passage de 6 navires par heure engendrant une émergence significative de 15 dB au-dessus du bruit permanent.

Le Tableau 11 donne la répartition statistique du bruit large bande (entre 20Hz et 40 kHz, exprimé en dB ref 1μPa²) durant la saison été en fonction du percentile. La distinction jour/nuit permet de mettre en évidence :

- ✓ La forte diurnité des activités anthropiques lors de la saison printemps, avec des écarts jour/nuit allant jusqu'à 15.5dB pour le 1er percentile (bruits forts mais rares) et 8.9dB pour le 10ème percentile ;
- ✓ L'activité benthique nocturne présente lors du printemps, visible dans les percentiles les plus élevés, avec un écart jour/nuit de -1.8dB au 100ème percentile et de -1.5dB au 99ème percentile.

Le niveau sonore médian (50^{ème} percentile ou 50% du temps) relevé au printemps est de 103.8dB. Il est représentatif des niveaux de bruits mesurés habituellement dans les zones côtières.

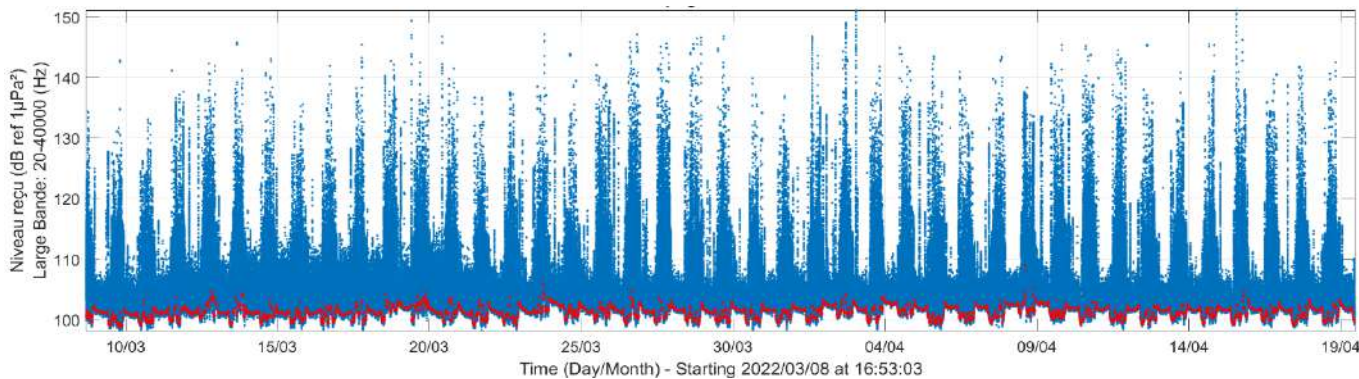


Figure 9 : Niveau sonore large bande (20Hz -40 kHz) durant la saison printemps 2022.

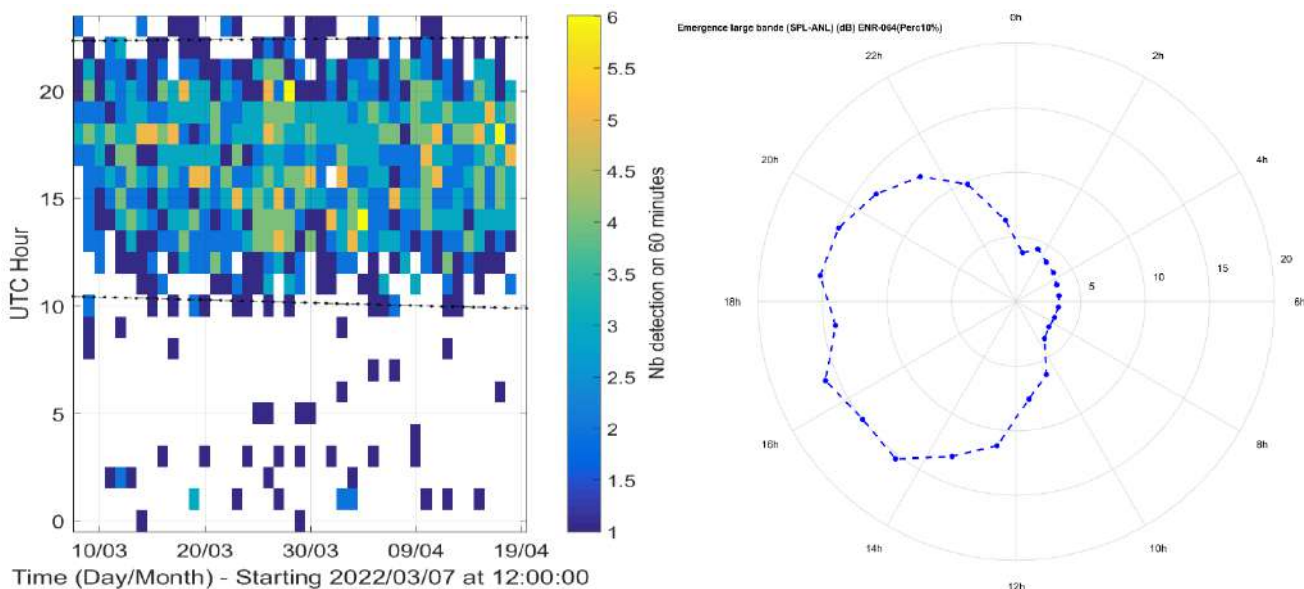


Figure 10 : Illustration des détections anthropiques sur la période printemps 2022 (à gauche), illustration des émergences anthropiques courtes, sur la période printemps 2022, en fonction de l'heure UTC (heure locale +4).

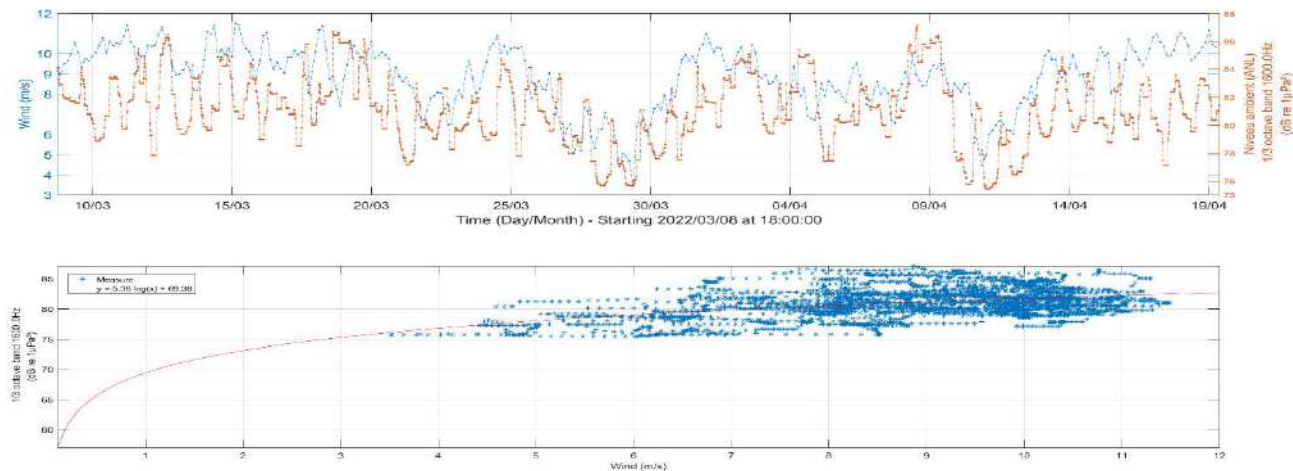


Figure 11 : Corrélation du bruit environnemental à 1500Hz avec la vitesse du vent, printemps 2022.

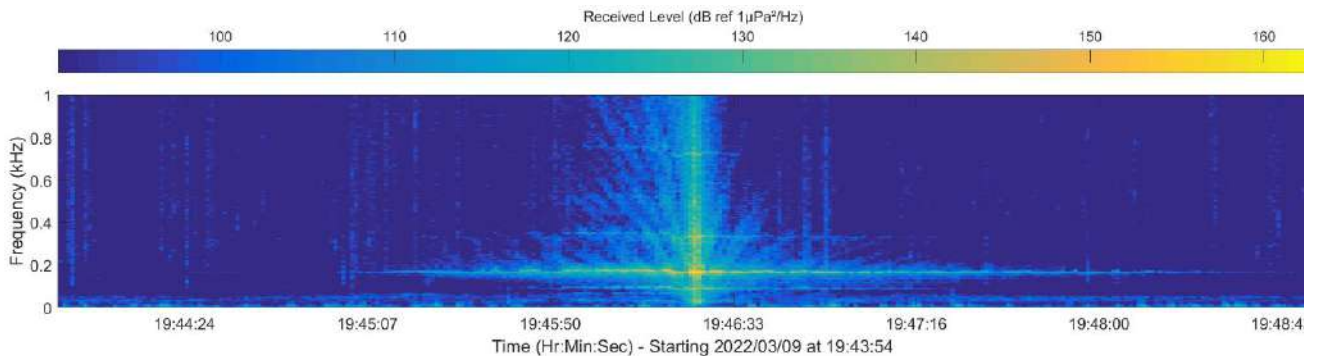


Figure 12 : Spectrogramme d'un passage de navire en R1 le 09/03/2022.

Tableau 11 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) (exprimés en dB ref 1µPa²) durant la saison printemps 2022.

	Niveaux courants			Niveaux médians			Niveaux très rares		
Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
Toute la période	98.2	99.9	101.6	102.5	103.8	106.6	111.5	124.5	151.1
Jour	98.2	99.6	101.1	102.7	105.6	109.8	114.5	128.3	151.1
Nuit	100.0	101.1	101.9	102.5	103.2	104.2	105.6	112.8	151.1
Ecart Jour/Nuit	-1.8	-1.5	-0.8	0.2	2.4	5.7	8.9	15.5	0.0

IV.1.3. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquences

La répartition fréquentielle de l'énergie sonore (Figure 13) donne le niveau sonore en fonction de la fréquence pour différents percentiles caractéristiques. Ces courbes sont mises en regard des courbes de référence établies par le modèle de Wenz (Wenz, 1962) et issues d'une compilation des données mondiales (courbes grises).

- ✓ Durant le printemps, le maximum d'énergie est distribué en basses fréquences (de 50Hz à 80Hz et de 100Hz à 300Hz) dans les percentiles les plus bas, et correspond majoritairement au bruit induit par la propulsion des navires ;
- ✓ On remarque des « bosses » de bruit dans les hautes fréquences lors du printemps, entre 1kHz et 20kHz : les activités anthropiques sont visibles sur les percentiles les plus bas, tandis que l'activité benthique est visible sur les percentiles les plus élevés.

Globalement, ces courbes sont assez éloignées des courbes de références : ceci permet de mettre en évidence la prédominance des bruits biologiques et anthropiques en regard du bruit environnemental.

La Figure 14 permet d'expliquer la tendance journalière des bosses visibles sur les courbes fréquentielles citées ci-dessus, et met en évidence la forte séparation jour/nuit évoquée au chapitre précédent :

- ✓ Les émergences basses et moyennes les plus fortes sont diurnes, comprises entre 8h et 18h heure locale, et sont d'origine anthropique ;
- ✓ Les émergences hautes fréquences moyennes sont nocturnes, entre 18h et 6h heure locale. Elles correspondent à la vie benthique.

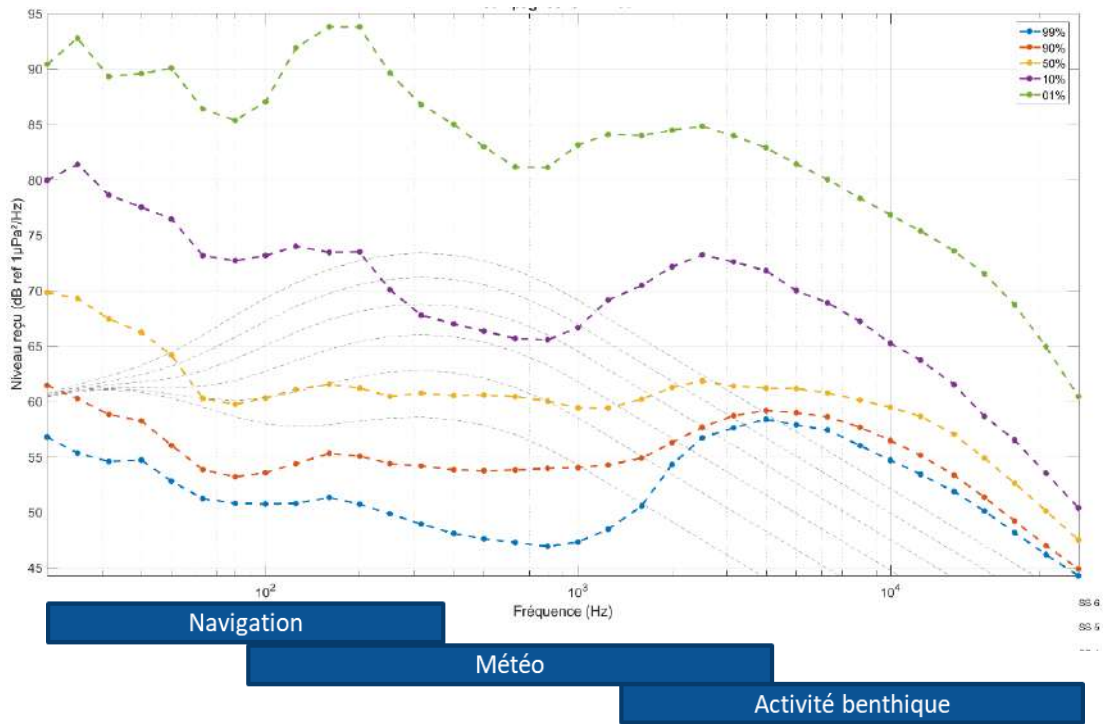


Figure 13 : Statistiques de niveaux sonores en fonction de la fréquence durant le printemps 2022. (Courbes grises, référence d'après modèle de Wenz).

Bruits assez rares

10^{ème} percentile dans la bande 89Hz-110Hz,

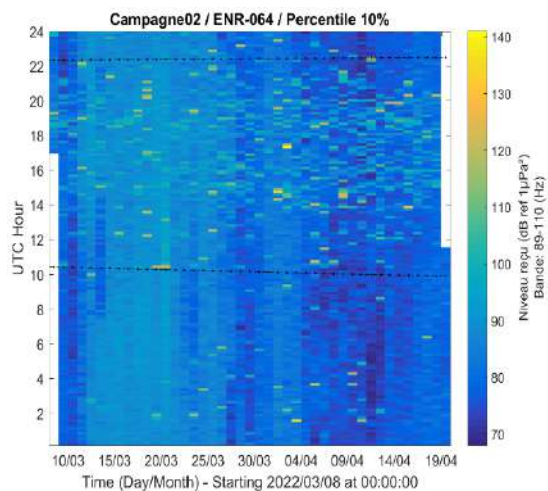
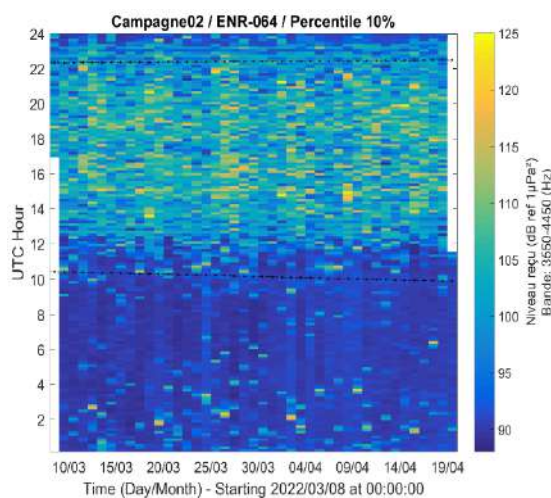


Figure 14 : Illustration du niveau sonore en fonction du jour et de l'heure pour différentes bandes de fréquence (les traits pointillés donnent les lever et coucher du soleil).

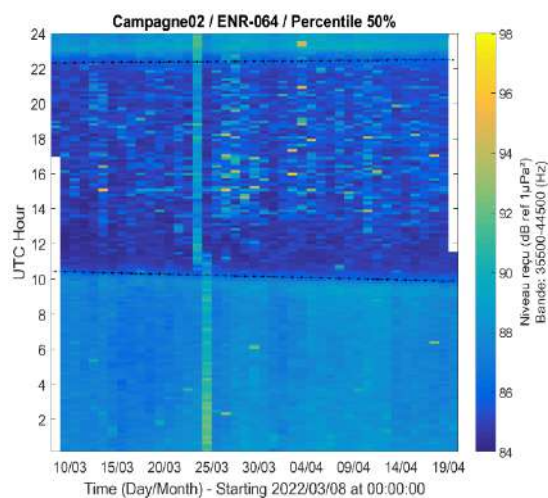
Bruits assez rares

10^{ème} percentile dans la bande 3550-4450Hz



Bruits médians

50^{ème} percentile dans la bande 35500Hz-44500Hz



IV.2. Campagne été 2022

IV.2.1. Analyse du bruit ambiant large bande

La Figure 15 montre le niveau sonore large bande mesuré (courbes bleues) par l'enregistreur acoustique autonome pendant la période de l'été 2022. Celle-ci met en évidence la superposition :

- ✓ D'un bruit permanent ou pied de bruit (courbe rouge), dépendant du vent de 20Hz à 3000Hz, et de l'activité benthique de 3kHz à 40kHz, comme illustré dans la Figure 17. L'activité benthique mesurée apporte une variabilité journalière d'environ 2 dB en saison été 2022, identique à celle rencontrée au printemps ;
- ✓ De bruits forts dominant le bruit permanent pendant des durées de l'ordre de 5 à 15 minutes, représentatifs du passage de navires à proximité de l'hydrophone, répertoriés dans la Figure 16. La quasi-totalité des passages est située entre 12h et 22h UTC, soit entre 8h et 18h heure locale. Ces passages de navires entraînent des élévations ponctuelles entre 30 à 50 dB, de façon identique au printemps. La fréquentation moyenne du site par les navires engendrant une émergence significative de 15 dB au-dessus du bruit permanent (courbe rouge) baisse significativement par rapport au printemps et s'établit à 16 navires par jour, contre 28.

La Figure 18 illustre deux passages de navire types autour de la zone R2. Lors des phases d'approche/éloignement du CPA, les deux navires font émerger des bruit tonaux dit « en raies », dont l'intensité et la fréquence dépendent de la distance avec l'hydrophone. On peut différencier les types d'embarcations présentes sur le site, grâce à leur signature sonore au CPA :

- ✓ En haut, le passage d'une petite embarcation à moteur externe (le 28/06) fait émerger un bruit large bande réparti quasi-uniformément entre 200Hz et 5kHz, avec un maximum d'énergie compris dans une bande allant de 100Hz à 300Hz ;
- ✓ En bas, le passage d'une embarcation plus conséquente à moteur interne (le 18/07) fait émerger un bruit avec une bande fréquentielle plus restreinte, présentant son maximum d'énergie en dessous de 100Hz.

Le Tableau 12 donne la répartition statistique du bruit large bande (entre 20Hz et 40 kHz, exprimé en dB ref $1\mu\text{Pa}^2$) durant la saison été en fonction du percentile. La distinction jour/nuit permet de mettre en évidence :

- ✓ La forte diurnité des activités anthropiques lors de la saison été, avec des écarts jour/nuit allant jusqu'à 11.7dB pour le 1er percentile (bruits forts mais rares) ;
- ✓ L'activité benthique nocturne présente lors du printemps, visible dans les percentiles les plus élevés, avec un écart jour/nuit de -1.8dB ;

Le niveau sonore médian (50^{ème} percentile ou 50% du temps) relevé au printemps est de 107.3dB. Il est représentatif des niveaux de bruits mesurés habituellement dans les zones côtières.

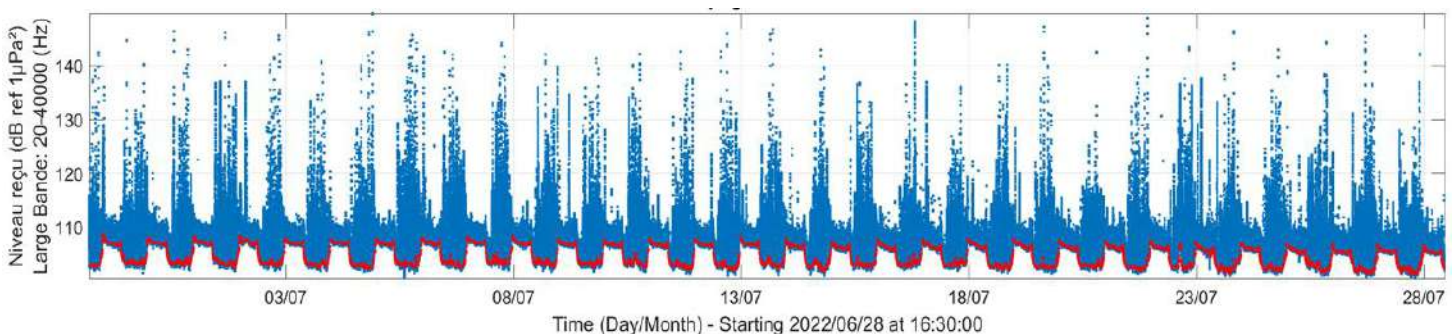


Figure 15 : Niveau sonore large bande (20Hz -40 kHz) durant la saison été 2022.

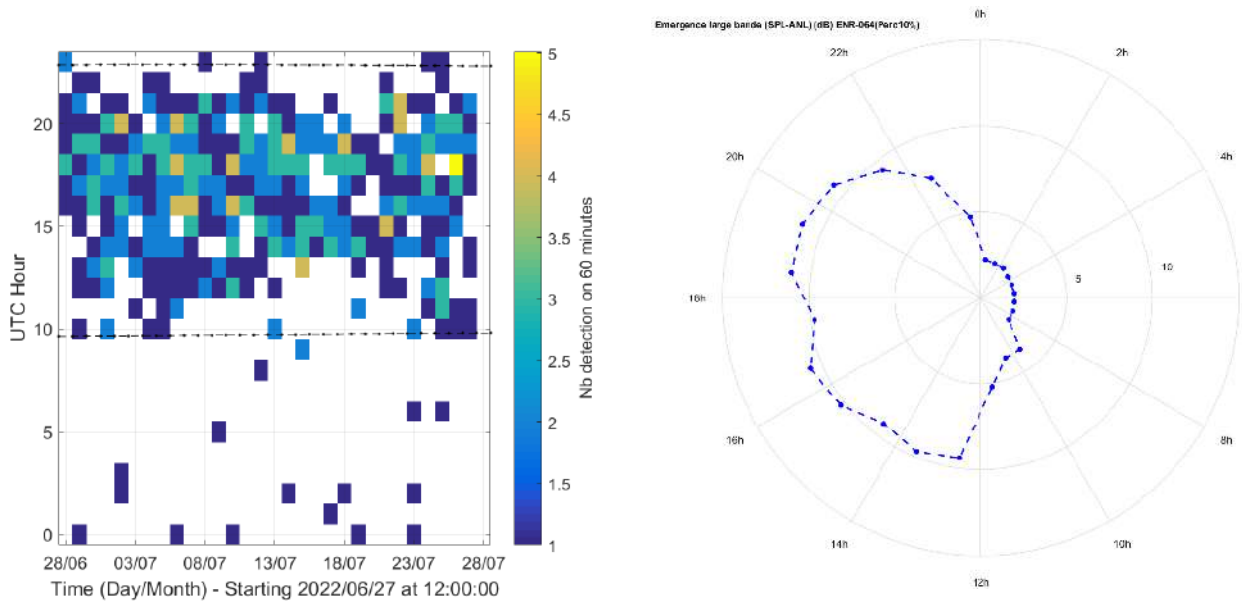


Figure 16 : Illustration des détections anthropiques sur la période été 2022 (à gauche), illustration des émergences anthropiques courtes, sur la période été 2022, en fonction de l'heure UTC (heure locale +4).

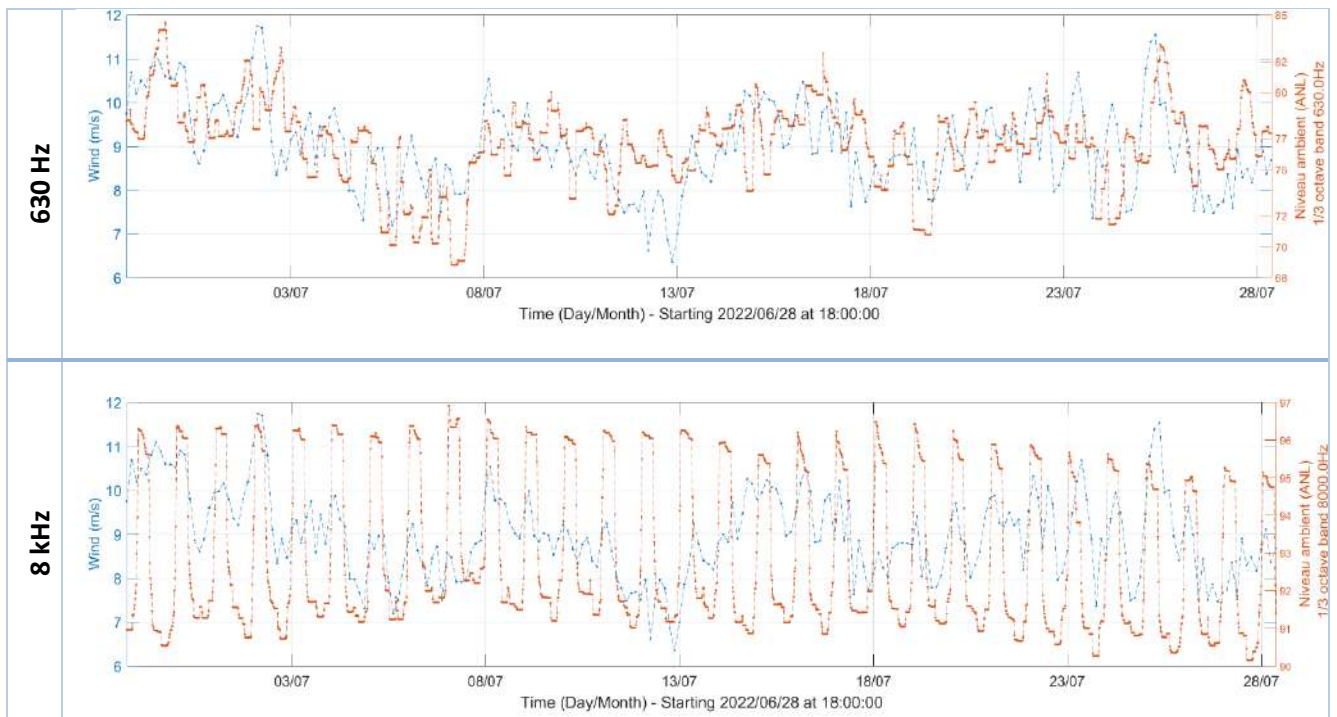


Figure 17 : Corrélation du bruit environnemental à différentes fréquences avec la vitesse du vent durant la saison estivale 2022.

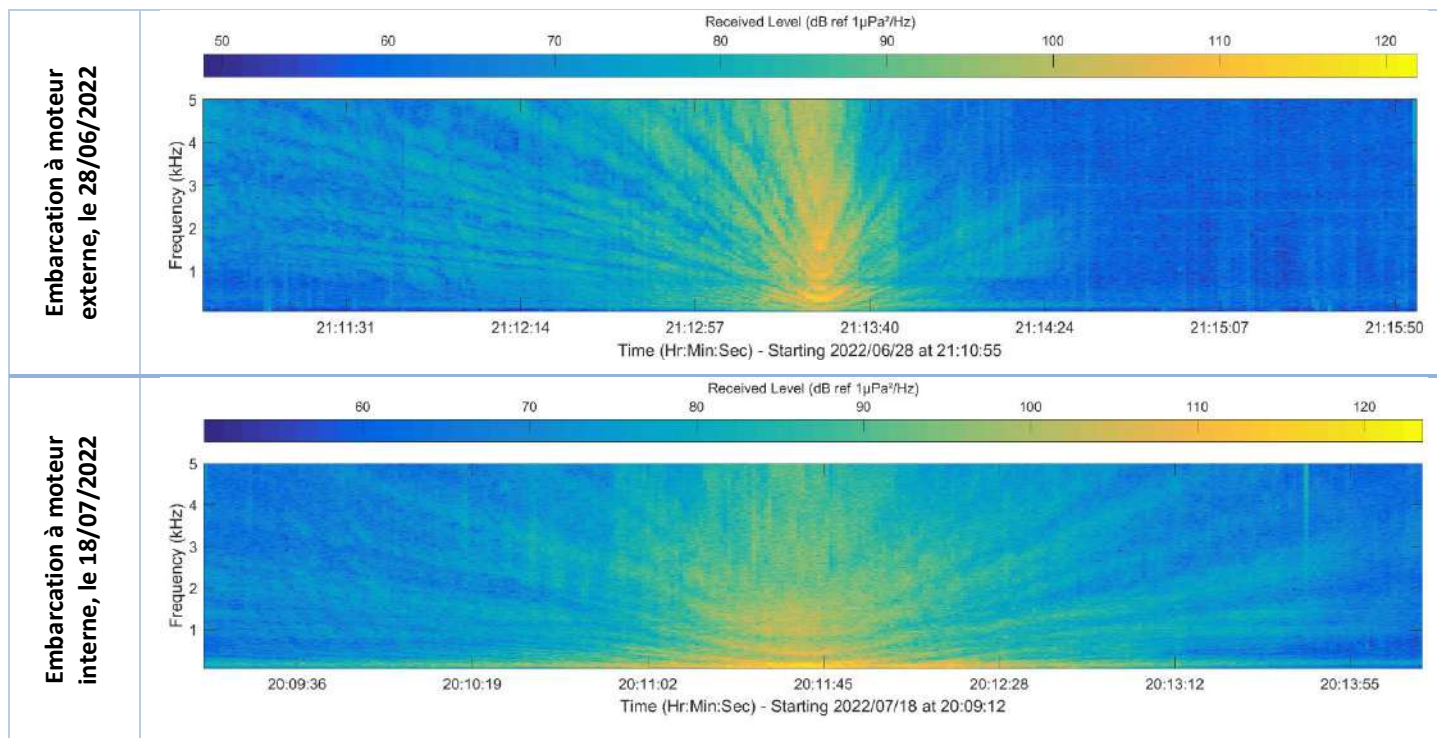


Figure 18 : Spectrogrammes illustratifs des passages de navires durant l'été 2022.

Tableau 12 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) durant la saison été 2022.

Percentile (%)	Niveaux courants			Niveaux médians			Niveaux très rares		
	100	99	90	75	50	25	10	1	0
Toute la période	100.5	102.6	103.9	105.4	107.3	108.6	110.7	121.1	149.6
Jour	100.5	102.3	103.4	104.2	105.7	108.9	112.7	124.3	149.6
Nuit	102.2	105.7	106.6	107.1	107.8	108.4	109.0	112.6	141.5
Ecart Jour/Nuit	-1.8	-3.4	-3.1	-2.9	-2.1	0.5	3.7	11.7	8.1

IV.2.2. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquences

La répartition fréquentielle de l'énergie sonore (Figure 19) donne le niveau sonore en fonction de la fréquence pour différents percentiles caractéristiques.

Ces courbes sont mises en regard des courbes de référence (grises) établies par le modèle de Wenz (Wenz, 1962) et issues d'une compilation des données mondiales.

- ✓ Durant l'été, le maximum d'énergie (courbes verte et violette) est distribué en basses fréquences, avec une bosse de 30Hz à 80Hz correspondant aux navires à moteur interne et une de 100Hz à 300Hz correspondant aux navires à moteur externe ;
- ✓ Les percentiles plus faibles (courbe jaune, orange, bleue) sont dominés par le vent pour les fréquences allant de 100Hz à 1kHz ;
- ✓ On remarque des bosses de bruit dans les hautes fréquences : les activités anthropiques sont visibles sur les percentiles les plus bas, tandis que l'activité benthique est visible sur les percentiles les plus élevés, induisant des niveaux sonores d'environ 60 dB ref 1 μ Pa²/Hz dans la bande 2kHz à 20kHz.

Globalement, ces courbes sont assez éloignées des courbes de références : ceci permet de mettre en évidence la prédominance des bruits biologiques et anthropiques en regard du bruit environnemental.

Tableau 13 montre la distribution horaire des bruits dans les tiers d'octave spécifiques 56Hz-71Hz, 180Hz-225Hz et 8.9-11 kHz mesurés lors de l'été 2022. Il permet de mettre en évidence :

- ✓ La diurnité des passages de navires, avec un accroissement mesuré à 5dB entre 12 h et 22h UTC dans la bande 56Hz-71Hz et un accroissement de 10dB dans la bande 185 Hz-225 Hz entre 12h et 20h UTC ;
- ✓ La nocturnité de la vie benthique, avec un accroissement mesuré à 4dB entre 23h et 10h UTC dans la bande 8.9kHz-11kHz.

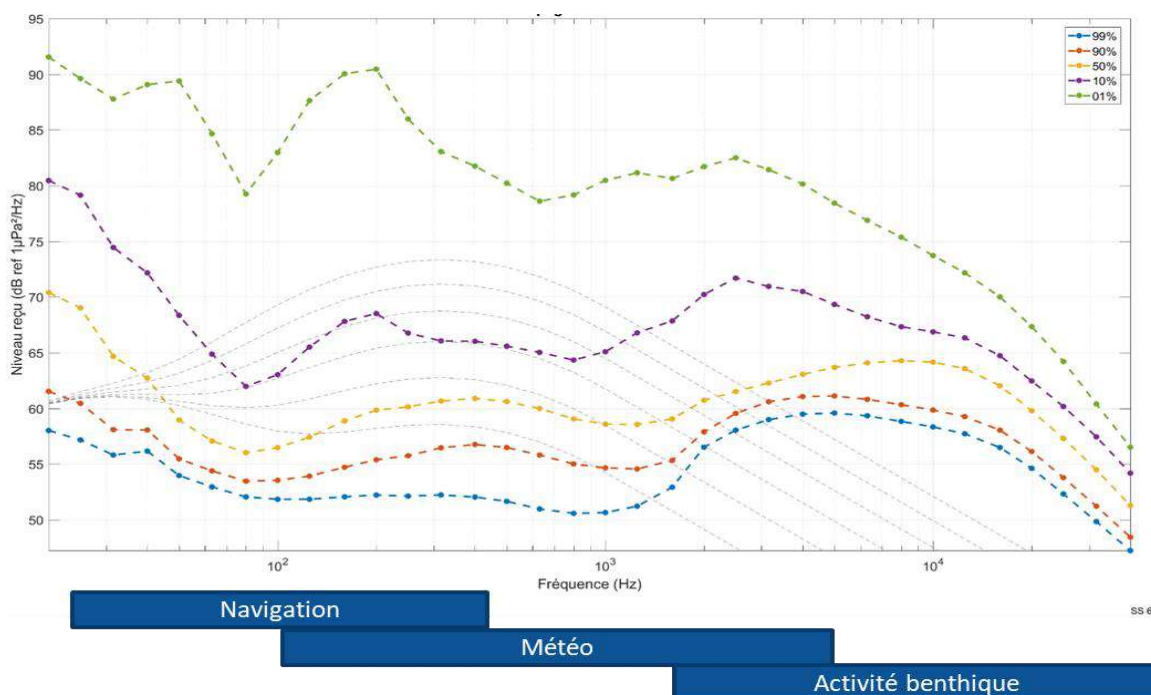


Figure 19 : Statistiques de niveaux sonores en fonction de la fréquence durant l'été 2022 (Courbes grises, référence d'après modèle de Wenz).

Tableau 13 : Répartition horaire des bruits anthropiques et benthiques mesurés au point R2 lors de l'été 2022.

Type	Bande 56-71Hz 10% du temps Moteur interne	Bande 180-225Hz P10% du temps Moteur externe	Bande 8,9-11kHz 50% du temps Benthos
Spectrogrammes			
Distribution horaire			
Δ	+5dB : entre 12h et 22h UTC	+10 dB : entre 12h et 20h UTC	+4dB : entre 23h et 10h UTC

IV.3. Comparaison saisonnière des niveaux sonores mesurés : printemps et été 2022

Ce chapitre vise à mettre en regard les niveaux sonores mesurés en été 2022 avec ceux mesurés au printemps 2022. Le Tableau 14 résume les écarts inter-saison de niveaux sonores mesurés calculés par :

$$\Delta_{LP} = LP_{\text{Eté}} - LP_{\text{Printemps}}$$

Tableau 14 : Comparaison des niveaux sonores mesurés lors de l'été et du printemps 2022, dans la zone R2, en fonction du percentile.

Percentile	%	Niveaux courants			Niveaux médians			Niveaux très rares		
		100	99	90	75	50	25	10	1	0
Toute la période	dB	2,3	2,7	2,3	2,9	3,5	2	-0,8	-3,4	-1,5
Jour	dB	2,3	2,7	2,3	1,5	0,1	-0,9	-1,8	-4	-1,5
Nuit	dB	2,2	4,6	4,7	4,6	4,6	4,2	3,4	-0,2	-9,6

- ✓ Les bruits majoritairement environnementaux (percentiles 100 à 50) sont plus forts lors de l'été 2022 avec en moyenne +3dB par rapport au printemps 2022. Les différences de conditions météorologiques (saison humide) sont responsables de ces écarts ;
- ✓ Les bruits les plus forts (percentiles 1 et 0) sont plus forts lors du printemps 2022, avec en moyenne +3.4dB et +1.5dB par rapport à l'été 2022. La haute saison touristique entraine une hausse de la navigation sur cette période (Cf IV.2.1.).

Chapitre V. Détection des signaux biologiques

Une analyse bioacoustique de la donnée recueillie lors des deux saisons (printemps et été 2022) par l'enregistreur acoustique longue durée située en R2 a été réalisée afin de déterminer la fréquentation des mammifères marins couramment présents à proximité de la zone d'étude mais également de déterminer le comportement des espèces identifiées.

V.1. Connaissance biologique a priori du site

V.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 20).

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 Phoque et l'éléphant de mer (*Mirounga sp.*).

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

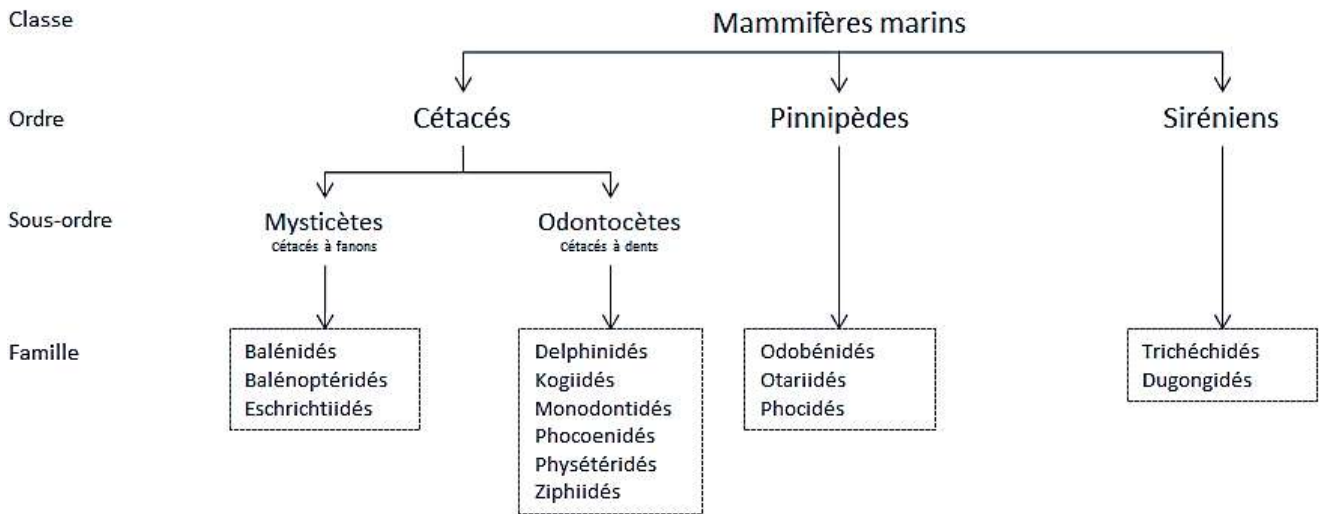


Figure 20 : Schéma de la classification scientifique des espèces océaniques et marines de mammifères. Source : Quiet-Oceans.

V.1.2. Fréquentation a priori du site par les mammifères marins

Le Tableau 15 synthétise les informations sur les mammifères marins susceptibles d'être rencontrés au large de Galisbay ou à proximité de la zone étudiée (cf. Chapitre III). Ces informations ont été recensées par Impact Mer lors de l'étude réalisée concernant les impacts du projet d'extension du port de commerce de Galisbay en Décembre 2015 (référence dossier : 1506_03_SXM_Cétacés). La famille des Delphinidés et des Physétéridés représentent les espèces moyennes fréquences – (acronyme MF), tandis que la famille des Balénoptéridés représente les espèces basses fréquences - (acronyme LF).

A noter que le Petit Rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) est une espèce émettant dans les très basses fréquences (< 500 Hz). L'enregistreur acoustique étant déployé à une profondeur de 4.7m, en eaux peu profondes (9 m de hauteur d'eau), il est très peu probable de pouvoir capter les signaux émis par cette espèce surtout en présence de bruit anthropique tels que le bruit des navires. L'analyse bioacoustique s'est donc concentrée sur les signatures acoustiques émises par les espèces de Delphinidés (Figure 21 et Figure 22), par le Cachalot (*Physeter macrocephalus*, Figure 23) et par la Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*, Figure 24).

Tableau 15 : Synthèse des données concernant les mammifères marins susceptibles d'être présents en mer au large de Galisbay à proximité de la zone étudiée (Impact Mer).

Famille	Espèce		Statut UICN	Catégorie acoustique
	Nom commun	Nom Latin		
Delphinidés	Dauphin tacheté pantropical	<i>Stenella attenuata</i>	LC	MF
	Dauphin tacheté de l'Atlantique	<i>Stenella frontalis</i>	LC	MF
	Dauphin à long bec	<i>Stenella longirostris</i>	LC	MF
	Globicéphale tropical	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	LC	MF
	Grand Dauphin	<i>Tursiops truncatus</i>	LC	MF
Balénoptéridés	Petit Rorqual	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	LC	LF
	Baleine à bosse	<i>Megaptera novaeangliae</i>	LC	LF
Physétéridés	Cachalot	<i>Physeter macrocephalus</i>	VU	MF



Figure 21 : Famille des Delphinidés – Grand dauphin (*Tursiops truncatus*). Source : EcoOcéan Institut.



Figure 22 : Famille des Delphinidés – Globicéphale tropical (*Globicephala macrorhynchus*). Source : Globice.



Figure 23 : Famille des Physétéridés – Cachalot (*Physeter macrocephalus*). Source : AMP.



Figure 24 : Famille des Balénoptéridés – Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*). Source : MICS.

V.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.

V.1.3.a. 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 25 et la Figure 26.

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 comporte sa propre gamme d'émissions caractéristique pour une grande diversité de sifflements émis (Tableau 16). 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 classification¹.

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'écholocation². 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.

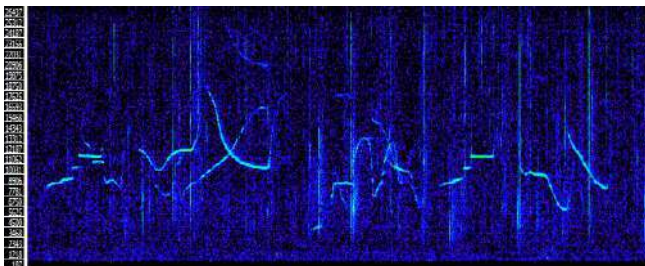


Figure 25 : Sifflements de Delphinidés émis entre 2 kHz et 25 kHz. Source : Quiet-Oceans.

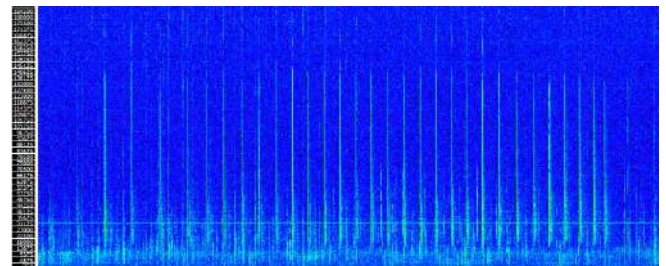
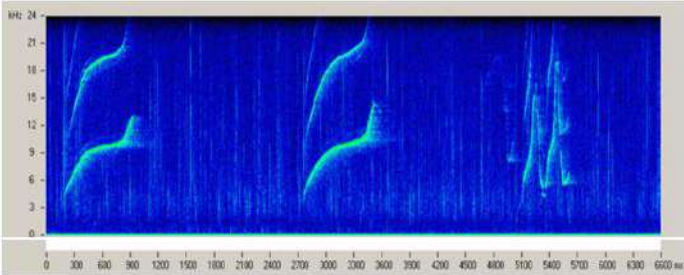


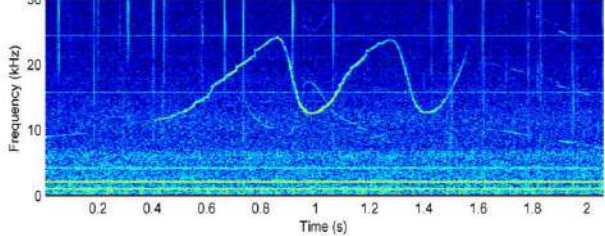
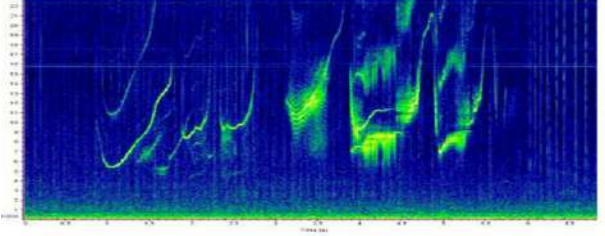
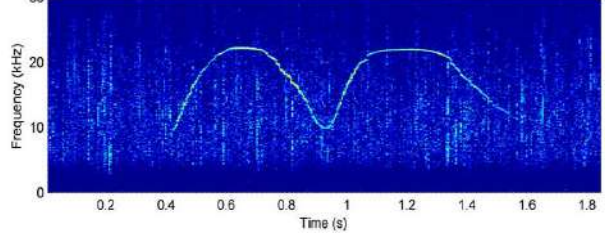
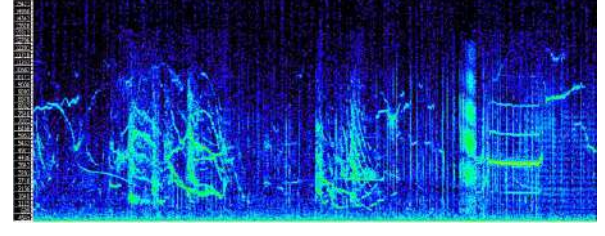
Figure 26 : Clics de Delphinidés émis entre 10 kHz et 180 kHz. Source : Quiet-Oceans.

Tableau 16 : Exemple de la diversité de sifflements émis par les Delphinidés avec le spectrogramme des émissions des espèces supposées présentes au large de Galisbay.

Espèce	Bande de fréquence	Spectrogramme
Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	5 à 25 kHz	 http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html

¹ La classification permet d'associer l'espèce animale correspondante à un signal biologique.

² Evènement renseignant les Delphinidés sur le milieu dans lequel ils évoluent mais également indicateur d'une quête de nourriture.

Espèce	Bande de fréquence	Spectrogramme
Dauphin tacheté pantropical (<i>Stenella attenuata</i>)	9 à 20 kHz	 <p>(Gruden et al., 2015)</p>
Dauphin tacheté de l'Atlantique (<i>Stenella frontalis</i>)	2 à 23 kHz	 <p>https://www.fisheries.noaa.gov/national/science-data/sounds-ocean#odontocetes-(toothed-whales)</p>
Dauphin à long bec (<i>Stenella longirostris</i>)	< 22 kHz	 <p>(Gruden et al., 2015)</p>
Globicéphale tropical (<i>Globicephala macrorhynchus</i>)	0.5 à 20 kHz	 <p>https://voicesinthesea.ucsd.edu/species/dolphins/pilotWhale.html</p>

V.1.3.b. Sons émis par les Balénoptéridés

La Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) est connue pour la complexité de son comportement vocal. En effet, cette espèce émet des chants composés de plusieurs unités sonores, dont l'unité de base se trouve en basse fréquence, vers 100 Hz, et dure d'une à quelques secondes. Ces chants, émis par les individus mâles dans un contexte de reproduction, durent environ 20 minutes et peuvent être répétés pendant des heures, voir des jours entiers (Au et al., 2006; Fournet et al., 2018; Richardson et al., 2013). La Baleine à bosse produit également des vocalisations autres que des chants, telles que les mugissements, signaux transitoires émis en basse fréquence avec présence de nombreux harmoniques (Figure 27).

Le Petit Rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) émet, quant à lui, des trains de pulses (signaux impulsifs basse fréquence) dans la bande fréquentielle allant de 500 à 400 Hz (Risch et al., 2013; Todd et al., 2015). Un train de pulse dit « slow-down » voit son IPI (« Inter-Pulse Interval ») augmenter vers la fin de son émission (Figure 28). A noter qu'actuellement, la fonction comportementale de ces trains de pulses est inconnue.

De manière générale, les Balénoptéridés se caractérisent acoustiquement par des signaux dont la fréquence fondamentale se situe en basses fréquences, inférieures à 5 kHz. Toutefois, le contexte de la mesure dans le cadre de cette étude avec un hydrophone déployé en eaux peu profondes (environ 9 m) et la présence récurrente de bruit de navires dans la donnée ne permet pas la détection automatique des trains de pulses émis par le Petit Rorqual.

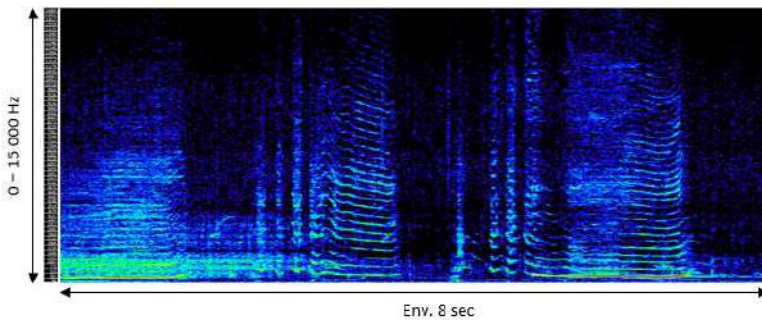


Figure 27 : Mugissements de Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) émis entre 100 Hz et 4 kHz. Source : Quiet-Oceans.

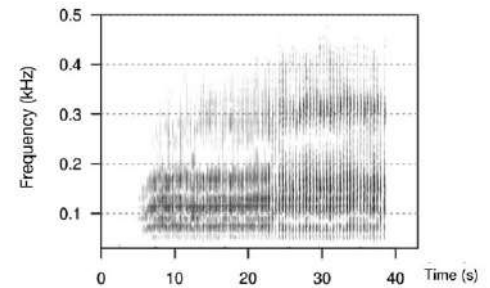
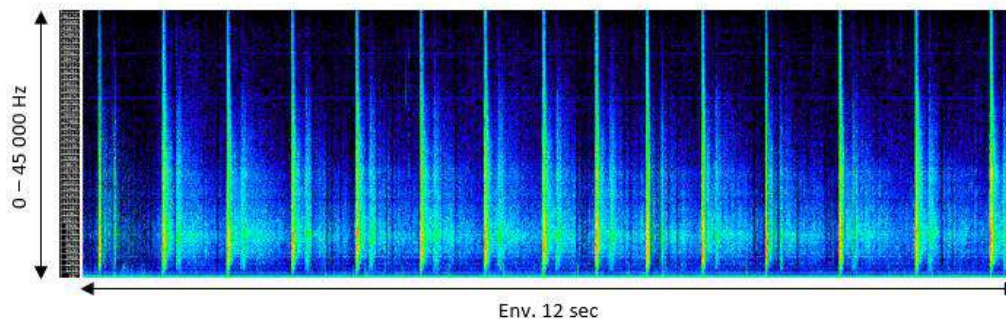


Figure 28 : Train de pulse « slow-down » émis par un Petit Rorqual, *Balaenoptera acutorostrata* (Risch, et al., 2013).

V.1.3.c. 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 29) (Erbe et al., 2017).

Figure 29 : Clics de Cachalot macrocéphale (*Physeter macrocephalus*) entre 2 et 30 kHz. Source : Quiet-Oceans.



V.2. Portée de détection des enregistreurs acoustiques

Pour certaines des espèces potentiellement présentes au large de Galisbay (cf. V.1.2.), les caractéristiques acoustiques de leurs émissions sont disponibles dans la littérature (Richardson et al., 2013; Todd et al., 2015) et sont axées sur les signaux transitoires (sifflements et mugissements):

- ✓ 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 Globicéphale tropical (*Globicephala macrorhynchus*) émet des sifflements à des niveaux sonores de l'ordre de 180 dB ref. 1µPa @1m dans la bande de fréquence [0.5 kHz – 20 kHz] ;
- ✓ La Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) émet des chants à des niveaux sonores compris entre 145 et 190 dB ref. 1µPa @1m dans la bande de fréquence [30 Hz – 8 kHz].

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.

Les Tableau 17 et Tableau 18 synthétisent les statistiques des distances de détection respectives aux périodes printanière et estivale 2022. Les portées de détection sont fournies pour différentes proportions de temps (95%, 50%, etc...) pour la zone d'étude R2 équipée d'un enregistreur acoustique. Les résultats obtenus mettent en évidence une différence significative pour les plages de détections du Globicéphale tropical (*Globicephala macrorhynchus*) et de la Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) pour 50% du temps. 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. Concernant les Globicéphales tropicaux le niveau émis est fort dans une bande de fréquence où le bruit ambiant n'est pas très élevé donc la plage de détection est étendue. Concernant la Baleine à bosse, elle émet des niveaux sonores médians autour de 167 dB ref. 1µPa @1m dans une bande de fréquence incluant les très basses fréquences où le bruit ambiant est prédominant. Par conséquent, la plage de détection de cette famille est plus faible. Il apparaît également que les portées de détections sont plus étendues durant la saison printanière que durant la saison estivale pour chacune des espèces potentiellement présentes sur site en raison d'un bruit ambiant statistiquement plus élevé en raison des conditions environnementales (vent et houle plus prédominants).

Tableau 17 : Synthèse des portées de détection pour la zone d'étude R2 en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes au large de Galisbay (saison printanière 2022).

Famille	Espèce	Zone	Portée de détection (m)				
			Proportion du temps (%)				
			95	75	50	25	5
Delphinidés	Grand dauphin <i>Tursiops truncatus</i>	R2	308	802	1116	1285	1535
	Globicéphale tropical <i>Globicephala macrorhynchus</i>	R2	10502	27457	38725	44574	52758
Balénoptéridés	Baleine à bosse <i>Megaptera novaeangliae</i>	R2	2121	5549	9005	10985	12808

Tableau 18 : Synthèse des portées de détection pour la zone d'étude R2 en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes au large de Galisbay (saison estivale 2022).

Famille	Espèce	Zone	Portée de détection (m)				
			Proportion du temps (%)				
			95	75	50	25	5
Delphinidés	Grand dauphin <i>Tursiops truncatus</i>	R2	361	616	710	892	1133
	Globicéphale tropical <i>Globicephala macrorhynchus</i>	R2	12327	21656	24972	31074	39599
Balénoptéridés	Baleine à bosse <i>Megaptera novaeangliae</i>	R2	2568	5995	7371	8361	10569

V.3. Procédé de traitement bioacoustique

Le traitement bioacoustique de la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique consiste à détecter les signaux biologiques dans les données acoustiques brutes (au format audio) 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 (Figure 30).

A noter, l'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. V.2.). Toutefois, étant donnée le dispositif, il n'est pas possible de localiser l'espèce détectée.

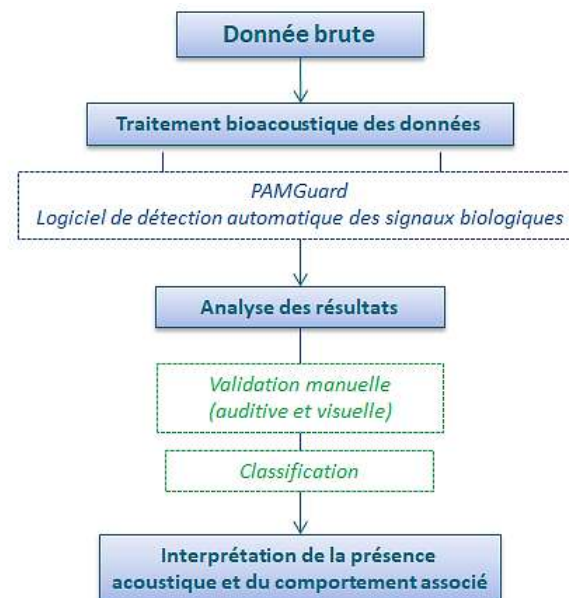


Figure 30 : Procédure générale appliquée à la donnée brute pour le traitement bioacoustique des enregistrements sonores.

V.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 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.

V.3.1.a. Détection des signaux biologiques transitoires

Dans le cadre de cette étude, deux détecteurs de signaux transitoires ont été créés et calibrés afin de permettre la détection de signaux transitoires d'origine biologique de type « sifflement » émis par les Delphinidés et de type « mugissements » émis par la Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*). Ces détecteurs permettent la détection de signaux transitoires allant respectivement de 2 à 20 kHz, bande fréquentielle couvrant les différentes variétés d'émissions de sifflements par les Delphinidés, et de 100 à 4 kHz pour les mugissements de Baleine à bosse.

V.3.1.b. 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 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 Physétéridés entre 2 et 30 kHz.

V.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. 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.

V.4. Résultats

La fréquentation de la zone R2, à proximité de la bouée cardinale ouest de la Médée, par les mammifères marins a été établie sur l'ensemble de la période d'écoute pour deux saisons bien distinctes, c'est-à-dire entre le 08 mars et 19 avril 2022 (saison printanière) et entre le 28 juin et 28 juillet 2022 (saison estivale). Le Tableau 19 définit les indicateurs de présence permettant de caractériser le type de fréquentation aux alentours de la station de mesure, de l'absence à la présence quotidienne sur site.

Tableau 19 : Définition des indicateurs de la fréquentation par les mammifères marins.

Fréquentation	Caractéristiques	
	Périodes de détections	Taux de présence sur la période d'étude
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 %

V.4.1. Campagne printemps 2022

Pour rappel, un enregistreur acoustique a été déployé au niveau de la zone R2, à proximité de la bouée cardinale ouest de la Médée (cf. Figure 5) du 08 mars au 19 avril 2022.

V.4.1.a. Fréquentation du site par les mammifères marins

i. Famille des Delphinidés

Suite à la vérification manuelle des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard, la Figure 31 représente les périodes de présence des clics et sifflements détections dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique au niveau de la zone R2 (08/03/2022 au 19/04/2022). Il apparaît que les Delphinidés sont régulièrement présents, avec un taux de présence acoustique proche de 60%. En effet, 40 périodes de détections de clics et sifflements ont été observées sur 24 jours pour un total de 42 jours d'enregistrement.

De manière générale, la détection des signatures acoustiques des Delphinidés a été réalisée en période nocturne à hauteur de 57.5% avec une différenciation au niveau des détections de sifflements qui ont principalement été relevés durant la période diurne. Les clics ont, quant à eux, été émis en grande majorité durant la nuit, période propice aux activités de chasse. Cependant, seul un épisode de chasse a été observé le 03 avril 2022 vers 23h10 UTC (Figure 32) :

- ✓ Détections de « buzzs » ;
- ✓ Détections de nombreux clics d'écholocation entre 15 et 192 kHz ;
- ✓ Un ICI variable (plus ou moins court) pour chaque train de clics détections.

Cet épisode de chasse est considéré opportuniste. Le comportement des Delphinidés est principalement associé à la socialisation/communication entre individus via la présence des sifflements, mais également à un probable sondage de l'environnement dans lequel les cétacés évoluent via le caractère écholocatif de la plupart des clics détections (Figure 33).

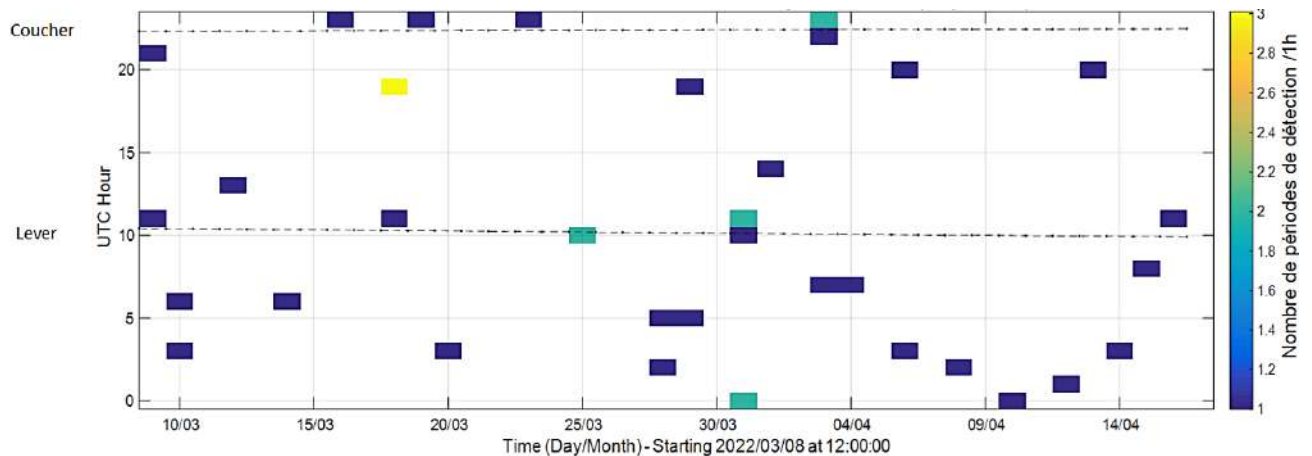


Figure 31 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit au niveau de la zone R2 (08/03/2022 au 19/04/2022).

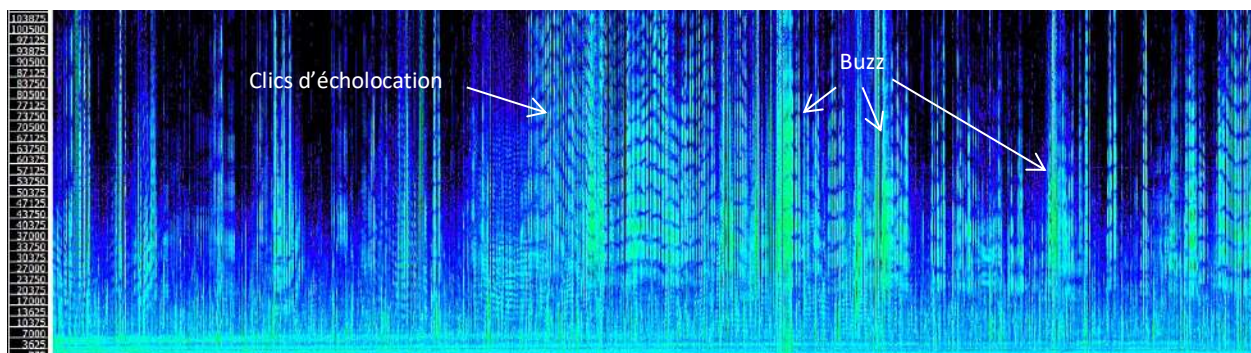


Figure 32 : Probable épisode de chasse opportuniste observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone R2. Journée du 03 avril 2022 vers 23h10 UTC.

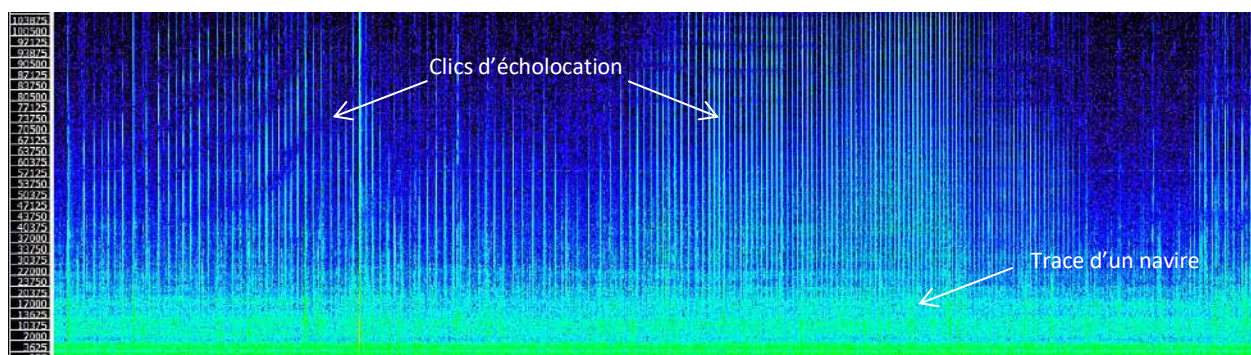


Figure 33 : Clics d'écholocation de Delphinidés détectés sur la journée du 03 avril 2022 vers 23h08 UTC à proximité de la zone R2. A noter, présence de la trace d'un navire en-dessous de 20 kHz.

ii. Famille des Balénoptéridés

La Figure 34 représente les périodes de détections des mugissements émis par les Baleines à bosse (*Megaptera novaeangliae*) dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique au niveau de la zone R2 (08/03/2022 au 19/04/2022). Il apparaît que les Baleines à bosse sont occasionnellement présentes au niveau de cette zone sur l'ensemble de la période d'étude, avec un taux de présence acoustique proche de 22%. En effet, 76 périodes de détections de mugissements ont été observées et réparties sur 9 jours pour un total de 42 jours d'enregistrement.

Les détections ont été réalisées indépendamment des heures de la journée. Aucune période préférentielle de passage n'a donc pu être établie pour les Baleines à bosse qui sont autant présentes de jour comme de nuit au niveau de la zone R2. Toutefois, les détections réalisées se concentrent sur les journées du 16 et 19 mars ainsi que sur la journée du 06 avril 2022. Les signatures acoustiques détections sur ces journées sont principalement des mugissements (Figure 35) qui s'organisent de manière à former un chant (Figure 36). Un chant, formé de séquences ordonnées et répétées, peut durer environ 20 minutes et être répété pendant des heures, voire des jours entiers (cf. V.1.3.b.). Ils sont émis uniquement par les individus mâles lors de la période de reproduction de l'espèce entre l'hiver et le printemps au niveau des zones tropicales (Au et al., 2006; Fournet et al., 2018; Richardson et al., 2013), soit dans le contexte de cette étude, au niveau du canal situé entre Anguilla et Saint-Martin. Les mugissements détections en dehors de ces trois journées sont apparentés principalement à la communication et à l'organisation sociale.

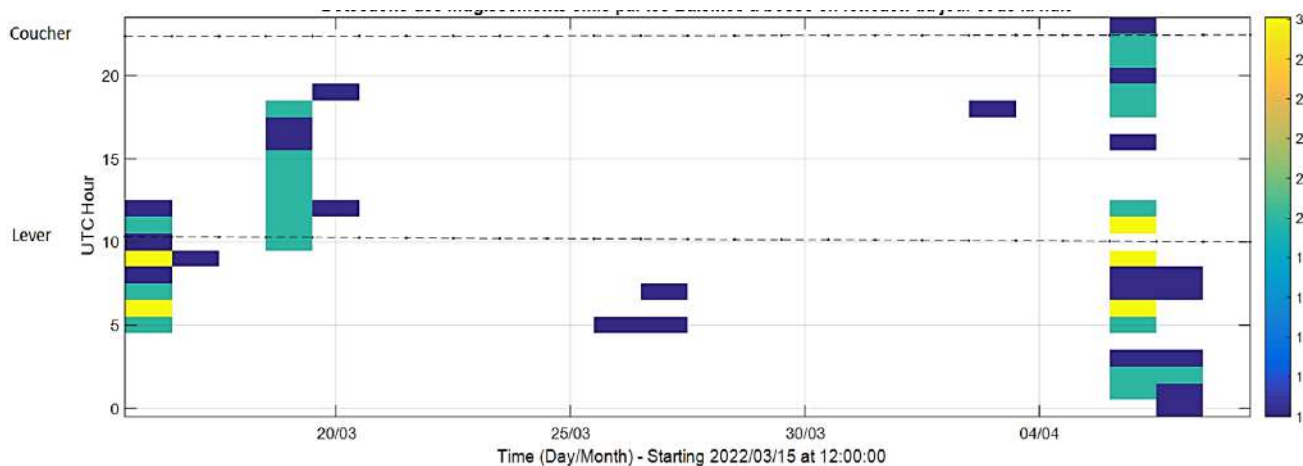


Figure 34 : Périodes de détections des mugissements émis par les Baleines à bosse (*Megaptera novaeangliae*) en fonction du jour et de la nuit au niveau de la zone R2 (08/03/2022 au 19/04/2022).

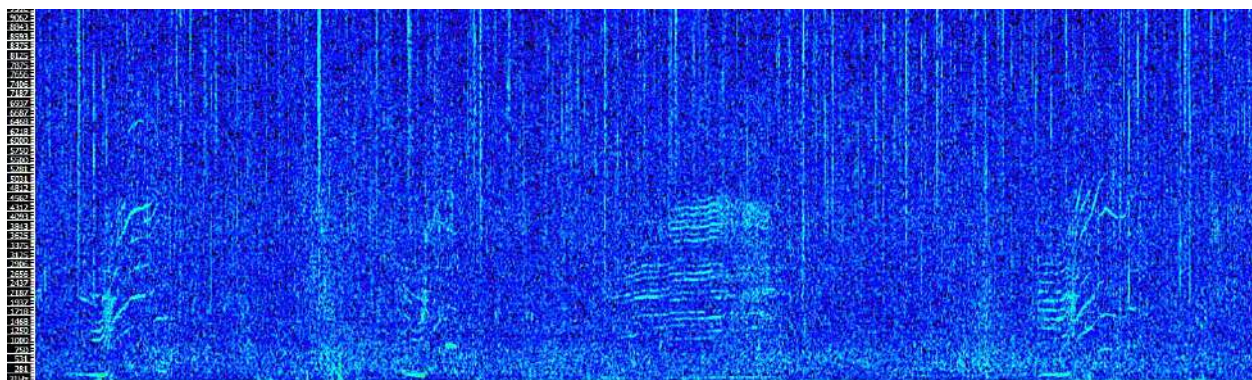


Figure 35 : Mugissements de Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) détectés sur la journée du 16 mars 2022 vers 05h49 UTC à proximité de la zone R2.

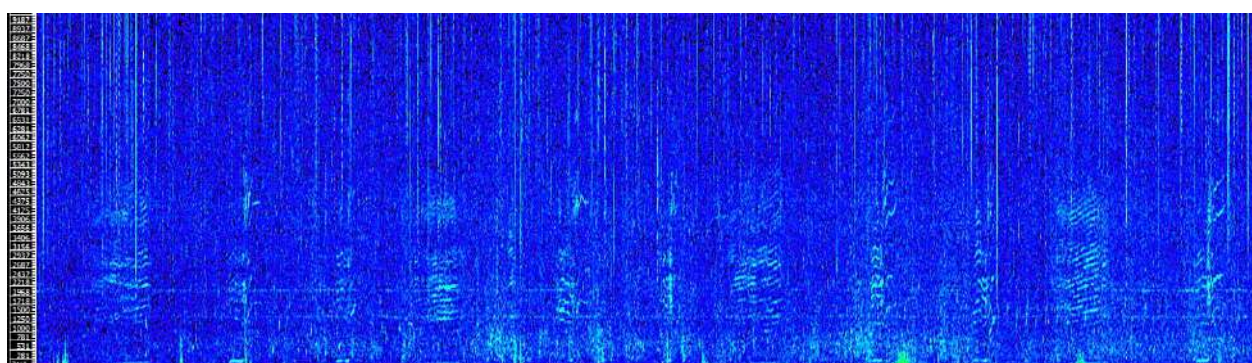


Figure 36 : Chant de Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) détecté sur la journée du 16 mars 2022 vers 09h30 UTC à proximité de la zone R2.

iii. Famille des Physétéridés

Le Cachalot, *Physeter macrocephalus*, est considéré acoustiquement absent entre le 08 mars et 19 avril 2022 au niveau de la zone d'étude 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.

V.4.1.b. Comportements observés

Sur la période de mesure printanière allant du 08 mars au 19 avril 2022, l'analyse des enregistrements qui contiennent des contacts acoustiques de Delphinidés indiquent de manière générale des comportements de socialisation par la présence de sifflements entre 2 et 25 kHz, et de clics entre 15 et 80 kHz. Toutefois, une analyse détaillée de l'ensemble des contacts acoustiques a permis de mettre en évidence le caractère écholocatif de certains clics associés à des buzzs (cf. Figure 33, V.4.1.a. i) indiquant un comportement de sondage de l'environnement dans lequel les cétacés évoluent. Seul un épisode de chasse opportuniste et de quête de nourriture a été relevé sur l'ensemble de la période d'étude.

Concernant les Baleines à bosse, l'analyse des mugissements et chants détectés entre 100 Hz et 4 kHz sur la période du 03 mars au 19 avril 2022 a permis de mettre en évidence un comportement associé à la période de reproduction de l'espèce dans le canal situé entre Anguilla et Saint-Martin.

V.4.1.c. 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. V.3.2.). Après analyse des caractéristiques acoustiques des sifflements détectés, il a été possible d'identifier des sifflements émis par :

- ✓ Le Dauphin tacheté de l'Atlantique, *Stenella frontalis*, entre 4 et 18 kHz (Figure 37) ;
- ✓ Le Dauphin tacheté pantropical, *Stenella attenuata*, entre 7 et 20 kHz (Figure 38).

Il apparaît que le Dauphin tacheté de l'Atlantique est l'espèce prédominante dans l'ensemble de la donnée enregistrée au niveau de la zone d'étude R2.

Même si toutes les espèces de Delphinidés n'ont pas pu être identifiées avec certitude, pour cause de faible intensité sonore de la plupart des sifflements détectés rendant les caractéristiques acoustiques peu visibles, il est possible d'affirmer leur appartenance au genre dauphin *sp.* (Figure 39).

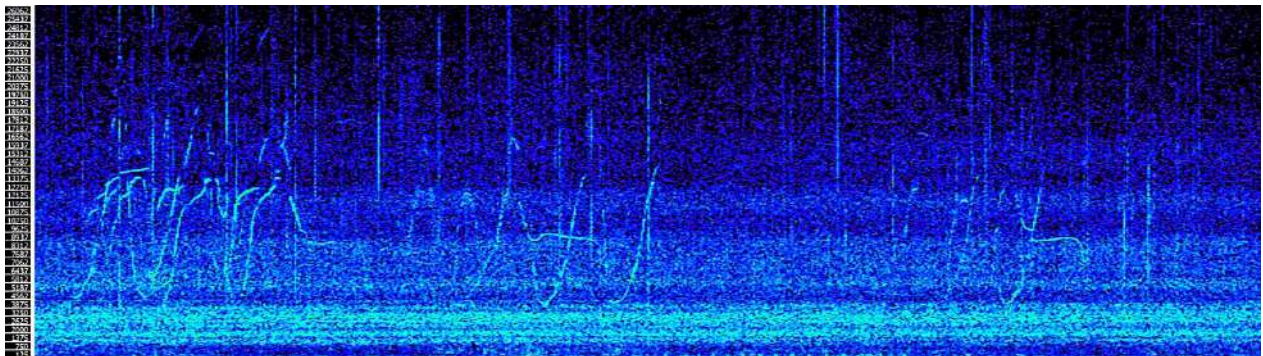


Figure 37: Sifflements probablement émis par le Dauphin tacheté de l'Atlantique (*Stenella frontalis*) entre 4 et 18 kHz, le 25 mars 2022 vers 10h40 UTC au niveau de la zone R2.

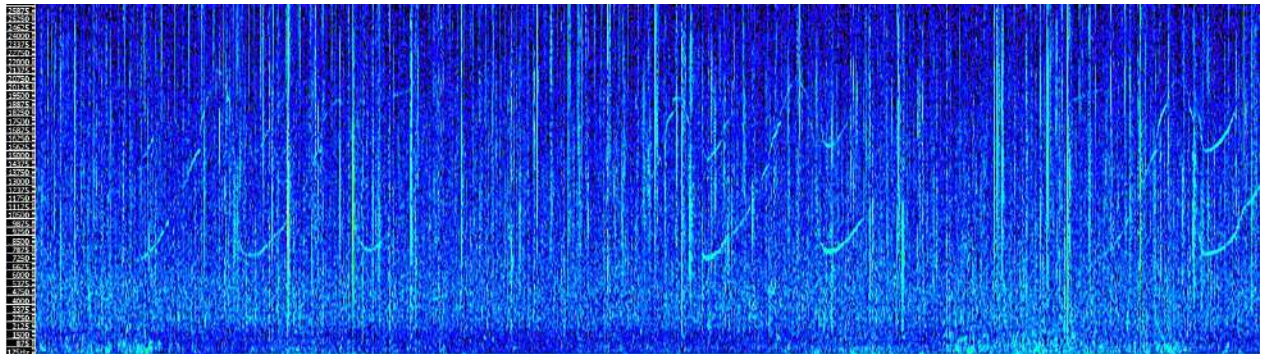


Figure 38 : Sifflements probablement émis par le Dauphin tacheté pantropical (*Stenella attenuata*) entre 7 et 20 kHz, le 31 mars 2022 vers 00h46 UTC au niveau de la zone R2.

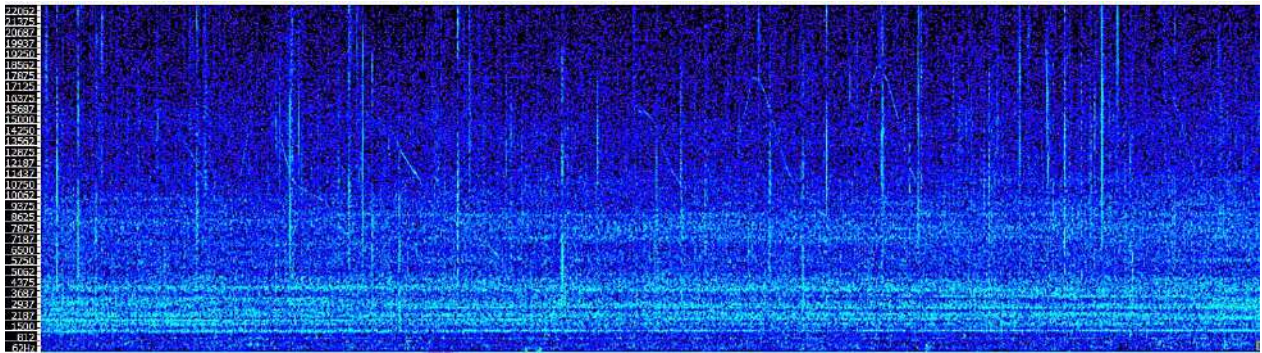


Figure 39 : Sifflements de faible intensité observés sur l'enregistrement du 09 mars 2022 à 21h55 UTC, au niveau de la zone R2, appartenant au genre dauphin sp.

V.4.1.d. Synthèse de la fréquentation du site

Le Tableau 20 synthétise les résultats obtenus via l'enregistreur acoustique (enregistrement en continu, soit 100% du temps) quant à la présence des mammifères marins au niveau de la zone d'étude R2 entre le 03 mars et 19 avril 2022 :

- ✓ Les Delphinidés sont régulièrement présents sur site ;
- ✓ Les Baleines à bosse, *Megaptera novaeangliae*, sont occasionnellement présentes sur site avec trois journées de présence acoustique significative (16 et 19 mars 2022, ainsi que 06 avril 2022) ;
- ✓ Les Cachalots, *Physeter macrocephalus*, sont acoustiquement absents à proximité de la zone d'étude.

Le comportement prédominant des Delphinidés est la socialisation et le sondage de l'environnement dans lequel ils évoluent. Tandis que le comportement des Baleines à bosses est associé à la période de reproduction de l'espèce.

Tableau 20 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins au niveau de la zone R2 en saison printanière, entre le 08 mars et 19 avril 2022. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement en continu).

		Zone R2	
		Fréquentation du site	Comportement
Printemps 2022 08/03/2022 au 19/04/2022	Delphinidés	Régulière	Social / sondage de l'environnement (unique épisode de chasse)
	Balénoptéridés	Occasionnelle	Associé à la période de reproduction
	Physétéridés	Absence	N/A

V.4.2. Campagne été 2022

Pour rappel, un enregistreur acoustique a été déployé au niveau de la zone R2, à proximité de la bouée cardinale ouest de la Médée (cf. Figure 5) du 28 juin au 28 juillet 2022.

V.4.2.a. Fréquentation du site par les mammifères marins

i. Famille des Delphinidés

Suite à la vérification manuelle des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard, la Figure 40 représente les périodes de présence des clics et sifflements détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique au niveau de la zone R2 (28/06/2022 au 28/07/2022). Il apparaît que les Delphinidés sont occasionnellement présents, avec un taux de présence acoustique de 13.3%. En effet, 9 périodes de détections de clics et sifflements ont été observées sur 4 jours pour un total de 30 jours d'enregistrement.

De manière générale, la détection des signatures acoustiques des Delphinidés a été réalisée en période nocturne à hauteur de 66.7%, entre 23h00 et 03h00 UTC.

Les détections réalisées sur l'ensemble de la période d'étude sont à la fois de faible densité et de faible intensité (Figure 41). Ce résultat suppose que les Delphinidés sont simplement de passage à proximité de la zone d'étude. Ce comportement est renforcé par la détection de clics d'écholocation (Figure 42) et de buzzs dans la nuit du 26/07/2022 qui permet de mettre en évidence un caractère associé au sondage de l'environnement dans lequel les cétacés évoluent. Bien que les Delphinidés soient de passage, les sifflements et autres clics émis dans la bande fréquentielle entre 10 et 80 kHz renseignent sur le comportement social de ces derniers.

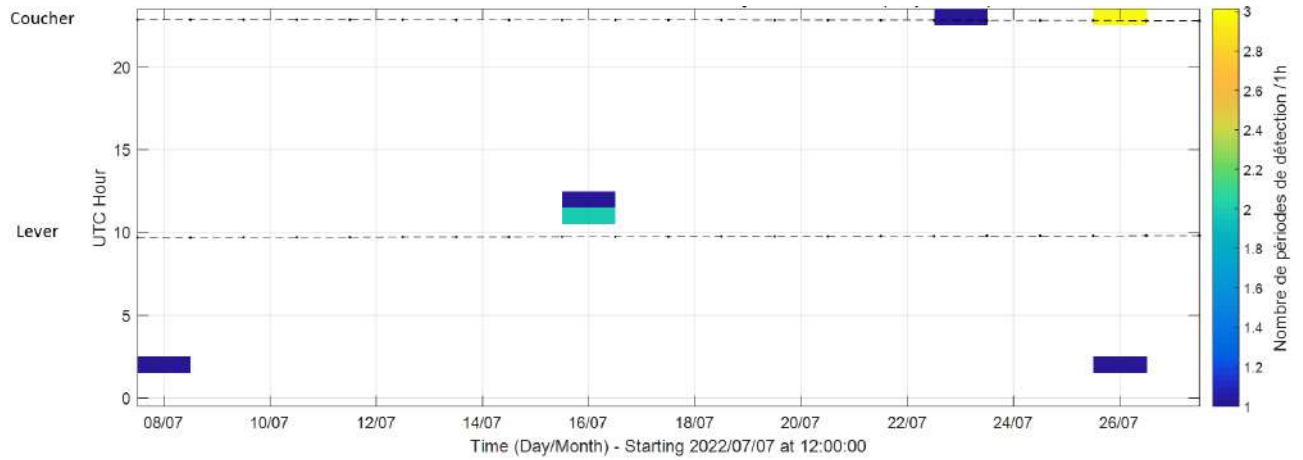


Figure 40: Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit au niveau de la zone R2 (28/06/2022 au 28/07/2022).

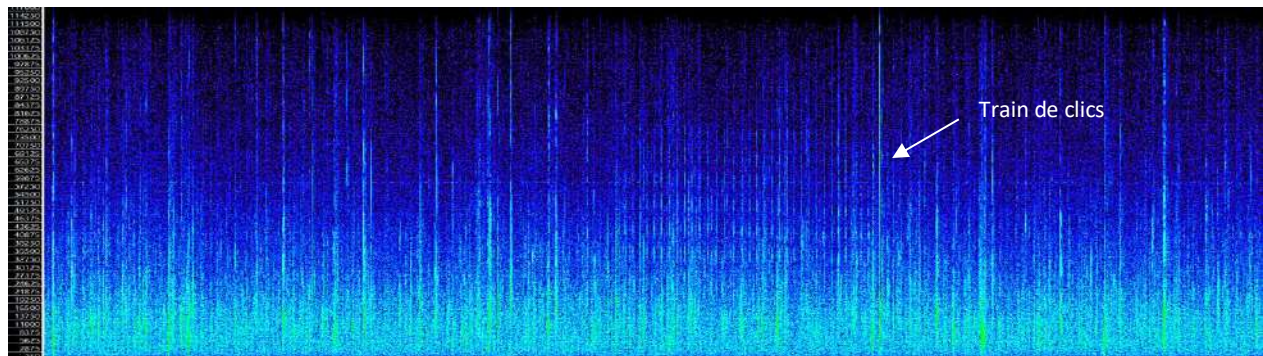


Figure 41 : Clics de communication de faible densité et intensité émis par un Delphinid le 23 juillet 2022 vers 23h51 UTC à proximité de la zone R2.

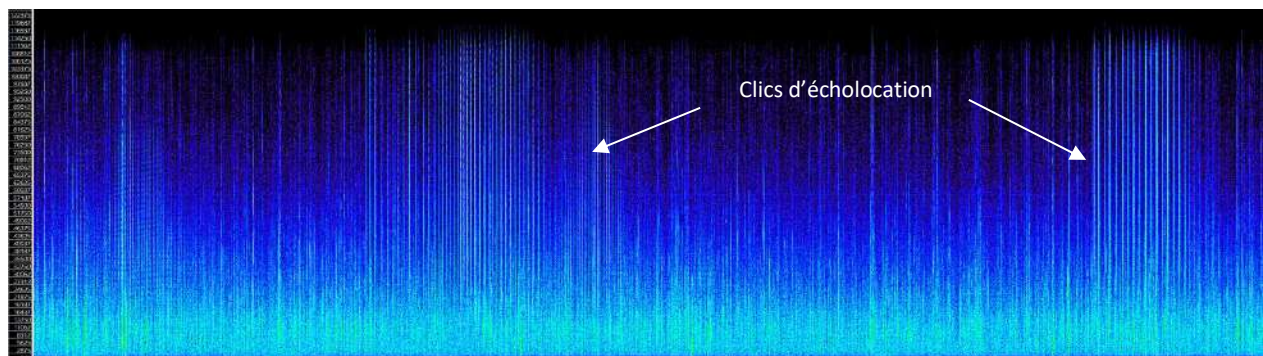


Figure 42 : Clics d'écholocation de Delphinidés (faible intensité) détectés dans la nuit du 26 juillet 2022 vers 23h20 UTC à proximité de la zone R2.

ii. Famille des Balénoptéridés

La Baleine à bosse, *Megaptera novaeangliae*, est considérée acoustiquement absente entre le 28 juin et 28 juillet 2022 au niveau de la zone d'étude R2. En effet, aucun signal acoustique associé à la présence de ce mammifère marin sur site (chants et mugissements en basses fréquences) n'a été détecté sur la totalité de la période.

Ce résultat est cohérent avec la biologie de l'espèce. En effet, les Baleines à bosse entreprennent de longues migrations saisonnières depuis les aires de reproduction tropicale (hiver-printemps) vers les aires d'alimentation

plus froides et plus productives en hautes latitudes (été). La campagne de mesure acoustique se déroulant entre le 28 juin et 28 juillet 2022, soit en pleine période estivale, il est probable que les Baleines à bosse présentes lors de la saison printanière 2022 (cf. V.4.1.a. ii) aient migré vers de plus hautes latitudes afin de se nourrir.

iii. Famille des Physétéridés

Le Cachalot, *Physeter macrocephalus*, est considéré acoustiquement absent entre le 28 juin et 28 juillet 2022 au niveau de la zone d'étude 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.

V.4.2.b. Comportements observés

Sur la période de mesure estivale allant du 28 juin au 28 juillet 2022, l'analyse des enregistrements qui contiennent des contacts acoustiques de Delphinidés indiquent de manière générale des comportements de socialisation voire de sondage de l'environnement dans lequel les cétacés évoluent par la présence de sifflements entre 2 et 25 kHz, et de clics entre 10 et 180 kHz. La faible densité et intensité des détections réalisées supposent que ces mammifères marins sont simplement de passage à proximité de la zone d'étude.

V.4.2.c. Classification des signaux biologiques détectés

La très faible densité des sifflements détectés associée à la faible intensité d'émission rend difficile l'exercice de classification. En effet, les caractéristiques acoustiques des sifflements détectés (fréquence de début et de fin des signaux, fréquence minimum et maximum, durée des vocalises, nombre de point d'inflexion et d'harmoniques, etc.) sont peu définies et/ou peu visibles (Figure 43 et Figure 44). Toutefois, au vu des fréquences d'émissions (entre 2 et 25 kHz), il est possible d'affirmer leur appartenance au genre dauphin *sp.*

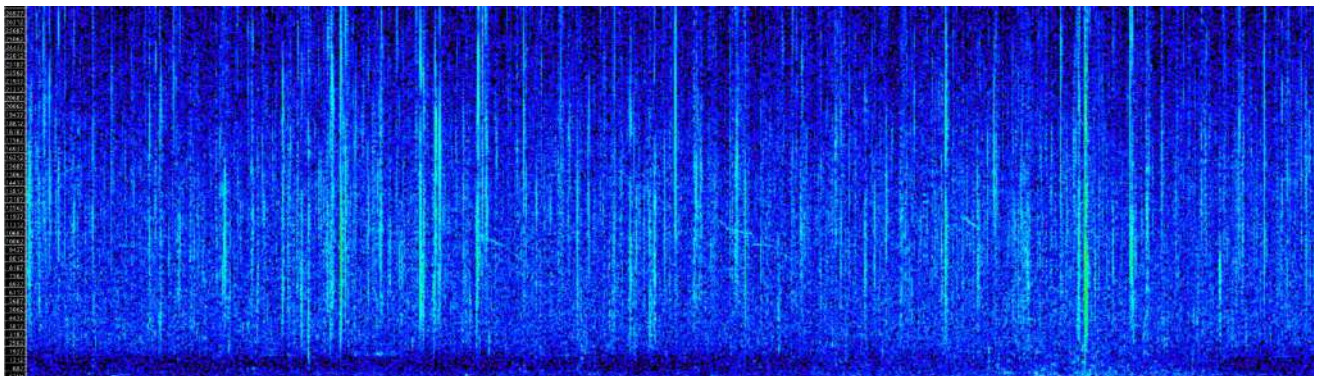


Figure 43 : Sifflements de très faible intensité observés sur l'enregistrement du 08 juillet 2022 à 02h57 UTC, au niveau de la zone R2, appartenant au genre dauphin *sp.*

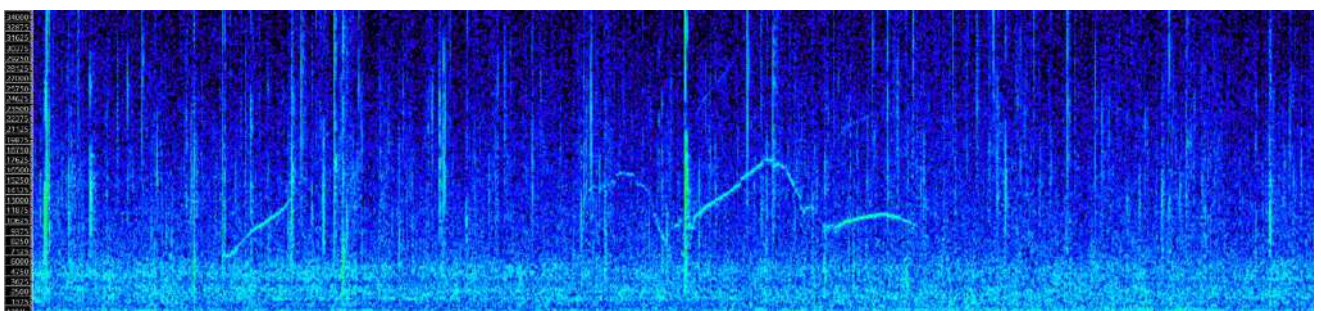


Figure 44 : Sifflements émis par le genre dauphin *sp.*, observés sur l'enregistrement du 16 juillet 2022 à 11h31 UTC au niveau de la zone R2.

V.4.2.d. Synthèse de la fréquentation du site

Le Tableau 21 synthétise les résultats obtenus via l'enregistreur acoustique (enregistrement en continu, soit 100% du temps) quant à la présence des mammifères marins au niveau de la zone d'étude R2 entre le 28 juin et 28 juillet 2022 :

- ✓ Les Delphinidés sont occasionnellement présents sur site ;
- ✓ Les Baleines à bosse, *Megaptera novaeangliae*, sont acoustiquement absentes à proximité de la zone d'étude ;
- ✓ Les Cachalots, *Physeter macrocephalus*, sont acoustiquement absents à proximité de la zone d'étude.

Les Delphinidés sont supposés en déplacement aux alentours de la zone d'étude. En effet, les détections réalisées (clics et sifflements) sont de faible densité mais également de faible intensité supposant alors un passage plus ou moins lointain de la zone R2.

Tableau 21 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins au niveau de la zone R2 en saison estivale, entre le 28 juin et 28 juillet 2022. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement en continu).

		Zone R2	
		Fréquentation du site	Comportement
Été 2022 28/06/2022 au 28/07/2022	Delphinidés	Occasionnelle	Social / En déplacement
	Balénoptéridés	Absence	N/A
	Physétéridés	Absence	N/A

V.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.

V.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 à ce problème de temps de traitement des données, des algorithmes de détection automatique peuvent être utilisés. Lorsque l'efficacité de ces algorithmes est erronée suite à 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. Toutefois, pour certains algorithmes de détections automatiques, tels que ceux des systèmes autonomes C-PODs, il est impossible de réaliser cette validation humaine des échantillons car la donnée acoustique n'est pas conservée par le système.

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

V.5.2. Représentativité de la mesure

V.5.2.a. 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. V.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 à la faible représentativité spatiale lorsqu'on recherche la présence de petits Delphinidés. Dans le cadre de cette étude, la solution mise en œuvre pour atteindre cet objectif est associée au 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.

V.5.2.b. 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 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.

V.5.3. Algorithme de détection automatique

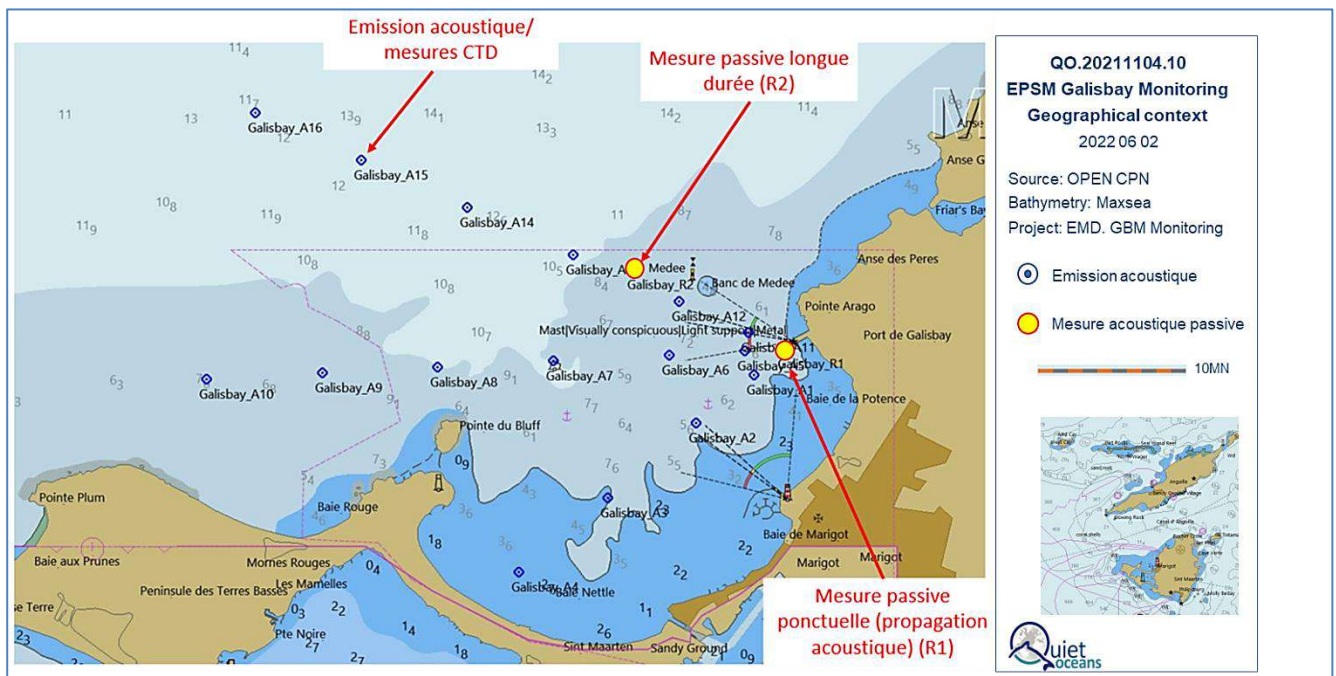
De manière générale, les algorithmes de détection automatique identifient de manière fiable la présence, le cas échéant, de signaux impulsifs et/ou transitoires dans la donnée mesurée par acoustique passive. Toutefois, il apparaît qu'en présence d'un chorus sonore bruyant (1) le nombre de détections 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 importante de signaux impulsifs biologiques dans la donnée mesurée, tels que ceux émis par le benthos qui ont été observés dans les enregistrements de cette étude, peut donner lieu à des faux positifs c'est-à-dire à la détection des signaux impulsifs émis par le benthos 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.

Chapitre VI. Conclusions

Dans le cadre de l'appel d'offres de l'établissement portuaire de Saint-Martin, Quiet-Oceans a été sollicité par Gaïa Terre Bleue (Gaïa) pour le volet acoustique sous-marin du dossier relatif aux projets de dragage et d'extension du port de commerce de Galisbay. L'étude traitée dans ce rapport vise à établir un état de référence du paysage acoustique avant travaux à Galisbay.

Au niveau de la bouée cardinale ouest de la Médée, un enregistreur acoustique passif a été déployé lors des saisons printanière et estivale 2022 durant une durée unitaire d'un mois. L'hydrophone est placé à mi-hauteur d'eau. La hauteur d'eau à cet emplacement est de 9 mètres. En complément, deux déploiements ponctuels d'un enregistreur acoustique autonome ont été réalisés à proximité de la zone des travaux pour des mesures actives de la propagation acoustique.



VI.1. Campagne printemps 2022

VI.1.1. Analyse du bruit physique

L'évaluation de la statistique des niveaux sonores perçus au point R2 montre la superposition :

- ✓ D'un bruit permanent (98.2 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$), où le vent et la vie benthique sont les contributeurs majoritaires ;
- ✓ Par des bruits forts et courts anthropiques (de 125 à 150 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$) .

En résulte un niveau de pression médian de 103.8dB ref $1\mu\text{Pa}^2$, valeur commune pour une zone côtière.

L'analyse permet également de dégager un fort contraste jour/nuit (jusqu'à 15.5dB d'écart) :

- ✓ Les pics anthropiques apparaissent majoritairement le jour ;
- ✓ La vie benthique engendre quotidiennement le niveau sonore de 1 à 2 dB (entre 1 et 2) durant la période nocturne.

En moyenne, on relève 28 passages de navires par jour à proximité de l'hydrophone engendrant un bruit significatif (élévation de +15dB en comparaison du bruit ambiant).

VI.1.2. Analyse des signaux biologiques

L'analyse des signaux bioacoustiques (Tableau 22) émis par les mammifères marins couramment présents au large de Galisbay montre une présence régulière de Delphinidés au niveau de la station R2 (point de suivi par acoustique passive) avec des détections réalisées principalement en période nocturne. Les signatures acoustiques émises par les Delphinidés indiquent de manière générale un comportement de socialisation et de sondage de l'environnement dans lequel ces cétacés évoluent. Seul un épisode de quête de nourriture a été observé le 03 avril 2022 vers 23h10 UTC. La classification a permis d'identifier la présence du Dauphin tacheté de l'Atlantique (*Stenella frontalis*) et du Dauphin tacheté pantropical (*Stenella attenuata*) aux alentours de la station de mesure.

Les Balénoptéridés, représentés dans cette étude par les détections de mugissements émis par la Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*), sont occasionnellement présents au niveau de la zone R2. L'observation de séquences ordonnées et répétées de signatures acoustiques a permis de mettre en évidence l'émission de chants par cette espèce. Les chants, émis par les individus mâles, sont associés à la période de reproduction de la Baleine à bosse entre l'hiver et le printemps au niveau du canal entre Anguilla et Saint-Martin.

Concernant les Physétéridés, aucun signal acoustique associé à la présence de Cachalots (*Physeter macrocephalus*) sur site n'a été détecté sur la totalité de la période.

VI.2. Campagne été 2022

VI.2.1. Analyse du bruit physique

L'évaluation de la statistique des niveaux sonores perçus au point R2 montre la superposition :

- ✓ D'un bruit permanent (100.5 dB ref 1 μ Pa²), où le vent et la vie benthique sont les contributeurs majoritaires. Ce bruit environnemental est 2.3dB plus fort que celui mesuré au printemps (98.2dB ref 1 μ Pa²), notamment à cause des conditions météorologiques plus rudes lors de l'été/saison humide.
- ✓ Par des bruits forts et courts anthropiques (de 125 à 150 dB ref 1 μ Pa²) comparable à ceux observés au printemps.

En résulte un niveau de pression médian de 107.3dB ref 1 μ Pa², soit 3.5dB de plus qu'au printemps 2022.

L'analyse permet également de dégager un fort contraste jour/nuit (jusqu'à 11.7dB d'écart) :

- ✓ Les pics anthropiques apparaissent majoritairement le jour, entre 8h et 18h heure locale ;
- ✓ La vie benthique fait journalièrement augmenter le niveau sonore de l'ordre de 2 dB la nuit.

En moyenne, on relève 16 passages de navires par jour à proximité de l'hydrophone engendrant un bruit significatif, ce qui représente une baisse conséquente de la fréquentation rapport au printemps 2022 (28 navires/jours).

VI.2.2. Analyse des signaux biologiques

L'analyse des signaux bioacoustiques (Tableau 22) émis par les mammifères marins montrent une présence occasionnelle de Delphinidés au niveau de la station R2, avec des détections réalisées en grande majorité durant la nuit. La faible densité et intensité des signatures acoustiques observées dans les enregistrements (clics et sifflements) supposent que les Delphinidés sont simplement de passage aux alentours de la zone. Un comportement social a également pu être mis en évidence via la détection des sifflements et des clics émis entre 10 et 80 kHz. La faible visibilité des caractéristiques acoustiques des sifflements a rendu l'exercice de

classification difficile. Toutefois, la bande de fréquence de détection de ces signatures a permis de confirmer leur appartenance au genre dauphin *sp.*

Concernant les Baleines à bosse (*Megaptera novaeangliae*) et les Cachalots (*Physeter macrocephalus*), aucun signal acoustique associé à la présence de l'une ou l'autre de ces espèces n'a été détecté sur la totalité de la période. A noter que l'absence acoustique de la Baleine à bosse est cohérente avec la biologie de l'espèce qui effectue des migrations saisonnières vers les hautes latitudes pour rejoindre les aires de nourriture plus froides et productives durant l'été.

VI.3. Recommandations

Dans le cadre de l'établissement portuaire de Saint-Martin prévoyant des opérations de dragage et de battage de pieu pour l'extension du port et la création de nouveaux quais, il est préférable d'éviter la période printanière (mars à avril) pour la réalisation des travaux bruyants tel que le battage de pieu. En effet, à la lueur des résultats obtenus pour l'état de référence concernant la fréquentation des mammifères marins aux alentours de la station R2 (au niveau de la bouée cardinale ouest de la Médée), il apparaît que :

- ✓ Les Delphinidés sont occasionnellement de passage durant l'été, tandis que leur présence est régulière durant la saison printanière avec quelques épisodes de chasse opportuniste ;
- ✓ Les Baleines à bosse sont présentes durant la saison printanière qui correspond à la période de reproduction de cette espèce, mais migrent vers de plus hautes latitudes vers les zones de nourriture durant la saison estivale, et sont donc absentes aux alentours de la station R2.

Pour rappel, un seul système acoustique a été déployé et ne permet donc pas la localisation des vocalises détectées. Toutefois, l'estimation des portées de détections de ces vocalises a été réalisée par modélisation pour différentes situations environnementales représentatives des périodes de mesure. Les Baleines à bosse, émettant en basse fréquence, peuvent être détectées jusqu'à environ 10 km autour de la station R2. Il est donc fortement probable que la présence de ces mammifères marins se situe dans le canal entre Anguilla et Saint-Martin. Concernant les Delphinidés, les vocalises sont détectées dans un rayon d'environ 1.5 km autour de la station de mesure. De ce fait, ces mammifères marins se situent potentiellement à proximité immédiate de la zone des travaux.

En croisant ces résultats du suivi acoustique (ciblés sur les mois de mars-avril 2022 et juin-juillet 2022) avec la connaissance biologique des Baleine à bosse sur ce site, il est préconisé de ne pas réaliser de travaux bruyants à la fois durant les mois d'hiver et de printemps (période de décembre à avril) afin de limiter les potentiels impacts sur la faune marine et essentiellement de ne pas perturber la migration saisonnière de ces mammifères marins (Stevick et al., 2018). En effet, ces potentiels impacts sont d'autant plus importants que la zone située au niveau du canal entre Anguilla et Saint-Martin représente une zone de reproduction pour les Baleines à bosse.

Tableau 22 : Synthèse des résultats quant à la présence acoustique des mammifères marins durant les périodes printanière et estivale 2022 au niveau de la zone R2. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées par l'enregistreur acoustique (enregistrement en continu).

		Point de suivi R2 (enregistreur acoustique)		
		Delphinidés	Balénoptéridés	Physétéridés
Printemps 2022 08/03/2022 au 19/04/2022	Fréquentation du site	Régulière	Occasionnelle	Absence
	Plage horaire préférentielle	Nuit	Jour/Nuit	N/A
	Comportement	Social / sondage de l'environnement (unique épisode de chasse)	Associé à la période de reproduction	N/A
	Classification	<i>Stenella frontalis</i> <i>Stenella attenuata</i>	<i>Megaptera novaeangliae</i>	N/A
Eté 2022 28/06/2022 au 28/07/2022	Fréquentation du site	Occasionnelle	Absence	Absence
	Plage horaire préférentielle	Nuit	N/A	N/A
	Comportement	Social / En déplacement	N/A	N/A
	Classification	N/A	N/A	N/A

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

Bibliographie

- Au, W. W. L., Pack, A. A., Lammers, M. O., Herman, L. M., Deakos, M. H., & Andrews, K. (2006). Acoustic properties of humpback whale songs. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120(2), 1103–1110. <https://doi.org/10.1121/1.2211547>
- 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>
- Fournet, M. E. H., Jacobsen, L., Gabriele, C. M., Mellinger, D. K., & Klinck, H. (2018). Allopatric humpback whale populations share acoustic repertoire. *PeerJ*, 2018(7). <https://doi.org/10.7717/peerj.5365>
- Gruden, P., White, P. R., Oswald, J. N., Barkley, Y., Cerchio, S., Lammers, M., & Baumann-Pickering, S. (2015). Differences in oscillatory whistles produced by spinner (*Stenella longirostris*) and pantropical spotted (*Stenella attenuata*) dolphins. *Marine Mammal Science*, 32(2), 520–534. <https://doi.org/10.1111/mms.12280>
- 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., Clark, C. W., Dugan, P. J., Popescu, M., Siebert, U., & Van Parijs, S. M. (2013). Minke whale acoustic behavior and multi-year seasonal and diel vocalization patterns in Massachusetts Bay, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 489, 279–295. <https://doi.org/10.3354/meps10426>
- Stevick, P. T., Bouveret, L., Gandilhon, N., Rinaldi, C., Rinaldi, R., Broms, F., Carlson, C., Kennedy, A., Ward, N., & Wenzel, F. (2018). Migratory destinations and timing of humpback whales in the southeastern Caribbean differ from those off the Dominican Republic. *Journal of Cetacean Research and Management*, 18, 127–133.
- 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.
- Wenz, G. M. (1962). Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*. <https://doi.org/10.1121/1.1909155>