

Suivi par acoustique passive du bruit ambiant et de la fréquentation des mammifères marins dans le cadre de la construction du parc éolien en mer de Saint- Nazaire

Phase de construction : Mesure de Suivi N°8

Identification du document

Référence du document	QO.20201021.10.RAP.09A
Donneur d'ordre	Société « Parc du Banc de Guérande »
Client	Société « Parc du Banc de Guérande »
Reference du contrat	Contrat PBG

PROJET	DOC	CHRONO	VER	IND	CLIENT	ACRO	DATE	TYPE	CLASS
QO.20201021.10	RAP	001	09	A	PBG	SNA	03.05.2023	PROD	DR



Ocean Noise Forecasting Monitoring & Mitigation



Historique du document

Ver	Ind.	Responsable	Date	Vérification	Validation	Transmission	Description
01	A	J. Chompret	06.12.2021	J. Chompret	D. Clorennec	17.12.2021	Version initiale suivi estival
02	A	J. Chompret	03.02.2022	J. Chompret	D. Clorennec	17.02.2022	Prise en compte commentaires EDF-EN
03	A	D. Clorennec	11.03.2022	J. Chompret	D. Clorennec	11.03.2022	Prise en compte commentaires EDF-EN
04	A	J. Bellanger	15.06.2022	J. Chompret	D. Clorennec	10.07.2022	Ajout des données du suivi hivernal 2022
05	A	J. Bellanger	23.08.2022	J. Chompret	D. Clorennec	19.10.2022	Ajout des données du suivi estival 2022
06	A	J. Bellanger	02.02.2023	J. Chompret	D. Clorennec	24.02.2023	Prise en compte commentaires EDF-EN
07	A	J. Bellanger	07.03.2023	J. Chompret	D. Clorennec	10.03.2023	Prise en compte commentaires EDF-EN
08	A				D. Clorennec	07.04.2023	Prise en compte commentaires suite à réunion CTE
09	A	J. Chompret	02.05.2023		D. Clorennec	03.05.2023	Prise en compte commentaires suite à réunion CTE

Citation

J. Chompret, J. Bellanger, D. Clorennec (2022), Suivi par acoustique passive du bruit ambiant et de la fréquentation des mammifères marins dans le cadre de la construction du parc éolien en mer de Saint-Nazaire, Phase de construction : Mesure de Suivi N°8, numéro QO.20201021.10.RAP.001.09A, Quiet-Oceans, Brest, France

Table des matières

Table des matières	3
Liste des figures	5
Liste des tableaux	10
Lexique des mots techniques	13
Chapitre I. Présentation de l'étude	16
Chapitre II. Introduction	18
II.1. La problématique du bruit sous-marin	18
II.2. Qu'est-ce que le chorus sonore sous-marin	19
II.3. Evaluation des incidences sonores sur la faune marine	21
II.4. Approche retenue pour l'évaluation des incidences	22
Chapitre III. Protocole de mesures acoustiques	23
III.1. Les systèmes de mesure	26
III.1.1. Enregistreur acoustique pour les mesures de longue durée	26
III.1.2. Enregistreur acoustique pour les mesures ponctuelles	26
III.1.3. Bouée acoustique SmartPAM	27
III.2. Données collectées	28
III.2.1. Données collectées pour l'évaluation du niveau sonore du battage de pieu	28
III.2.2. Données collectées pour le forage	30
III.2.3. Données collectées dans le cadre des mesures longues durées	31
Chapitre IV. Analyse des niveaux sonores mesurés	36
IV.1. Planning des travaux de construction	36
IV.2. Période été 2021	42
IV.2.1. Analyse du bruit ambiant large bande – été 2021	42
IV.2.2. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquences – été 2021	45
IV.2.3. Analyse du bruit et des activités du chantier – été 2021	49
IV.2.4. Analyse du bruit de battage – été 2021	53
IV.2.5. Analyse du bruit de forage – été 2021	56
IV.2.6. Comparaison des niveaux mesurés en regard de l'état de référence – été 2021	60
IV.3. Période hiver 2022	62
IV.3.1. Analyse du bruit ambiant large bande – hiver 2022	62
IV.3.2. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquences - hiver 2022	65
IV.3.3. Analyse du bruit et des activités du chantier – hiver 2022	68
IV.3.4. Comparaison des niveaux mesurés en regard de l'état de référence – hiver 2022	72
IV.4. Période été 2022	73
IV.4.1. Analyse du bruit ambiant large bande – été 2022	73
IV.4.2. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquences – été 2022	78
IV.4.3. Analyse du bruit et des activités du chantier – été 2022	82
IV.4.4. Comparaison des niveaux mesurés en regard de l'état de référence – été 2022	85

IV.5. Inter-comparaison des campagnes des mesures acoustiques	86
IV.5.1. Périodes été 2021 et hiver 2022	86
IV.5.2. Périodes été 2021 et été 2022	88
Chapitre V. Détection des signaux biologiques	90
V.1. Connaissance biologique du site	90
V.1.1. Rappels de la littérature	90
V.1.2. Fréquentation du site durant l'état de référence	96
V.2. Portée de détection des enregistreurs acoustiques.....	96
V.3. Procédé de traitement bioacoustique.....	99
V.3.1. Algorithmes de détection et d'identification des évènements sonores.....	99
V.3.2. Validation des évènements sonores	100
V.4. Résultats	100
V.4.1. Campagne été 2021 (juillet à septembre).....	100
V.4.2. Campagne hiver 2022 (janvier à mars)	117
V.4.3. Campagne été 2022 (juillet à septembre 2022).....	132
V.5. Limites et difficultés rencontrées	144
V.5.1. Fiabilité des systèmes de mesure	144
V.5.2. Traitement des données	144
V.5.3. Représentativité de la mesure	145
V.5.4. Algorithme de détection automatique	145
Chapitre VI. Synthèse du suivi acoustique	147
VI.1. Analyse des niveaux sonores pendant la phase de construction.....	148
VI.2. Analyse de la fréquentation et du comportement des mammifères marins pendant la phase de construction.....	150
Annexe : Empreinte sonore par gamme de perception	155
Annexe : Croisement entre la fréquentation des mammifères marins et les périodes des travaux	161
Bibliographie.....	164

Liste des figures

Figure 1 : Contexte géographique de l'étude.....	16
Figure 2 : Echelle qualitative des niveaux (émis à un mètre) et fréquences des sources sonores anthropiques, biologiques et naturelles dans le milieu marin. Source : OSPAR.....	18
Figure 3 : Composition du chorus sonore sous-marin.....	19
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).....	20
Figure 5 : Graduation des risques biologiques en fonction de l'éloignement à la source de bruit anthropique.	21
Figure 6 : Définition des zones de mesure.	24
Figure 7 : Protocole géographique des mesures longues durées.	24
Figure 8 : Protocole géographique des suivis spécifiques des ateliers de battage et forage.	25
Figure 9 : Cage équipée d'un enregistreur acoustique autonome.....	26
Figure 10 : système d'acquisition ORCA ACE.....	27
Figure 11 : Bouée SmartPAM et caractéristiques techniques.....	27
Figure 12 : Configuration géographique des mesures acoustiques spécifiques lors du forage de la pile A05.	31
Figure 13 : Bilan des piles installées (source EDF-RE).....	36
Figure 14 : Niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) en fonction de la zone de mesure durant la saison estivale 2021.....	43
Figure 15 : Corrélation entre la vitesse du vent et le bruit permanent à la fréquence de 800Hz au point SW (zone Sud-Ouest).....	43
Figure 16 : Spectrogramme illustratifs des passages de navire au point MB (zone Mor-Braz).	44
Figure 17 : Répartition fréquentielle de l'énergie acoustique mesurée lors de la période estivale 2021. Les pointillés gris correspondent au bruit environnemental proposé par le modèle de Wenz, 1962.	47
Figure 18 : Statistiques de la variation horaire de l'émergence relative du bruit par bande de fréquence durant la saison estivale 2021.....	48
Figure 19 : Localisation des travaux pour la période de suivi été 2021.	50
Figure 20 : Vue globale : A (en haut) –Distance entre la pile et le système acoustique situé au niveau de la zone Sud-Ouest.	51
Figure 21 : Analyse spécifique de la perception du bruit au niveau de la zone Sud-Ouest lors du forage puis du battage de la pile A01.....	51
Figure 22 : Perception du bruit de battage au niveau de la zone Mor-Braz située à 22.5km du battage de la pile A01.....	52
Figure 23 : A – (en haut) Niveau sonore au niveau de la zone Sud-Ouest à la fréquence de 500 Hz (courbe grise), et distance entre le capteur acoustique et les navires du chantier lors de l'opération d'enfoncement de la pile A01. En bleu : navire le plus proche du capteur acoustique ; En rouge : navire au second plan; En vert : navire au troisième plan.	52
Figure 24 : Illustration du système MODIGA développé par DEME pour réduire le bruit à la source.....	54
Figure 25 : Evolution du niveau d'exposition sonore en fonction du temps et des capteurs acoustiques. Zoom sur la période de battage de la pile G08.	54
Figure 26 : Estimation de la loi des pertes de propagation à partir des mesures. La courbe orange spécifie la loi calibrée après intégration des mesures in situ.....	55
Figure 27 : Bruit perçu à 750 m et 1500 m de la pile B03, et identification des deux séquences de forage de cette pile.	57
Figure 28 : Spectrogramme de la première phase de forage en B03 pour le capteur placé à 1500 m de la pile. Présence de raies spécifiques à 1000, 1350 et 1700 Hz.....	58
Figure 29 : Emergence statistique du bruit du forage en fonction de la fréquence et en fonction du point de la distance au capteur.	58
Figure 30 : Emergence statistique de l'atelier de forage en fonction de la fréquence.	59

Figure 31 : Comparaison des répartitions spectrales des niveaux mesurés dans la zone Nord-Ouest lors de l'été 2021 (travaux, à gauche) et lors de l'été 2019 (état de référence, à droite).	61
Figure 32 : Niveaux large bande (20Hz-40 kHz dB ref 1µPa ²) mesurés lors de la période hiver 2022.	63
Figure 33 : Corrélation du bruit permanent (orange) avec le vent (bleu) dans la zone Nord-Ouest.	64
Figure 34 : Spectrogrammes illustratifs des phénomènes acoustiques rencontrés lors de la campagne hivernale 2022.	64
Figure 35 : Répartition fréquentielle de l'énergie acoustique mesurée en hiver 2022 (à gauche). Répartition horaire des niveaux sonores mesurés en hiver 2022 dans la bande 3.5-4.5kHz (à droite).	68
Figure 36 : Localisation des travaux pour la période de suivi hiver 2022.	69
Figure 37 : Vue globale : A (en haut) –Distance entre la pile et le système acoustique situé au niveau de la zone Nord-Ouest	69
Figure 38 : A – (en haut) Niveau sonore au niveau de la zone Sud-Ouest à la fréquence de 1000 Hz (courbe grise), et distance entre le capteur acoustique et les navires du chantier (Boa SUB C et Innovation), du 29 au 31 Janvier 2022. En bleu : navire le plus proche du capteur acoustique ; En rouge : navire au second plan ; En vert : navire au troisième plan.....	70
Figure 39 : Emergence statistique de l'atelier de forage en fonction de la fréquence.	72
Figure 40 : Comparaison des répartitions spectrales des niveaux mesurés dans la zone Sud-Est lors de l'hiver 2022 (à gauche) et lors de l'hiver 2020 (état de référence, à droite).	73
Figure 41 : Niveaux large bande (20Hz-40 kHz dB ref 1µPa ²) mesurés lors de la période été 2022.....	75
Figure 42 : Corrélation du bruit permanent (orange) avec le vent (bleu), dans la zone Sud-Ouest, durant l'été 2022.	76
Figure 43 : Passage de navire proche du point Nord-Ouest.....	76
Figure 44 : Spectrogrammes des émergences travaux (projet et hors projet) lors de l'été 2022.	77
Figure 45 : Répartition fréquentielle de l'énergie acoustique mesurée en été 2022.	80
Figure 46 : Statistiques de la variation horaire de l'émergence relative du bruit par bande de fréquence durant la saison estivale 2022.	81
Figure 47 : Localisation des travaux pour la période de suivi été 2022.	83
Figure 48 : A – (en haut) Distance entre le capteur acoustique de la zone Sud Est et les navires du chantier durant le suivi été 2022. En bleu : Olympic Triton ; En orange : Wind of Pride ; En jaune : Vole au vent.....	84
Figure 49 : A – (en haut) Distance entre le capteur acoustique de la zone Sud Est et les navires du chantier durant le suivi été 2022. En bleu : Olympic Triton ; En orange : Wind of Pride ; En jaune : Vole au vent.....	84
Figure 50 : Comparaison des répartitions spectrales des niveaux mesurés dans la zone Sud-Est lors de l'été 2022 (à gauche) et lors de l'été 2019 (état de référence, à droite).	86
Figure 51 : Schéma de la classification scientifique des espèces océaniques et marines de mammifères. Source : Quiet-Oceans.	91
Figure 52 : Famille des Delphinidés – Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>). Source : EcoOcéan Institut.	92
Figure 53 : Famille des Phocoenidés - Groupe de Marsouins communs (<i>Phocoena phocoena</i>). Source : GREMM.	92
Figure 54 : Sifflements de Delphinidés émis entre 2 kHz et 25 kHz. Source : Quiet-Oceans.	93
Figure 55 : Clics de Delphinidés émis entre 10 kHz et 180 kHz. Source : Quiet-Oceans.	93
Figure 56 : Spectrogramme illustrant des clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , émis dans la bande fréquentielle allant de 110 à 150 kHz.....	95
Figure 57 : Spectrogramme illustrant des clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , lors d'une activité de chasse (clics d'écholocation).	95
Figure 58: Audiogramme spécifique à neuf familles de mammifères marins (Popper & Hawkins 2012).	95
Figure 59 : Procédure générale appliquée à la donnée brute pour le traitement bioacoustique des enregistrements sonores.....	99
Figure 60 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) pour la période du 27 juillet au 16 septembre 2021.	102

Figure 61 : Clics d'écholocalisations de Delphinidés (env. 10 à 100 kHz) détectés sur la journée du 09 août 2021 vers 08h10 UTC à proximité de la zone Nord-Ouest.	103
Figure 62 : Sifflements, clics de communication (15 à 80 kHz) et d'écholocalisation (15 à 130 kHz) détectés sur la journée du 03 septembre 2021 à 11h32 UTC au niveau de la zone Sud-Ouest.	103
Figure 63 : Probable épisode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone Sud-Ouest. Journée du 08 septembre 2021 vers 07h11 UTC.	103
Figure 64 : Clics de communication (15 à 70 kHz) et d'écholocalisation de faible intensité (15 à 115 kHz) de Delphinidés détectés le 19 août 2021 vers 01h55 UTC à proximité de la zone Sud-Est.	103
Figure 65 : Sifflements, clics de communication et d'écholocalisation de Delphinidés suggérant un épisode de communication entre individus. Détections réalisées le 13 septembre 2021 à 01h01 UTC à proximité de la zone Sud-Est.	104
Figure 66 : Clics d'écholocalisation (15 à 150 kHz) et buzzs (15 à 80 kHz) de Delphinidés faisant référence à une communication intense entre individus. Détections réalisées le 19 août 2021 à 01h50 UTC à proximité de la zone Sud-Est.	104
Figure 67 : Probable épisode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone Mor-Braz. Journée du 23 août 2021 vers 13h32 UTC.	104
Figure 68 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) pour la période du 27 juillet au 16 septembre 2021.	106
Figure 69 : Trains de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 115 et 170 kHz sur la journée du 15 septembre 2021 vers 17h50 UTC à proximité de la zone Nord-Ouest.	107
Figure 70 : Buzzs de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 170 kHz avec un ICI variable et traduisant un probable comportement de chasse opportuniste au niveau de la zone Sud-Ouest. Journée du 13 août 2021 à 15h31 UTC.	107
Figure 71 : Trains de clics et buzzs de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 170 kHz traduisant un probable comportement de chasse opportuniste au niveau de la zone Sud-Ouest. Journée du 03 août 2021 à 18h30 UTC.	107
Figure 72 : Trains de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , de faible intensité entre 110 et 150 kHz détectés sur la journée du 06 août 2021 vers 07h21 UTC à proximité de la zone Sud-Est.	107
Figure 73 : Trains de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , de faible intensité entre 110 et 150 kHz détectés sur la journée du 07 août 2021 vers 07h31 UTC à proximité de la zone Sud-Est.	108
Figure 74 : Trains de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 150 kHz sur la journée du 06 août 2021 vers 07h21 UTC au niveau de la zone du Mor-Braz.	108
Figure 75 : Trains de clics et buzzs de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 150 kHz traduisant un probable comportement de chasse opportuniste au niveau de la zone Mor-Braz. Journée du 27 août 2021 à 15h32 UTC.	108
Figure 76 : Sifflements émis par le Dauphin commun (<i>Delphinus delphis</i>) entre 8 et 15 kHz, le 30 juillet 2021 à 18h31 UTC au niveau de la zone Mor-Braz.	109
Figure 77 : Sifflements émis par le Grand Dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>) entre 5 et 18 kHz, le 22 août 2021 à 01h30 UTC au niveau de la zone Mor-Braz.	109
Figure 78 : Sifflements de faible intensité observés sur l'enregistrement du 03 août 2021 à 18h41 UTC, au niveau de la zone Sud-Ouest, appartenant au genre dauphin <i>sp.</i>	110
Figure 79 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Delphinidés sur site et les périodes actives de travaux au niveau de la zone Sud-Ouest. Analyse ciblée entre le 20 et 22 août 2021.	113
Figure 80 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Delphinidés sur site et les périodes actives de travaux au niveau de la zone Mor-Braz. Analyse ciblée entre le 20 et 22 août 2021.	113
Figure 81 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Phocoenidés sur site et les périodes de travaux au niveau de la zone Sud-Ouest. Analyse ciblée entre le 20 et 22 août 2021.	113
Figure 82 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Phocoenidés sur site et les périodes de travaux au niveau de la zone Mor-Braz. Analyse ciblée entre le 20 et 22 août 2021.	114

Figure 83 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) pour la période du 24 janvier au 10 mars 2022.	119
Figure 84 : Clics de communication et d'écholocation émis par les Delphinidés à proximité de la zone Nord-Ouest. Journée du 07/02/2022 vers 05h55 UTC.....	120
Figure 85 : Clics d'écholocation et buzzs émis par les Delphinidés à proximité de la zone Nord-Ouest suggérant un épisode de communication intense entre individus/quête de nourriture. Journée du 30/01/2022 vers 06h00 UTC.....	120
Figure 86 : Clics d'écholocation, buzzs et cris pulsés émis par les Delphinidés au niveau de la zone Sud-Ouest suggérant un épisode de communication intense entre individus/quête de nourriture. Journée du 29/01/2022 vers 03h41 UTC.....	120
Figure 87 : Clics d'écholocation et buzzs de Delphinidés émis entre 10 et 190 kHz faisant référence à un probable sondage de l'environnement dans lequel les cétacés évoluent au niveau de la zone Sud-Est. Journée du 25/01/2022 vers 00h20 UTC.	120
Figure 88: Sifflements et buzzs probablement émis par des Globicéphales noirs, <i>Globicephala melas</i> , à proximité de la zone Sud-Est. Journée du 11/02/2022 vers 15h30 UTC.	121
Figure 89 : Clics et buzzs de Delphinidés émis entre 10 et 70 kHz à proximité de la zone Mor-Braz. Journée du 27/01/2022 vers 09h47 UTC.....	121
Figure 90 : Clics d'écholocation et buzzs de Delphinidés émis entre 10 et 190 kHz à proximité de la zone Mor-Braz suggérant une quête de nourriture. Journée du 02/02/2022 vers 03h56 UTC.....	121
Figure 91 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) pour la période du 24 janvier au 10 mars 2022.	123
Figure 92 : Trains de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 150 kHz sur la journée du 14 février 2022 vers 21h16 UTC au niveau de la zone Nord-Ouest.....	124
Figure 93 : Trains de clics et buzzs émis par des Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 200 kHz avec un ICI variable et traduisant un probable comportement de chasse opportuniste au niveau de la zone Sud-Est. Journée du 30/01/2022 vers 11h03 UTC.....	124
Figure 94 : Trains de clics et buzzs de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , émis entre 110 et 150 kHz suggérant un épisode de chasse à proximité de la zone Mor-Braz. Journée du 17/02/2022 vers 17h41 UTC.	124
Figure 95 : Sifflements (downsweep) émis probablement par le Globicéphale noir (<i>Globicephala melas</i>) le 11/02/2022 vers 13h03 UTC au niveau de la zone Sud-Est. Fréquence fondamentale à 2 kHz avec présence de nombreux harmoniques jusqu'à 30 kHz.	125
Figure 96 : Sifflements émis par le Grand Dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>) entre 5 et 18 kHz le 28/01/2022 vers 21h11 UTC au niveau de la zone Mor-Braz.	125
Figure 97 : Sifflements probablement émis par des Dauphins communs (<i>Delphinus delphis</i>) entre 8 et 18 kHz le 12/02/2022 vers 15h09 UTC au niveau de la zone Sud-Ouest.....	125
Figure 98 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Delphinidés sur site et les périodes actives de travaux au niveau de la zone Nord-Ouest. Analyse ciblée entre le 18 et 30 janvier 2022.....	128
Figure 99 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Delphinidés sur site et les périodes actives de travaux au niveau de la zone Mor-Braz. Analyse ciblée entre le 28 et 30 janvier 2022.	129
Figure 100 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Phocoenidés sur site et les périodes de travaux au niveau de la zone Nord-Ouest. Analyse ciblée entre le 28 et 30 janvier 2022.....	129
Figure 101 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Phocoenidés sur site et les périodes de travaux au niveau de la zone Mor-Braz. Analyse ciblée entre le 28 et 30 janvier 2022.	129
Figure 102 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) pour la période du 13 juillet au 11 septembre 2022.	134

Figure 103 : Probable épisode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone Sud-Ouest. Journée du 21 août 2022 vers 01h11 UTC.	135
Figure 104 : Episode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone Sud-Est. Journée du 13 juillet 2022 vers 16h41 UTC.	135
Figure 105 : Episode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone Mor-Braz. Journée du 26 juillet 2022 vers 20h41 UTC.	135
Figure 106 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) pour la période du 13 juillet au 11 septembre 2022.....	137
Figure 107 : Trains de clics et buzzs émis par des Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 200 kHz avec un ICI variable et traduisant un probable comportement de chasse opportuniste au niveau de la zone Sud-Ouest. Journée du 22/08/2022 vers 17h00 UTC.....	138
Figure 108 : Trains de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 200 kHz sur la journée du 07/08/2022 vers 00h51 UTC au niveau de la zone Mor-Braz.	138
Figure 109 : Trains de clics et buzzs de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , émis entre 110 et 200 kHz suggérant un épisode de chasse à proximité de la zone Mor-Braz. Journée du 14/08/2022 vers 18h50 UTC.	138
Figure 110 : Sifflements émis par le Dauphin commun (<i>Delphinus delphis</i>) entre 8 et 18 kHz, le 06 août 2022 vers 08h02 UTC au niveau de la zone Sud-Est.	139
Figure 111 : Sifflements émis par le Grand Dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>) entre 5 et 12 kHz, le 15 juillet 2022 vers 04h21 UTC au niveau de la zone Sud-Est.	139

Liste des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif des études et réunions menées sur les composantes environnementales bruit et mammifères marins depuis l'Etat Initial dans le cadre du projet de parc éolien du banc de Guérande (source : EDF-RE).	17
Tableau 2 : Modification du comportement attendu en fonction du seuil de tolérance acoustique.....	22
Tableau 3: Zones d'implantation du suivi acoustique.....	23
Tableau 4 : Caractéristiques techniques de l'enregistreur SYLENCE.....	26
Tableau 5 : Caractéristiques techniques de l'enregistreur ORCA ACE.	27
Tableau 6 : Synthèse des sessions de battage réalisées lors de MSU7.....	28
Tableau 7 : Synthèse de données acoustiques collectées durant la campagne spécifique à G08 (battage).	30
Tableau 8 : Synthèse de données acoustiques collectées durant la campagne spécifique à B04 et B03 (forage).	30
Tableau 9 : Synthèse de données acoustiques collectées durant la saison estivale 2021.....	32
Tableau 10 : Synthèse de données acoustiques collectées durant la saison hivernale 2022.....	33
Tableau 11 : Synthèse de données acoustiques collectées durant la saison estivale 2022.....	34
Tableau 12 : Synthèse des mesures acoustiques collectées.	35
Tableau 13: Synthèse des travaux de battage et de forage réalisés et suivis acoustiques associés (case verte).37	
Tableau 14 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Nord-Ouest (exprimés en dB ref 1µPa ²) durant la saison estivale 2021.....	44
Tableau 15 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Ouest (exprimés en dB ref 1µPa ²) durant la saison estivale 2021.....	44
Tableau 16 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Est (exprimés en dB ref 1µPa ²) durant la saison estivale 2021.....	45
Tableau 17 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Mor-Braz (exprimés en dB ref 1µPa ²) durant la saison estivale 2021.....	45
Tableau 18 : Empreinte sonore d'un coup de battage en fonction du type d'enfoncement.....	56
Tableau 19 : Synthèse des estimations de niveaux sonores induits par le forage de la pile A05.	59
Tableau 20 : Empreinte sonore de l'atelier de forage.....	60
Tableau 21 : Différences de niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) entre l'été 2021 (travaux) et l'été 2019 (référence), pour les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est (exprimés en dB ref 1µPa ²).....	61
Tableau 22 : Synthèse des écarts de niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) entre l'été 2021 (travaux) et l'été 2019 (référence), pour les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est (exprimés en dB ref 1µPa ²).....	61
Tableau 23 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Nord-Ouest (exprimés en dB ref 1µPa ²) durant la saison hivernale 2022.	65
Tableau 24 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Ouest (exprimés en dB ref 1µPa ²) durant la saison hivernale 2022.	65
Tableau 25 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Est (exprimés en dB ref 1µPa ²) durant la saison hivernale 2022.	65
Tableau 26 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Mor-Braz (exprimés en dB ref 1µPa ²) durant la saison hivernale 2022.	65
Tableau 27 : Synthèse des évaluations sonores induites par le forage de la pile B08.....	71
Tableau 28 : Différences de niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) entre l'hiver 2022 et l'hiver 2020, pour les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est (exprimés en dB ref 1µPa ²).	73
Tableau 29 : Synthèse des écarts de niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) entre l'hiver 2022 et l'hiver 2020, pour les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est (exprimés en dB ref 1µPa ²).....	73
Tableau 30 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Nord-Ouest (exprimés en dB ref 1µPa ²) durant la saison été 2022.....	77
Tableau 31 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Ouest (exprimés en dB ref 1µPa ²) durant la saison été 2022.....	77

Tableau 32 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Est (exprimés en dB ref 1 μ Pa ²) durant la saison été 2022.	78
Tableau 33 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Mor-Braz (exprimés en dB ref 1 μ Pa ²) durant la saison été 2022.	78
Tableau 34 : Différences de niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) entre l'été 2022 et l'été 2019, pour les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est (exprimés en dB ref 1 μ Pa ²).	85
Tableau 35 : Synthèse des écarts de niveaux sonores large bande (20HZ-40kHz) entre l'été 2022 et l'été 2019, pour les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est (exprimés en dB ref 1 μ Pa ²).	85
Tableau 36 : Différences de niveaux sonores entre l'hiver 2022 et l'été 2021 (dB) en fonction de la zone et du percentile.	86
Tableau 37 : Synthèse des écarts de niveaux sonores large bande (20HZ-40kHz) entre l'hiver 2022 et l'été 2021, en fonction de la zone d'étude.	87
Tableau 38 : Différences de niveaux sonores entre l'été 2022 et l'été 2021 (dB) en fonction de la zone et du percentile.	88
Tableau 39 : Synthèse des écarts de niveaux sonores large bande (20HZ-40kHz) entre l'été 2022 et l'été 2021, en fonction de la zone d'étude.	88
Tableau 40 : Synthèse des données concernant les mammifères marins susceptibles d'être présents au large de Saint-Nazaire à proximité des zones d'étude.	92
Tableau 41 : Exemple de la diversité de sifflements émis par les Delphinidés avec le spectrogramme des émissions des espèces supposées présentes au large de Saint-Nazaire.	93
Tableau 42 : Synthèse des portées de détection pour chaque zone d'étude en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes au large de Saint-Nazaire (saison estivale).	98
Tableau 43: Synthèse des portées de détection pour chaque zone d'étude en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes au large de Saint-Nazaire (saison hivernale).	98
Tableau 44 : Définition des indicateurs de la fréquentation par les mammifères marins.	100
Tableau 45 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant la période des travaux en saison estivale, entre le 27 juillet et 19 septembre 2021. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement de 3 minutes toutes les 10 minutes).	110
Tableau 46 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant l'Etat de Référence en été 2019 et durant la période de travaux en été 2021 au niveau des zones Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées par les enregistreurs acoustiques (3 minutes de données toutes les 10 minutes).	116
Tableau 47 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant la période des travaux en saison hivernale, entre le 24 janvier et 10 mars 2022. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement de 3 minutes toutes les 10 minutes).	126
Tableau 48 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant l'état de référence en hiver 2020 et durant la période de travaux en hiver 2022 au niveau des zones Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées par les enregistreurs acoustiques (3 minutes de données toutes les 10 minutes).	131
Tableau 49 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant la période des travaux en saisons estivale, ente le 13 juillet et 11 septembre 2022. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement de 3 minutes toutes les 10 minutes).	140
Tableau 50 : Synthèse de la fréquentation de chaque zone par les mammifères marins pour les périodes estivale 2021 (travaux de forage et battafe) et estivale 2022 (travaux de poses). Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement de 3 minutes toutes les 10 minutes).	141

Tableau 51 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant l'Etat de Référence (été 2019), durant la période de travaux (été 2021) et hors période des travaux (été 2022) au niveau de chaque zone. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées par les enregistreurs acoustiques (3 minutes de données toutes les 10 minutes).	143
Tableau 52 : Avancement des travaux en de la période du suivi	150
Tableau 53 : Synthèse des émergences anthropiques inter-saisons (P1% à 10%) et des résultats quant à la présence des mammifères marins durant la période des travaux.....	153
Tableau 54 : Empreinte sonore de l'atelier de battage (battage complet) en fonction de la gamme de perception.	155
Tableau 55 : Empreinte sonore de l'atelier de battage (solution hybride) en fonction de la gamme de perception.	157
Tableau 56 : Empreinte sonore de l'atelier de forage en fonction de la gamme de perception.	159

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 ou Sound Exposure Level (SEL)

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. $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$. Les métriques associées sont SEL et CSEL. Cette métrique est principalement utilisée pour caractériser les niveaux des bruits impulsifs tels que le battage, les explosions, les tirs de prospection sismique.

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 50^{ième} 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 ou Sound Pressure Level (SPL)

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. $1\mu\text{Pa}$. Les métriques associées sont SPL, SPL_{rms} , $\text{SPL}_{\text{0-pk}}$, SPL_{pkpk} . Cette métrique sert d'une part à caractériser les niveaux de pression instantanée de tous types de bruit ($\text{SPL}_{\text{0-pk}}$, SPL_{pkpk}) et les niveaux courants des bruits continus (SPL, SPL_{rms}) engendrés par les conditions océano-météo, les navires, un atelier de forage, un atelier de dragage, ...

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

La société Parc du Banc de Guérande (PBG) s'est vue, lors du premier appel d'offres éolien en mer, attribuer le site au large de Saint-Nazaire pour le développement et l'exploitation d'un parc éolien en mer de 80 éoliennes pour une puissance de 480 MW (Figure 1).

La société Parc du Banc de Guérande (PBG) bénéficie depuis le 17 mars 2016 d'un arrêté autorisant, au titre de l'article L214-3 du code de l'environnement, l'aménagement et l'exploitation d'un parc éolien en mer au large de Saint-Nazaire. L'article 2.5 de cet arrêté décrit les mesures de suivi des effets du projet sur l'environnement. Ces suivis concernent plusieurs compartiments de l'environnement, dont le bruit sous-marin et les mammifères marins – objets de la présente étude, et doivent être réalisés pendant la phase de construction et tout au long de la période d'exploitation du parc éolien selon le principe Before-After-Control-Impact (BACI) et Gradient Sampling. Durant la saison estivale 2019 et la saison hivernale 2020, une série des mesures in-situ a permis d'établir l'état de référence. En phase travaux, la mesure de suivi N°8 a pour objectif le suivi acoustique du bruit ambiant et des mammifères marins durant les saisons estivale et hivernale 2021 et 2022.

Les objectifs de ce suivi dans le cadre de cette mesure MSU8 :

- ✓ Mettre en œuvre un suivi acoustique à l'aide d'enregistreurs acoustiques autonomes
- ✓ Evaluer l'impact du bruit du chantier sur le bruit ambiant ;
- ✓ Suivre la fréquentation de la zone par les mammifères marins pendant les travaux ;
- ✓ Répondre aux questions suivantes :
 - Quel a été l'impact du bruit du chantier sur le bruit ambiant ?
 - Les mammifères marins, délibérément effarouchés par le bruit pendant certains types des travaux (battage notamment) quittent-ils ou s'approchent-ils de la zone de projet malgré le bruit additionnel des ateliers ?
 - Un secteur tel que le Mor-Braz, connu pour être assez fréquentés par les mammifères marins, et qui sera sous l'influence d'un niveau de bruit pouvant générer du dérangement, est-il toujours fréquenté par les mammifères marins ?

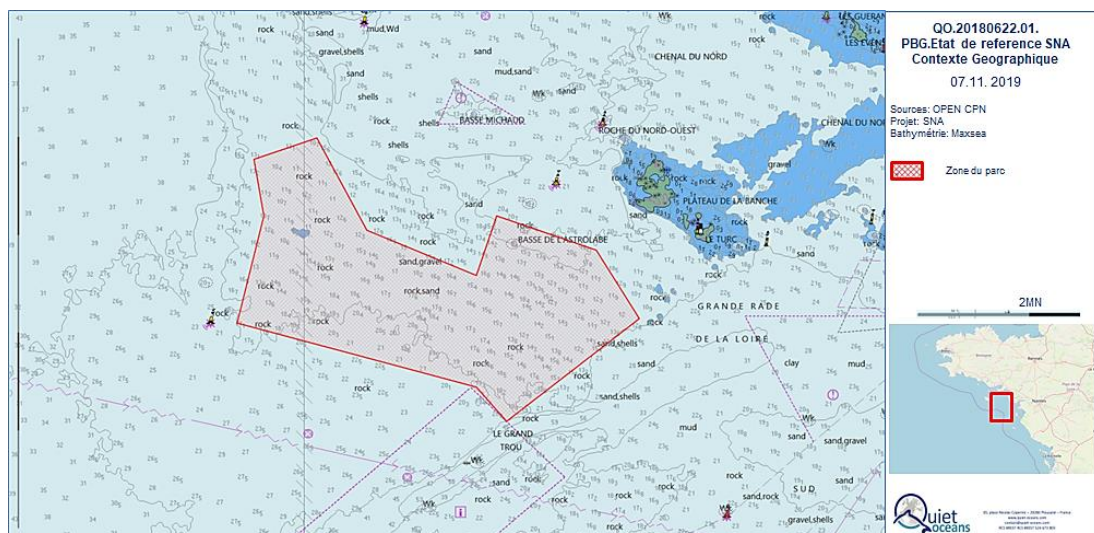


Figure 1 : Contexte géographique de l'étude.

Les données et résultats obtenus durant la phase travaux sont comparés aux conclusions obtenues lors de l'état de référence (été 2019 et hiver 2020) et de l'étude d'impact acoustique (été 2014). L'historique de l'ensemble des études de suivi acoustique et de fréquentation des mammifères marins dans le cadre du projet de parc éolien du banc de Guérande est fourni dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Récapitulatif des études et réunions menées sur les composantes environnementales bruit et mammifères marins depuis l'Etat Initial dans le cadre du projet de parc éolien du banc de Guérande (source : EDF-RE).

Date	Jalon – Rapport
2014	Etude d'impact acoustique du parc éolien en mer de St Nazaire
2015	Etude d'Impact Environnementale incluant : <ul style="list-style-type: none"> • Identification des impacts au regard des travaux prévus • Mesures de réduction d'impact en phase travaux • Proposition de mesures de suivi environnemental
Mars 2016	Arrêté préfectoral autorisant le projet de parc éolien en mer de Saint Nazaire, incluant la liste des mesures environnementales et de suivi à mettre en œuvre tout au long de la vie du projet
Août 2019	Protocoles d'état de référence validé en CTE
Septembre 2020	Réunion scientifique et technique avec les membres du CTE pour présentation des résultats du suivi en Etat de Référence
Novembre 2020	CTE n°5 : <ul style="list-style-type: none"> • Réception de l'étude MSU3-5-6 - Etat de référence • Mesures de réduction de l'impact du bruit des travaux sur les mammifères marins (MR6 - 7) et mesure de surveillance (MSU7) • Protocole de suivi du bruit et des mammifères marins (MSU8) en phase de construction
Septembre 2021	Réunion scientifique et technique avec les membres du CTE pour échanger sur la mise en œuvre des mesures de réduction et de suivi en phase de construction
Date	Prochaines échéances
Mars 2023	Réunion scientifique et technique avec les membres du CTE pour échanger sur le rapport de suivi en phase de construction
Mai 2023	CTE n°10 : <ul style="list-style-type: none"> • Réception de l'étude MSU8 – suivi en phase de construction • Réception du protocole de suivi MSU8 en phase d'exploitation

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 μPa en acoustique sous-marine, contre 20 μPa 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.

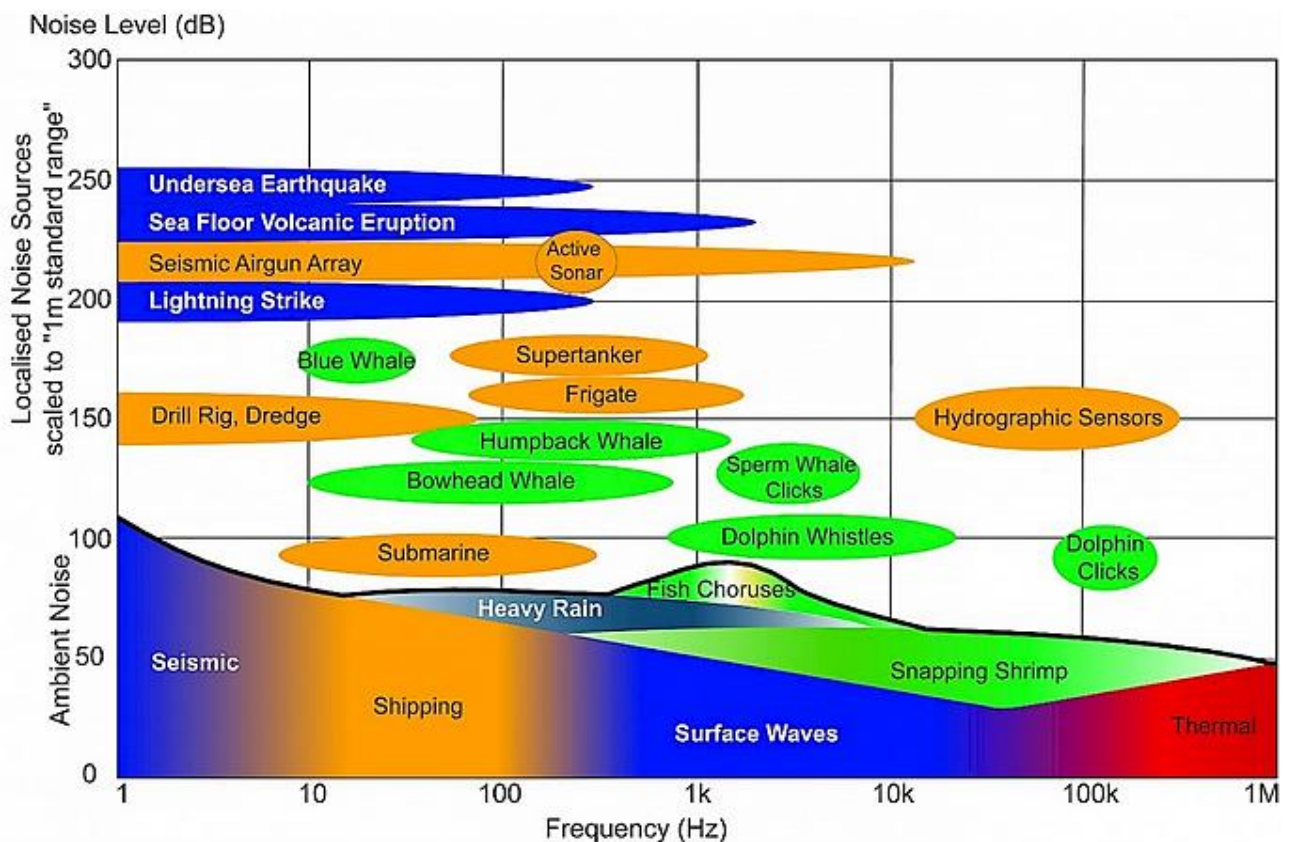


Figure 2 : Echelle qualitative des niveaux (émis à un mètre) et fréquences des sources sonores anthropiques, biologiques et naturelles dans le milieu marin. Source : OSPAR.

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 dominant 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.

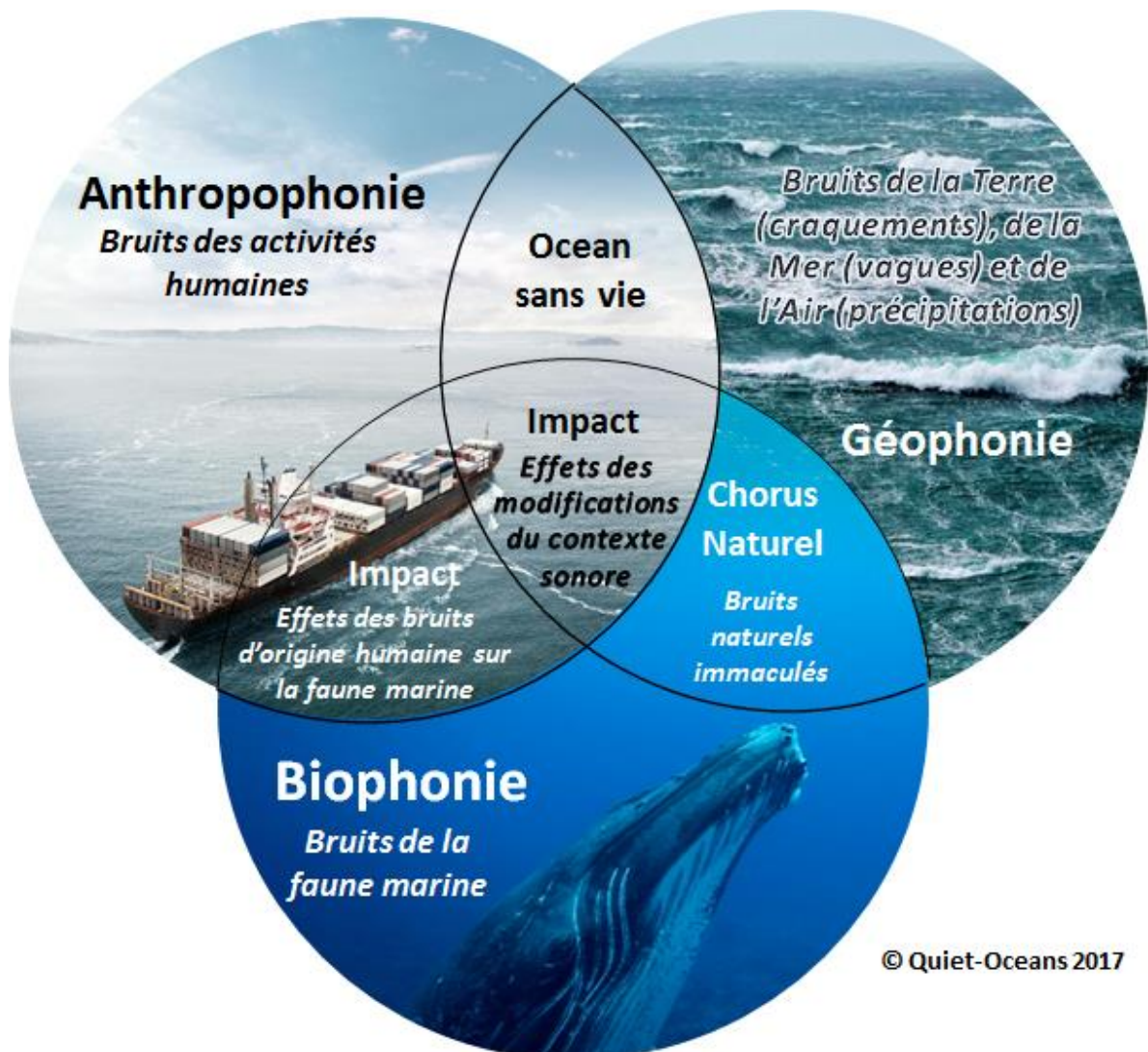


Figure 3 : Composition du chorus sonore sous-marin.

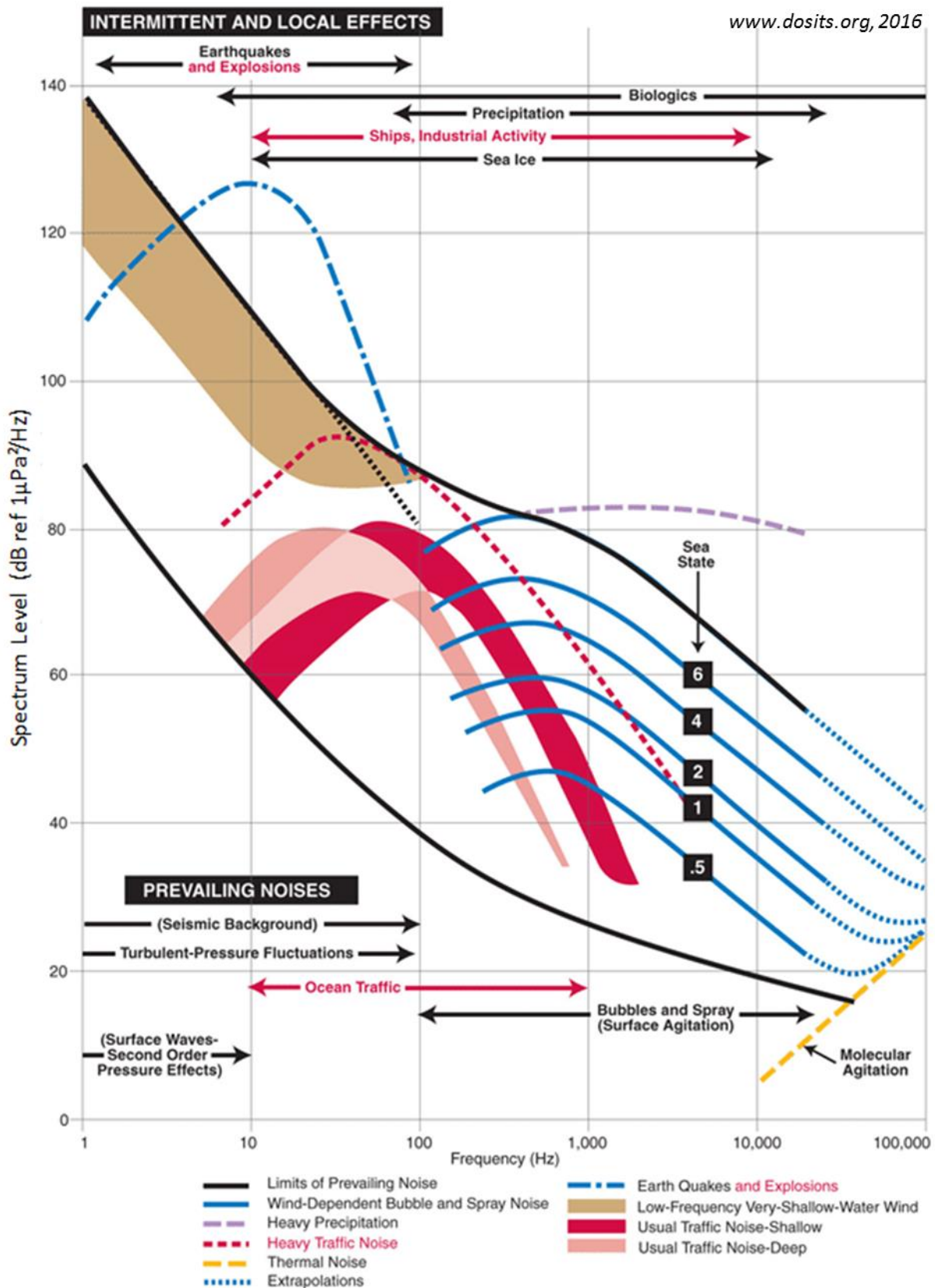


Figure 4 : Synthèse des niveaux de bruit typiques en fonction de la fréquence et de la nature de la source de bruit. Ces valeurs peuvent être très dépendantes du site, de la saison, et du contexte (Dosits.org, 2016).

II.3. Evaluation des incidences sonores sur la faune marine

L'introduction de bruit généré par les activités humaines dans le milieu marin contribue au bruit ambiant et peut avoir une incidence sur la faune marine. Les risques potentiels sont d'autant plus importants que les individus se trouvent à proximité d'une ou plusieurs sources de bruit anthropique, et sont exposés à un bruit intense.

La méthodologie employée par Quiet-Oceans concernant l'évaluation de ces incidences sonores prévoit une hiérarchisation des risques sur un axe de niveau de bruit décroissant, établie à partir de la littérature et des capacités scientifique et techniques actuelles à quantifier les distances de risques pour des projets offshore (Figure 5). Au fur et à mesure que les niveaux de bruit se réduisent, les zones de risque changent de nature (Dooling RJ, 2013). Le passage d'une zone de risque à l'autre correspond au franchissement d'un seuil biologique fourni, le cas échéant, par la recherche et par la littérature (McCauley et al., 2000; National Marine Fisheries Service, 2018; Popper et al., 2014; Southall et al., 2007, 2019). Il existe un consensus international sur la graduation des risques et sur les valeurs de seuil pour les dommages physiologiques, mais l'état de la connaissance scientifique ne permet pas à ce jour de statuer sur les seuils relatifs aux modifications de comportement.

La hiérarchisation des risques sur un axe de niveau de bruit décroissant correspond à :

- ✓ Une zone de blessure physiologique, zone dans laquelle les niveaux de bruit dépassent les seuils de dommage physiologique permanent (PTS – *Permanent Threshold Shift*) et provoque des lésions irréversibles ;
- ✓ Une zone de détérioration physiologique, zone dans laquelle les niveaux de bruit sont susceptibles de provoquer des dommages physiologiques temporaires (TTS – *Temporary Threshold Shift*) se traduisant en des lésions réversibles. Les cellules retrouvent leur état initial après un certain temps hors d'une exposition importante au bruit ;
- ✓ Une zone de réaction comportementale, zone dans laquelle les niveaux de bruit sont susceptibles de provoquer une gêne suffisante pour que les individus interrompent leur activité normale pour fuir la zone. Les conséquences ne sont pas directes, mais provoquent une augmentation de la consommation d'énergie individuelle d'autant plus critique que l'individu est jeune, une interruption dans leurs activités de chasse ou de socialisation et un changement forcé d'habitat. In-fine, les impacts peuvent se faire ressentir à l'échelle des individus et de la population ;
- ✓ Une zone de masquage qui intervient lorsque les sons émis et reçus par les espèces (sons essentiels dans leurs activités de chasse, de socialisation, de reproduction ou d'évitement des prédateurs) sont couverts par les bruits anthropiques. Ce type d'effet est pertinent pour les bruits continus ou les bruits impulsionnels ayant une forte cadence et se prolongeant dans le temps. Dans cette zone, le rayon d'interaction des espèces est réduit, ce qui présente des incidences potentielles à l'échelle des individus et de la population ;
- ✓ Une zone d'audibilité, zone dans laquelle les bruits anthropiques, biologiques et naturels sont perçus par les individus, sans pour autant causer d'effet particulier connu. Il s'agit d'une zone sans risques.

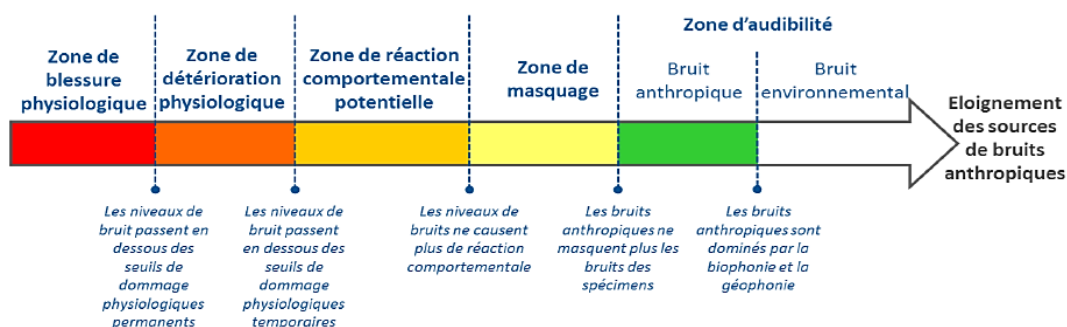


Figure 5 : Graduation des risques biologiques en fonction de l'éloignement à la source de bruit anthropique.

L'évaluation du dépassement des seuils est réalisée par comparaison entre les champs sonores générés par le projet et les seuils de sensibilité des espèces (cf. V.1.1.d.). Les seuils et les gammes fréquentielles de sensibilité des mammifères marins adoptés pour cette étude sont issus des études de (National Marine Fisheries Service, 2018) et (Southall et al., 2019). Ces références constituent à ce jour les standards internationaux.

Concernant le seuil de modification du comportement ou de dérangement, (Southall et al., 2019) et (National Marine Fisheries Service, 2018) ne proposent pas de seuil de réaction pour les mammifères marins. Cependant, (Southall et al., 2007) classent les réactions comportementales suivant un indice variant respectivement de 1 à 9 pour l'absence de réaction à la panique et aux échouages. Dans cette étude, trois valeurs de seuils acoustiques sont appliquées aux mammifères marins (120, 140 et 160 dB réf 1 μ Pa) afin d'évaluer les différents degrés d'un risque de réaction et les distances associées (Tableau 2). Ces différents seuils de modification du comportement ne tiennent pas compte de la sensibilité auditive de l'espèce (ou de l'audiogramme, cf. V.1.1.d.) donc les distances associées aux différents degrés d'un risque de réaction sont indépendantes de l'espèce.

Tableau 2 : Modification du comportement attendu en fonction du seuil de tolérance acoustique.

Seuil acoustique	Effet potentiel sur le comportement
120 dB réf 1 μ Pa	Déplacements erratiques modérés ou multiples Cessation / modification brefs ou mineurs des vocalises Changements mineurs ou brefs des cycles de respiration
140 dB réf 1 μ Pa	Changements modérés de direction, de vitesse, et / ou plongées mais pas d'évitement de la source de bruit Changements mineurs, brefs dans la constitution des groupes Cessation ou changements modérés des vocalises (durant la durée des travaux)
160 dB réf 1 μ Pa	Comportement agressif prolongé ou étendu Séparation femelles / progéniture modérée Réponses anti-agression claires et visibles Évitement de la source de bruit de manière importante / durable Cessation modérée des cycles de reproduction

II.4. Approche retenue pour l'évaluation des incidences

La méthodologie proposée pour évaluer l'incidence des bruits du chantier sur la faune marine du site au large de Saint-Nazaire repose sur trois étapes :

- ✓ La mesure du bruit à l'aide d'enregistreurs acoustiques durant deux saisons spécifiques (été et hiver 2021 et 2022) ;
- ✓ L'analyse de la fréquentation de la zone par les mammifères marins à l'aide de ces enregistreurs ;
- ✓ La cartographie statistique des principales activités bruyantes du chantier.

Chapitre III. Protocole de mesures acoustiques

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 durant les saisons estivale 2021 et 2022, et hivernale 2022.

Pour chacune des saisons de suivi longue durée, les objectifs opérationnels des mesures concernent le déploiement de quatre cages équipées d'un enregistreur acoustique autonome et posées sur le fond de la mer pendant une durée de 30 jours. En complément et de manière ponctuelle, des campagnes de mesures spécifiques ont été menées afin de caractériser le niveau de bruit engendré par une opération de battage et une opération de forage.

Le Tableau 3 indique les dénominations associées à chacune des zones d'implantation du suivi acoustique.

La Figure 6 illustre la position de ces différentes zones de mesures acoustiques : Nord-Ouest (NW), Sud-Ouest (SW), Sud-Est (SE) et Mor-Braz (MB). La dernière zone, Mor-Braz, a été ajoutée en complément de l'état de référence (mesures effectuées en été 2019 et hiver 2020) et suite aux suivis visuels qui ont mis en évidence une fréquentation régulière des mammifères marins (Delphinidés et Marsouins communs) à cet emplacement. Située entre 18 et 34 km des activités de construction au sein du parc éolien, cette dernière zone permet alors d'évaluer le niveau de bruit engendré par les travaux et les potentielles incidences sonores associées sur une zone régulièrement fréquentée par les mammifères marins.

La Figure 7 définit la zone d'implantation des instruments par un cercle rouge et dans chaque cercle est déployé un système acoustique passif.

Dans le cadre des suivis spécifiques des ateliers de battage et de forage, la Figure 8 définit le protocole géographique pour chaque mesure. Ces données servent à calibrer la cartographie de chaque atelier. Ces mesures consistent au déploiement de deux systèmes acoustiques passifs selon un azimuth afin d'estimer le modèle de propagation sonore. Dans le cadre des opérations de battage de pieu, ces mesures viennent en complément des mesures temps-réel effectuées à 750 m à chaque battage dans le cadre de la mesure de suivi MSU7. De plus, la société DEME, en charge des opérations en mer, a commandité des mesures acoustiques spécifiques concernant ces mêmes activités (battage et forage). Ces mesures complémentaires contribuent également à calibrer l'évaluation des empreintes sonores.

Tableau 3: Zones d'implantation du suivi acoustique.

	Dénomination de la zone géographique	Acronyme de la zone géographique	Identifiant projet
Zone	Nord-Ouest	NW	R1
	Sud-Ouest	SW	R2
	Sud-Est	SE	R3
	Mor-Braz	MB	R4

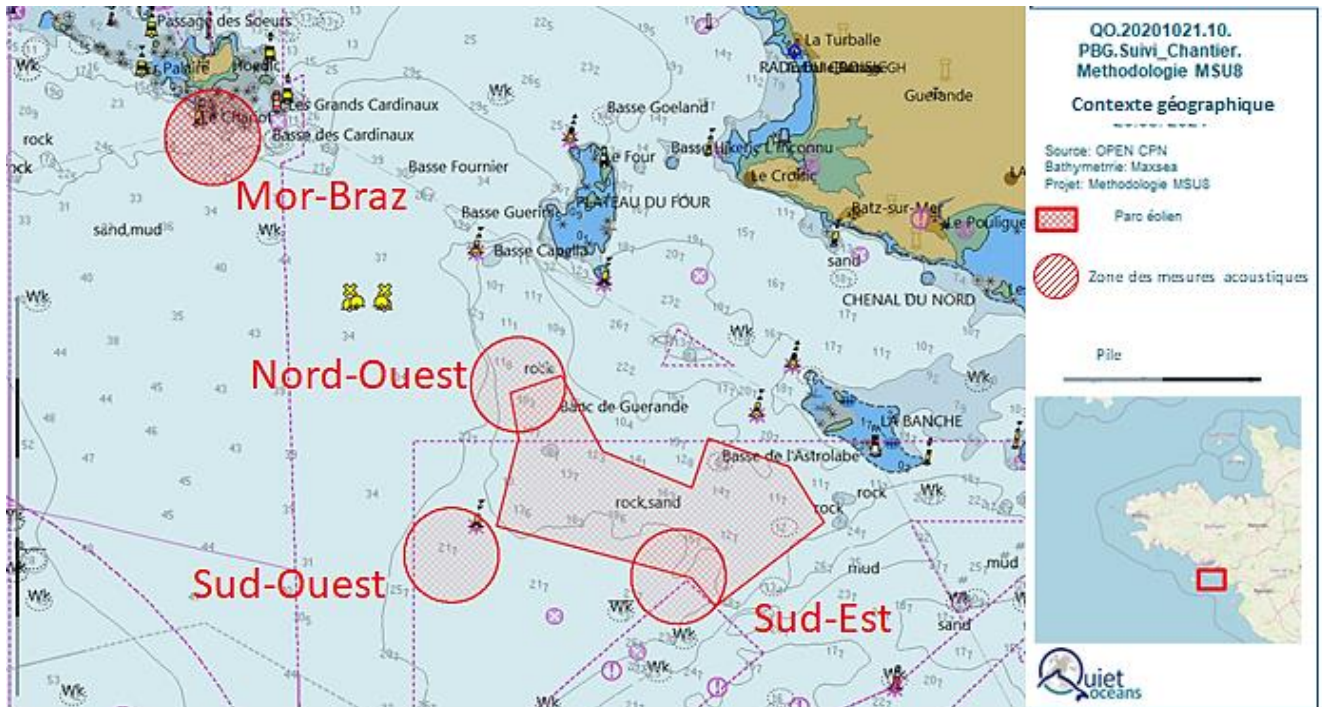


Figure 6 : Définition des zones de mesure.

éolien en mer de St-Nazaire Suivi du parc éolien en mer de St Nazaire par acoustique passive

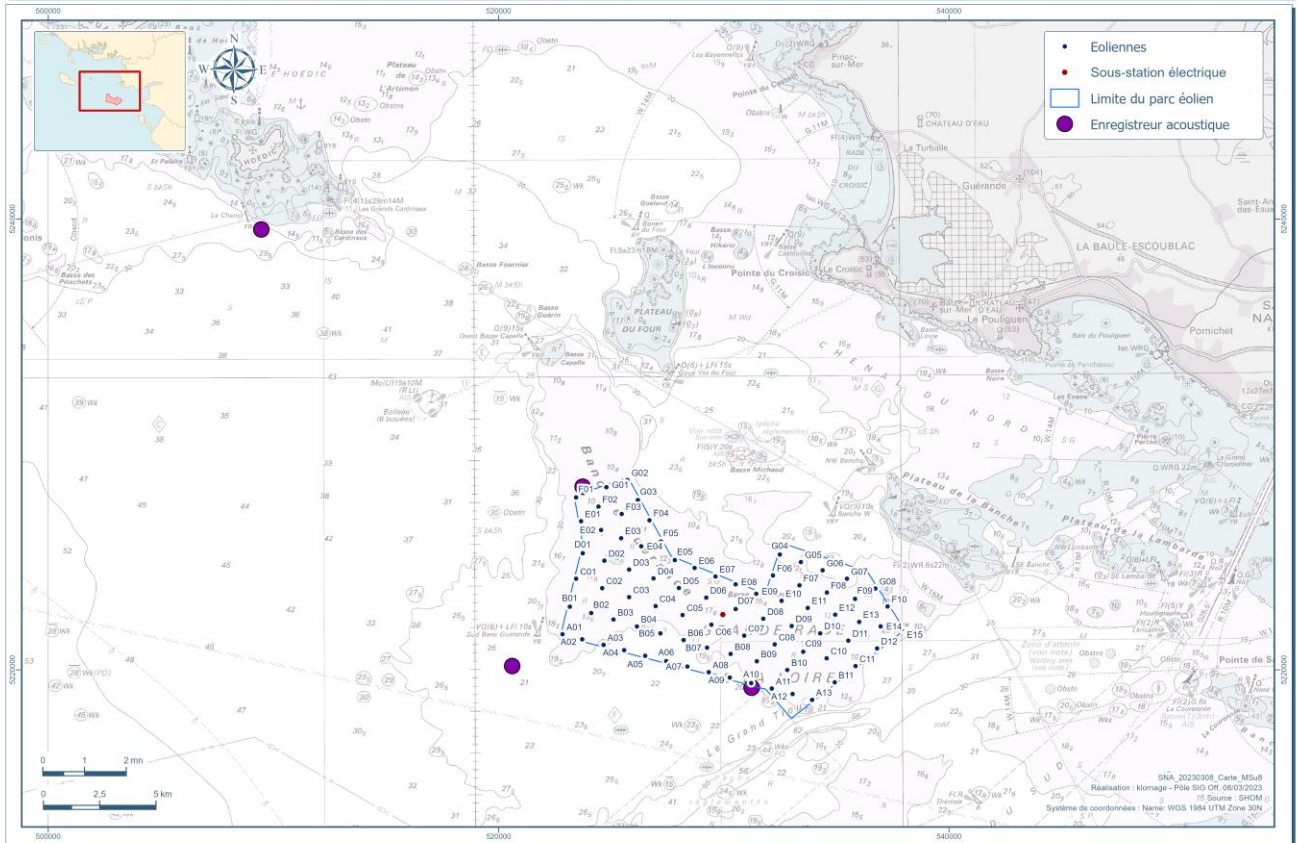
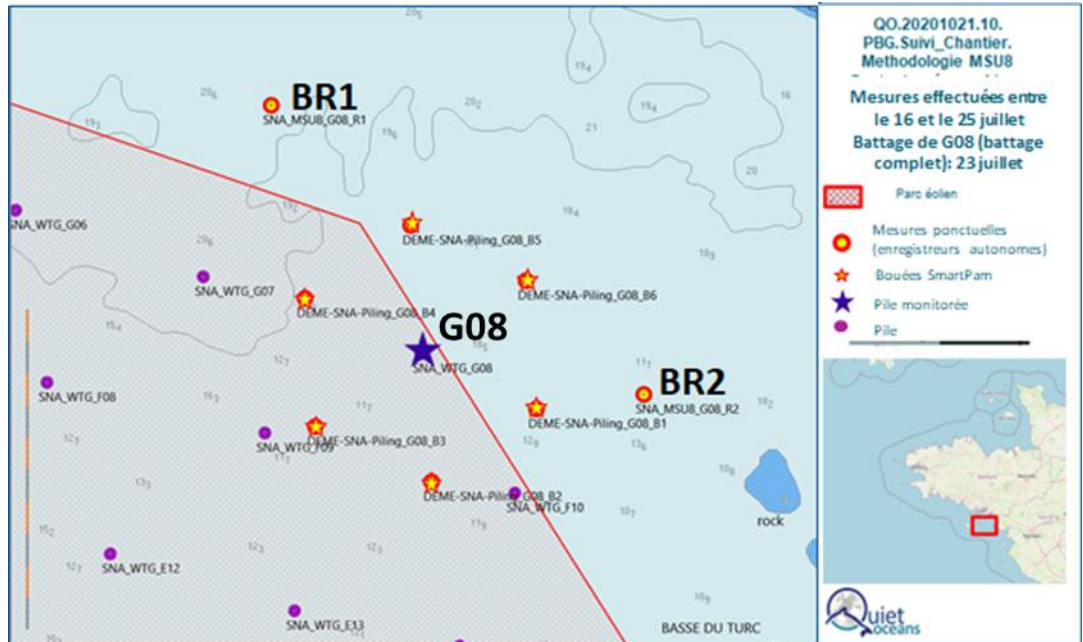


Figure 7 : Protocole géographique des mesures longues durées.

Suivi spécifique du battage du monopieu G08



Suivi spécifique du forage des monopieux B03 et B04

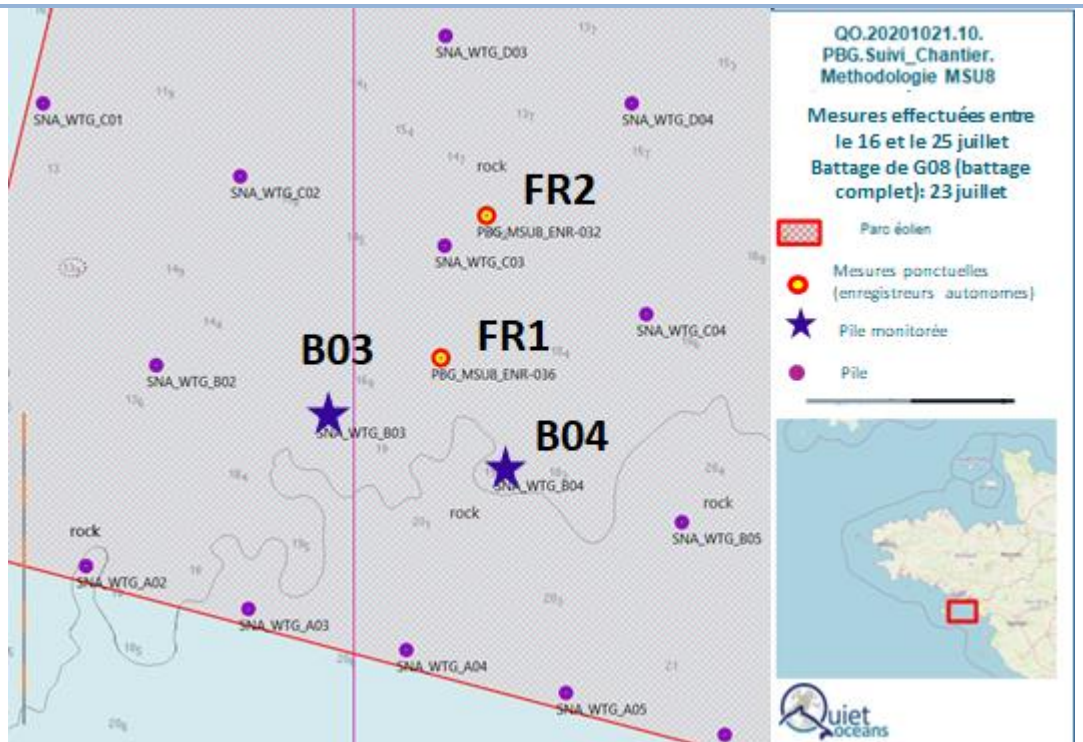


Figure 8 : Protocole géographique des suivis spécifiques des ateliers de battage et forage.

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.

III.1.1. Enregistreur acoustique pour les mesures de longue durée

Les enregistreurs acoustiques sont du type SYLENCE produits par la société RTSYS et sont intégrés dans une cage de fond (Figure 9 et Tableau 4). Les enregistreurs mesurent le signal acoustique sur une bande de fréquences jusqu'à 180 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 un disque de grande capacité permet de stocker l'équivalent de 30 jours de mesures continues. Ses caractéristiques techniques sont adaptées à l'étude des bruits biologiques sur la zone de Saint-Nazaire, comme démontré lors de la mise en œuvre lors de l'étude d'impact. Un tel système d'acquisition permet de collecter, sur une large plage temporelle et une 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.

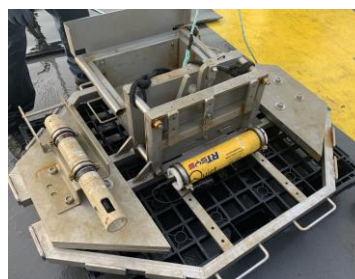


Figure 9 : Cage équipée d'un enregistreur acoustique autonome.

Tableau 4 : Caractéristiques techniques de l'enregistreur SYLENCE.

Hydrophone	HTI99HF, omnidirectionnel
Bande de fréquence	5Hz-125 kHz
Fréquence d'échantillonnage	512 kHz
Sensibilité	-169 dB ref. 1V/ μ Pa
Gain	14.7 dB
Audio files format	wav

III.1.2. Enregistreur acoustique pour les mesures ponctuelles

Dans le cadre des suivis spécifiques d'un atelier de battage et de forage, deux enregistreurs autonomes passifs sont déployés pour une période de quelques jours. Ces enregistreurs mesurent le signal acoustique sur une bande de fréquences jusqu'à 96 kHz, suffisante pour caractériser le bruit de ces deux activités.



Figure 10 : système d'acquisition ORCA ACE.

Tableau 5 : Caractéristiques techniques de l'enregistreur ORCA ACE.

Hydrophone	HTI99HF, omnidirectionnel	
Bande de fréquence	5Hz-160 kHz	5Hz-160 kHz
Fréquence d'échantillonnage	192 kHz	192 kHz
Sensibilité	-169 dB ref. 1V/ μ Pa	-199 dB ref. 1V/ μ Pa
Gain	0 dB	0dB
Audio files format	wav	wav

III.1.3. Bouée acoustique SmartPAM

Dans le cadre de la mesure MSU7, 6 bouées acoustiques smartPAM sont déployées systématiquement afin de monitorer en temps-réel l'éventuelle présence des mammifères marins ainsi que les niveaux sonores durant les activités de battage¹. Pour chaque atelier de battage, ces bouées sont positionnées à équidistance sur un cercle à 750m de l'atelier afin de garantir le suivi acoustique sur l'ensemble de l'aire.

Bouée acoustique	SmartPAM
Hydrophone	M36, omnidirectionnel
Bande de fréquence	5Hz-180 kHz
Fréquence d'échantillonnage	384 kHz
Sensibilité	-180 à -205 dB ref. 1V/ μ Pa
Gain	0 à 45 dB
Audio files format	wav



Figure 11 : Bouée SmartPAM et caractéristiques techniques.

¹ Rapport « 20221208_PBG_MSU7-MR6-MR7_Suivi Bruit et Mammifères marins pendant battages_Rapport Opérationnel_Phase de construction.pdf ».

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. Données collectées pour l'évaluation du niveau sonore du battage de pieu

III.2.1.a. Campagnes de suivi MSU7

Le Tableau 6 synthétise l'ensemble des opérations de battages de pieux qui ont été réalisées entre mai 2021 et mai 2022 lors des campagnes de suivi MSU7. Chacun de ces battages a fait l'objet d'un suivi acoustique temps-réel à l'aide d'un réseau de 6 bouées déployées à 750m de l'atelier de battage (exemple de déploiement sur la Figure 8 dans le cas du battage de la pile G08). Sur les 6 bouées déployées, deux sont spécifiquement dédiées à l'évaluation du niveau de bruit engendré par le battage, à l'estimation du niveau émis à 1 mètre de l'atelier et au non-dépassement de la valeur limite d'exposition sonore de 222 dB ref 1 μ Pa²s@1m.

Ce tableau distingue d'une part les piles ayant fait l'objet d'un battage complet sur l'ensemble de l'enfoncement de la pile (technique *Driven*) d'une durée moyenne de deux heures et d'autre part le battage en fin de forage sur des durées restreintes de l'ordre de 30 minutes (technique *Hybride*).

Le suivi acoustique temps-réel réalisé pour chacune des opérations de battages de pieu fait l'objet d'un rapport dédié présentant les moyens, méthodes et résultats associés au déploiement du réseau de bouées de suivi temps-réel ⁽¹⁾.

Tableau 6 : Synthèse des sessions de battage réalisées lors de MSU7.

Pile	Session	Atelier	Date de début (heure locale)	Date de fin (heure locale)	Durée
G04	01	<i>Battage complet</i>	2021-05-06 04:10	2021-05-06 07:18	03 :08
G06	01	<i>Battage complet</i>	2021-05-20 03:02	2021-05-20 03:57	00 :55
G06	02	<i>Battage complet</i>	2021-05-20 04:30	2021-05-20 05:46	01 :16
G07	01	<i>Battage complet</i>	2021-05-27 04:48	2021-05-27 05:18	00 :30
G07	01	<i>Battage complet</i>	2021-05-27 14:41	2021-05-27 16:04	01 :23
F06	01	<i>Battage en fin de forage</i>	2021-06-08 23:22	2021-06-08 23:51	00 :29
F07	01	<i>Battage en fin de forage</i>	2021-06-12 13:26	2021-06-12 14:08	00 :42
E12	01	<i>Battage en fin de forage</i>	2021-06-17 03:45	2021-06-17 04:17	00 :32
F09	01	<i>Battage en fin de forage</i>	2021-06-21 01:28	2021-06-21 02:20	00 :52
F08	00	<i>Battage</i>	2021-06-27 18:17	2021-06-27 20:00	01 :43
F08	01	<i>Battage</i>	2021-06-27 18:17	2021-06-27 18:48	00 :31
F08	02	<i>Battage</i>	2021-06-27 19:07	2021-06-27 20:00	00 :53
G05	01	<i>Battage</i>	2021-07-01 21:52	2021-07-02 01:58	03 :06
F10	01	<i>Battage</i>	2021-07-09 16:25	2021-07-09 18:40	02 :15
G08	01	<i>Battage</i>	2021-07-23 08:06	2021-07-23 10:00	01 :54
E11	01	<i>Battage en fin de forage</i>	2021-07-27 22:28	2021-07-27 22:57	00 :29
E13	01	<i>Battage en fin de forage</i>	2021-07-30 02:25	2021-07-30 03:06	00 :41
E15	01	<i>Battage</i>	2021-08-03 05:41	2021-08-03 07:21	01 :40

E14	01	Battage	2021-08-04 18:50	2021-08-04 19:31	00 :41
E14	02	Battage	2021-08-04 20:06	2021-08-04 21:48	01 :42
A01	01	Battage en fin de forage	2021-08-21 19:33	2021-08-21 20:03	00 :30
A05	02	Battage en fin de forage	2021-09-09 12:09	2021-09-09 12:41	00 :32
A05	03	Battage en fin de forage	2021-09-09 14:12	2021-09-09 14:17	00 :05
B06	01	Battage en fin de forage	2021-10-08 04:19	2021-10-08 04:49	00 :30
C05	01	Battage en fin de forage	2021-10-16 13:43	2021-10-16 14:16	00 :33
C06	01	Battage en fin de forage	2021-10-28 12:06	2021-10-28 12:39	00 :33
F05	01	Battage en fin de forage	2021-11-18 01:28	2021-11-18 02:00	00 :32
E05	01	Battage en fin de forage	2021-11-20 05:56	2021-11-20 06:29	00 :33
E06	01	Battage en fin de forage	2021-11-24 23:09	2021-11-24 23:47	00 :38
E07	01	Battage en fin de forage	2021-11-28 19:18	2021-11-28 19:59	00 :41
D01	01	Battage en fin de forage	2021-11-30 16:58	2021-11-30 17:29	00 :31
D06	01	Battage en fin de forage	2021-12-20 02:54	2021-12-20 03:24	00 :30
E04	01	Battage en fin de forage	2022-01-05 18:41	2022-01-05 19:08	00 :27
D05	01	Battage en fin de forage	14-01-2022 13:43	14-01-2022 14:25	00:42
G03	01	Battage en fin de forage	16-03-2022 16:43	16-03-2022 17:40	00:57
D12	01	Battage en fin de forage	25-03-2022 13:10	25-03-2022 16:00	02:50
G02	01	Battage	29-03-2022 07:20	29-03-2022 09:10	01:50
D09	01	Battage	05-04-2022 01:21	05-04-2022 03:04	01:43
D11	01	Battage en fin de forage	19-04-2022 16:42	19-04-2022 17:07	00:25
B08	01	Battage en fin de forage	25-04-2022 22:44	25-04-2022 23:17	00:33
C09	01	Battage en fin de forage	27-04-2022 19:57	27-04-2022 20:29	00:32
C11	01	Battage en fin de forage	04-05-2022 00:55	04-05-2022 02:12	01:17
A08	01	Battage en fin de forage	07-05-2022 23:40	08-05-2022 00:12	00:32

III.2.1.b. Campagne spécifique de suivi acoustique du battage de la pile G08

Un déploiement de deux instruments a été effectué entre le 16 et le 23 juillet 2021 afin de réaliser le suivi des bruits engendrés par un atelier de battage. La pile cible est G08 battue le 23 juillet 2021 entre 06h et 08h UTC (cf. Figure 8 - battage). Les enregistreurs acoustiques sont placés à l'extérieur du parc éolien et au nord, à des distances respectives de 1100 m (BR1) et 1650 m (BR2) de la pile. A noter que suite à un arrêt prématuré du système, l'enregistreur situé en R1 n'a pas enregistré les données durant la phase de battage.

Les mesures spécifiques réalisées pour la pile G08 viennent en complément des mesures temps-réel effectuées par les deux bouées acoustiques smartPAM déployées à 750 m de l'atelier de battage dans le cadre de la mesure MSU7 (cf. III.2.1.a.).

Tableau 7 : Synthèse de données acoustiques collectées durant la campagne spécifique à G08 (battage).

Zone	Nom enregistreur	Date de début	Date de fin	Durée campagne	Durée enregistrement (j)	Nb de fichiers	Quantité donnés (go) ²	Longitude	Latitude	Immersion système/fond (m)	Hauteur d' eau CM (m)
BR1	ENR-035	16/07/2021	23/07/2021	8	5,0	311	333	002 29.9090°W	47 09.7710°N	6,5	22
BR2	ENR-032	16/07/2021	25/07/2021	10	8,9	277	296	002 31.6060°W	47 10.6670°N	6,5	12

III.2.2. Données collectées pour le forage

III.2.2.a. Campagne spécifique B03 et B04

Un déploiement de deux instruments a été effectué entre le 16 et le 30 septembre 2021 afin de réaliser le suivi des bruits engendrés par un atelier de forage (cf. Figure 8 – forage). Les deux piles cibles sont B04 et B03 respectivement forées le 18 et le 21 septembre 2021. Les enregistreurs acoustiques sont placés à l'intérieur du parc éolien et au nord des piles inspectées à des distances respectives de 750 et 1500 m de chaque pile.

Tableau 8 : Synthèse de données acoustiques collectées durant la campagne spécifique à B04 et B03 (forage).

Zone	Nom enregistreur	Date de début	Date de fin	Durée campagne	Durée enregistrement (j)	Nb de fichiers	Quantité donnés (go) ³	Longitude	Latitude	Immersion système/fond (m)	Hauteur d' eau CM (m)
FR1	ENR-036	16/09/2021	30/09/2021	12	12	910	976	2° 39.6013' W	47°09.3697'N	8	22
FR2	ENR-032	16/09/2021	30/09/2021	12	12	860	860	2° 39.3898' W	47°09.8162'N	8	27

² Les fichiers sont au format audio de type FLAC.

³ Les fichiers sont au format audio de type FLAC.

III.2.2.b. Données additionnelles acquises pour DEME

En parallèle, des mesures complémentaires ont été commanditées par la société DEME afin de confirmer les niveaux sonores engendrés par l’atelier de forage. Ces mesures ont été effectuées lors du forage de la pile A05 le 08/09/2021 pendant une durée de 11 heures par les 6 bouées SmartPAM réparties à 750m de l’atelier.

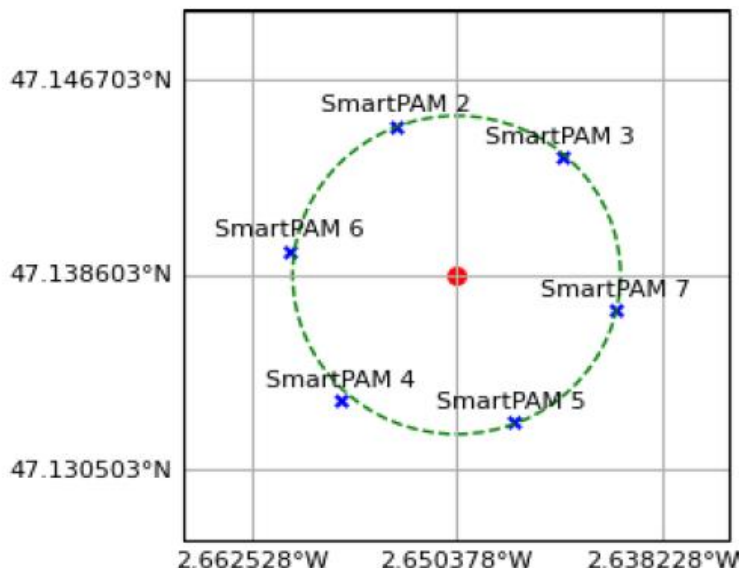


Figure 12 : Configuration géographique des mesures acoustiques spécifiques lors du forage de la pile A05.

III.2.3. Données collectées dans le cadre des mesures longues durées

Trois campagnes spécifiques d’une durée minimale de 30 jours ont été réalisées en été 2021, hiver 2022 et été 2022 (cf. Figure 6 et Figure 7).

III.2.3.a. Campagne Eté 2021

Durant la période estivale 2021, dans le cadre des mesures longues durées, quatre enregistreurs acoustiques passifs ont été déployés dans chaque zone du 27 juillet au 16 septembre 2021. Chaque enregistreur acoustique collecte 3 minutes de données toutes les 10 minutes, soit des acquisitions périodiques qui permettent de couvrir au total 30% du temps. Le Tableau 9 synthétise les données collectées par les enregistreurs acoustiques pour chacune des zones d’étude. La durée unitaire pour chaque enregistreur est de 51 jours.

Tableau 9 : Synthèse de données acoustiques collectées durant la saison estivale 2021.

Zone	Nom enregistreur	Date de début	Date de fin	Durée campagne	Durée enregistrement (j)	Nb de fichiers	Quantité donnés (Go) ⁴	Longitude	Latitude	Immersion système/fond (m)	Hauteur d' eau CM (m)
Nord-Ouest (NW)	ENR-048	27/07/2021	16/09/2021	51	15	9007	1994	2°41.1949'W	47°12.3702'N	0.5	18
Sud-Ouest (SW)	ENR-047	27/07/2021	16/09/2021	51	15	9278	1951	2°43.6975'W	47°08.0850'N	0.5	30
Sud-Est (SE)	ENR-046	27/07/2021	16/09/2021	51	15	9225	2035	2°35.2906'W	47°07.5412'N	0.5	25
Mor-Braz (MB)	ENR-050	27/07/2021	16/09/2021	51	15	9032	1982	2°52.4947'W	47°18.5547'N	0.5	34

III.2.3.b. Campagne Hiver 2022

Durant la période hivernale 2022, dans le cadre des mesures longues durées, quatre enregistreurs acoustiques passifs ont été déployés dans chaque zone du 24 Janvier au 10 Mars 2022. Chaque enregistreur acoustique collecte 3 minutes de données toutes les 10 minutes, soit des acquisitions périodiques qui permettent de couvrir au total 30% du temps. Le Tableau 10 synthétise les données collectées par les enregistreurs acoustiques pour chacune des zones d'étude. La durée unitaire pour chaque enregistreur est en moyenne de 41 jours.

⁴ Les fichiers sont au format audio de type FLAC.

Tableau 10 : Synthèse de données acoustiques collectées durant la saison hivernale 2022.

Zone	Nom enregistreur	Date de début	Date de fin	Durée campagne	Durée enregistrement (j)	Nb de fichiers	Quantité de données (Go)	Longitude	Latitude	Immersion système/fond (m)	Hauteur d'eau CM (m)
Nord-Ouest (NW)	ENR-050	24/01/2022	03/03/2022	39	12	11324	1840	2°41.2049'W	47°12.3784'N	0,3	19.4
Sud-Ouest (SW)	ENR-047	24/01/2022	03/03/2022	39	12	11049	N/A	2°43.7126'W	47°08.0866'N	0,3	29.5
Sud-Est (SE)	ENR-049	24/01/2022	10/03/2022	46	14	7772	1850	2°35.3038'W	47°7.5727'N	0,3	25.2
Mor-Braz (MB)	ENR-048	24/01/2022	02/03/2022	38	11	9871	1590	2°52.4768'W	47°18.5837'N	0,3	34.7

III.2.3.c. Campagne Eté 2022

Durant la période estivale 2022, dans le cadre des mesures longues durées, quatre enregistreurs acoustiques passifs ont été déployés dans chaque zone du 13 Juillet au 23 Août 2022. L'enregistreur de la zone Sud-Ouest a pour sa part été récupéré le 11 Septembre 2022 en raison d'un problème technique au moment du relevage de l'instrument. Une campagne spécifique de relevage a été menée pour ce point et justifie la quantité supérieure de donnée collectée (61 jours). Chaque enregistreur acoustique collecte 3 minutes de données toutes les 10 minutes, soit des acquisitions périodiques qui permettent de couvrir au total 30% du temps. Le Tableau 11 synthétise les données collectées par les enregistreurs acoustiques pour chacune des zones d'étude. La durée unitaire pour chaque enregistreur est en moyenne de 47 jours.

Tableau 11 : Synthèse de données acoustiques collectées durant la saison estivale 2022.

Zone	Nom enregistreur	Date de début	Date de fin	Durée campagne	Durée enregistrement (j)	Nb de fichiers	Quantité de données (Go)	Longitude	Latitude	Immersion système/fond (m)	Hauteur d'eau CM (m)
Nord-Ouest (NW)	ENR-048	13/07/2022	23/08/2022	42	12,6	6140	419	2°41.1949' W	47°12.3765' N	0,3	15,5
Sud-Ouest (SW)	ENR-049	13/07/2022	11/09/2022	61	18,3	8667	582	2°43.7065' W	47°08.0830' N	0,3	28,4
Sud-Est (SE)	ENR-050	13/07/2022	23/08/2022	42	12,6	5968	399	2°35.2919' W	47°07.5478' N	0,3	28,1
Mor-Braz (MB)	ENR-051	13/07/2022	23/08/2022	42	12,6	7145	542	2°52.4745' W	47° 18.5967' N	0,3	31,4

III.2.3.d. Synthèse des données collectées

Une synthèse des mesures acoustiques acquises pour chaque saison et chaque zone est fournie dans le Tableau 12. Ce tableau met en évidence la complétude des données acquises par les enregistreurs acoustiques vis-à-vis des exigences de la mesure MSU8, à savoir 3 minutes d'enregistrement toutes les 10 minutes pendant une durée minimale de 30 jours à chaque saison caractéristique (été et hiver).

Lors de la campagne été 2022, la zone Sud-Ouest a bénéficié de 19 jours de mesures supplémentaires en raison des aléas techniques au relevage de l'instrument.

Tableau 12 : Synthèse des mesures acoustiques collectées.

Campagne	Zone	Point	Date de début	Date de fin	Nb de jours collectés
Eté 2021	Nord-Ouest	NW (R1)	27/07/2021	16/09/2021	51
	Sud-Ouest	SW (R2)	27/07/2021	16/09/2021	51
	Sud-Est	SE (R3)	27/07/2021	16/09/2021	51
	Mor-Braz	MB (R4)	27/07/2021	16/09/2021	51
Hiver 2022	Nord-Ouest	NW (R1)	24/01/2022	03/03/2022	39
	Sud-Ouest	SW (R2)	24/01/2022	03/03/2022	39
	Sud-Est	SE (R3)	24/01/2022	10/03/2022	46
	Mor-Braz	MB (R4)	24/01/2022	02/03/2022	38
Eté 2022	Nord-Ouest	NW (R1)	13/07/2022	23/08/2022	42
	Sud-Ouest	SW (R2)	13/07/2022	11/09/2022	61
	Sud-Est	SE (R3)	13/07/2022	23/08/2022	42
	Mor-Braz	MB (R4)	13/07/2022	23/08/2022	42

Chapitre IV. Analyse des niveaux sonores mesurés

Une analyse des niveaux sonores durant la phase de construction est établie à partir des données collectées par les hydrophones au niveau de chacune des zones d'études et pour les saisons estivale et hivernale (2021 & 2022). Ces résultats sont comparés le cas échéant aux niveaux observés durant l'état de référence (été 2019 & hiver 2020) et l'état initial (été 2013).

IV.1. Planning des travaux de construction

Le Tableau 13 liste les différentes périodes des travaux de forage et battage pour chaque pile installée lors des campagnes de suivi MSU7 et MSU8 (source PBG). Ce tableau spécifie les dates de début et de fin ainsi que la durée effective de chaque atelier. Les dernières colonnes précisent si l'atelier a fait l'objet d'un suivi acoustique dans le cadre de chacune des campagnes de suivi MSU7 et MSU8, ou dans le cadre de mesures spécifiques (MSU7 additionnel). Les piles sont enfoncées de trois manières :

- ✓ Forage complet sur l'ensemble de l'enfoncement ;
- ✓ Forage puis battage en fin d'enfoncement (solution hybride) ;
- ✓ Battage complet sur l'ensemble de l'enfoncement (solution Driven).

Pour rappel, la pile G08 a fait l'objet d'un suivi acoustique spécifique pour la calibration des cartes de bruit (cf. III.2.1.) lors des campagnes de mesure MSU8. De la même manière, les piles B03 et B04 ont fait l'objet d'un suivi acoustique spécifique pour la calibration des cartes de bruit (cf. III.2.2.).

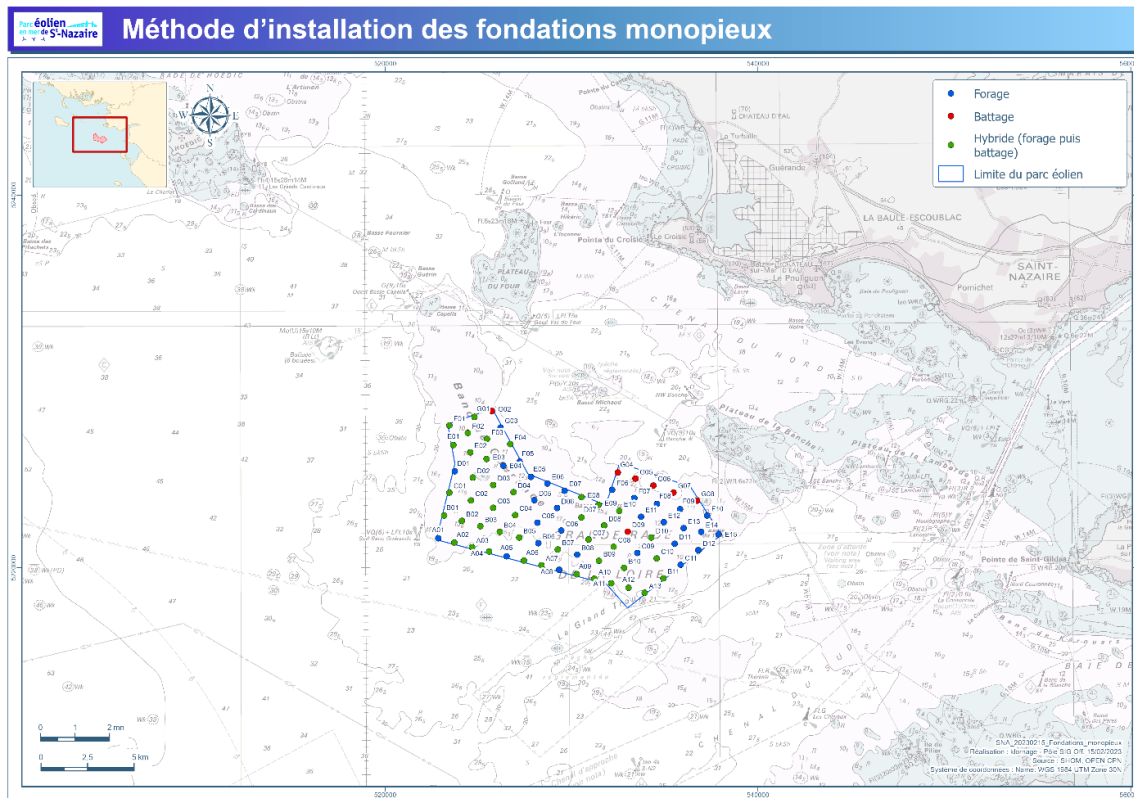























Figure 13 : Bilan des piles installées (source EDF-RE).










Tableau 13: Synthèse des travaux de battage et de forage réalisés et suivis acoustiques associés (case verte).

Location	Activité	Début	Fin	Durée [hh:mm]	Suivi acoustique			
					MSU7	MSU7 additionnel	MSU8 - zone élargie	MSU8 - bruit de chantier
G04	Battage	06-05-2021 04:09	06-05-2021 07:15	03:06				
G06	Battage	20-05-2021 03:00	20-05-2021 07:30	04:30				
G07	Battage	27-05-2021 04:37	27-05-2021 04:48	00:11				
G07	Battage	27-05-2021 14:41	27-05-2021 16:00	01:19				
F06	Forage	07-06-2021 06:20	07-06-2021 20:30	14:10				
F06	Forage	07-06-2021 22:15	07-06-2021 23:30	01:15				
F06	Battage (après forage)	08-06-2021 22:30	08-06-2021 23:50	01:20				
F07	Forage	11-06-2021 19:00	12-06-2021 00:40	05:40				
F07	Battage (après forage)	12-06-2021 13:00	12-06-2021 14:00	01:00				
E12	Forage	16-06-2021 15:33	16-06-2021 20:30	04:57				
E12	Battage (après forage)	17-06-2021 03:45	17-06-2021 04:48	01:03				
F09	Forage	19-06-2021 20:05	19-06-2021 20:45	00:40				
F09	Forage	20-06-2021 02:45	20-06-2021 06:48	04:03				
F09	Battage (après forage)	21-06-2021 01:27	21-06-2021 02:18	00:51				
F08	Forage	27-06-2021 00:49	27-06-2021 03:45	02:56				
F08	Battage (après forage)	27-06-2021 18:10	27-06-2021 20:15	02:05				
E10	Forage	28-06-2021 20:30	28-06-2021 20:35	00:05				
E10	Forage	28-06-2021 22:00	29-06-2021 07:23	09:23				
G05	Battage	01-07-2021 21:51	02-07-2021 01:49	03:58				
F10	Forage	09-07-2021 07:06	09-07-2021 10:40	03:34				
F10	Battage (après forage)	09-07-2021 16:32	09-07-2021 18:06	01:34				
E09	Forage	10-07-2021 19:24	11-07-2021 09:28	14:04				

D08	Forage	14-07-2021 23:58	15-07-2021 08:00	08:02	
G08	Battage	23-07-2021 08:25	23-07-2021 10:00	01:35	
E11	Forage	26-07-2021 04:15	26-07-2021 10:05	05:50	
E11	Battage (après forage)	27-07-2021 22:25	27-07-2021 22:51	00:26	
E13	Forage	29-07-2021 13:33	29-07-2021 18:20	04:47	
E13	Battage (après forage)	30-07-2021 02:24	30-07-2021 03:05	00:41	
E15	Forage	02-08-2021 17:24	02-08-2021 19:30	02:06	
E15	Battage (après forage)	03-08-2021 05:39	03-08-2021 07:17	01:38	
E14	Forage	04-08-2021 06:00	04-08-2021 10:08	04:08	
E14	Battage (après forage)	04-08-2021 18:48	04-08-2021 19:30	00:42	
E14	Battage (après forage)	04-08-2021 21:04	04-08-2021 21:46	00:42	
D07	Forage	15-08-2021 03:38	15-08-2021 17:45	14:07	
E08	Forage	18-08-2021 07:23	18-08-2021 14:35	07:12	
A01	Forage	21-08-2021 05:09	21-08-2021 12:27	07:18	
A01	Battage (après forage)	21-08-2021 19:31	21-08-2021 20:02	00:31	
A06	Forage	30-08-2021 17:15	31-08-2021 01:55	08:40	
A04	Forage	02-09-2021 09:40	02-09-2021 19:13	09:33	
A03	Forage	04-09-2021 14:00	05-09-2021 00:15	10:15	
A05	Forage	08-09-2021 20:45	09-09-2021 05:00	08:15	
A05	Battage (après forage)	09-09-2021 12:10	09-09-2021 14:10	02:00	
A02	Forage	11-09-2021 03:17	11-09-2021 12:40	09:23	
B05	Forage	13-09-2021 11:20	13-09-2021 18:50	07:30	
B04	Forage	18-09-2021 10:00	18-09-2021 20:26	10:26	
B03	Forage	21-09-2021 20:10	22-09-2021 00:25	04:15	
B03	Forage	22-09-2021 03:30	22-09-2021 08:55	05:25	
B02	Forage	24-09-2021 03:51	24-09-2021 10:34	06:43	
B02	Forage	24-09-2021 13:16	24-09-2021 17:15	03:59	

B06	Forage	07-10-2021 03:10	07-10-2021 03:15	00:05	
B06	Forage	07-10-2021 07:59	07-10-2021 11:17	03:18	
B06	Forage	07-10-2021 15:30	07-10-2021 18:30	03:00	
B06	Battage (après forage)	08-10-2021 04:23	08-10-2021 04:47	00:24	
B01	Forage	10-10-2021 05:00	10-10-2021 14:30	09:30	
C04	Forage	12-10-2021 11:00	12-10-2021 18:25	07:25	
C05	Forage	16-10-2021 03:10	16-10-2021 08:45	05:35	
C05	Battage (après forage)	16-10-2021 13:30	16-10-2021 14:15	00:45	
C03	Forage	17-10-2021 21:20	18-10-2021 06:15	08:55	
C02	Forage	22-10-2021 23:25	23-10-2021 11:30	12:05	
C06	Forage	27-10-2021 19:00	28-10-2021 06:00	11:00	
C06	Battage (après forage)	28-10-2021 12:06	28-10-2021 12:37	00:31	
C01	Forage	04-11-2021 06:40	04-11-2021 18:15	11:35	
A07	Forage	06-11-2021 13:35	06-11-2021 23:20	09:45	
B07	Forage	11-11-2021 20:18	12-11-2021 03:35	07:17	
F05	Forage	17-11-2021 10:20	17-11-2021 18:50	08:30	
F05	Battage (après forage)	18-11-2021 00:30	18-11-2021 01:58	01:28	
E05	Forage	19-11-2021 16:35	19-11-2021 17:30	00:55	
E05	Forage	19-11-2021 18:30	19-11-2021 19:00	00:30	
E05	Forage	19-11-2021 19:20	19-11-2021 21:20	02:00	
E05	Forage	19-11-2021 21:40	20-11-2021 00:36	02:56	
E05	Battage (après forage)	20-11-2021 05:56	20-11-2021 06:30	00:34	
E06	Forage	24-11-2021 13:00	24-11-2021 16:37	03:37	
E06	Battage (après forage)	24-11-2021 23:06	24-11-2021 23:44	00:38	
E07	Forage	26-11-2021 08:30	26-11-2021 09:35	01:05	
E07	Forage	28-11-2021 08:45	28-11-2021 13:10	04:25	
E07	Battage (après forage)	28-11-2021 19:17	28-11-2021 19:57	00:40	

D01	Forage	30-11-2021 00:55	30-11-2021 09:19	08:24	
D01	Battage (après forage)	30-11-2021 16:58	30-11-2021 17:31	00:33	
D06	Forage	19-12-2021 14:45	19-12-2021 20:34	05:49	
D06	Battage (après forage)	20-12-2021 02:53	20-12-2021 03:24	00:31	
E04	Forage	05-01-2022 04:55	05-01-2022 13:30	08:35	
E04	Battage (après forage)	05-01-2022 18:43	05-01-2022 19:07	00:24	
D05	Forage	14-01-2022 02:53	14-01-2022 07:45	04:52	
D05	Battage (après forage)	14-01-2022 13:43	14-01-2022 14:25	00:42	
E03	Forage	19-01-2022 02:07	19-01-2022 12:13	10:06	
E02	Forage	21-01-2022 21:59	22-01-2022 06:21	08:22	
F03	Forage	24-01-2022 00:16	24-01-2022 07:06	06:50	
E01	Forage	27-01-2022 11:00	27-01-2022 21:23	10:23	
F01	Forage	29-01-2022 13:05	29-01-2022 18:25	05:20	
D04	Forage	31-01-2022 08:00	31-01-2022 13:45	05:45	
F04	Forage	08-02-2022 19:55	09-02-2022 02:10	06:15	
D02	Forage	23-02-2022 09:30	23-02-2022 21:11	11:41	
D03	Forage	07-03-2022 01:35	07-03-2022 11:00	09:25	
G03	Forage	16-03-2022 02:37	16-03-2022 09:39	07:02	
G03	Battage (après forage)	16-03-2022 16:43	16-03-2022 17:40	00:57	
F02	Forage	19-03-2022 18:03	19-03-2022 22:42	04:39	
F02	Forage	19-03-2022 23:22	20-03-2022 05:30	06:08	
D12	Forage	25-03-2022 05:15	25-03-2022 06:20	01:05	
D12	Battage (après forage)	25-03-2022 13:10	25-03-2022 16:00	02:50	
G01	Forage	26-03-2022 13:20	26-03-2022 19:40	06:20	
G02	Battage	29-03-2022 07:20	29-03-2022 09:10	01:50	
C08	Forage	31-03-2022 14:05	31-03-2022 22:25	08:20	
C07	Forage	02-04-2022 19:40	03-04-2022 02:50	07:10	

C07	Forage	03-04-2022 04:15	03-04-2022 07:10	02:55	
D09	Battage	05-04-2022 01:21	05-04-2022 03:04	01:43	
D10	Forage	14-04-2022 07:36	14-04-2022 22:52	15:16	
D11	Forage	19-04-2022 03:00	19-04-2022 07:15	04:15	
D11	Battage (après forage)	19-04-2022 16:42	19-04-2022 17:07	00:25	
B09	Forage	20-04-2022 23:20	21-04-2022 05:46	06:26	
B08	Forage	25-04-2022 07:00	25-04-2022 15:00	08:00	
B08	Battage (après forage)	25-04-2022 22:44	25-04-2022 23:17	00:33	
C09	Forage	27-04-2022 09:22	27-04-2022 14:00	04:38	
C09	Battage (après forage)	27-04-2022 19:57	27-04-2022 20:29	00:32	
B10	Forage	29-04-2022 04:33	29-04-2022 18:43	14:10	
C11	Forage	03-05-2022 13:05	03-05-2022 13:46	00:41	
C11	Forage	03-05-2022 16:05	03-05-2022 17:25	01:20	
C11	Battage (après forage)	04-05-2022 00:55	04-05-2022 02:12	01:17	
C10	Forage	04-05-2022 23:39	05-05-2022 09:15	09:36	
A08	Forage	07-05-2022 07:23	07-05-2022 14:35	07:12	
A08	Battage (après forage)	07-05-2022 23:40	08-05-2022 00:12	00:32	
A09	Forage	10-05-2022 19:16	11-05-2022 02:26	07:10	
A10	Forage	13-05-2022 22:13	14-05-2022 06:47	08:34	
A11	Forage	15-05-2022 19:24	16-05-2022 01:36	06:12	
A13	Forage	20-05-2022 10:00	20-05-2022 18:10	08:10	
B11	Forage	22-05-2022 16:23	23-05-2022 00:57	08:34	
A12	Forage	25-05-2022 00:10	25-05-2022 08:10	08:00	

IV.2. Période été 2021

IV.2.1. Analyse du bruit ambiant large bande – été 2021

La Figure 14, qui définit le niveau sonore large bande mesuré (courbe bleue) par les enregistreurs acoustiques autonomes pour chaque zone d'étude pendant la période estivale 2021, montre la superposition :

- ✓ D'un bruit permanent (ou bruit environnemental, courbe rouge) présentant une variabilité d'environ 3 à 5 dB en raison des variations jour/nuit durant la saison estivale et ce, quel que soit l'emplacement des mesures. En d'autres termes, le signal présente peu de variation journalière sur la période de mesure estivale 2021 ;
- ✓ De bruits forts qui dominent le bruit permanent pendant des durées de l'ordre de 5 à 15 minutes, représentatifs principalement du passage de navires à proximité de l'hydrophone (Figure 16). Dans les zones à proximité du parc (NW, SW et SE), la fréquentation moyenne du site par les navires engendrant une émergence de 15 dB au-dessus du bruit permanent (Figure 14 - courbe rouge) s'établit à dix navires par jour. Au niveau de la zone Mor-Braz, cette fréquentation moyenne augmente sensiblement et passe à 15 navires par jour. A noter que ces événements anthropiques, plus fréquents, se situent essentiellement pendant la période diurne et sont issus soit des activités du chantier, soit des navires de commerce et de plaisance circulant à proximité de la zone du parc ou dans le secteur des îles Houat et Hoëdic.

A noter que durant cette saison estivale 2021, aucun événement météorologique n'a produit d'élévation significative du bruit permanent (Figure 15). Toutefois, un événement est perceptible autour du 07 août 2021, et ce pour une durée de 2 à 3 jours, pour les trois points de mesure (NW, SW et SE). Cet événement correspond une élévation modérée du niveau sonore permanent engendré par une élévation de la vitesse du vent sur site. Ce changement des conditions météorologiques lié à un vent plus fort n'est pas visible au niveau de la zone Mor-Braz, zone à priori plus protégée.

Les Tableau 14, Tableau 15, Tableau 16 et Tableau 17 donnent la répartition statistique du bruit large bande (entre 20 Hz et 40 kHz) durant la saison estivale pour chaque zone. Chaque tableau donne le niveau sonore en fonction du percentile. La distinction jour/nuit permet de mettre en évidence l'augmentation significative du bruit permanent durant la période nocturne principalement dans les zones Nord-Ouest et Sud-Ouest (+ 3dB durant la période nocturne dû à l'activité benthique).

Entre les différentes zones de mesure, la zone Nord-Ouest apparaît significativement plus bruyante en valeur médiane (de +10 dB par rapport aux trois autres zones).

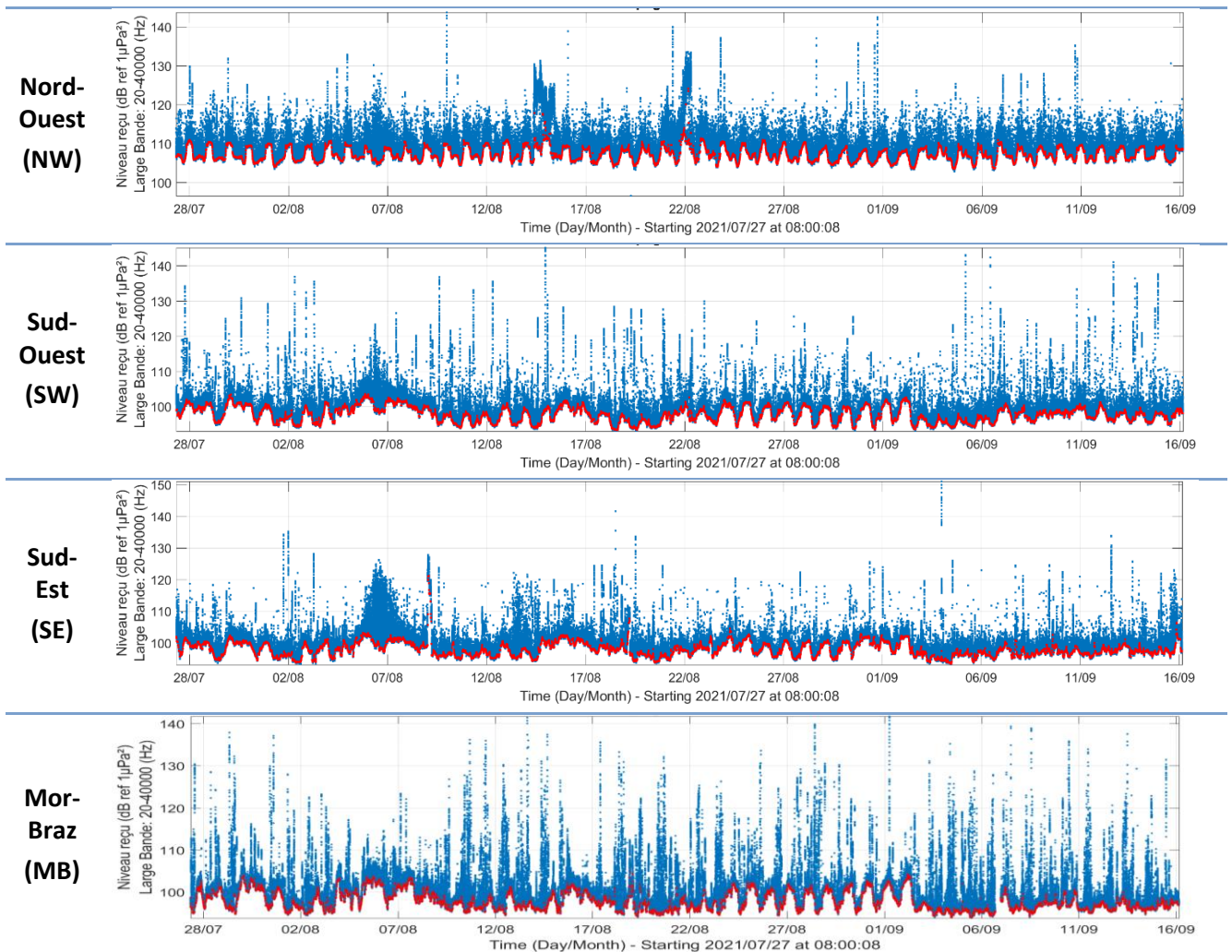


Figure 14 : Niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) en fonction de la zone de mesure durant la saison estivale 2021.

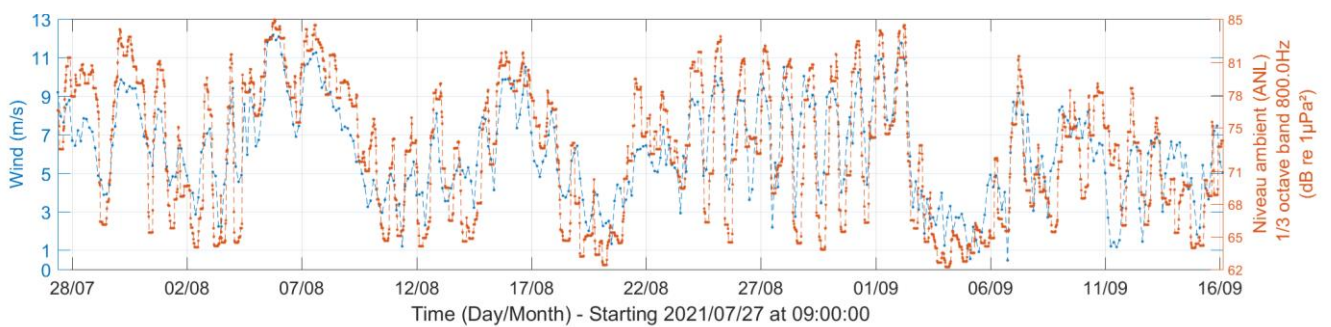


Figure 15 : Corrélation entre la vitesse du vent et le bruit permanent à la fréquence de 800Hz au point SW (zone Sud-Ouest).

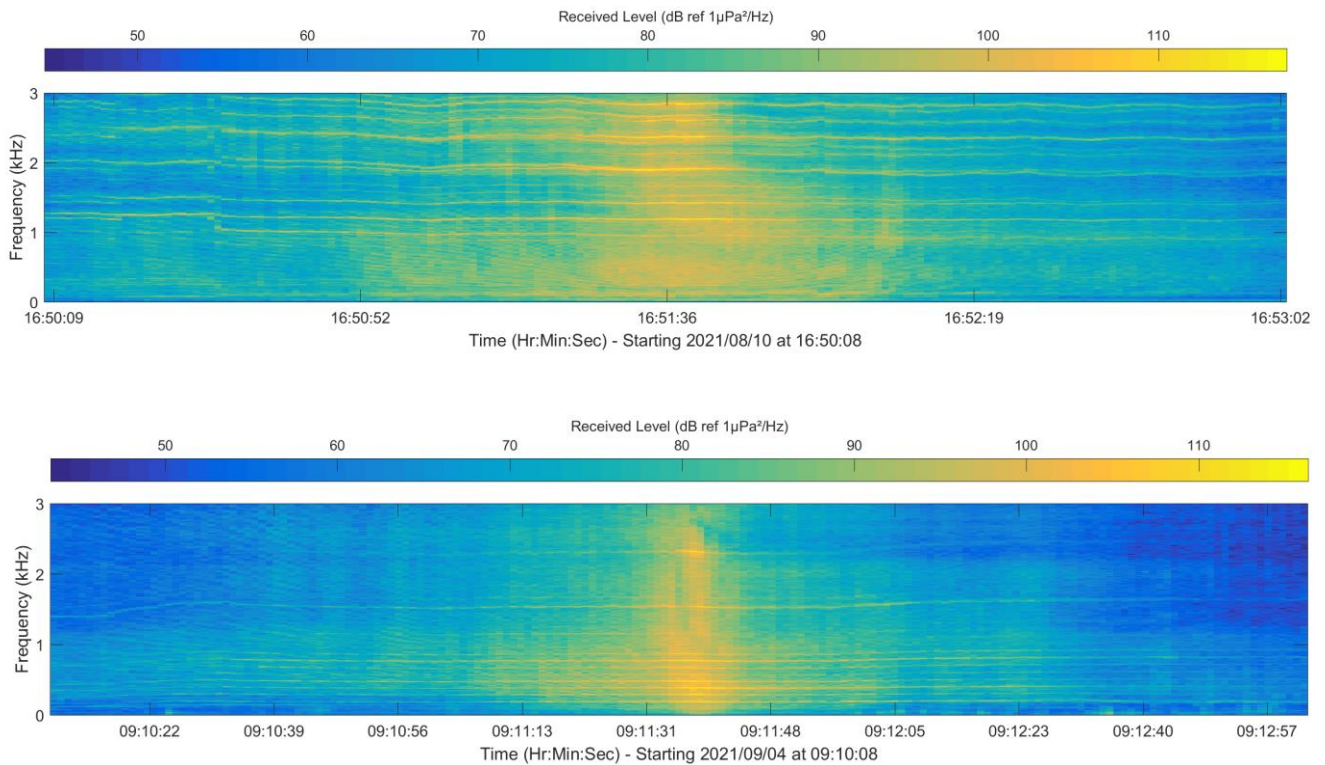


Figure 16 : Spectrogramme illustratifs des passages de navire au point MB (zone Mor-Braz).

Tableau 14 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Nord-Ouest (exprimés en dB ref 1µPa²) durant la saison estivale 2021.

Zone	Percentile (%)	Niveau Très courant				Niveau Médian			Niveau Très rare	
		100	99	90	75	50	25	10	1	0
Nord-Ouest	Toute la période	96,5	104,8	106,1	107	108,5	110,3	111,9	122,6	143,7
	Jour	96,5	104,5	105,7	106,4	107,2	108,2	110	122,1	142,5
	Nuit	106	107,5	108,7	109,4	110,3	111,3	112,9	122,2	143,7
	Ecart Jour/Nuit	-9,5	-3	-3	-3	-3,1	-3,1	-2,8	0	-1,2

Tableau 15 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Ouest (exprimés en dB ref 1µPa²) durant la saison estivale 2021.

Zone	Percentile (%)	Niveau Très courant				Niveau Médian			Niveau Très rare	
		100	99	90	75	50	25	10	1	0
Sud-Ouest	Toute la période	93	94,5	95,9	97,2	99,1	100,9	102,5	112	145,1
	Jour	93	94,3	95,4	96,3	97,8	100,1	102	111,4	142,3
	Nuit	94,1	96,3	97,8	98,8	100,2	101,6	103,1	112,8	145,1
	Ecart Jour/Nuit	-1,1	-2	-2,4	-2,5	-2,3	-1,5	-1,2	-1,4	-2,7

Tableau 16 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Est (exprimés en dB ref 1µPa²) durant la saison estivale 2021.

		Niveau Très courant				Niveau Médian			Niveau Très rare	
Percentile (%)		100	99	90	75	50	25	10	1	0
Zone Sud-Est	Toute la période	93,1	94,9	96,5	97,6	99,3	101,2	103	114,6	150,9
	Jour	93,1	94,7	96	97,1	98,7	100,8	102,8	112,8	141,5
	Nuit	93,7	95,9	97,3	98,3	99,9	101,5	103,2	117	150,9
	Ecart Jour/Nuit	-0,6	-1,2	-1,3	-1,2	-1,1	-0,7	-0,4	-4,2	-9,4

Tableau 17 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Mor-Braz (exprimés en dB ref 1µPa²) durant la saison estivale 2021.

		Niveau Très courant				Niveau Médian			Niveau Très rare	
Percentile (%)		100	99	90	75	50	25	10	1	0
Zone Mor-Braz	Toute la période	93.8	95.0	96.1	97.0	98.8	101.3	103.6	115.0	141.7
	Jour	93.8	94.9	95.9	96.8	98.7	101.4	104.3	117.7	141.7
	Nuit	94.5	95.2	96.2	97.2	98.9	101.2	102.9	109.3	130.5
	Ecart Jour/Nuit	-0.7	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	0.2	1.4	8.4	11.2

IV.2.2. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquences – été 2021

La répartition fréquentielle de l'énergie sonore (Figure 17) illustre la signature spécifique de l'activité benthique dans la bande de 1 à 20 kHz durant la saison estivale 2021. Le niveau sonore maximum de cette activité, proche de 70 dB ref1µPa²/Hz, est atteint à la fréquence de 4 à 5 kHz. Dans la zone Nord-Ouest, l'activité des organismes benthiques est significativement plus intense avec un niveau proche de 80 dB ref1µPa²/Hz, valeur identique à celle observée durant l'état de référence au niveau de cette même zone Nord-Ouest, soit dans l'environnement proche du site du parc éolien. Pour rappel, la zone Mor-Braz ayant été ajoutée en complément de l'état de référence (2019-2020), le niveau sonore de l'activité benthique de cette zone ne peut être évalué que durant la période des travaux (2021).

Pour les fréquences inférieures à 1 kHz, une compétition existe entre le bruit environnemental (vagues et vent) et le bruit anthropique. En comparaison des courbes de bruit environnemental proposé par le modèle de Wenz (cf. Figure 17, en trait pointillé gris; Wenz, 1962), les niveaux mesurés mettent en évidence une faible anthropisation du site. Dans cette bande de fréquence, le bruit est majoritairement dominé par le bruit environnemental et atteint son maximum en intensité pour les fréquences comprises entre 200 et 1000 Hz durant l'été. Statistiquement, les contributions anthropiques sont observables à partir du percentile 1%. En d'autres termes, la probabilité de mesurer une contribution d'origine anthropique est de l'ordre de 1%. Cette valeur est en accord avec la fréquence de passage des navires à proximité des zones de mesure, fréquence obtenue suite à la récupération de l'AIS (Automatic Identification System) de ces navires. Les points de mesure situés à proximité du parc éolien (NW, SE et SW) perçoivent des composantes très basses fréquences (inférieures à 30 Hz) quel que soit le percentile. Ce constat aux basses fréquences ne s'applique pas au point de mesure dans la zone Mor-Braz. La hauteur d'eau étant suffisante pour la propagation de ces fréquences au niveau de la zone Mor-Braz, une explication peut alors provenir des effets locaux. Ces effets locaux sont liés au courant marin et au courant de marnage qui sont indépendants des phénomènes de propagation sonore, et engendrent des bruits supplémentaires autour du capteur par déplacement d'eau et/ou sédiment.

La Figure 18 illustre, en fonction de la bande de fréquence, la variation horaire de l'émergence relative du bruit au percentile 50% (valeur médiane) pour chacune des zones de suivi durant la saison estivale 2021. Quelle que soit la zone, la période nocturne entre 19h et 5h UTC engendre une augmentation relative de l'ordre de 4 à 5dB correspondant aux activités des organismes benthiques dans la bande de fréquence autour de 4 kHz. Cette plage horaire d'activité benthique est légèrement plus étendue dans la zone du Mor-Braz.

Cette variation horaire s'observe également dans la bande de fréquence autour de 80 Hz révélatrice des activités anthropiques. L'usage du site est quasi-identique entre les zones Sud-Ouest et Sud-Est avec une prédominance des bruits anthropiques durant la période nocturne (émergence médiane jusqu'à 6 dB), tandis que la zone Nord-Ouest montre une extension de cette plage horaire jusqu'à 08h UTC. La bande de fréquence autour de 750 Hz illustre les mêmes résultats que ceux obtenus autour de 80 Hz et démontre également la prédominance des activités anthropiques sur le site dans cette bande de fréquence.

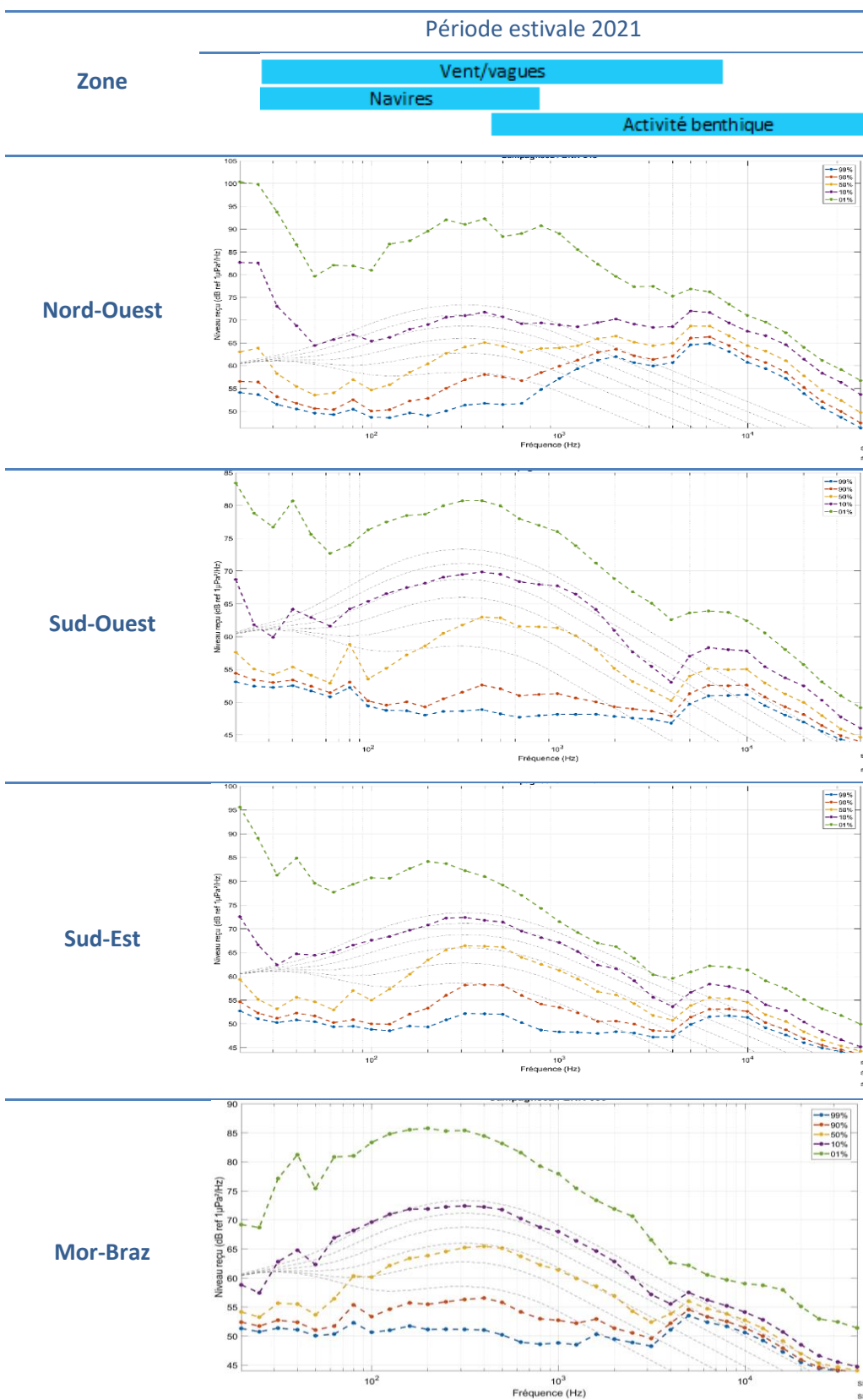


Figure 17 : Répartition fréquentielle de l'énergie acoustique mesurée lors de la période estivale 2021. Les pointillés gris correspondent au bruit environnemental proposé par le modèle de Wenz, 1962.

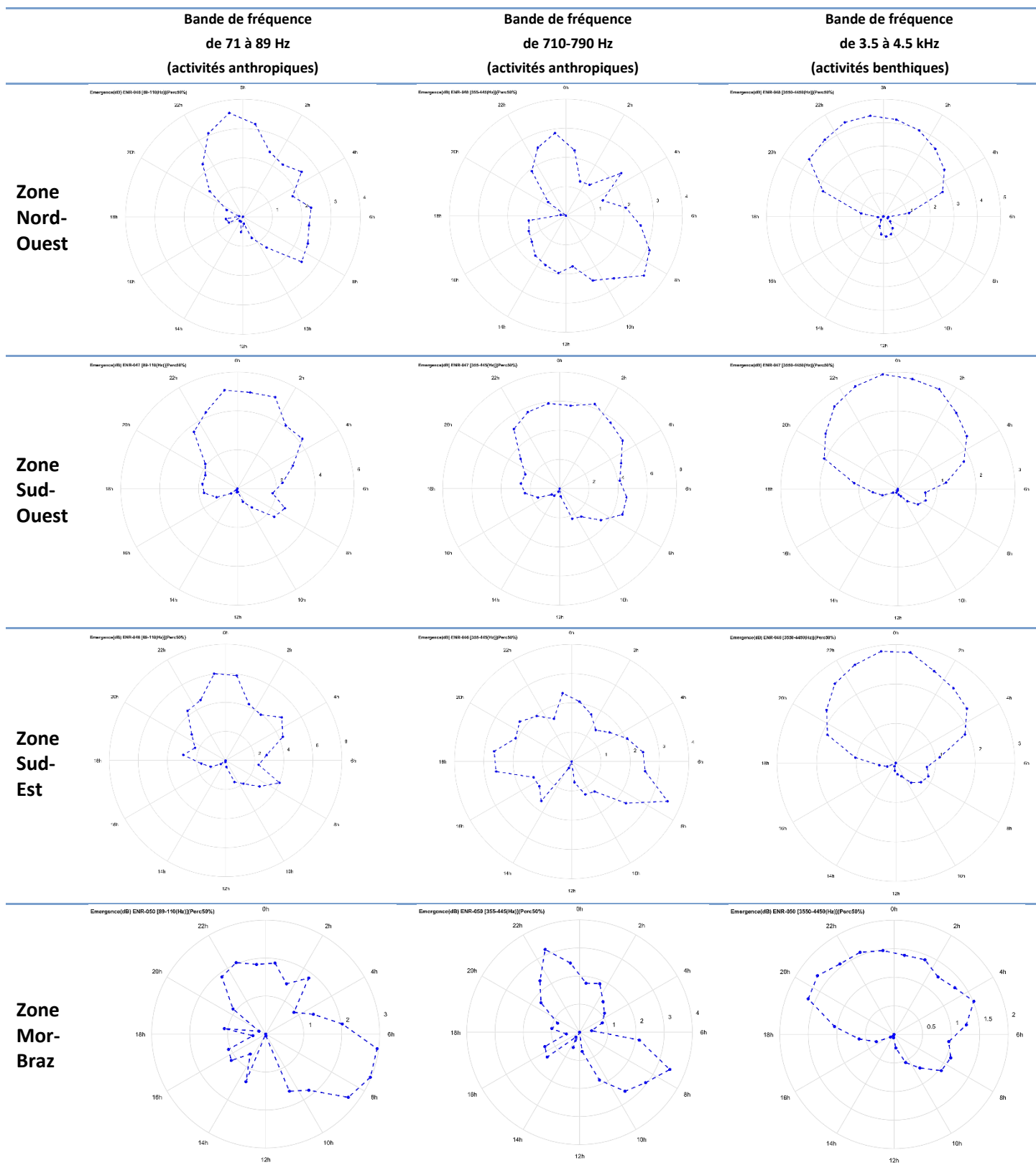


Figure 18 : Statistiques de la variation horaire de l'émergence relative du bruit par bande de fréquence durant la saison estivale 2021.

IV.2.3. Analyse du bruit et des activités du chantier – été 2021

A partir des données de planning fournies par PBG (Tableau 13), une correspondance a pu être réalisée entre les périodes de battage, ou de forage, et les niveaux de bruit perçus par les différents systèmes acoustiques. La localisation des travaux effectués lors du suivi été 2021 est visible dans la Figure 19.

Au cours de la période de suivi estival à l'été 2021, les travaux de battage ont représenté 1% du temps d'acquisition, les travaux de forage 15% du temps. D'autres travaux étaient également en cours au sein du parc éolien, impliquant la présence et la circulation d'autres navires dans la zone, comme par exemple la pose des câbles sur le fond ou l'installation de la sous-station électrique.

Afin de synthétiser l'ensemble des informations techniques et acoustiques à l'échelle de la période des mesures acoustique de la mesure MSU8, la Figure 20 ci-dessous illustre :

- ✓ Sur la partie supérieure, la distance séparant une pile du système acoustique déployé au niveau de la zone Sud-Ouest au cours de la période de mesure (Figure 20 - A);
- ✓ Sur la partie inférieure, l'évolution du niveau de bruit dans la bande de fréquence spécifique du bruit engendré par du battage ou du forage de pieux, c'est-à-dire entre 400 et 500 Hz (Figure 20 - B). Les périodes où les ateliers opèrent sont mises en évidence par une colorisation associée (jaune = forage et rouge = battage).

A titre d'exemple, le 15/08, le forage de la pile D07 est réalisé à la distance de 11km du système acoustique passif situé en Sud-Ouest (SW). Durant cette période, le niveau sonore dans la bande de 400 à 500 Hz autour de cette période montre des niveaux entre 75 et 117 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ sans toutefois identifier la source de ces élévations de bruit. Cette figure met en évidence la faible fréquence des périodes de forage et surtout de battage à l'échelle de la période de mesure acoustique. Durant cette période, de nombreux passages de navire engendrent régulièrement des élévations ponctuelles du bruit jusqu'à 130 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$.

Indépendamment de la distance, il apparaît que des événements sonores, autres que le battage et le forage, induisent des niveaux sonores variables et comparables à ceux des périodes d'activités des ateliers du chantier (Figure 20 – B). Ces événements sonores sont majoritairement associés au passage des navires du chantier, ou externes au chantier, à proximité du capteur acoustique.

En faisant une étude plus spécifique autour de la pile A01 située à 2.6 km du point de mesure de la zone Sud-Ouest (Figure 21), pile dite hybride avec une installation à la fois par forage puis par battage, les résultats montrent une émergence nulle à négligeable sur la période de forage, et une émergence significative allant jusqu'à 30 dB durant la période de battage dans la bande de fréquence entre 400 et 500Hz.

Pour cette même pile A01, le niveau sonore observé au point de mesure de la zone Mor-Braz, situé à 22.5 km de la pile, montre également une émergence de chaque coup de battage entre 3 et 5 dB (Figure 22). Le maximum d'énergie acoustique perçue se situe dans la bande de fréquence entre 200 et 900 Hz.

En complément des activités de battage et de forage, les navires support associés au chantier engendrent ponctuellement un accroissement du niveau sonore. La Figure 23 illustre la distance entre les navires Alma Kappa et Boa SubC et le capteur acoustique situé en Sud-Ouest en fonction du temps. Ces navires passent régulièrement à proximité immédiate du capteur (quelques centaines de mètres) avec une augmentation significative de l'ordre de 30 dB dans une bande de fréquence comprise entre 0 et 200 Hz. Toutefois, cette augmentation équivalente au bruit de battage est engendrée uniquement pour des distances courtes (quelques centaines de mètre) entre la source (navire du chantier) et le capteur acoustique. A l'inverse, une augmentation du même ordre de grandeur est produite pour un battage situé à 2.6 km de ce même capteur.

A titre d'explication, le navire de chantier Alma Kappa se situe le 30/08/2021 à 16:48 UTC à la distance de 1.8 km du capteur acoustique Sud-Ouest. Ce navire est le plus proche du capteur. Au même instant, depuis le capteur acoustique, le navire Innovation apparaît être au second plan à la distance de 2.2km et le navire BoaSubC apparaît au troisième plan à la distance de 7km. Du point de vue du niveau sonore, au même instant, le niveau

mesuré au point sud-Ouest est de 85 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ dans la bande de fréquence autour de 500 Hz. Cette illustration permet de faire le lien entre l'élévation du niveau sonore et l'identification possible du contributeur.

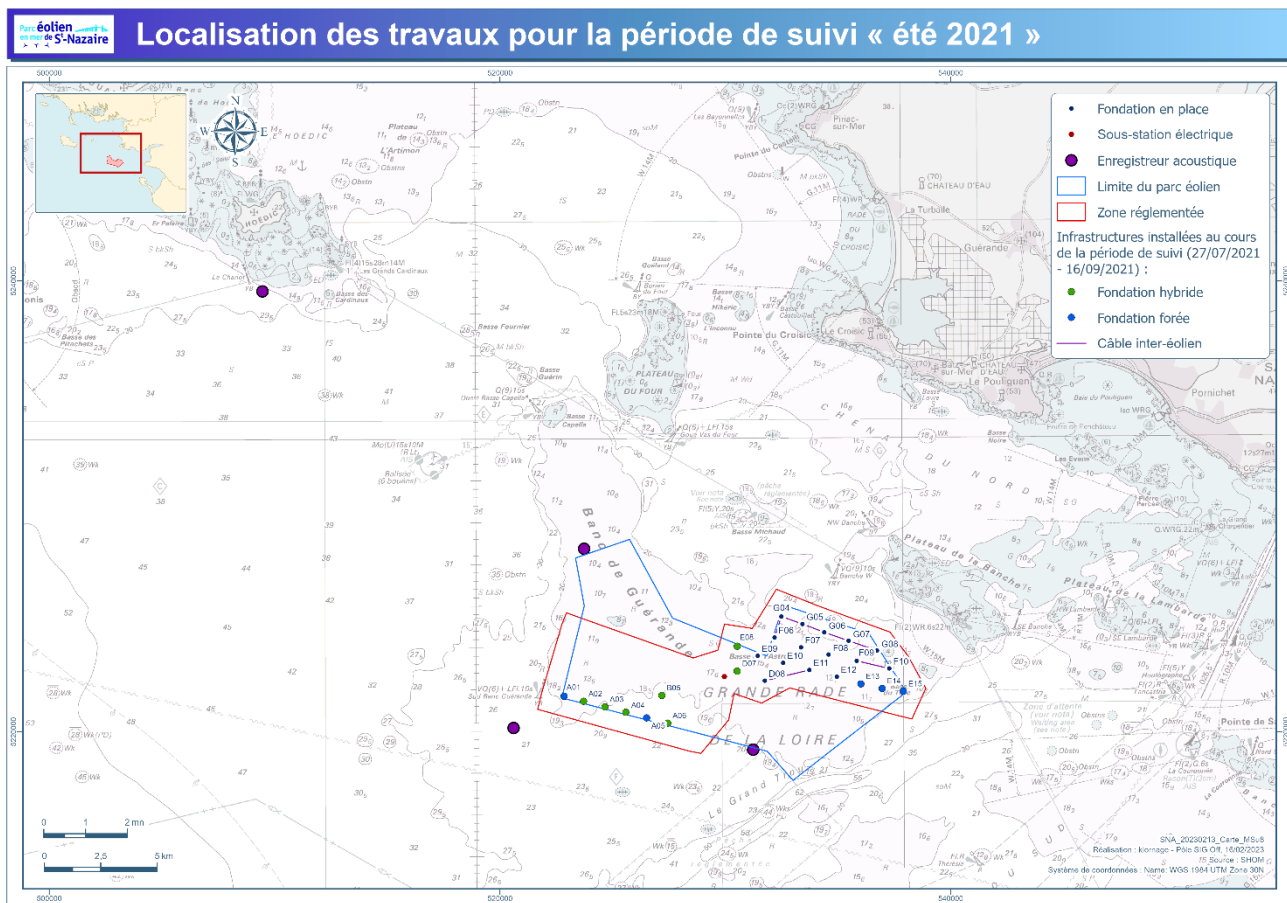


Figure 19 : Localisation des travaux pour la période de suivi été 2021.

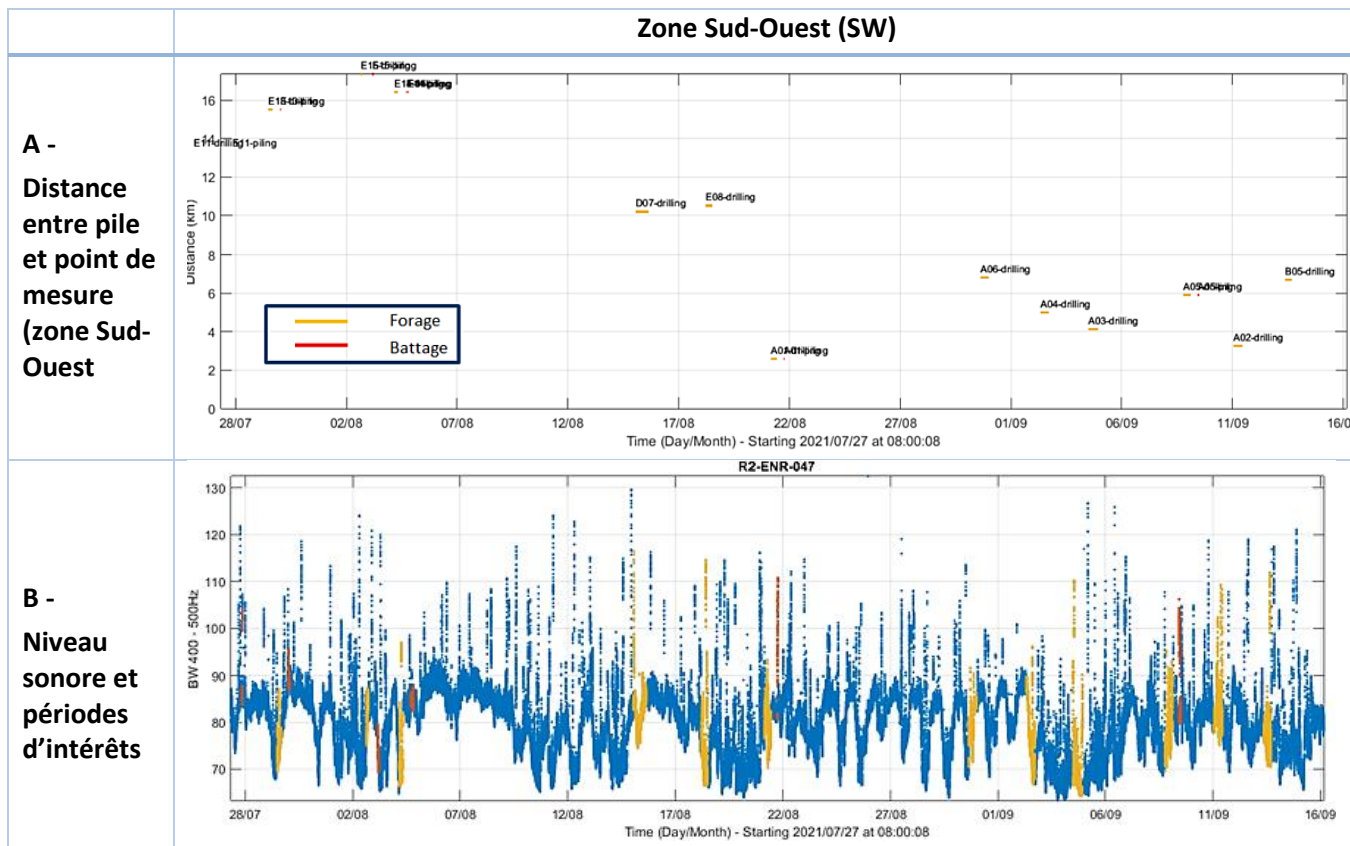


Figure 20 : Vue globale : A (en haut) –Distance entre la pile et le système acoustique situé au niveau de la zone Sud-Ouest.

B (en bas) - Evolution du niveau sonore dans la bande de fréquence 400-500Hz et identification des périodes de battage et de forage.

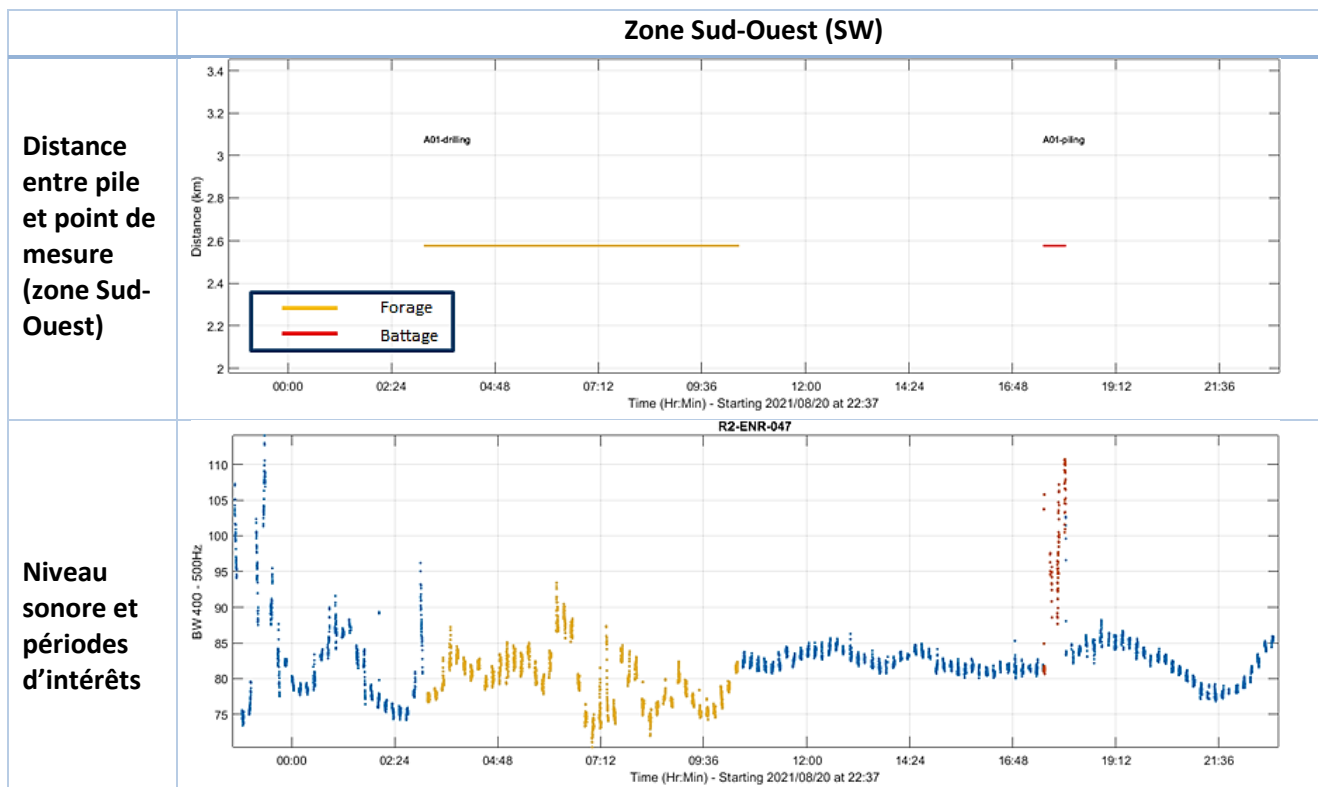


Figure 21 : Analyse spécifique de la perception du bruit au niveau de la zone Sud-Ouest lors du forage puis du battage de la pile A01.

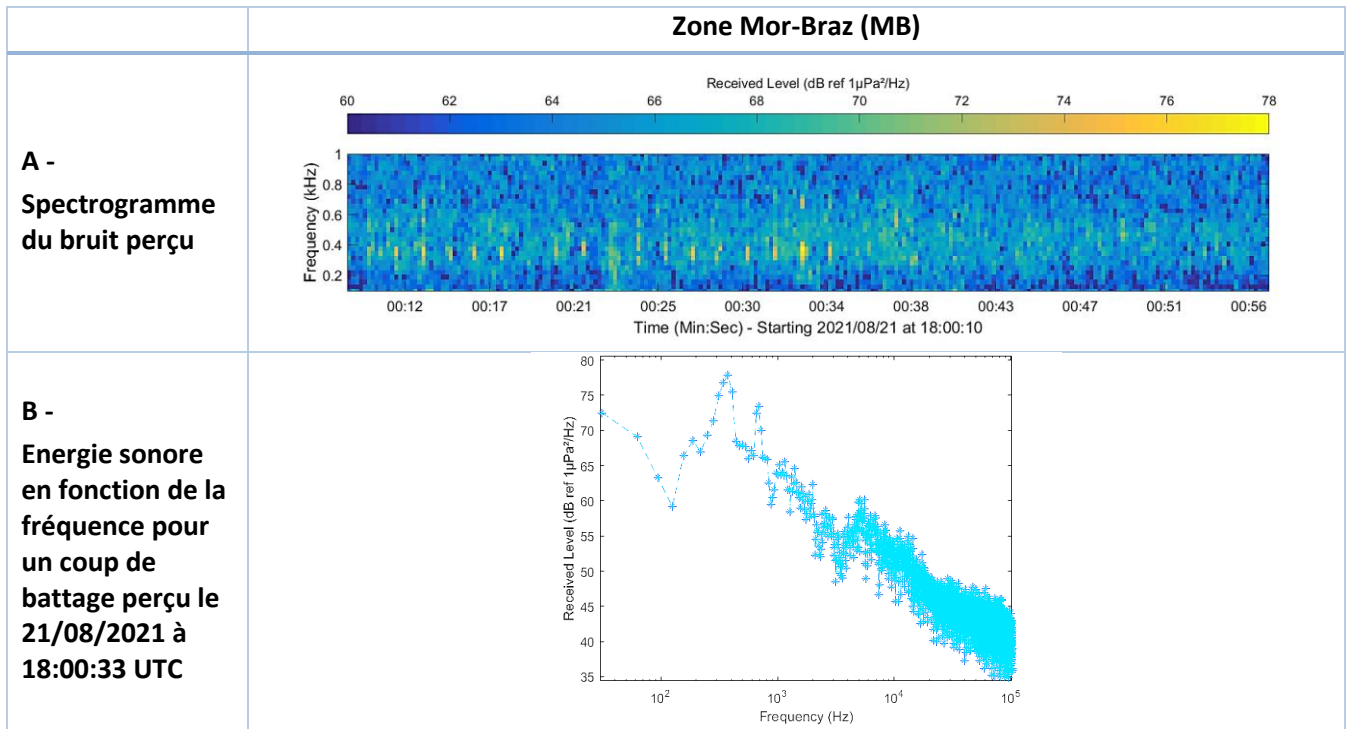


Figure 22 : Perception du bruit de battage au niveau de la zone Mor-Braz située à 22.5km du battage de la pile A01.

A (en haut) - Spectrogramme en fin de battage. B (en bas) - Spectre d'un coup de battage à 18:00:33 UTC.

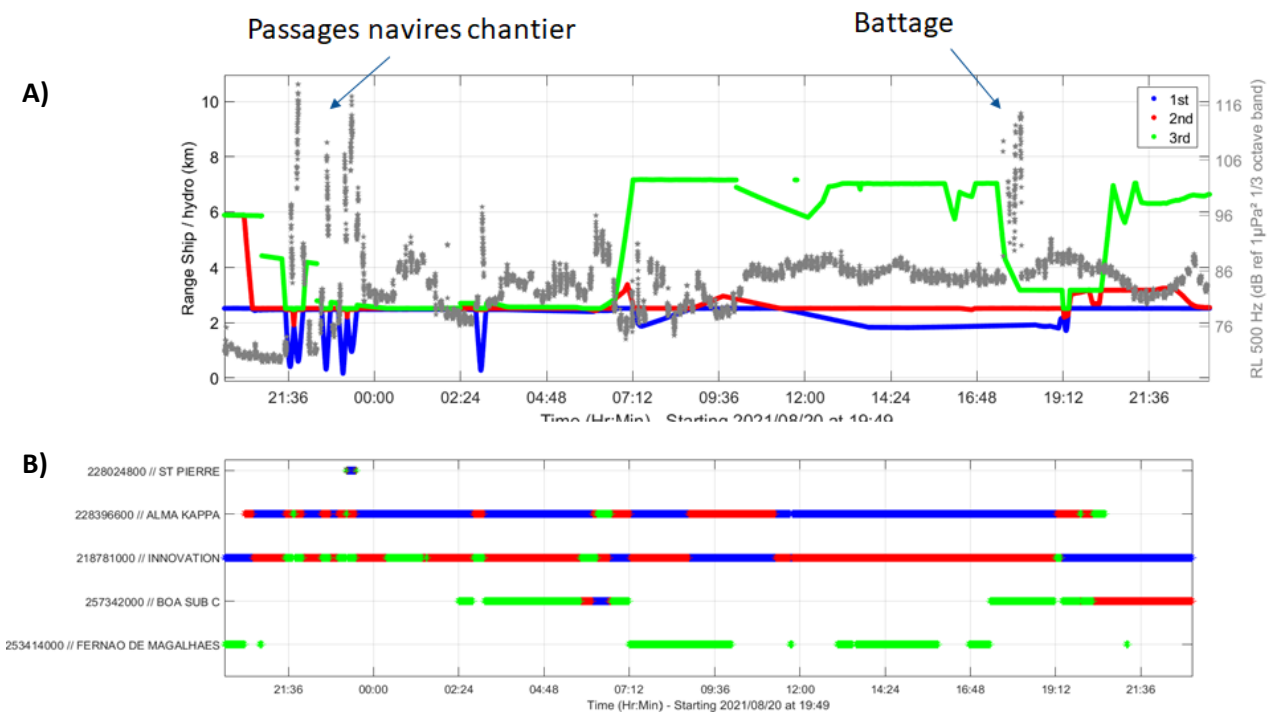


Figure 23 : A – (en haut) Niveau sonore au niveau de la zone Sud-Ouest à la fréquence de 500 Hz (courbe grise), et distance entre le capteur acoustique et les navires du chantier lors de l’opération d’enfoncement de la pile A01. En bleu : navire le plus proche du capteur acoustique ; En rouge : navire au second plan; En vert : navire au troisième plan. .

B (en bas) - Identification des navires du chantier passant à proximité du capteur acoustique, à corréliser avec la figure A. En bleu : navire le plus proche; En rouge : navire au second plan ; En vert : navire au troisième plan.

IV.2.4. Analyse du bruit de battage – été 2021

Dans le cadre des mesures spécifiques de battage, en complément des données acquises par les bouées smartPAM à la distance de 750 m de la pile dans le cadre de la mesure de suivi MSU7, un capteur acoustique placé à 1650 m permet de compléter les informations en fonction de la distance.

La Figure 25 illustre l'évolution du bruit à 1650 m (R2) de la pile G08 sur une longue période comprenant la période de battage, mais également le niveau sonore perçu uniquement au moment du battage par les systèmes smartPAM (bouée B2 et B6) déployés à 750 m dans le cadre de la mesure de suivi MSU7. Le niveau sonore perçu avant et après le battage en R2 montre des variations significatives engendrées ;

- ✓ Par le courant de marée (période de mesure avant battage) ;
- ✓ Par le coup de vent, à partir du 23 juillet 2021, avec une vitesse de vent de 10 m/s engendrant une augmentation significative du bruit ambiant de l'ordre de 20 dB. A titre de comparaison, au moment de ce coup de vent, le niveau sonore de battage est seulement supérieur de 10 dB au bruit ambiant en sachant que la source de battage se situe à 1650 m et que la source de bruit engendré par le vent se situe à quelques mètres du capteur. Cette constatation à 1650 m de l'atelier de battage démontre ainsi qu'une source de bruit d'intensité médiane situé à proximité immédiate d'un capteur peut engendrer un niveau de bruit quasi-équivalent au bruit engendré par une source de bruit intense située à plusieurs kilomètres.

A partir de la série temporelle des niveaux sonores de battage et des distances d'écoute, une loi de régression est estimée. Dans le cas de la pile G08 (Figure 26), la courbe bleue illustre la loi des pertes de propagation utilisées uniquement dans le cas de la mesure de MSU7 afin d'évaluer le niveau sonore à la source, c'est-à-dire au niveau de la fondation en cours de battage. Cette loi est très spécifique à la mesure MSU7 qui ne s'intéresse qu'aux distances entre 0 et 750m de l'atelier.

La courbe rouge donne la loi des pertes avant calibration mais adaptée pour les distances de propagation de la mesure MSU8 (de 0 à plusieurs kilomètres), et la courbe orange donne la loi des pertes calibrées après intégration des données de mesure. Les mesures en mer montrent des pertes acoustiques (courbe orange) très légèrement supérieures à celles prédites (courbe rouge) : la loi des pertes avant calibration est donc plus conservatrice (niveaux sonores plus élevés) que la loi des pertes intégrant la mesure in situ. La loi des pertes obtenue, exprimée en dB, est de la forme :

$TL = A * \log_{10}(r) + B * r$, avec $A = 15.2$ et $B = 0.00068$, r étant la distance à la source de bruit exprimée en mètre.

A partir des mesures in-situ et de la calibration, sans tenir compte de la sensibilité auditive des espèces, une cartographie de l'empreinte sonore des ateliers de battage est établie par la plateforme Quonops. Deux types de battage sont analysés, (1) le battage de la pile G08 (battage complet sur l'ensemble de l'enfoncement) qui a engendré des niveaux sonores plus intenses que (2) le battage de la pile A01 (enfoncement hybride). Les cartes illustrées dans le Tableau 18 montrent un coup de battage pour lequel l'énergie sonore émise SEL05 correspond à l'énergie sonore engendré 5% du temps de la séquence de battage.

Dans le cas de la pile A01, avec un coup de battage SEL05 de 196 dB ref $1\mu Pa^2s$, la limite de perception du bruit de battage varie entre 20 et 34 km en fonction de la direction. Une cartographie similaire est effectuée pour un coup de battage de la pile G08 avec un niveau émis SEL05 de 209 dB ref $1\mu Pa^2s$. Dans ce cas, le bruit de battage est perçu jusqu'à 45 km quasi uniformément dans toutes les directions à l'exception de la direction Nord-Est.

Pour rappel, le niveau d'exposition sonore émis par l'activité de battage utilisé lors de l'étude d'impact était de 226 dB ref $1\mu Pa^2s@1m$. Cette valeur est supérieure de 17 dB par rapport à la valeur estimée suite aux mesures sur site. Cette différence est probablement induite par les hypothèses conservatrices prises sur la base des connaissances bibliographiques disponibles au moment de l'étude d'impact en 2013, et par la mise en œuvre de la solution de réduction MODIGA développée par DEME. Cette solution de réduction comprend d'une part un coffre-guide qui encercle le pieu sur toute la hauteur de la colonne d'eau, et d'autre part, un système d'injection d'air à proximité immédiate du fond.

La cartographie en tenant compte de la sensibilité auditive des espèces est proposée en Annexe.



Figure 24 : Illustration du système MODIGA développé par DEME pour réduire le bruit à la source

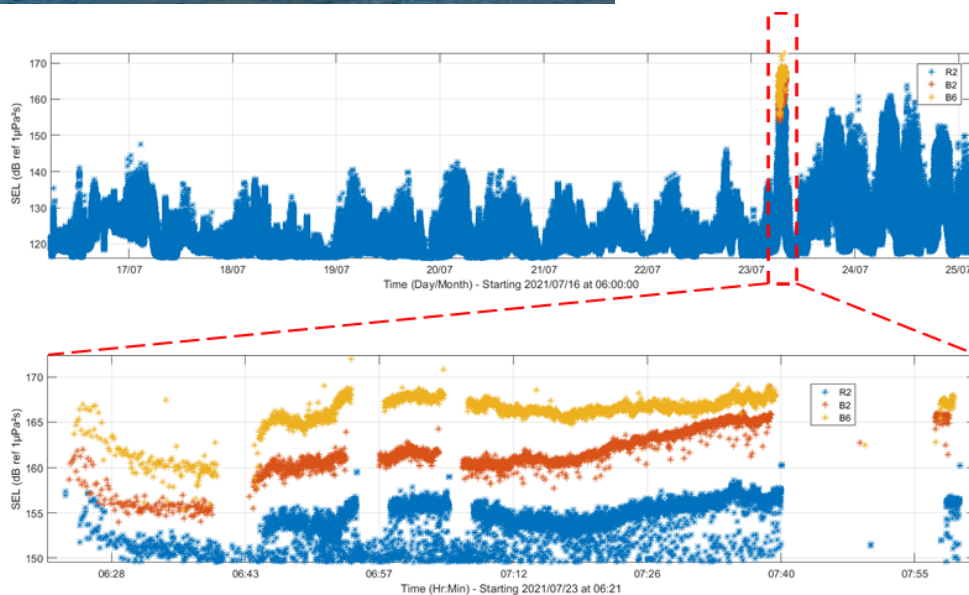


Figure 25 : Evolution du niveau d'exposition sonore en fonction du temps et des capteurs acoustiques. Zoom sur la période de battage de la pile G08.

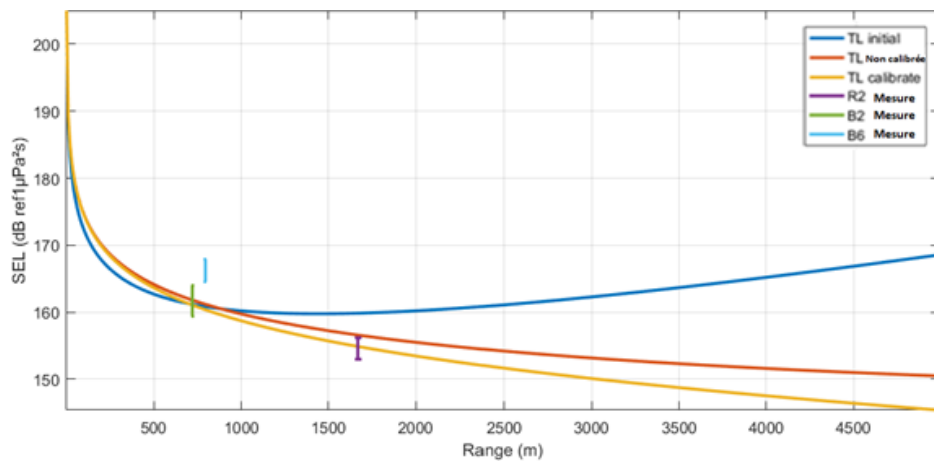
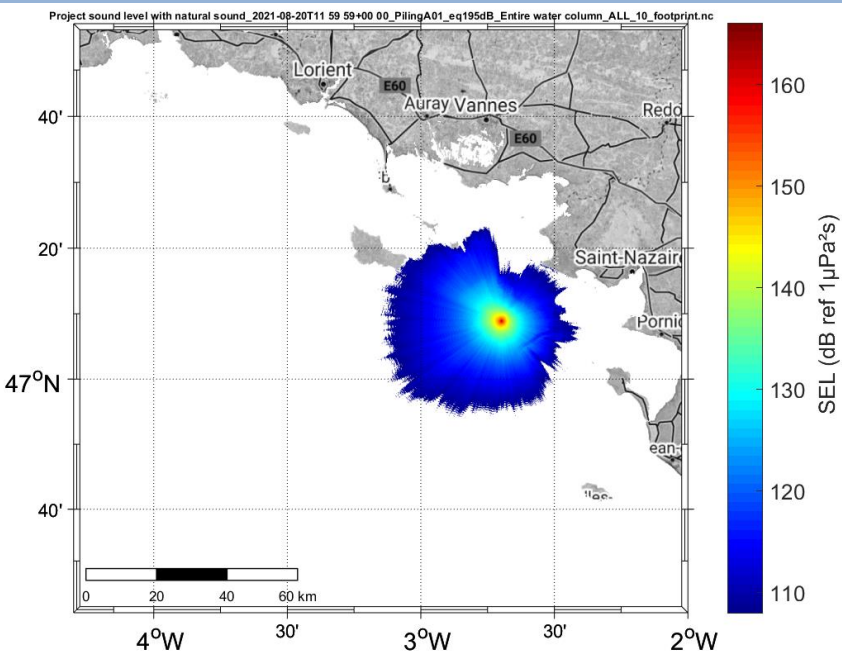
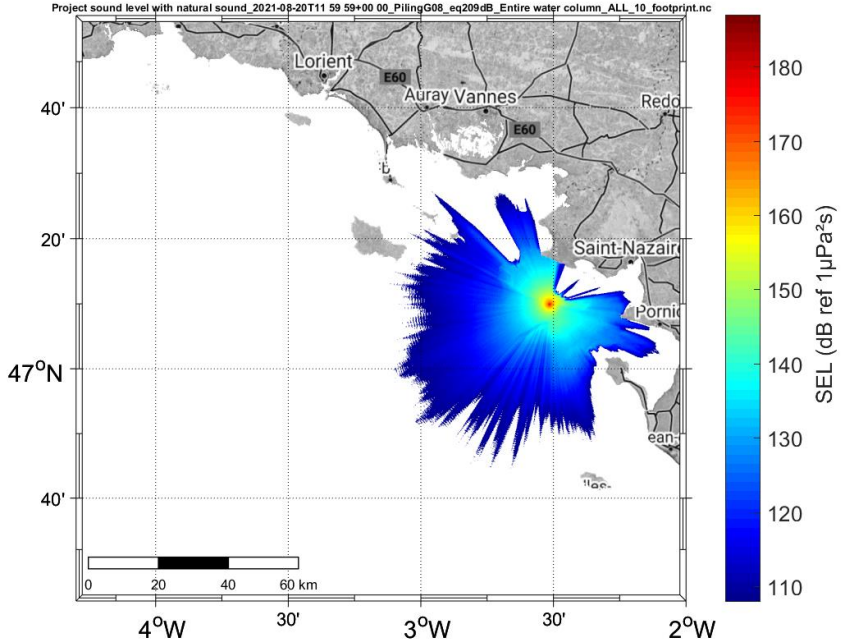


Figure 26 : Estimation de la loi des pertes de propagation à partir des mesures. La courbe orange spécifie la loi calibrée après intégration des mesures in situ.

Tableau 18 : Empreinte sonore d'un coup de battage en fonction du type d'enfoncement.

Empreinte sonore d'un coup de battage sans notion d'audiogramme	
<p>Battage de la pile A01 (enfoncement hybride) SEL05= 196 dB ref 1µPa²s@1m</p>	
<p>Battage de la pile G08 (battage complet) SEL05= 209 dB ref 1µPa²s@1m</p>	

IV.2.5. Analyse du bruit de forage – été 2021

Les piles B04 et B03 ont fait l'objet d'un suivi acoustique dans le cadre des mesures spécifiques du bruit d'un atelier de forage lors de la mesure MSU8. En raison d'un phénomène de masquage partiel par le navire Boa SubC, les mesures effectuées lors du suivi acoustique de la pile B04 ne sont donc pas exploitables. Dans ce contexte, l'analyse des résultats porte uniquement sur le suivi du forage de la pile B03 qui s'est déroulé en deux parties espacées de quelques heures.

A partir des informations de planning fournies par PBG, la Figure 27 montre l'évolution du bruit perçu à 750 m et 1500 m de la pile B03 dans la bande de fréquence spécifique du bruit engendré par du forage, c'est-à-dire

entre 400 et 1250 Hz, et en particulier durant les périodes de forage. La première phase de forage met en évidence un accroissement très variable de l'ordre de 10 à 15 dB et une graduation dépendante de la distance. Le niveau perçu à 750 m est plus intense que celui observé à 1500 m. Pour la seconde phase de forage, lors d'un enfoncement plus conséquent, le bruit perçu met en évidence une émergence inférieure à 10 dB. La fin de la seconde phase de forage (à partir de 04h00 UTC) montre des niveaux comparables entre les deux capteurs acoustiques situés à des distances différentes. Ce constat permet de conclure que le bruit en fin de forage est significativement moins intense et très faiblement perceptible à 1500 m de l'atelier.

L'analyse fine en bande de fréquence lors de la première phase de forage met en évidence l'émergence de raies spécifiques à des fréquences caractéristiques de 1000 Hz, 1350 Hz et 1700 Hz, associées très probablement au diamètre et à la vitesse de rotation de la foreuse. La Figure 28 illustre la présence de ces raies pour un capteur placé à 1500 m de l'atelier de forage.

Le bruit perçu avant et pendant la phase de forage pour chaque bande de fréquence (Figure 29) peut être comparé de manière statistique sur une période significative. La courbe bleue correspond à la comparaison entre le bruit le plus intense du forage (percentile 0%) et le niveau ambiant médian (percentile 50%) avant travaux. La courbe rouge correspond à la comparaison entre le bruit médian des travaux (percentile 50%) et le niveau ambiant médian (percentile 50%) avant travaux. Sur la base des écoutes, l'analyse montre une émergence pouvant aller jusqu'à 30 dB dans la bande de 0 à 200 Hz par l'activité du navire support (navire Innovation), et une émergence allant jusqu'à 25 dB à 750 m à la fréquence spécifique de 1kHz par l'activité de la foreuse. Ce pic d'émergence dans une moindre mesure est également observable à 1700 Hz. En dehors de ces plages fréquentielles, l'émergence de cet atelier est inférieure à 7 dB.

A partir de ces mesures, il apparaît difficile de retrouver un spectre d'émission représentatif de l'activité de forage étant donné les variabilités de bruit en fonction du temps et du point de mesure acoustique.

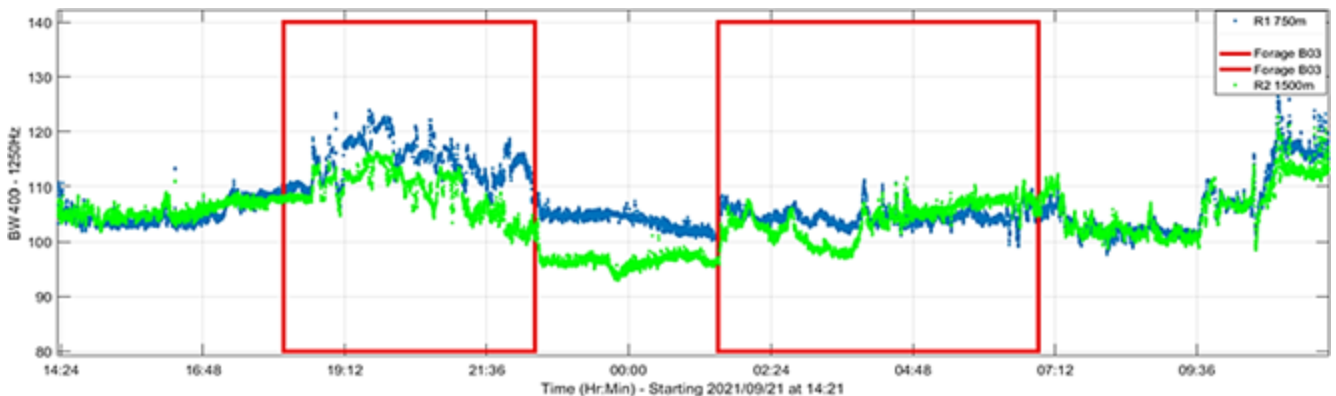


Figure 27 : Bruit perçu à 750 m et 1500 m de la pile B03, et identification des deux séquences de forage de cette pile.

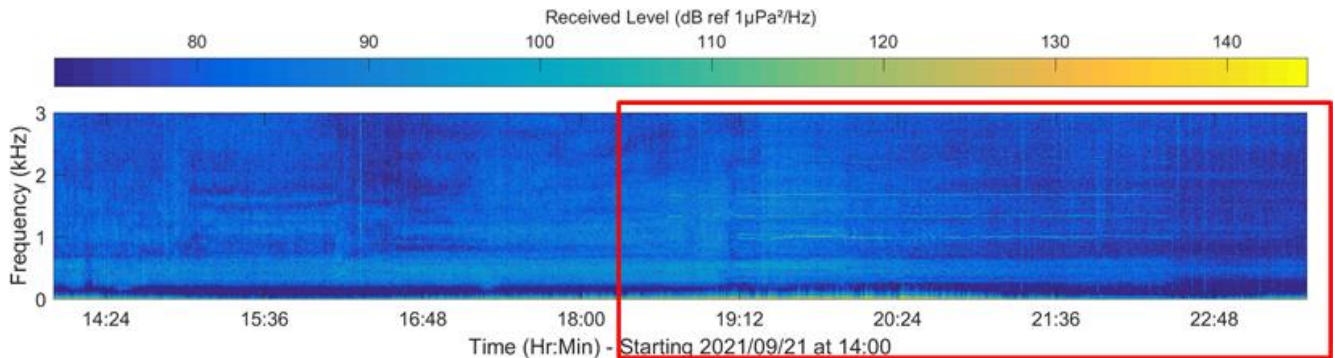


Figure 28 : Spectrogramme de la première phase de forage en B03 pour le capteur placé à 1500 m de la pile. Présence de raies spécifiques à 1000, 1350 et 1700 Hz.

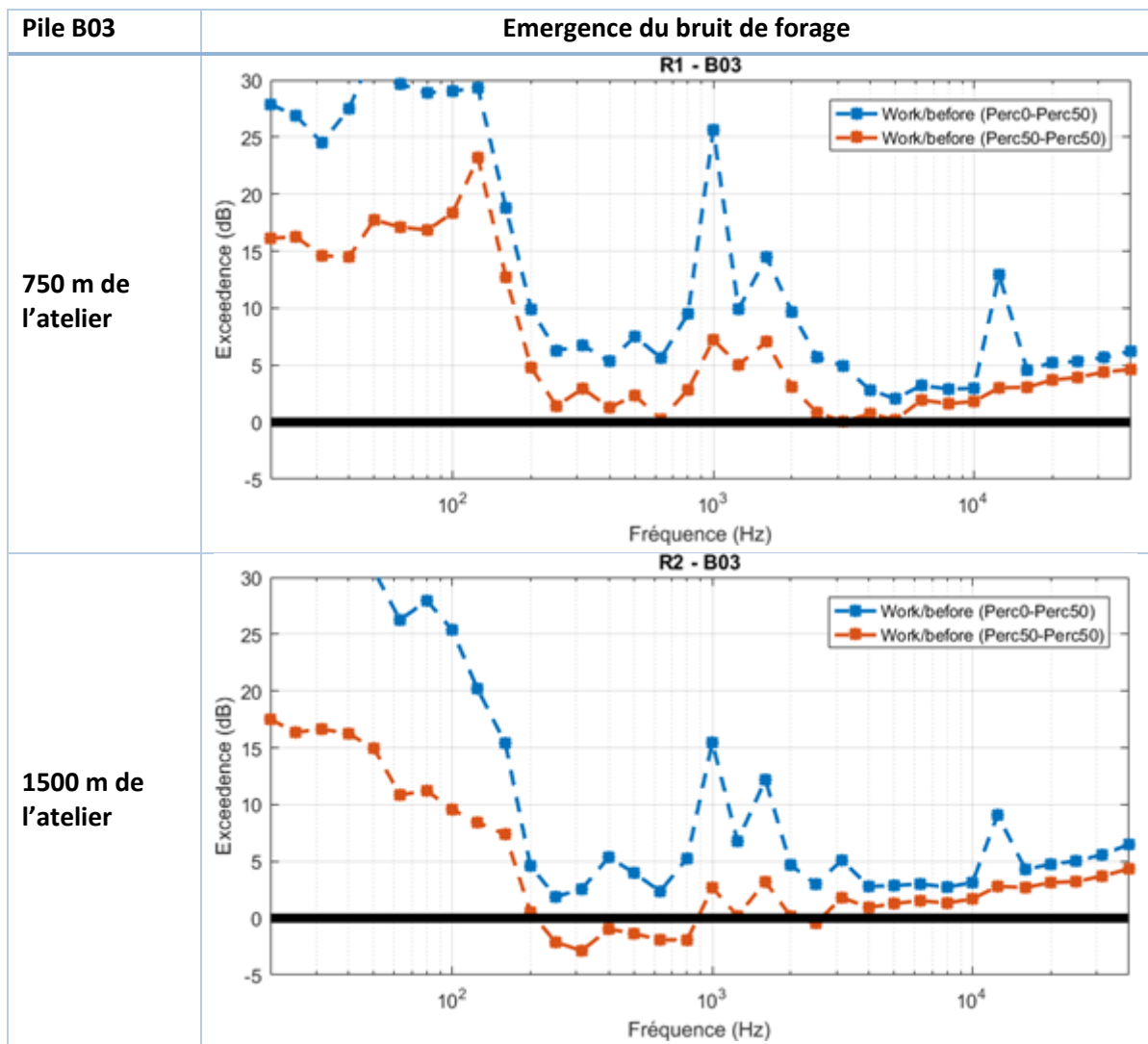


Figure 29 : Emergence statistique du bruit du forage en fonction de la fréquence et en fonction du point de la distance au capteur.

De manière complémentaire, des mesures supplémentaires ont été effectuées par la société DEME à l'aide des 6 bouées smartPAM déployées autour de la pile A05 entre le 08/09/2021 à 17:00 UTC et le 09/09/2021 à 04:00 UTC. Pendant cette période de mesure, le forage s'est déroulé entre 19 :00 UTC et 03 :00 UTC. La période précédant l'activité de forage est associée à la phase préparatoire de l'atelier.

Le Tableau 19 synthétise les niveaux sonores perçus à 750m sous forme de statistique (percentile) afin de traduire la variabilité durant la période de mesure. Le niveau sonore mesuré durant la période préparatoire (131.3 dB ref 1µPa) est significativement au-dessus (+23.3dB) du niveau de bruit existant sur zone (médiane de l'ordre de 108 dB ref 1µPa) et est induit par la présence de bruit de propulsion et de machinerie. Ainsi dans ce contexte, le forage induit une émergence de 9,4 dB et de 32 dB en comparaison respectivement du bruit avant forage et du bruit existant sur zone. En utilisant une compensation des pertes acoustiques modélisées, le niveau sonore médian émis par le forage à un mètre est de 184 dB ref 1µPa@1m et de manière épisodique (10% du temps) atteint 187 dB ref 1µPa@1m. Ces valeurs sont en accord avec celles utilisées lors de l'étude d'impact (valeur médiane de 183 dB ref 1µPa@1m).

Tableau 19 : Synthèse des estimations de niveaux sonores induits par le forage de la pile A05.

	Percentile (%) (proportion du temps)	
	50 (médiane)	10 (rare)
Avant forage (dB ref 1µPa)	131,3	136,2
Durant forage (dB ref 1µPa)	140,8	143,7
Emergence @750m (dB)	9,4	7,5
Niveau sonore estimé (dB ref 1µPa@1m)	184,0	187,0
Emergence du forage @ 1m (dB)	52,7	50,8

La description en fréquence de l'émergence de l'atelier de forage en comparaison du bruit perçu lors de la phase préparatoire montre un accroissement significatif jusqu'à 20 dB pour les très basses fréquences (< 100 Hz) puis une décroissance de l'émergence en fonction de la fréquence. L'atelier de forage entraîne une émergence variable pour les fréquences jusqu'à 10 kHz.

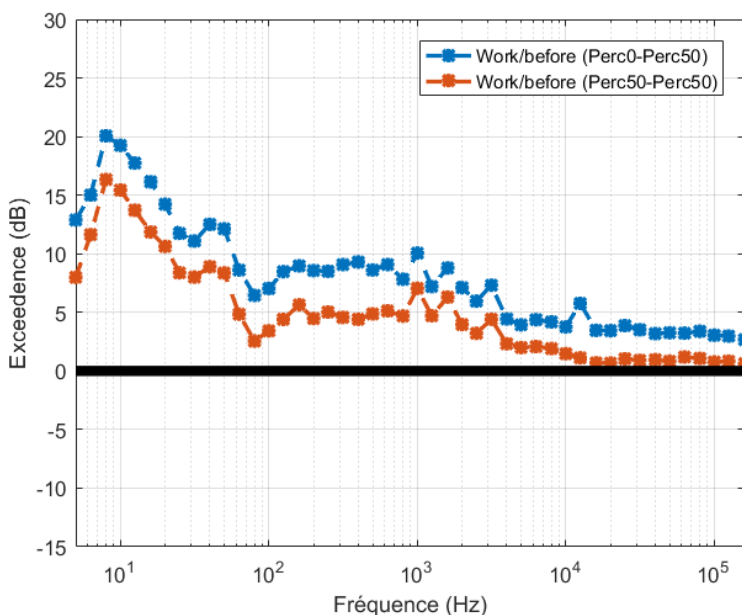
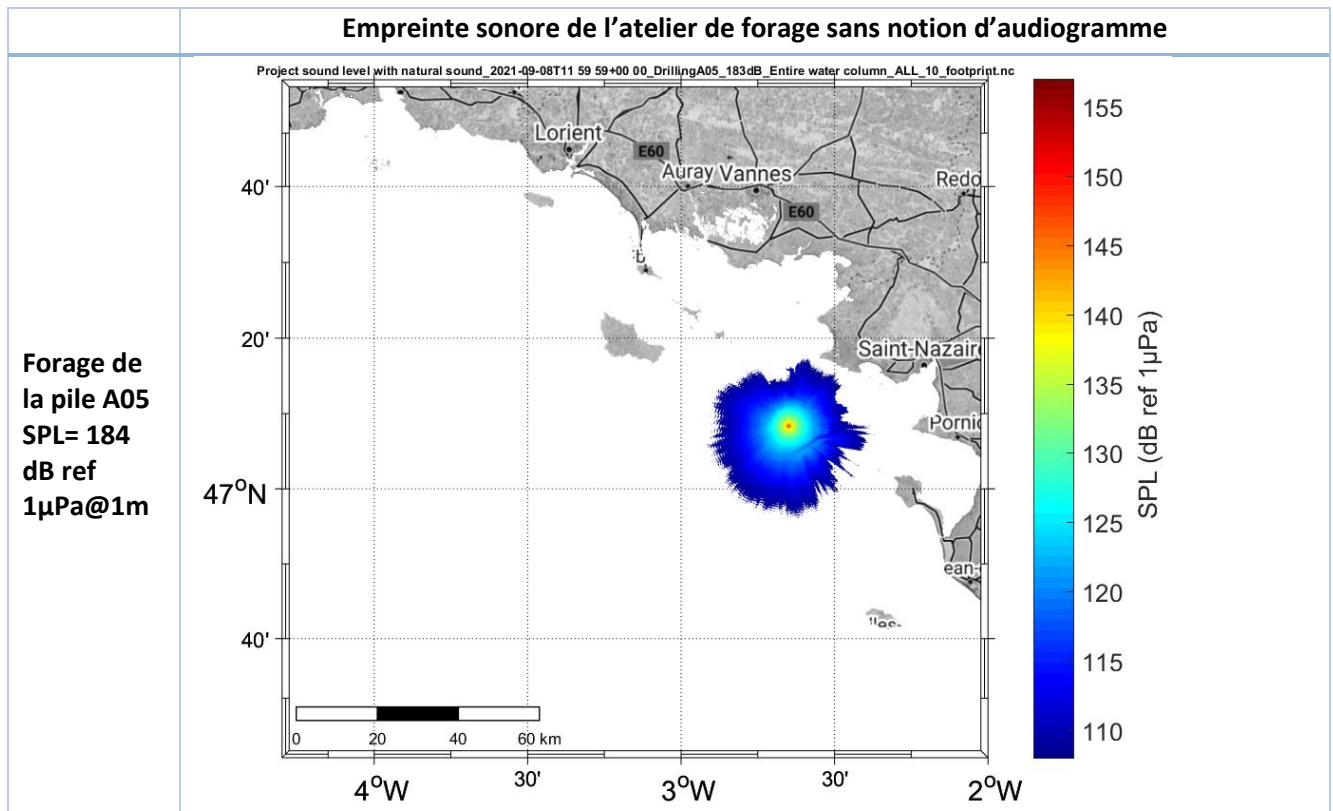


Figure 30 : Emergence statistique de l'atelier de forage en fonction de la fréquence.

A partir des niveaux mesurés et de l'estimation du niveau médian émis de 184 dB ref 1 μ Pa@1m, une cartographie de l'empreinte sonore du forage est proposée (Tableau 18). Avec ces hypothèses, la cartographie donne une perception maximum du bruit jusqu'à 20 km et une perception médiane jusqu'à 12km.

La cartographie en fonction de la sensibilité auditive des espèces est proposée en Annexe.

Tableau 20 : Empreinte sonore de l'atelier de forage.



IV.2.6. Comparaison des niveaux mesurés en regard de l'état de référence – été 2021

Le Tableau 21 montre les écarts de niveaux mesurés par rapport à l'été 2019, période de mesures de l'état de référence.

Le Tableau 22 propose une synthèse des écarts des niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) mesurés entre l'été 2021 et l'été 2019. Sa construction est basée sur le Tableau 21 :

- ✓ L'indicateur « niveaux très courants » est obtenu en moyennant les écarts mesurés pour les percentiles 99 et 90%;
- ✓ L'indicateur « niveaux médians » correspond à l'écart au percentile 50%;
- ✓ L'indicateur « niveaux très rares » est obtenu en moyennant les écarts mesurés pour les percentiles 1 et 10%.

En comparaison des valeurs mesurées aux mêmes emplacements (à l'exception de la zone Mor-Braz) durant l'état de référence, les mesures actuelles montrent une diminution moyenne variant de 4.5 à 7.9dB des niveaux de bruit pour les percentiles faibles à médians.

La Figure 31 montre la comparaison des spectres acoustiques mesurés lors de l'été 2021 avec ceux mesurés lors de l'été 2019 (état de référence), dans la zone Nord-Ouest, pour les percentiles 1% (courbe bleue), 50% (courbe jaune) et 99% (courbe orange).

Une baisse importante (-7dB en moyenne) des niveaux sonores compris dans les fréquences entre 4 et 20kHz est visible pour les percentiles 99 à 50 % : elle est probablement le résultat d'une forte diminution de l'activité

benthique dans le périmètre d'étude vis-à-vis de celle rencontrée lors de l'état de référence. Cet écart conséquent, rencontré dans toutes les zones d'étude (hors Mor Braz) explique alors la diminution des niveaux de bruit pour les percentiles faibles à médians.

Concernant les percentiles élevés (1 et 10%), on note une diminution (moyenne des écarts pour les percentiles 1 et 10%) des niveaux sonores allant de 4.7dB (Sud-Est) à 13.4dB (Sud-Ouest), explicable par la baisse de la navigation à l'intérieur du périmètre du parc éolien. La zone Nord-Ouest ayant été la plus impactée par les travaux lors de l'été 2021, voit ses niveaux forts proches de ceux rencontrés lors de l'état de référence.

Tableau 21 : Différences de niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) entre l'été 2021 (travaux) et l'été 2019 (référence), pour les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est (exprimés en dB ref 1µPa²).

Percentile (%)		100	99	90	75	50	25	10	1	0
Nord-Ouest	Eté 2021-ref (dB)	-13,1	-6,1	-5,7	-5,3	-4,5	-3,4	-2,7	5,1	10,9
	Eté 2019-ref (dB)	-5,6	-6,6	-7,5	-7,7	-7,8	-9,8	-13,1	-12,1	5,8
Sud-Ouest	Eté 2021-ref (dB)	-7,7	-7,9	-7,9	-7,7	-7,2	-6,7	-6	-3,4	13,6
	Eté 2019-ref (dB)									
Mor-Braz	Absence de système de mesure durant l'état de référence									

Tableau 22 : Synthèse des écarts de niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) entre l'été 2021 (travaux) et l'été 2019 (référence), pour les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est (exprimés en dB ref 1µPa²).

		Niveaux faibles	Niveaux médians	Niveaux forts
Nord-Ouest	Eté 2021 - été 2019 (dB)	-5,9	-4,5	1,2
	Eté 2019 - été 2021 (dB)	5,9	4,5	-1,2
Sud-Ouest	Eté 2021 - été 2019 (dB)	-7,1	-7,8	-12,6
	Eté 2019 - été 2021 (dB)	7,1	7,8	12,6
Sud-Est	Eté 2021 - été 2019 (dB)	-7,9	-7,2	-4,7
	Eté 2019 - été 2021 (dB)	7,9	7,2	4,7

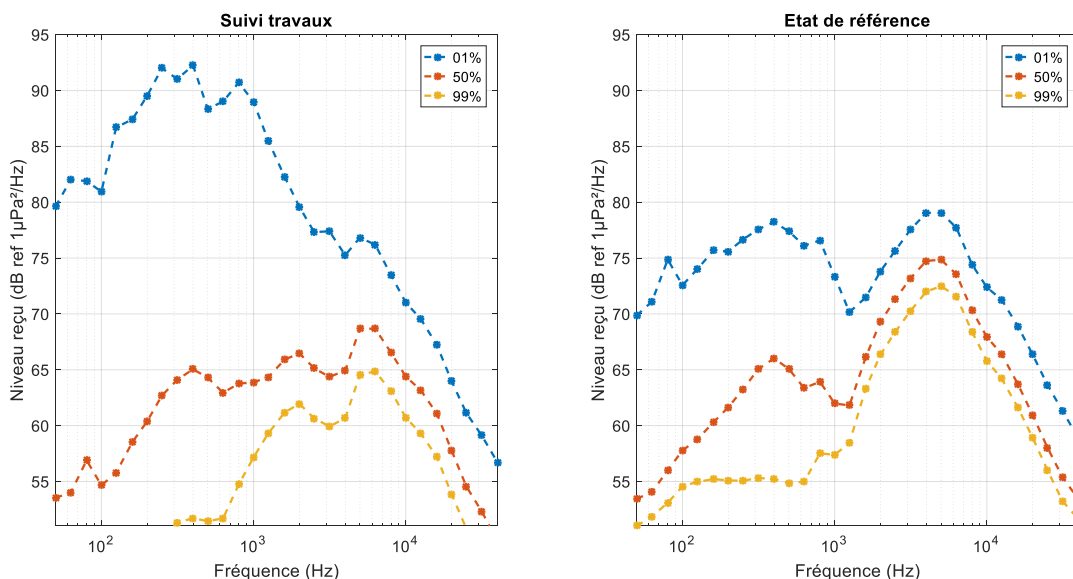


Figure 31 : Comparaison des répartitions spectrales des niveaux mesurés dans la zone Nord-Ouest lors de l'été 2021 (travaux, à gauche) et lors de l'été 2019 (état de référence, à droite).

IV.3. Période hiver 2022

IV.3.1. Analyse du bruit ambiant large bande – hiver 2022

La Figure 32 montre l'évolution des niveaux sonores large bande (entre 20 Hz et 40kHz) mesurés par les enregistreurs acoustiques autonomes, en fonction des zones.

Dans toutes les zones d'étude, le bruit permanent (ou bruit environnemental, courbe rouge) est dépendant majoritairement de la météo (Figure 33, Figure 34 bas). La zone Nord-Ouest voit également son bruit permanent dépendre de l'activité benthique, en hautes fréquences.

A ce bruit permanent, viennent se superposer (courbe bleue) :

- ✓ Les passages et stationnement des navires projet dans les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est, qui engendrent localement des augmentations du niveau sonore jusqu'à 140dB ref 1 μ Pa². Ces activités sont visibles notamment le 30 Janvier, le 2 Février, le 12 Février, et le 2 Mars, comme illustré dans les spectrogrammes de la Figure 34 ;
- ✓ Des activités anthropiques diverses correspondant à des bruits forts et courts (de 5 à 15min), essentiellement liés aux passages de navires. Ces derniers sont visibles jusqu'à mi-février dans la zone Mor-Braz.

Le 8 Février à 14h47 UTC, le navire projet « Boa Sub C » circule au-dessus de l'hydrophone de la zone Nord-Ouest et fait atteindre ponctuellement le niveau sonore à plus de 150dB ref 1 μ Pa², comme illustré dans la Figure 34.

A partir du 4 Février, un phénomène de déplacement sédimentaire sur le fond marin vient perturber les mesures des zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est. Le déplacement sédimentaire sur le fond marin engendre des bruits intenses et fréquents vraisemblablement liés au contact des particules sédimentaires avec l'hydrophone. Ces bruits viennent masquer les autres sources de bruit dans le secteur.

L'hydrophone de la zone Mor-Braz, immergé à une hauteur d'eau supérieure, est préservé de ce phénomène.

Les Tableau 23 à Tableau 26 donnent la répartition statistique du bruit large bande durant la saison hivernale pour chaque zone d'étude.

- ✓ Les niveaux médians sont respectivement de 107.9dB ref 1 μ Pa² (zone NW), 102.1dB ref 1 μ Pa² (zone SW), 101.6dB ref 1 μ Pa² (zone SE) et 99.7dB ref 1 μ Pa² (zone MB).
- ✓ Les niveaux quasiment les plus forts (1% du temps) atteignent respectivement 128.8 dB ref 1 μ Pa² (zone NW), 122.3 dB ref 1 μ Pa² (zone SW), 119.6 dB ref 1 μ Pa² (zone SE) et 109.6 dB ref 1 μ Pa² (zone MB).

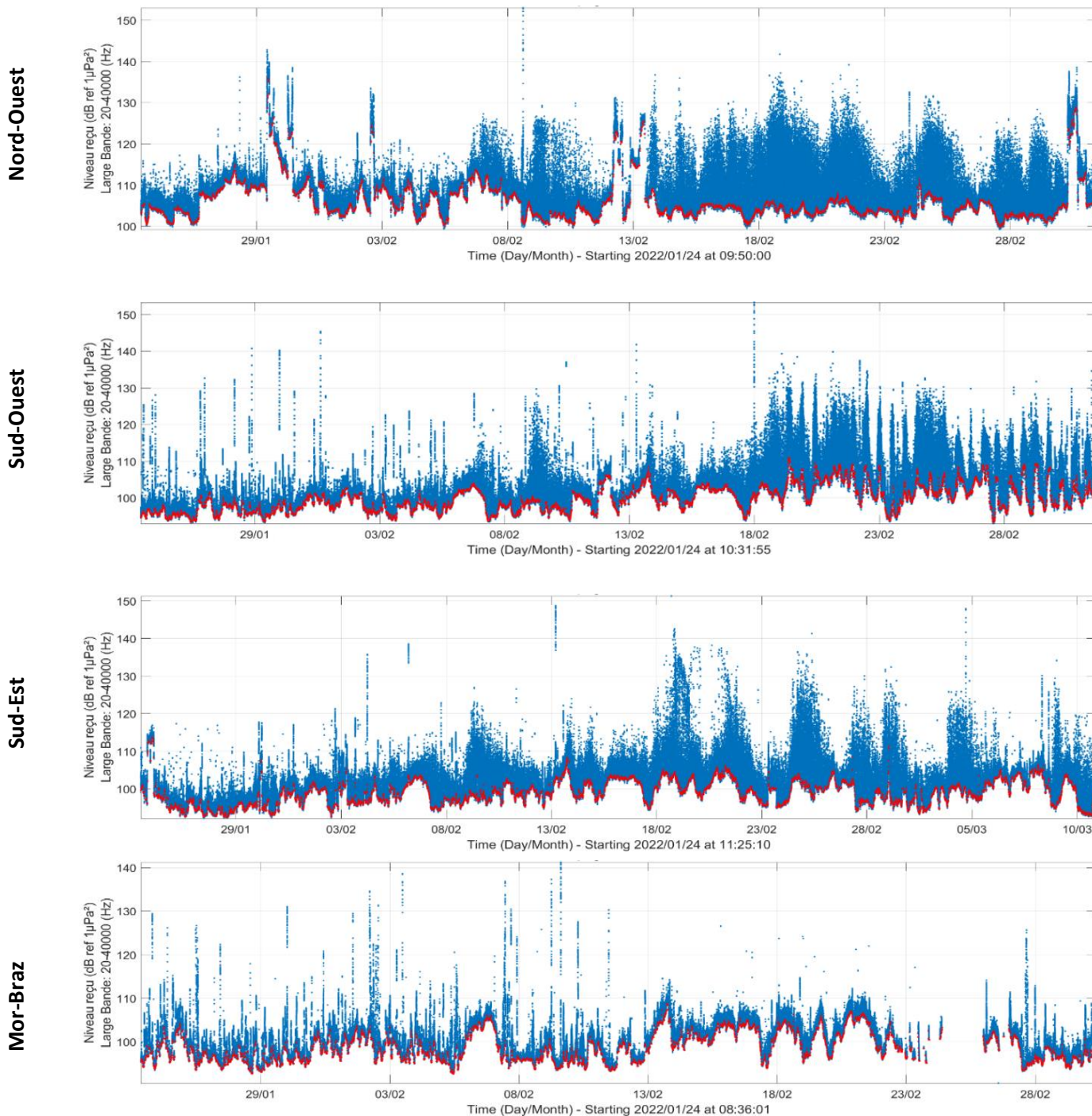


Figure 32 : Niveaux large bande (20Hz-40 kHz dB ref 1μPa²) mesurés lors de la période hiver 2022.

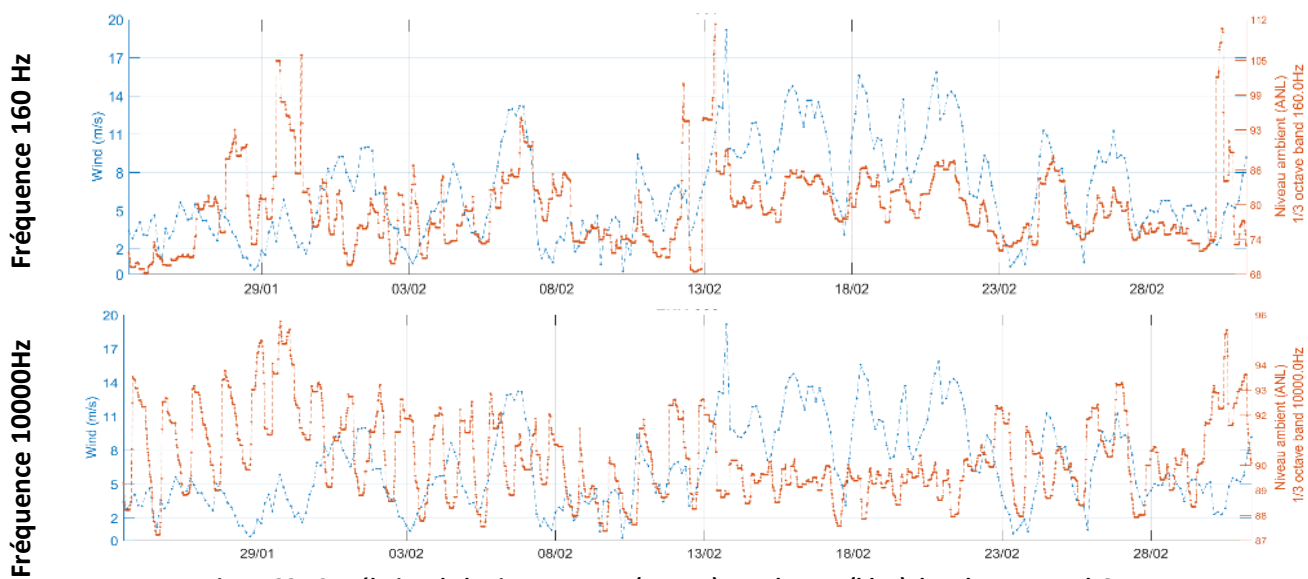


Figure 33 : Corrélation du bruit permanent (orange) avec le vent (bleu) dans la zone Nord-Ouest.

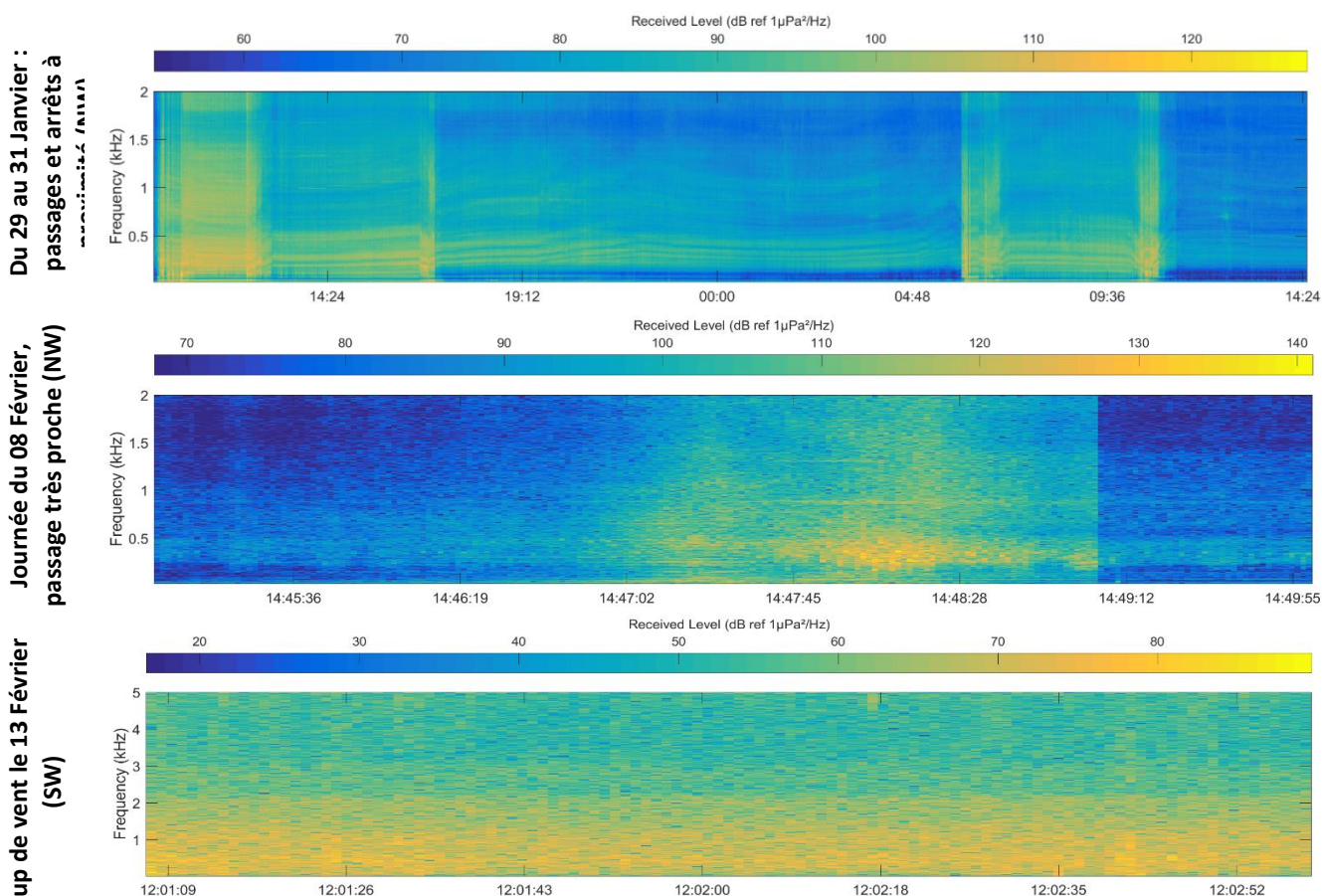


Figure 34 : Spectrogrammes illustratifs des phénomènes acoustiques rencontrés lors de la campagne hivernale 2022.

Tableau 23 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Nord-Ouest (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) durant la saison hivernale 2022.

Zone Nord-Ouest	Percentile (%)	Niveau Très courant				Niveau Médian			Niveau Très rare	
		100	99	90	75	50	25	10	1	0
	Toute la période	99.2	101.7	103.8	105.4	107.9	111.6	116.5	128.8	152.9
	Jour	99.2	101.2	103.0	104.5	107.2	111.6	119.3	131.5	152.9
	Nuit	100.8	102.9	104.6	105.9	108.3	111.6	115.5	123.6	141.7
	Ecart Jour/Nuit	-1.6	-1.7	-1.6	-1.4	-1.0	0.0	3.8	7.9	11.2

Tableau 24 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Ouest (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) durant la saison hivernale 2022.

Zone Sud-Ouest	Percentile (%)	Niveau Très courant				Niveau Médian			Niveau Très rare	
		100	99	90	75	50	25	10	1	0
	Toute la période	93.0	94.8	96.9	99.0	102.1	106.6	112.6	122.3	153.3
	Jour	93.0	94.5	96.0	98.0	102.1	107.1	113.2	123.1	145.4
	Nuit	94.1	96.0	97.9	99.5	102.0	106.1	112.1	121.9	153.3
	Ecart Jour/Nuit	-1.2	-1.5	-1.9	-1.6	0.1	1.0	1.2	1.2	-7.9

Tableau 25 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Est (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) durant la saison hivernale 2022.

Zone Sud-Est	Percentile (%)	Niveau Très courant				Niveau Médian			Niveau Très rare	
		100	99	90	75	50	25	10	1	0
	Toute la période	92,2	94	96,5	98,7	101,6	104,4	107,6	119,6	151,3
	Jour	92,2	93,7	96,3	99,1	101,7	104,4	107,3	119	151,3
	Nuit	92,6	94,4	96,6	98,5	101,4	104,3	107,9	120,4	148,7
	Ecart Jour/Nuit	-0,4	-0,7	-0,3	0,6	0,3	0,1	-0,6	-1,5	2,6

Tableau 26 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Mor-Braz (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) durant la saison hivernale 2022.

Zone Mor-Braz	Percentile (%)	Niveau Très courant				Niveau Médian			Niveau Très rare	
		100	99	90	75	50	25	10	1	0
	Toute la période	90.5	93.9	95.6	97.0	99.7	102.9	105.5	109.6	141.2
	Jour	90.5	93.7	94.9	96.4	99.3	102.8	105.4	110.5	141.2
	Nuit	93.0	94.4	96.1	97.3	99.9	102.8	105.4	109.2	137.3
	Ecart Jour/Nuit	-2.5	-0.8	-1.2	-0.9	-0.7	0.0	-0.0	1.3	3.9

IV.3.2. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquences - hiver 2022

La Figure 35 donne la répartition fréquentielle de l'énergie sonore en fonction de la zone d'étude :

- ✓ En basses fréquences, et dans les percentiles les plus forts (courbes vertes/violettes), les activités anthropiques sont visibles, notamment la propulsion des navires, qui crée une bosse de bruit significative de 20Hz à 60Hz. Les niveaux sonores des zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est sont

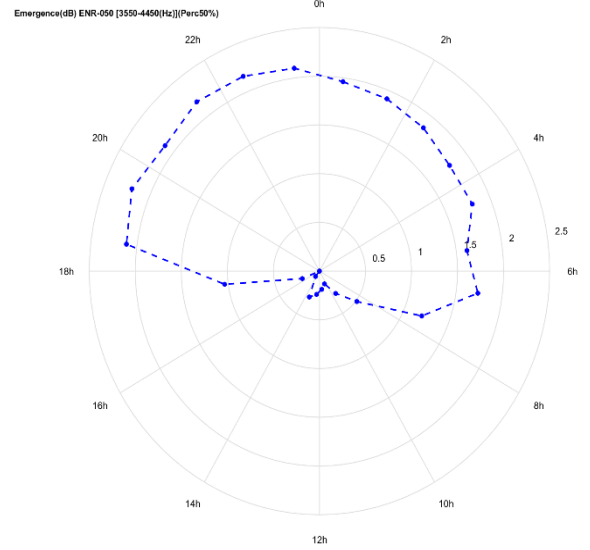
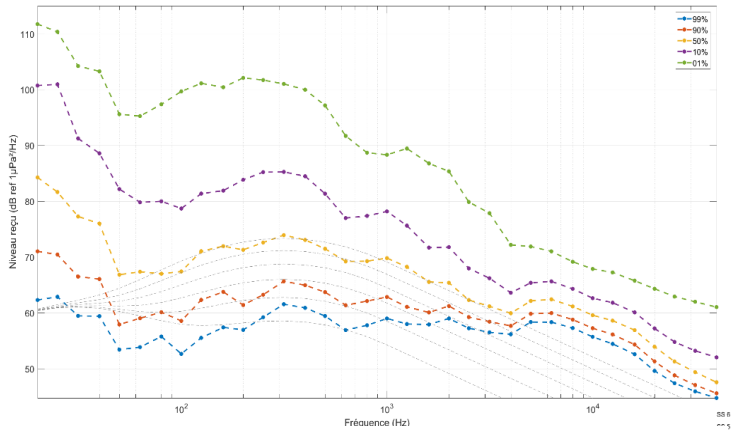
compris entre 100 et 110 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$. La zone Mor-Braz présente des niveaux basses fréquences bien inférieurs, montrant le faible impact sonore des travaux sur ce périmètre.

- ✓ Au-delà, et jusqu'à 1kHz, les effets météos et les bruits anthropiques se superposent en suivant les tendances des courbes de Wenz en pointillés gris (Wenz, 1962) , qui montrent l'état de référence acoustique d'un océan soumis uniquement au bruit environnemental : ceci montre la faible anthropisation du périmètre d'étude, comme constaté lors de la campagne de référence en hiver 2020. La zone Mor-Braz est un exemple type de paysage dominé par les effets météorologiques en période hivernale : l'allure de son spectre est très proche des courbes de Wenz.

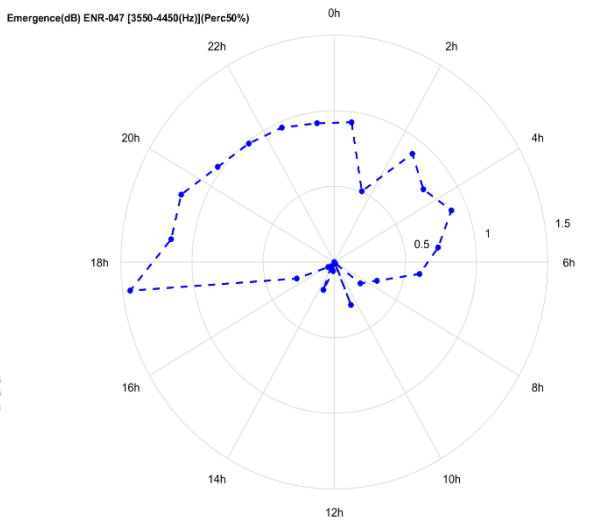
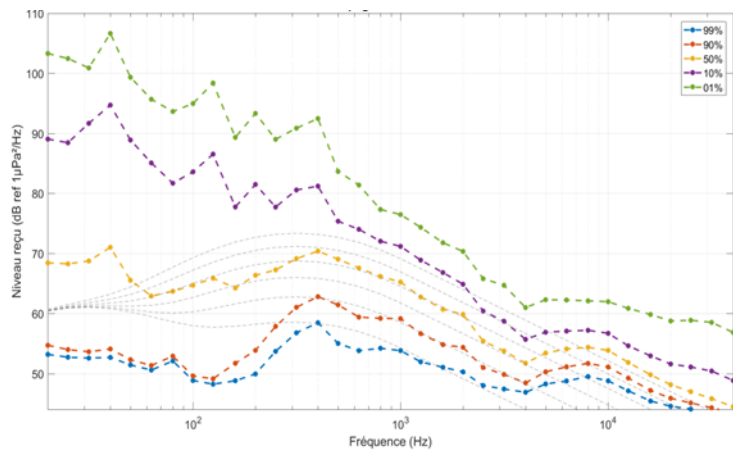
- ✓ L'activité benthique forme une bosse, visible de 4kHz à 20kHz dans les percentiles faibles/médians (courbes bleues, oranges et jaunes) : des niveaux de l'ordre de 60 dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ (NW), 50dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ (SW et SE) et 45-50dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ (MB) montrent une disparité de concentration selon les zones de mesure. La zone Mor-Braz est la moins exposée aux sons d'origines benthiques.

La partie droite de la figure montre les variations horaires des niveaux compris entre 3.5kHz et 4.5kHz, selon chaque zone. On constate une tendance nocturne à l'activité benthique, avec une élévation allant de 1 dB (SE, SW et MB) à 1.5dB (NW) dans une tranche horaire répartie entre 18h et 8h UTC. L'activité benthique de la zone Sud-Est est légèrement décalée, avec un maximum compris entre 22h et 10h UTC. Ce comportement nocturne correspond avec les observations faites dans l'état de référence en hiver 2020.

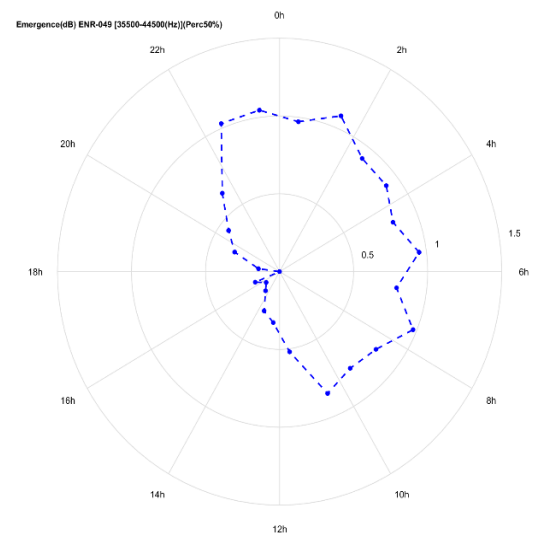
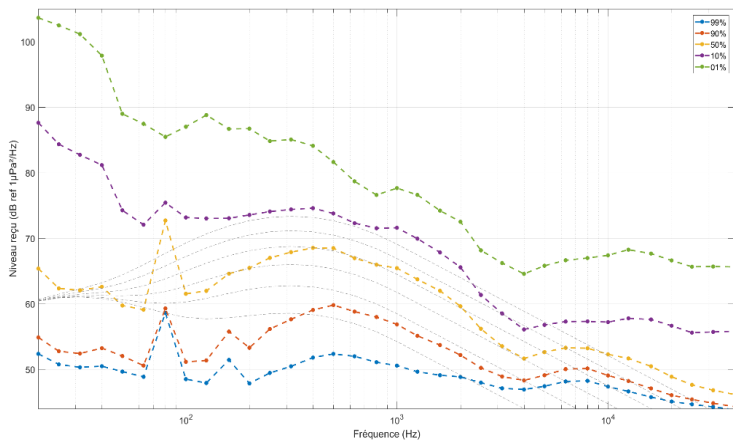
Nord Ouest



Sud Ouest



Sud-Est



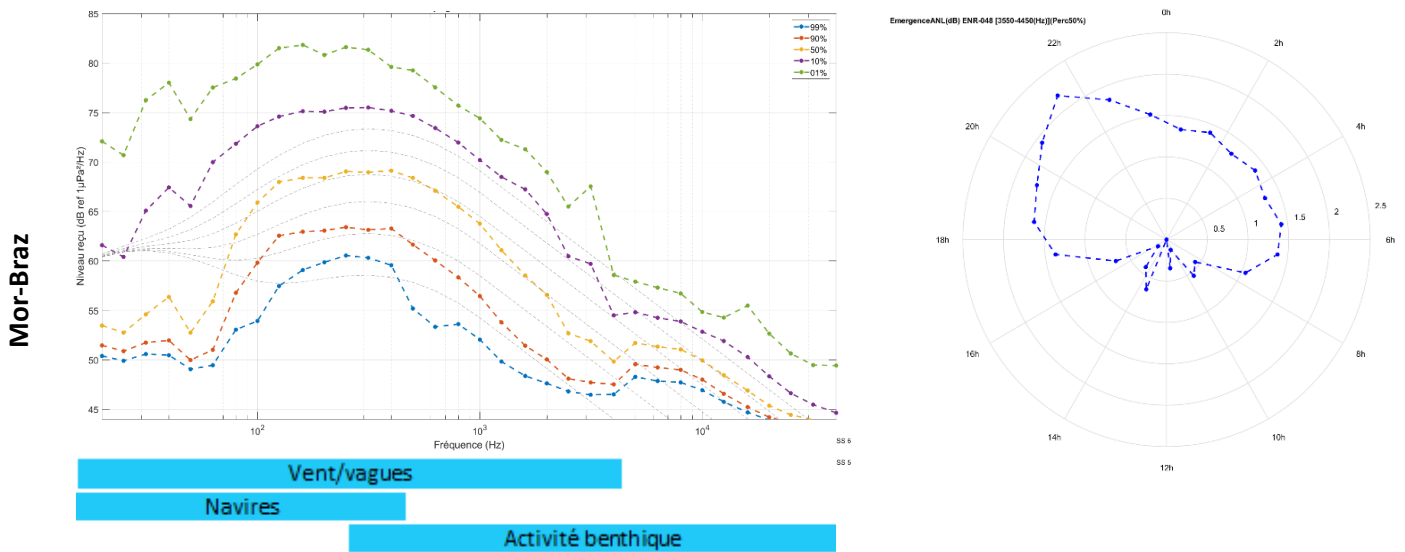


Figure 35 : Répartition fréquentielle de l'énergie acoustique mesurée en hiver 2022⁵ (à gauche). Répartition horaire des niveaux sonores mesurés en hiver 2022 dans la bande 3.5-4.5kHz (à droite).

IV.3.3. Analyse du bruit et des activités du chantier – hiver 2022

A partir des données de planning fournies par PBG (Tableau 13), une correspondance a pu être réalisée entre les périodes de forage et les niveaux de bruit perçus par les différents systèmes acoustiques :

- ✓ Aucun atelier de battage n'a été conduit durant la période d'étude hiver 2022 ;
- ✓ Concernant le forage, 5% du temps d'acquisition est synchrone avec les périodes effectives de ce type d'atelier.

La localisation des travaux effectués lors du suivi été 2021 est visible dans la Figure 36.

Afin de synthétiser l'ensemble des informations techniques et acoustiques à l'échelle de la période des mesures acoustiques de la mesure MSU8, la Figure 37 ci-dessous illustre :

- ✓ Sur la partie supérieure, la distance séparant une pile du système acoustique déployé au niveau de la zone Nord-Ouest (zone la plus proche des travaux) au cours de la période de mesure (Figure 37- A);
- ✓ Sur la partie inférieure, l'évolution du niveau de bruit dans la bande de fréquences spécifique du bruit engendré par du forage, c'est-à-dire entre 1000Hz et 1600 Hz (Figure 37- B). Les périodes où les ateliers opèrent sont mises en évidence par une colorisation associée (jaune = forage).

A titre d'exemple, le 29/01/2022, le forage de la pile F01 est réalisé à une distance d'environ 600m (distance la plus proche de toute la période d'étude) du système acoustique passif situé en zone Nord-Ouest. Durant cette période, le niveau sonore dans la bande de 1000Hz à 1600 Hz varie entre 115 et 118 dB ref 1µPa² sans toutefois identifier la source de ces élévations de bruit. Cette figure met en évidence d'une part la faible durée cumulée des périodes de forage à l'échelle de la période de mesure acoustique et d'autre part la faible émergence de cet atelier de forage en comparaison des autres périodes de mesure.

⁵ Les pointillés gris correspondent au bruit environnemental proposé par le modèle de Wenz, 1962.

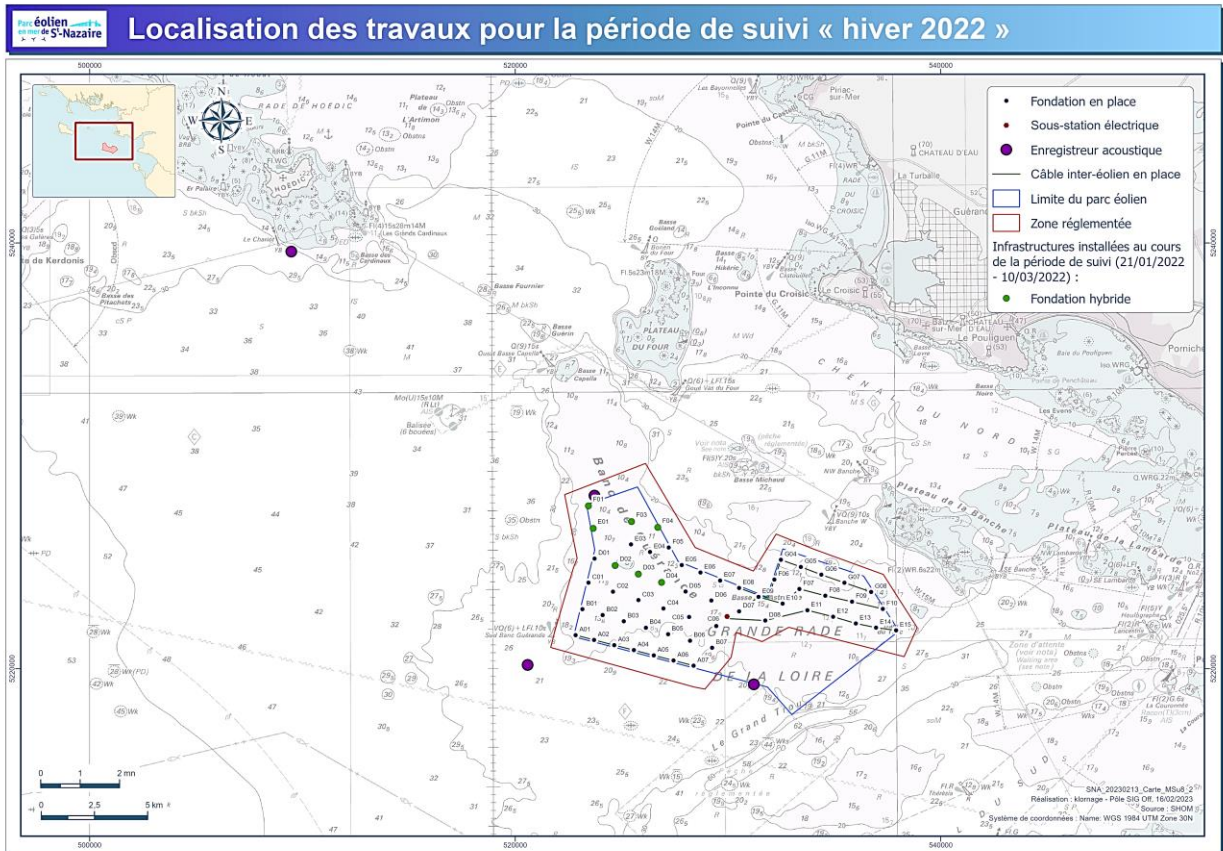


Figure 36 : Localisation des travaux pour la période de suivi hiver 2022.

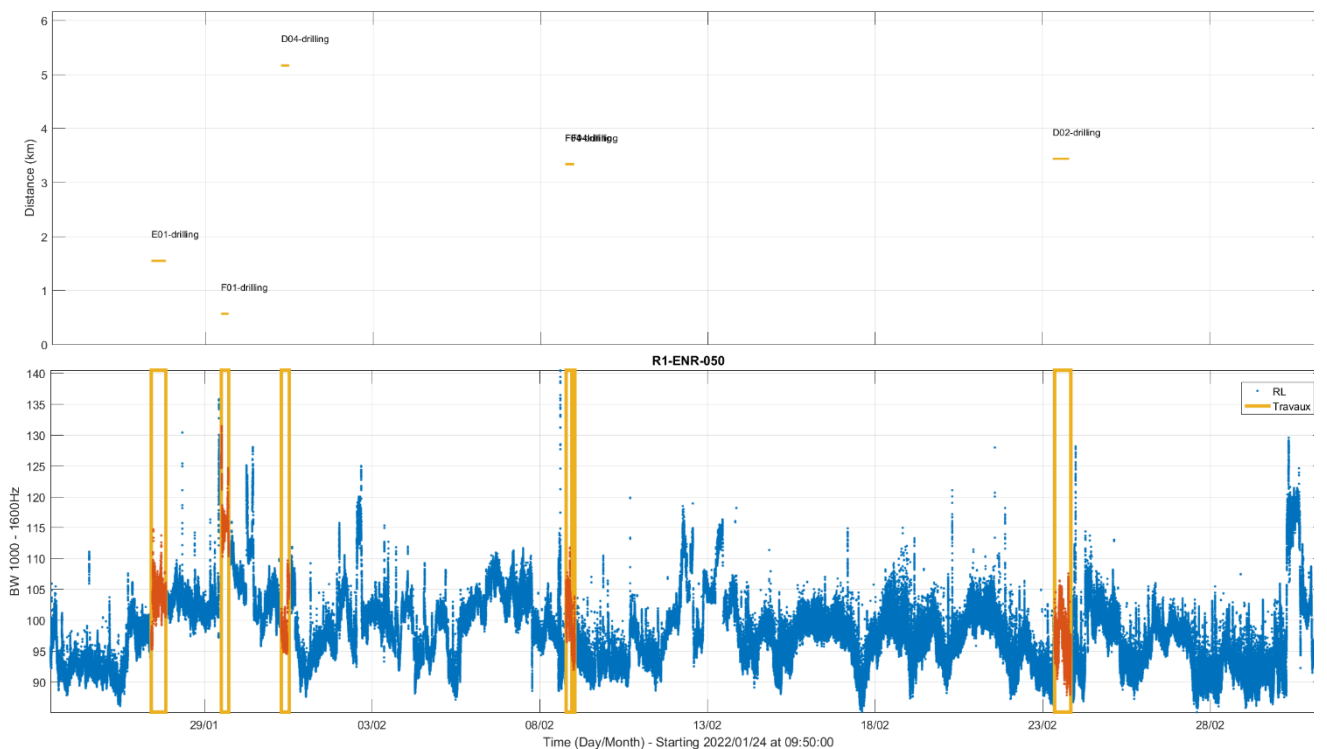


Figure 37 : Vue globale : A (en haut) –Distance entre la pile et le système acoustique situé au niveau de la zone Nord-Ouest B (en bas) - Evolution du niveau sonore dans la bande de fréquence 1000-1600Hz et identification des périodes de forage.

La Figure 38 montre la corrélation entre les niveaux de bruit mesurés à 1000Hz et les distances d’approches des navires projet de l’hydrophone, dans la zone Nord-Ouest (R1), du 29 au 31 Janvier 2022. Comme évoqué au paragraphe IV.3.1. , les navires « Boa Sub C » et « Innovation » passent à moins d’un kilomètre de l’enregistreur, et font augmenter notablement les niveaux sonores, qui semblent davantage dépendre de la distance séparant le navire de l’hydrophone que du bruit de forage lui-même : la journée du 29 Janvier illustre bien ce phénomène, les niveaux avant forage (cadre rose) sont environ 15dB supérieurs à ceux mesurés pendant le forage de la pile F01 (cadre orange). La bosse de bruit située à la fin du forage correspond également à un rapprochement du Boa Sub C de l’hydrophone.

Le point Nord-Ouest étant beaucoup plus proche que les autres des opérations de chantier (600m), on considère qu’il est potentiellement le plus impacté par les travaux. Les autres points étant situés plus loin des ateliers (7km pour la zone Sud-Ouest, 6.5km pour la zone Sud-Est et 17km pour la zone Mor-Braz), font donc considérer que les travaux de forage n’ont alors pas pu émerger du bruit ambiant à ces distances.



Figure 38 : A – (en haut) Niveau sonore au niveau de la zone Sud-Ouest à la fréquence de 1000 Hz (courbe grise), et distance entre le capteur acoustique et les navires du chantier (Boa SUB C et Innovation), du 29 au 31 Janvier 2022. En bleu : navire le plus proche du capteur acoustique ; En rouge : navire au second plan ; En vert : navire au troisième plan.

B (en bas) - Identification des navires du chantier passant à proximité du capteur acoustique, à corrélérer avec la figure A. En bleu : navire le plus proche ; En rouge : navire au second plan ; En vert : navire au troisième plan.

IV.3.3.a. Suivi spécifique de l’activité de forage des piles B08 et C09

Des mesures ont été effectuées par la société DEME à l’aide des 6 bouées smartPAM déployées autour des piles :

- ✓ B08, de 3:00 UTC à 20:45 UTC le 25/04/2022, avec forage de 05:05 UTC à 13:00 UTC ;
- ✓ C09, de 22:00 UTC à 18:00 UTC les 26 et 27/04/2022, avec forage de 07:30 UTC à 12:00 UTC.

La période précédant l’activité de forage est associée à la phase préparatoire de l’atelier.

Les deux piles présentant des bruits parasites dans les basses fréquences (<100Hz), l’analyse sera faite uniquement sur la pile B08 pour les fréquences supérieures à 100Hz.

Le Tableau 27 synthétise les niveaux sonores perçus à 750m sous forme de statistique (percentile) afin de traduire la variabilité durant la période de mesure. Le niveau sonore mesuré durant la période préparatoire (137.0 dB ref 1µPa) est significativement au-dessus du niveau de bruit existant sur zone (médiane de l'ordre de 102 dB ref 1µPa) et est induit par la présence de propulsion et de machinerie. Ainsi dans ce contexte, le forage induit une émergence de 5,5 dB en comparaison respectivement du bruit avant forage et du bruit existant sur zone. L'émergence plus faible que dans la partie IV.2.5. (9.4dB) est explicable à cause de l'exclusion des basses fréquences de l'analyse. En utilisant une compensation des pertes acoustiques modélisées, le niveau sonore médian émis par le forage à un mètre est de 185.0 dB ref 1µPa@1m. Cette valeur médiane est en accord avec celle utilisée lors de l'étude d'impact (valeur médiane de 183 dB ref 1µPa@1m).

De manière épisodique soit 10% du temps, le niveau émis atteint 191.0 dB ref 1µPa@1m.

Tableau 27 : Synthèse des évaluations sonores induites par le forage de la pile B08.

	Percentile (%) (Proportion du temps)	
	50 (médiane)	10 (rare)
Avant forage (dB ref 1µPa)	137.0	142.6
Durant forage (dB ref 1µPa)	142.5	148.5
Emergence @750m (dB)	5.5	5.9
Niveau sonore estimé (dB ref 1µPa@1m)	185.0	191.0
Emergence du forage @ 1m (dB)	48	48.4

La description en fréquence (Figure 39) de l'émergence de l'atelier de forage en comparaison du bruit perçu lors de la phase préparatoire montre un accroissement large bande de 100Hz à 10 kHz en moyenne de 10dB, avec un maximum de 15dB à 1kHz et 10kHz. Les émergences au-delà de 10kHz sont majoritairement dues à l'utilisation de sondes.

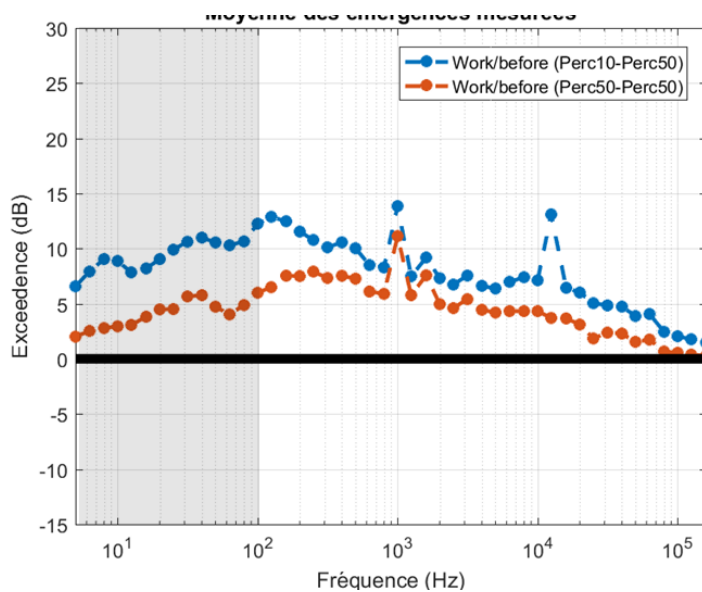


Figure 39 : Emergence statistique de l'atelier de forage en fonction de la fréquence.

IV.3.4. Comparaison des niveaux mesurés en regard de l'état de référence – hiver 2022

Le Tableau 28 montre les écarts de niveaux mesurés par rapport à l'hiver 2020, période de mesures de l'état de référence.

A l'identique du suivi précédent, le Tableau 29 propose une synthèse des écarts des niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) mesurés entre l'hiver 2022 et l'hiver 2020. Sa construction est basée sur le Tableau 28.

La Figure 35 montre la comparaison des spectres acoustiques mesurés lors de l'hiver 2022 avec ceux mesurés lors de l'hiver 2020 (état de référence), dans la zone Sud-Est, pour les percentiles 1% (courbe bleue), 50% (courbe jaune) et 99% (courbe orange).

Les niveaux des percentiles faibles à médians, sont plus faibles (moyenne des écarts pour les percentiles 99/90% et 50%) de 3 à 6.8dB que ceux mesurés lors de la saison hivernale 2020. A l'identique de la période été 2021, une baisse notable (-10dB environ) de l'énergie acoustique contenue dans les fréquences comprises entre 4 et 20kHz est visible dans la zone Sud-Est (et dans les autres zones d'étude). Cette baisse, probablement due à une baisse d'activité benthique vis-à-vis de celle rencontrée lors de l'état de référence, explique les écarts rencontrés.

Concernant les niveaux les plus forts :

- ✓ Pour la zone Nord-Ouest, on relève une augmentation légère des niveaux de bruit (+1.5dB en moyenne pour les percentiles 1% et 10%) vis-à-vis de l'état de référence. Les manœuvres des navires projet sont ici en cause.
- ✓ Pour les zones Sud-Ouest et Sud-Est, ces niveaux sont plus faibles (moyenne des percentiles 1 et 10%) de 1.8dB (SW) et 5.8dB (SE) par rapport aux niveaux mesurés lors de la saison hivernale 2020 : le déplacement sédimentaire plus fréquent lors de l'état de référence, associé à une baisse de la navigation à l'intérieur du parc éolien lors des travaux permettent d'expliquer ces écarts. Le plus faible écart constaté dans la zone Sud-Ouest peut être expliqué par une plus grande fréquentation des navires projets que dans la zone Sud-Est.

Pour rappel, la zone Mor-Braz ayant été ajoutée en complément de l'état de référence (2019-2020), le niveau sonore de cette zone ne peut être évalué que durant la période des travaux. Aucune comparaison ne peut donc être faite avec l'état de référence.

Tableau 28 : Différences de niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) entre l'hiver 2022 et l'hiver 2020, pour les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est (exprimés en dB ref 1µPa²).

		Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
Nord-Ouest	Hiver 2022-ref (dB)		-2,9	-2,7	-2,8	-2,7	-2,7	-3,1	-2,1	5,1	17,7
Sud-Ouest	Hiver 2022-ref (dB)		-5,6	-6,3	-6,5	-5,9	-4,8	-4,1	-3	-1,8	14
Sud-Est	Hiver 2022-ref (dB)		-6,7	-7,1	-6,4	-5,7	-5,1	-7,9	-10,7	-5,8	13,5
Mor-Braz	Absence de système de mesure durant l'état de référence										

Tableau 29 : Synthèse des écarts de niveaux sonores large bande (20HZ-40kHz) entre l'hiver 2022 et l'hiver 2020, pour les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est (exprimés en dB ref 1µPa²).

		Niveaux faibles	Niveaux médians	Niveaux forts
Nord-Ouest	Hiver 2022-ref (dB)	-2,8	-2,7	1,5
Sud-Ouest	Hiver 2022-ref (dB)	-6,4	-4,8	-2,4
Sud-Est	Hiver 2022-ref (dB)	-6,8	-5,1	-8,3

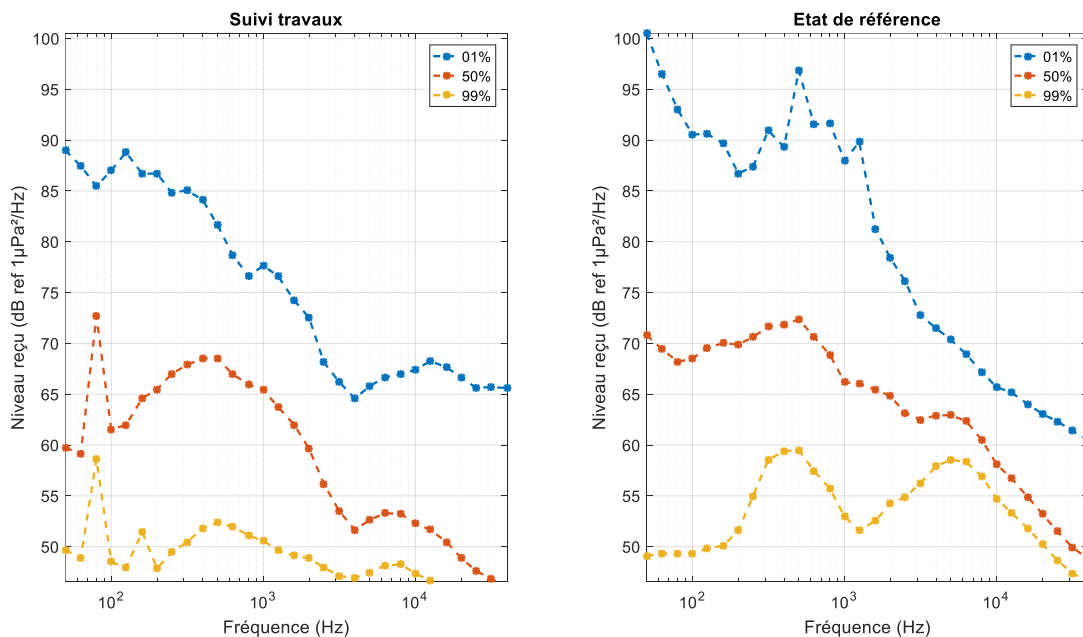


Figure 40 : Comparaison des répartitions spectrales des niveaux mesurés dans la zone Sud-Est lors de l'hiver 2022 (à gauche) et lors de l'hiver 2020 (état de référence, à droite).

IV.4. Période été 2022

IV.4.1. Analyse du bruit ambiant large bande – été 2022

La Figure 41 montre l'évolution des niveaux sonores large bande (entre 20 Hz et 40kHz) mesurés par les enregistreurs acoustiques autonomes, en fonction des zones durant l'été 2022.

Le bruit permanent (courbe rouge) correspond bruit environnemental. Il varie autour de 108 (NW), 98 (SW), 105 (SE) et 90 (MB) dB ref $1 \mu\text{Pa}^2$, de manière fortement corrélée (Figure 42) à la vitesse du vent de 20 Hz à 4 kHz et à la vie benthique, de 4kHz à 40kHz.

Les zones Nord-Ouest et Sud-Ouest montrent une variabilité périodique du niveau de bruit permanent d'environ 3dB correspondant au pic nocturne d'activité benthique.

Ce bruit permanent est ponctuellement dominé par des activités anthropiques correspondant à des bruits forts et courts (de 5 à 15min), essentiellement liés aux passages de navires. Ces passages sont responsables d'augmentations ponctuelles du niveau sonore jusqu'à des valeurs de 150 dB ref $1 \mu\text{Pa}^2$.

Le nombre moyen de passages ayant entraîné une augmentation d'au moins 15dB des niveaux de bruit, est estimé à :

- ✓ 1 navire par jour dans la zone Nord-Ouest ;
- ✓ 3 navires par jour dans la zone Sud-Ouest ;
- ✓ 6 navires par jour dans la zone Sud-Est ;
- ✓ 10 navires par jour dans la zone Mor-Braz ;

Et reste constant tout au long de la campagne.

Pour exemple, la Figure 43 illustre le passage proche d'un navire de la zone Nord-Ouest dans la journée du 5 Aout 2022, avec en haut un spectrogramme et en bas le niveau de pression acoustique résultant. La pression acoustique augmente rapidement jusqu'au CPA, où elle atteint un maximum local de 150dB ref $1 \mu\text{Pa}^2$ et fait émerger un bruit large bande, avec un maximum d'énergie sous 100Hz. Les phases d'approche/éloignement consistent en l'émergence de bruits dit « en raie », dont l'énergie dépend majoritairement de la distance navire/hydrophone.

La zone Sud-Est voit également des émergences anthropiques dues majoritairement aux travaux d'installation des câbles pour les éoliennes proches de l'hydrophone. Ces opérations font augmenter significativement le pied de bruit jusqu'à 135 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$, et les niveaux sonores jusqu'à 153 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$. Ces travaux récurrents sont visibles tout au long de la campagne et durent plusieurs jours. Une analyse plus détaillée est proposée en partie IV.4.3.

N'étant pas à proximité immédiate des ateliers, les enregistreurs des autres zones ont été moins impactés.

La Figure 44 illustre les différents travaux perçus, projet et hors projet, avec :

- ✓ Des travaux d'installation de câbles proches du point Sud-Est (éolienne A11 ou A12), le 7 Août. La propulsion des navires projet fait émerger un maximum d'énergie sous 1kHz : le niveau sonore local avoisine ici 145dB ref $1\mu\text{Pa}^2$;
- ✓ Un bruit dont la signature est comparable à celle d'un forage au niveau du point Mor-Braz, le 18 Aout, qui n'est pas rattaché au projet du parc éolien et dont l'origine reste inconnue. L'atelier est ici éloigné de l'hydrophone. L'énergie est répartie « en peigne » avec un pic à 500Hz et l'émergence d'harmoniques. Le niveau sonore est ici de 127dB ref $1\mu\text{Pa}^2$.

Les Tableau 30, Tableau 31, Tableau 32 et Tableau 33 donnent la répartition statistique du bruit large bande durant la saison été 2022 pour chaque zone d'étude.

- ✓ La différence jour/nuit permet de mettre en évidence le pic nocturne d'activité benthique, avec un écart jour/nuit moyen de 2dB sur les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est. La zone Mor-Braz semble moins affectée par ce phénomène. On note également un écart jour/nuit de 10.1dB au percentile 1% dans la zone Mor-Braz, qui indique une tendance diurne aux émergences anthropiques (majoritairement la navigation de plaisance) ;

- ✓ Les niveaux médians sont respectivement de 107.9dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ (zone NW), 99.9dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ (zone SW), 103.4dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ (zone SE) et 97.1dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ (zone MB) ;
- ✓ Les niveaux les plus forts (1%) atteignent respectivement 117.5 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ (zone NW), 113.0 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ (zone SW), 141.0 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ (zone SE) et 115.2 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ (zone MB).

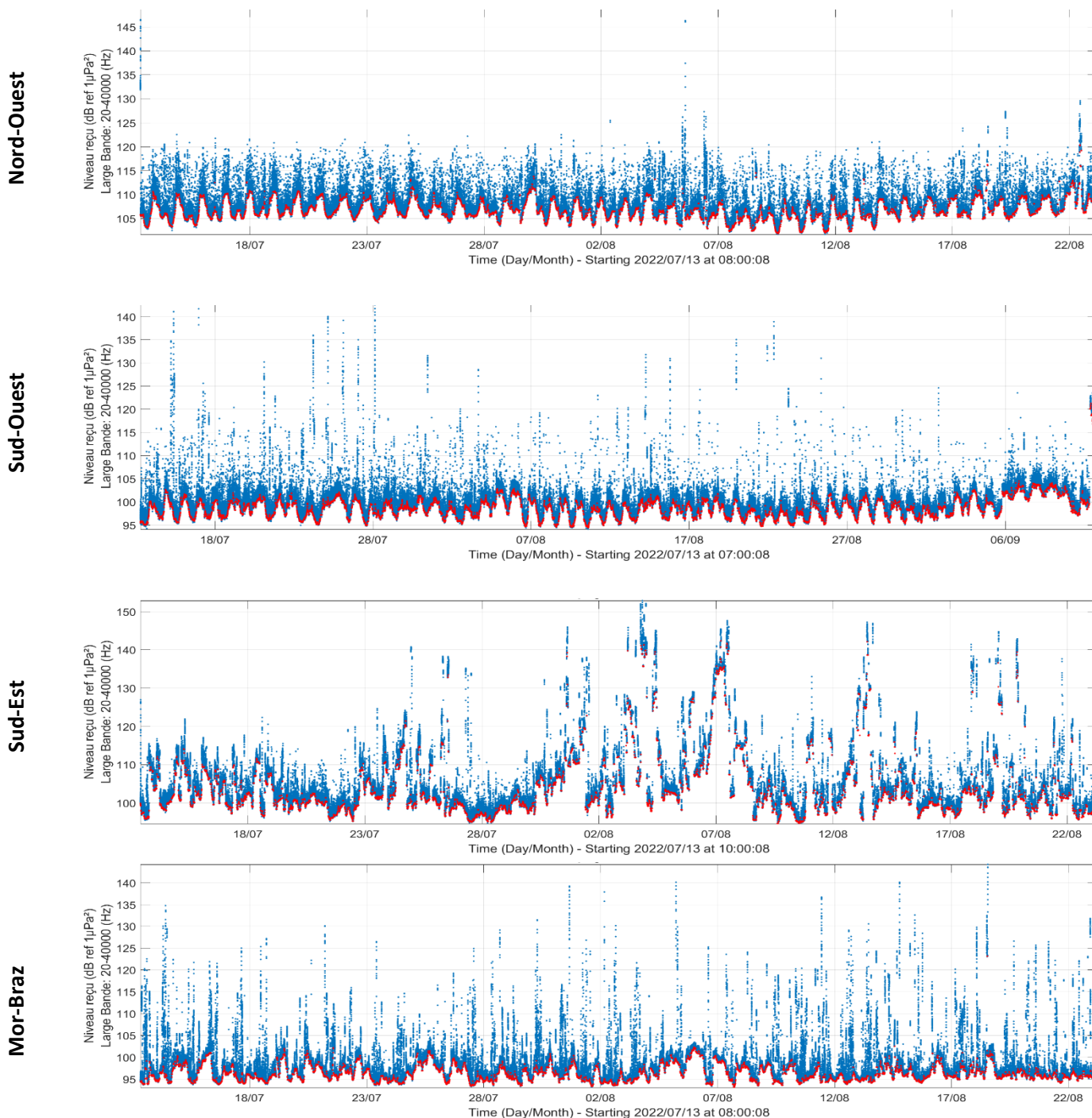


Figure 41 : Niveaux large bande (20Hz-40 kHz dB ref $1\mu\text{Pa}^2$) mesurés lors de la période été 2022.

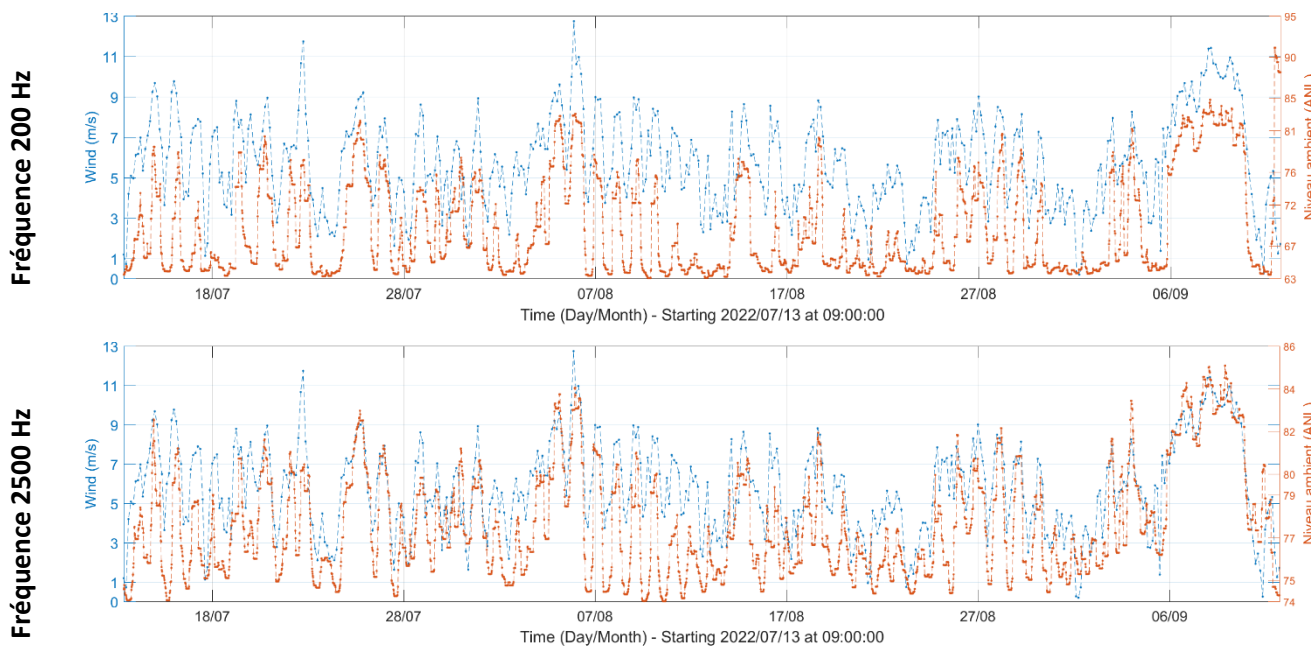


Figure 42 : Corrélation du bruit permanent (orange) avec le vent (bleu), dans la zone Sud-Ouest, durant l'été 2022.

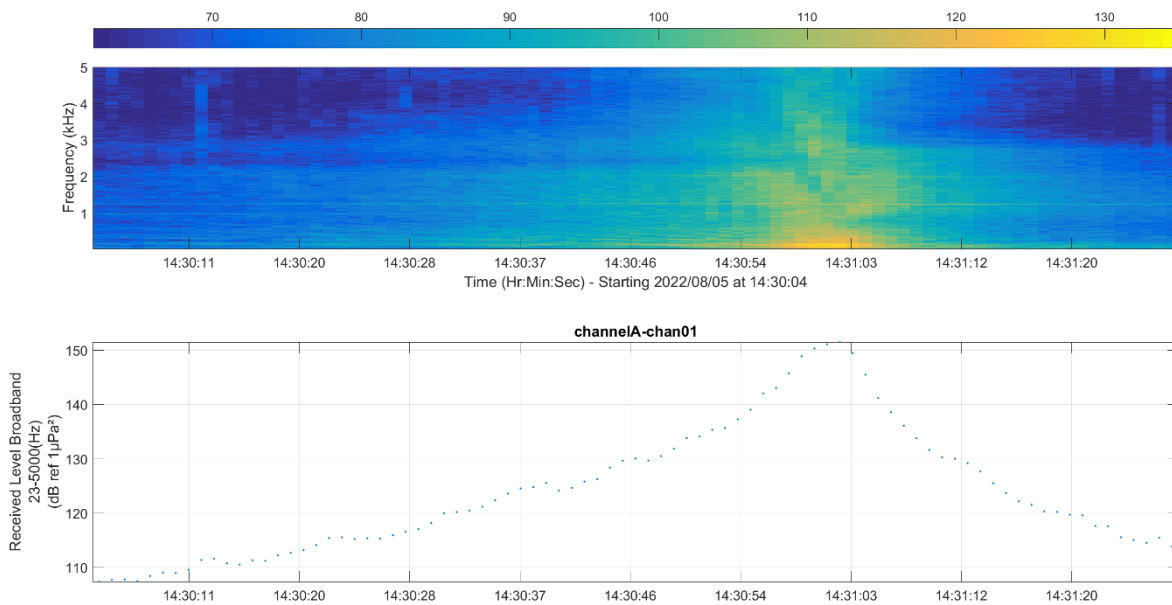
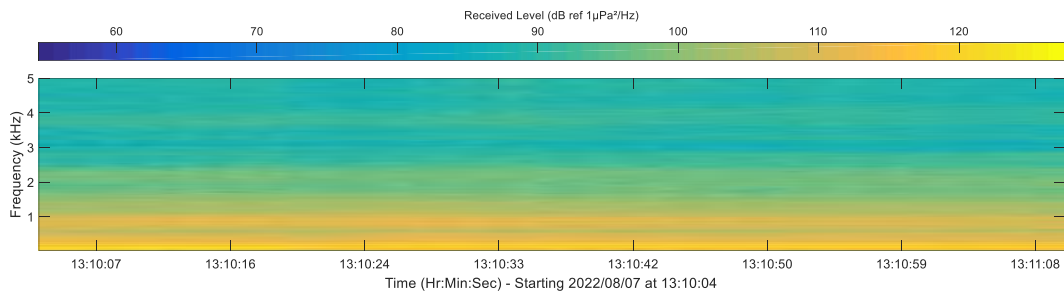


Figure 43 : Passage de navire proche du point Nord-Ouest.

Travaux de pose de câbles le 7 Aout proche de la zone Sud-Est



Forage d'origine inconnue le 18 Aout 2022, à proximité non immédiate de la zone Mor-Braz

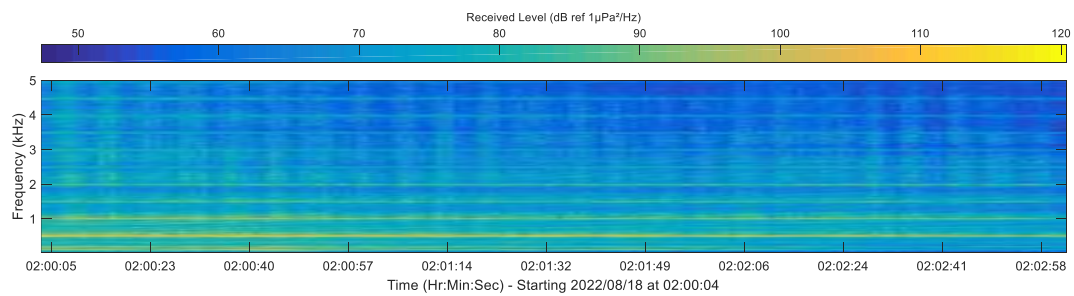


Figure 44 : Spectrogrammes des émergences travaux (projet et hors projet) lors de l'été 2022.

Tableau 30 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Nord-Ouest (exprimés en dB ref 1µPa²) durant la saison été 2022.

Zone	Percentile (%)	Niveau Très courant			Niveau Médian			Niveau Très rare		
		100	99	90	75	50	25	10	1	0
Nord-Ouest	Toute la période	101.7	103.4	105.4	106.4	107.9	110.1	112.2	117.5	148.8
	Jour	101.7	103.1	104.9	105.9	106.8	108.0	110.8	117.7	148.8
	Nuit	103.6	105.1	107.4	108.8	110.0	111.1	113.0	117.4	122.5
	Ecart Jour/Nuit	-1.9	-2.0	-2.6	-2.9	-3.2	-3.1	-2.2	0.2	26.3

Tableau 31 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Ouest (exprimés en dB ref 1µPa²) durant la saison été 2022.

Zone	Percentile (%)	Niveau Très courant			Niveau Médian			Niveau Très rare		
		100	99	90	75	50	25	10	1	0
Sud-Ouest	Toute la période	94.1	95.7	97.0	98.2	99.9	101.3	102.8	113.0	142.8
	Jour	94.1	95.5	96.6	97.4	98.6	100.1	101.8	114.2	141.1
	Nuit	96.5	98.0	99.2	100.1	101.0	102.0	103.4	111.1	142.8
	Ecart Jour/Nuit	-2.5	-2.6	-2.6	-2.6	-2.4	-1.9	-1.5	3.1	-1.7

Tableau 32 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Est (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) durant la saison été 2022.

	Percentile (%)	Niveau Très courant			Niveau Médian			Niveau Très rare		
		100	99	90	75	50	25	10	1	0
Zone Sud-Est	Toute la période	94.6	96.2	98.6	100.5	103.4	109.4	116.3	141.0	152.8
	Jour	94.6	96.0	97.9	100.0	103.0	109.0	116.0	141.0	152.0
	Nuit	96.1	97.7	99.7	101.2	104.1	109.9	117.1	140.7	152.8
	Ecart Jour/Nuit	-1.5	-1.7	-1.8	-1.2	-1.1	-0.9	-1.1	0.3	-0.9

Tableau 33 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Mor-Braz (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) durant la saison été 2022.

	Percentile (%)	Niveau Très courant			Niveau Médian			Niveau Très rare		
		100	99	90	75	50	25	10	1	0
Zone Mor-Braz	Toute la période	93.1	94.0	94.9	95.7	97.1	99.2	101.5	115.2	144.2
	Jour	93.1	93.9	94.6	95.5	97.1	99.6	102.3	117.2	144.2
	Nuit	93.7	94.4	95.2	96.0	97.1	98.6	100.4	107.1	131.8
	Ecart Jour/Nuit	-0.6	-0.5	-0.6	-0.5	0.0	0.9	1.9	10.1	12.4

IV.4.2. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquences – été 2022

La Figure 45 trace la répartition fréquentielle de l'énergie sonore en fonction de la zone d'étude durant l'été 2022 :

- ✓ En basses fréquences, et dans les percentiles les plus forts (courbes vertes/violettes), les activités anthropiques sont visibles, notamment la propulsion des navires, qui crée une bosse de bruit significative de 20Hz à 60Hz. Les niveaux sonores des zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Mor-Braz sont compris entre 70 et 90 dB ref 1 μ Pa²/Hz.
- ✓ Au-delà, et jusqu'à 1kHz, les effets météo et les bruits anthropiques se superposent en suivant les tendances des courbes de Wenz en pointillés gris (Wenz, 1962) , qui montrent l'état de référence acoustique d'un océan soumis uniquement au bruit environnemental. La zone Mor-Braz est un exemple type de paysage dominé par les effets météorologiques : l'allure de son spectre au-delà de 100Hz est très proche des courbes de Wenz.
- ✓ L'activité benthique forme une bosse, visible de 4kHz à 20kHz dans les percentiles faibles/médians (courbes bleues, oranges et jaunes) : des niveaux de l'ordre de 60 dB ref 1 μ Pa²/Hz (NW), 53dB ref 1 μ Pa²/Hz (SW, SE) et 50dB ref 1 μ Pa²/Hz (MB) montrent une disparité de concentration selon les zones de mesure. La zone Mor-Braz reste la moins exposée aux sons d'origines benthiques.

La zone Sud-Est présente un profil très différent des autres pour le percentile 1%, avec des niveaux supérieurs à 100 dB ref 1 μ Pa²/Hz de 20Hz à 1000Hz. Le niveau décroît ensuite avec la fréquence et remonte à 85dB ref 1 μ Pa²/Hz vers 30kHz (sondeur) : il s'agit ici de la signature sonore des navires projets responsables de la pose des câbles.

La Figure 46 illustre en fonction de la bande de fréquence, la variation horaire de l'émergence relative du bruit aux percentiles 10% et 50% (valeur élevée/valeur médiane) pour chacune des zones de suivi durant la saison estivale 2022.

Entre 89Hz et 110Hz, la période 8h-18h UTC engendre une augmentation des niveaux sonores de 5 à 10dB dans la zone Mor-Braz : ceci confirme la fréquentation diurne du site, à priori par la navigation de plaisance. La zone Sud-Ouest voit une augmentation de 3dB entre 18h-6h UTC, tandis que la zone Sud-Est voit une augmentation plus conséquente comprise entre 8 et 17dB, qui semble indépendante de l'heure : les périodes de travaux (réparties sur plusieurs jours) détectées lors de l'analyse du bruit ambiant large bande expliquent ce phénomène (cf. IV.4.1.).

Dans toutes les zones, la période 20h-4h UTC engendre une augmentation relative de 1.5 à 3dB des niveaux de bruit dans la bande 3.5-4.5kHz, qui est majoritairement due aux activités des organismes benthiques.

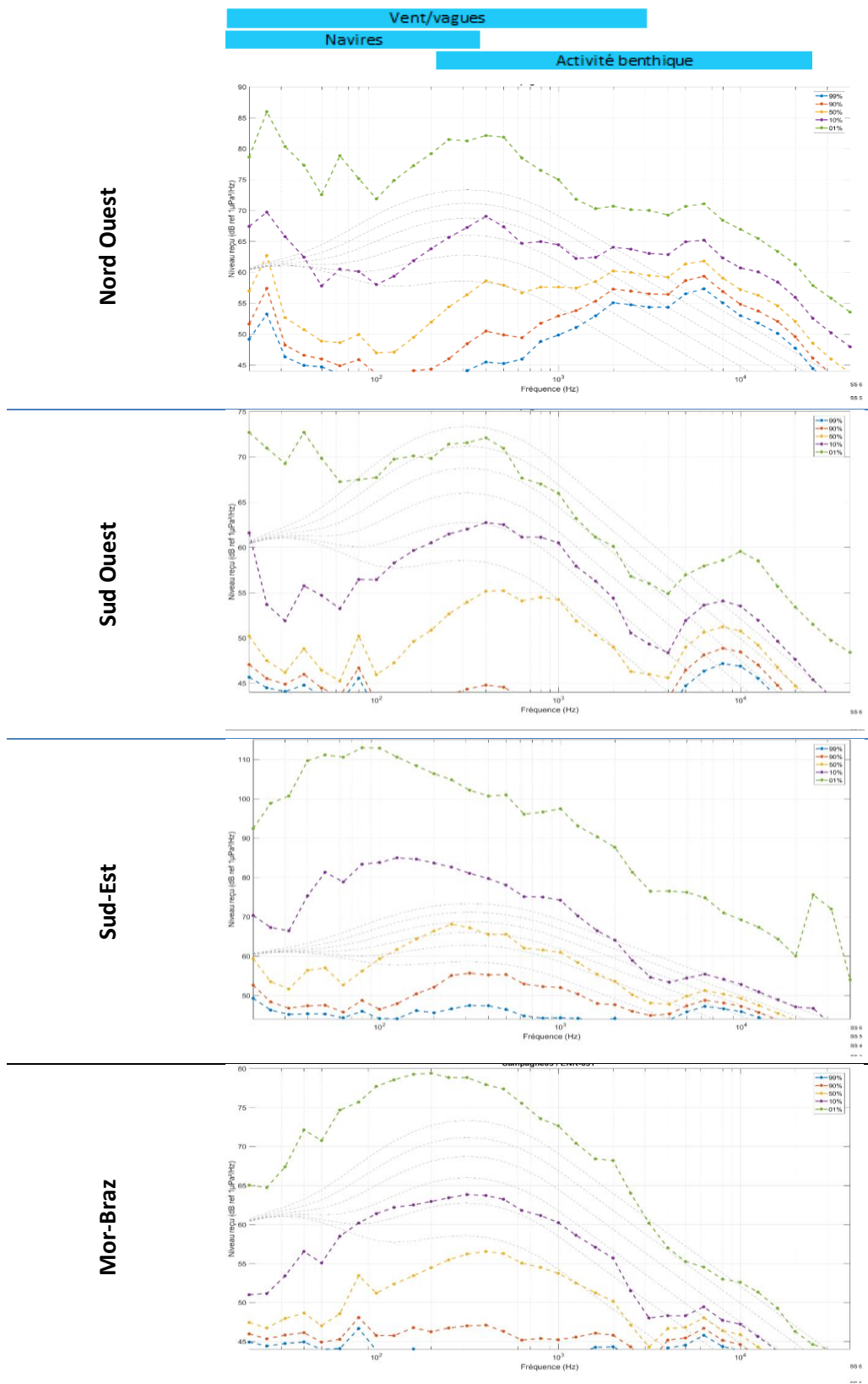


Figure 45 : Répartition fréquentielle de l'énergie acoustique mesurée en été 2022⁶.

⁶ Les pointillés gris correspondent au bruit environnemental proposé par le modèle de Wenz, 1962.

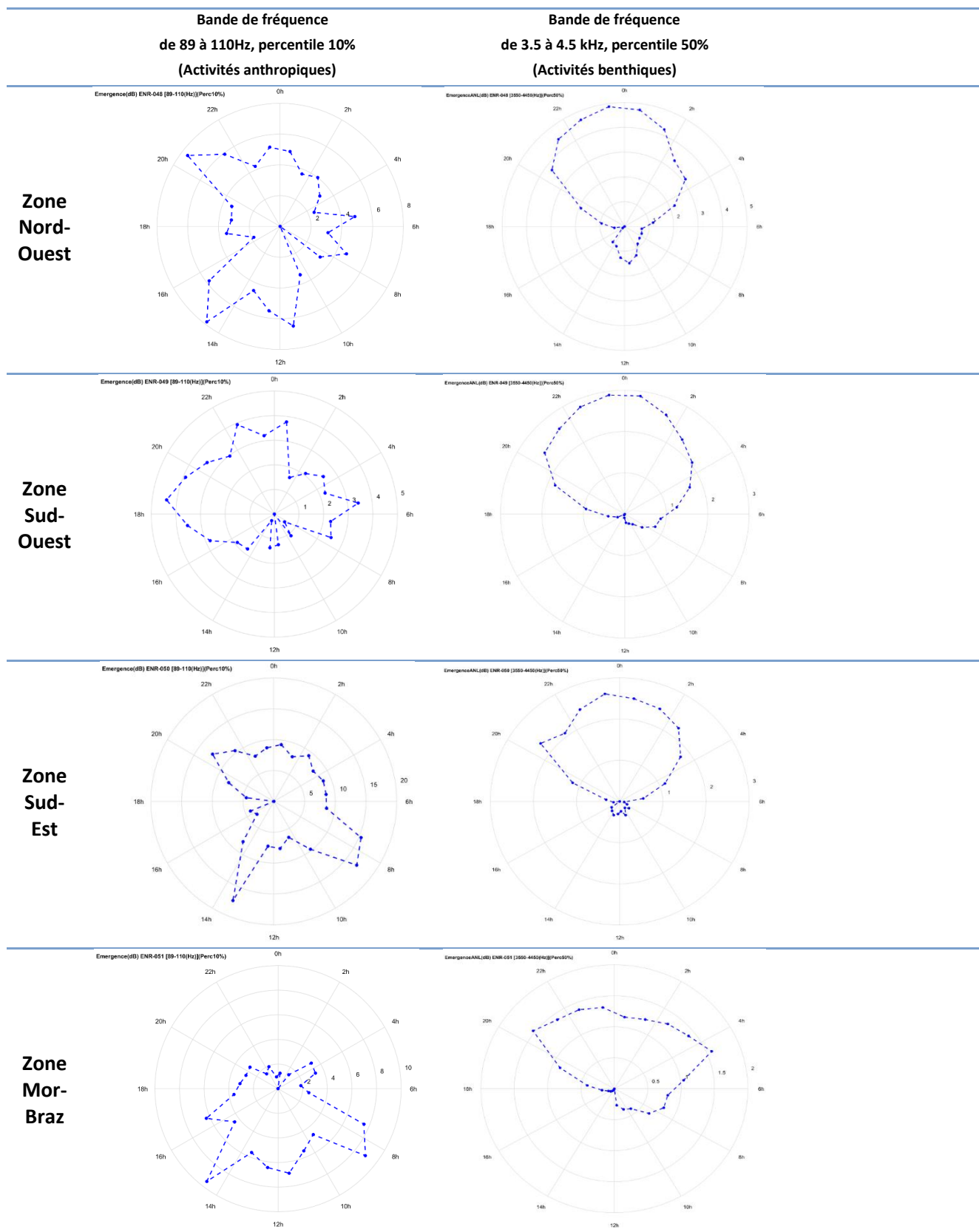


Figure 46 : Statistiques de la variation horaire de l'émergence relative du bruit par bande de fréquence durant la saison estivale 2022.

IV.4.3. Analyse du bruit et des activités du chantier – été 2022

Aucun atelier d'installation de fondations (battage ou forage) n'a été conduit lors de l'été 2022. En revanche, cette phase de suivi a majoritairement vu des travaux d'installation de câbles au sud du parc éolien. Les navires responsables des opérations de pose de câbles sont l'Olympic Triton et le Wind Of Pride. Le navire « Vole Au Vent » a également réalisé le placement des éoliennes sur leur fondation. Comme évoqué dans la partie précédente, la zone de mesure ayant été la plus impactée est la zone Sud-Est. A noter, la localisation des travaux effectués lors du suivi été 2022 est visible dans la Figure 47.

Afin de corréliser la navigation (et indirectement les opérations de pose de câbles) de ces navires et son impact sur les niveaux sonores mesurés dans le cadre de la mesure MSU8, la Figure 48 ci-dessous illustre :

- ✓ Sur la partie supérieure, la distance séparant les navires Olympic Triton (bleu) Wind of Pride (orange) et Vole au vent (jaune) du système acoustique déployé au niveau de la zone Sud Est (zone la plus proche des travaux) au cours de la période de mesure (Figure 48-A) ;
- ✓ Sur la partie inférieure, l'évolution du niveau de bruit large bande (20Hz-40kHz) (Figure 48-B) en fonction du temps.

Cette figure met en évidence l'impact direct de la proximité des navires en opérations sur les niveaux sonores large bande mesurés dans la zone Sud-Est. Durant la campagne été 2022, les navires projets ont été présents dans un rayon d'un kilomètre ou moins autour de la station Sud Est sur une période couvrant environ 50% du temps de mesure.

Quatre ateliers (liste non exhaustive) représentatifs de la pose de câbles lors de l'été 2022 sont encadrés en rose :

- ✓ Du 22 au 24 Juillet, pose des câbles des éoliennes B09/B09/B10 : les niveaux sonores larges bandes sont compris entre 115 dB lorsque l'Olympic Triton est à environ 1km de la station (23/07) et 125dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ et lorsque les deux navires sont en opérations à environ 1km de la station (24/07) ;
- ✓ Du 3 au 4 Aout, pose des câbles des éoliennes A09/A10 : les niveaux sonores large bande augmentent proportionnellement avec la réduction de distance des navires et atteignent un maximum d'environ 150dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ lorsque les deux navires sont à moins de 500m de l'hydrophone ;
- ✓ Du 5 au 7 Aout, pose des câbles des éoliennes A10/A11 : les niveaux large bande varient de 110 à 145dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ proportionnellement avec la distance séparant les deux navires de l'hydrophone ;
- ✓ Du 11 au 14 Aout, pose des sacs d'enrochement sur les câbles inter-éoliens A08/A09/A10/A11/A12/B1 : les niveaux large bande varient de 110 à 145dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ proportionnellement avec la distance séparant les deux navires de l'hydrophone.

Du milieu à la fin de la campagne de mesure, le navire Wind of Pride effectue également une multitude de passages proches (<1 km) de l'hydrophone de la zone Sud Est : ces derniers sont responsables d'augmentations ponctuelles des niveaux sonores large bande jusqu'à environ 140dB ref $1\mu\text{Pa}$, soient 35dB de plus que le bruit ambiant médian mesuré sur la période.

Au contraire, les opérations de pose d'éoliennes réalisées par le Vole au vent ne semblent pas avoir fortement impacté la zone Sud-Est.

De manière générale, une corrélation certaine est observable entre les émergences visibles dans les niveaux large bande et la proximité des navires projets dans un rayon équivalent à environ 1 kilomètre autour de l'hydrophone. Leur amplitude est fonction de la distance séparant les navires projets de l'hydrophone, soient des émergences allant de 7 à 42dB en regard du bruit médian mesuré sur zone (103.4dB ref $1\mu\text{Pa}^2$). Il n'est cependant pas possible de discerner les manœuvres de transit des travaux de pose de câbles à proprement parler.

La Figure 49 propose la même analyse que précédemment pour la zone Nord-Ouest, qui voit un impact léger des travaux de pose de câbles en fin de période de mesure, avec :

- ✓ La pose des sacs de roches de F02 les 17 et 18 Aout ;
- ✓ La pose des sacs de roches de G01 le 22 Aout.

Ici, les niveaux sonores large bande semblent davantage dépendre des approches à moins d'un kilomètre par le Wind of Pride, responsable d'émergences jusqu'à environ 15dB par rapport au bruit ambiant⁷.

Les autres zones de mesures étant plus éloignées des travaux n'ont pas été (ou peu) affectées par les travaux.

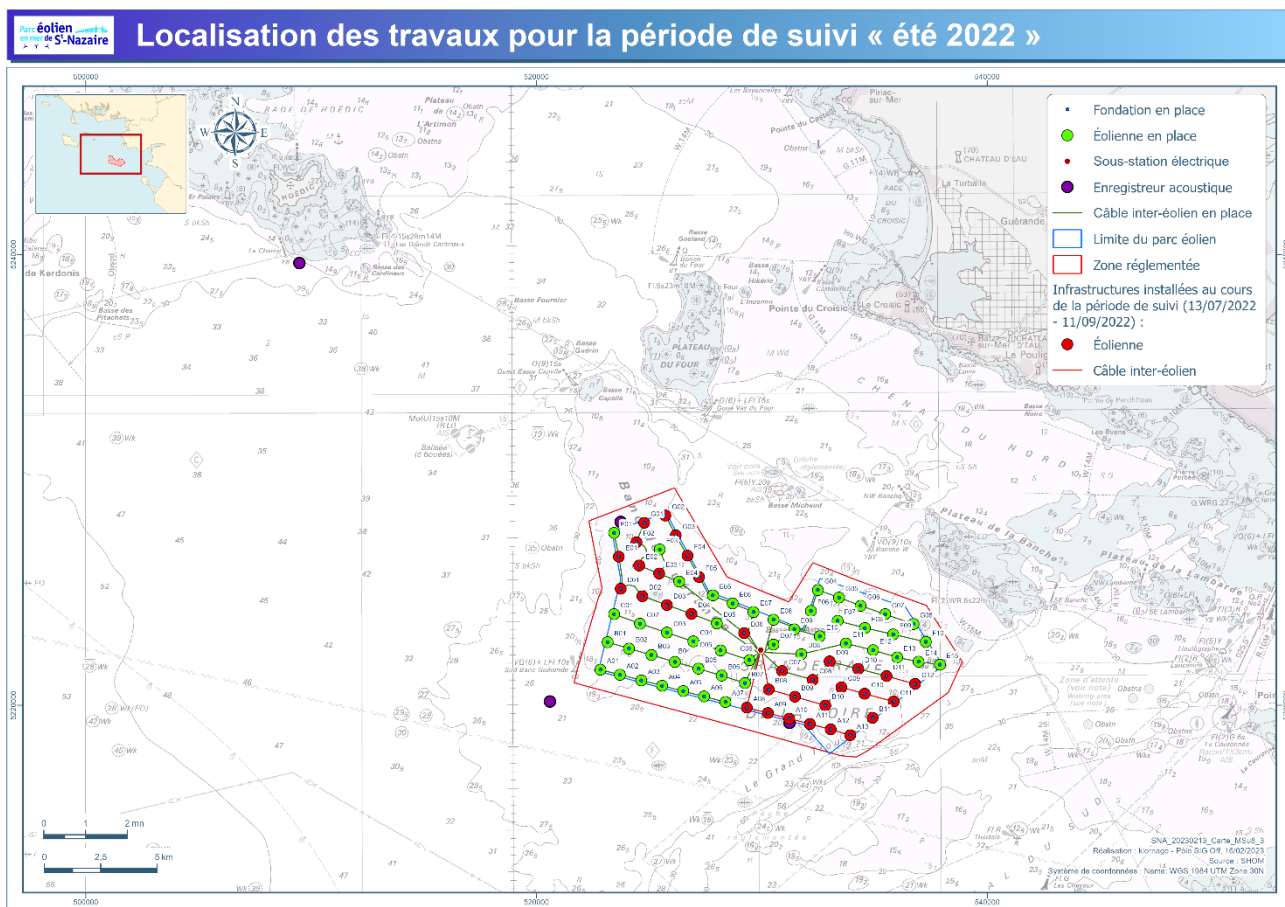


Figure 47 : Localisation des travaux pour la période de suivi été 2022.

⁷ L'émergence visible le 05 Août est due au passage d'un navire hors projet (Innovent).

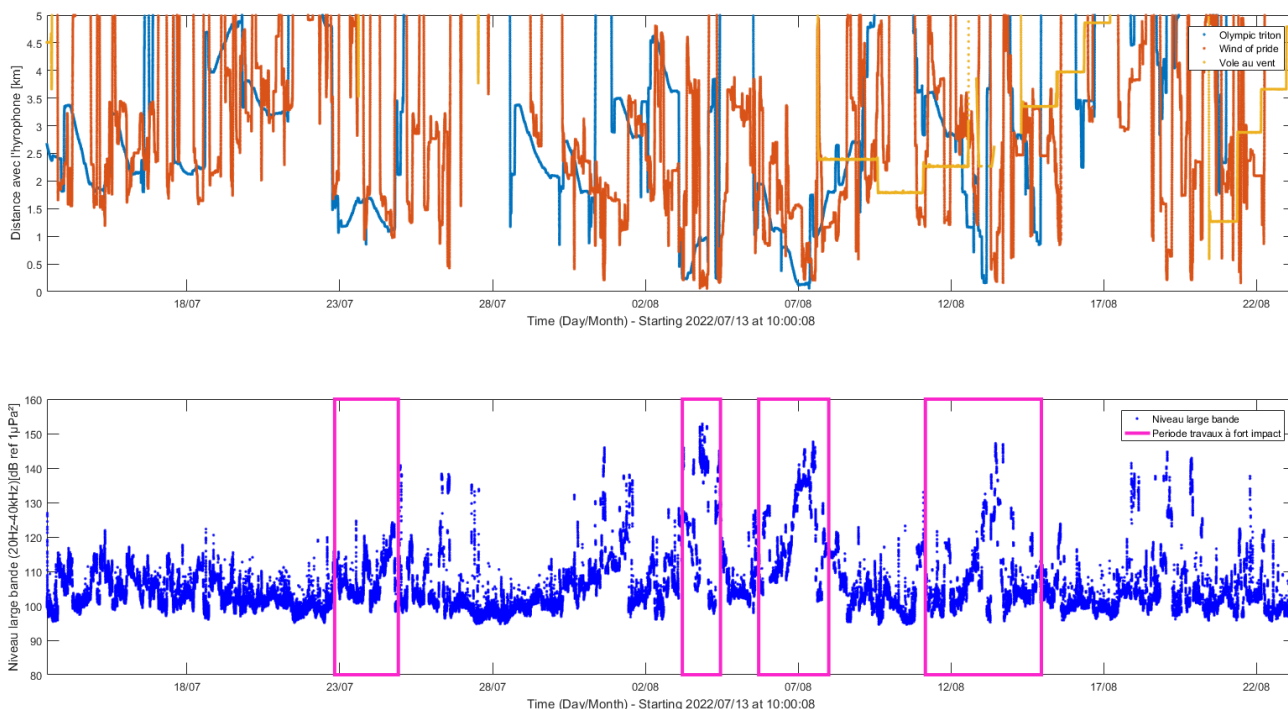


Figure 48 : A – (en haut) Distance entre le capteur acoustique de la zone Sud Est et les navires du chantier durant le suivi été 2022. En bleu : Olympic Triton ; En orange : Wind of Pride ; En jaune : Vole au vent.
B (en bas) – En bleu : Evolution des niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) mesurés lors de l’été 2022, exprimés en dB ref 1µPa² en fonction du temps, lors du suivi été 2022 ; En rose : identification (non exhaustive) de périodes de travaux d’installation de câbles.

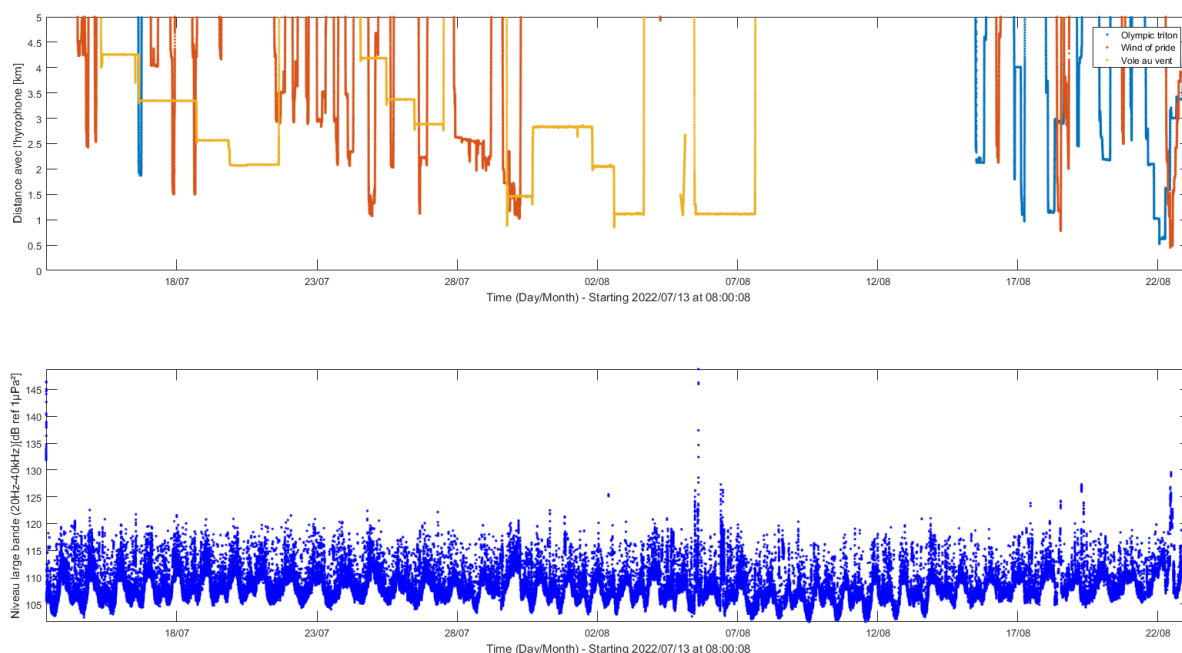


Figure 49 : A – (en haut) Distance entre le capteur acoustique de la zone Sud Est et les navires du chantier durant le suivi été 2022. En bleu : Olympic Triton ; En orange : Wind of Pride ; En jaune : Vole au vent.
B (en bas) – En bleu : Evolution des niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) mesurés lors de l’été 2022, exprimés en dB ref 1µPa² en fonction du temps, lors du suivi été 2022.

IV.4.4. Comparaison des niveaux mesurés en regard de l'état de référence – été 2022

Le Tableau 34 montre les écarts de niveaux mesurés par rapport à l'été 2019, période de mesures de l'état de référence. A l'identique du suivi précédent, le Tableau 35 propose une synthèse des écarts des niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) mesurés entre l'été 2021 et l'été 2019. Sa construction est basée sur le Tableau 34.

La Figure 50 montre la comparaison des spectres acoustiques mesurés lors de l'été 2022 avec ceux mesurés lors de l'été 2019 (état de référence), dans la zone Sud-Ouest, pour les percentiles 1% (courbe bleue), 50% (courbe jaune) et 99% (courbe orange) :

- ✓ Les niveaux des percentiles faibles à médians sont plus faibles (moyenne des écarts pour les percentiles 99/90% et 50%) de 3.1 à 7.1 dB que ceux mesurés lors de la saison estivale 2019. A l'identiques des autres périodes de suivi, une baisse notable (de 5 à 6dB dans la Figure 50) de l'énergie acoustique contenue dans les fréquences comprises entre 4 et 20kHz est visible dans la zone Sud-Ouest (et dans les autres zones d'étude). Cette baisse, probablement due à une baisse d'activité benthique vis-à-vis de celle rencontrée lors de l'état de référence, explique les écarts rencontrés.
- ✓ Les niveaux les plus forts (moyenne des écarts pour les percentiles 1 et 10%) sont en baisse dans la zone Sud-Ouest par rapport à l'état de référence en été 2019, avec un écart de -12dB, qui peut être expliqué par une baisse de la navigation à proximité de la zone par les navires. La zone Sud-Est voit au contraire une augmentation de 15.2dB par rapport à l'état de référence : on voit ici l'effet important des travaux d'installation de câble et les manœuvres des navires projet réalisés durant la campagne. La zone Nord-Ouest ne montre pas de différence majeure avec l'état de référence.

Pour rappel, la zone Mor-Braz ayant été ajoutée en complément de l'état de référence (2019-2020), le niveau sonore de cette zone ne peut être évalué que durant la période des travaux. Aucune comparaison ne peut donc être faite avec l'état de référence.

Tableau 34 : Différences de niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) entre l'été 2022 et l'été 2019, pour les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est (exprimés en dB ref 1µPa²).

	Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
Nord-Ouest	Eté 2022-ref (dB)	-8	-7,5	-6,4	-5,9	-5,1	-3,6	-2,4	0	16
Sud-Ouest	Eté 2022-ref (dB)	-4,6	-5,4	-6,4	-6,7	-7,1	-9,4	-12,9	-11,1	3,5
Sud-Est	Eté 2022-ref (dB)	-6,2	-6,6	-5,8	-4,9	-3,1	1,5	7,3	23	15,5
Mor-Braz	Absence de système de mesure durant l'état de référence									

Tableau 35 : Synthèse des écarts de niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) entre l'été 2022 et l'été 2019, pour les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est (exprimés en dB ref 1µPa²).

		Niveaux faibles	Niveaux médians	Niveaux forts
Nord-Ouest	Eté 2022-ref (dB)	-7,0	-5,1	-1,2
Sud-Ouest	Eté 2022-ref (dB)	-5,9	-7,1	-12,0
Sud-Est	Eté 2022-ref (dB)	-6,2	-3,1	15,2

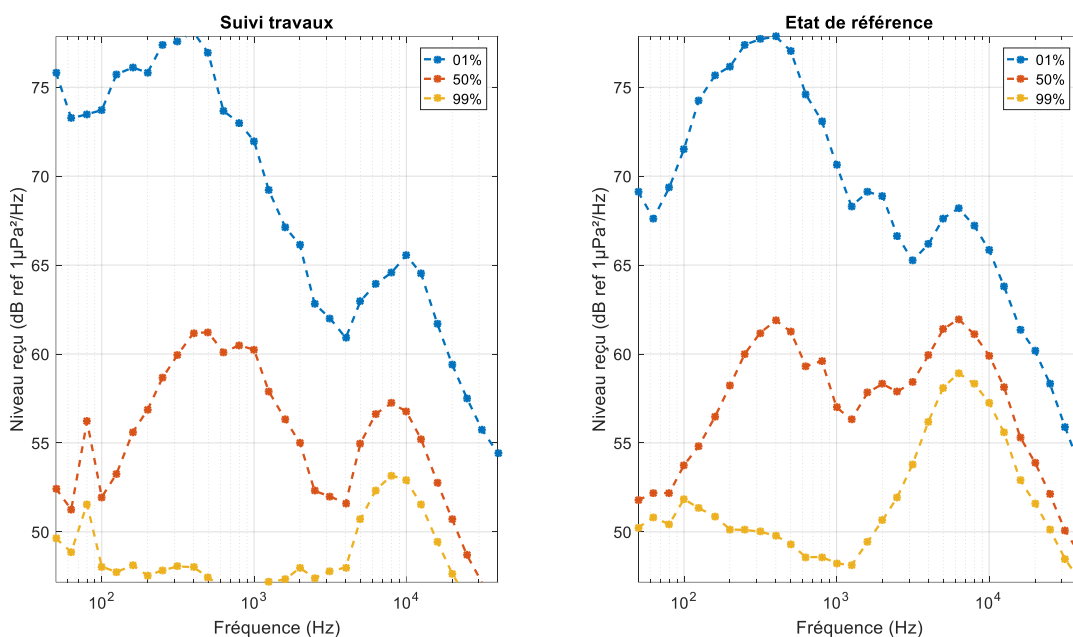


Figure 50 : Comparaison des répartitions spectrales des niveaux mesurés dans la zone Sud-Est lors de l'été 2022 (à gauche) et lors de l'été 2019 (état de référence, à droite).

IV.5. Inter-comparaison des campagnes des mesures acoustiques

Ce chapitre vise à dresser une comparaison des niveaux sonores relevés en phase travaux, afin de dresser une tendance saisonnière du profil de bruit local.

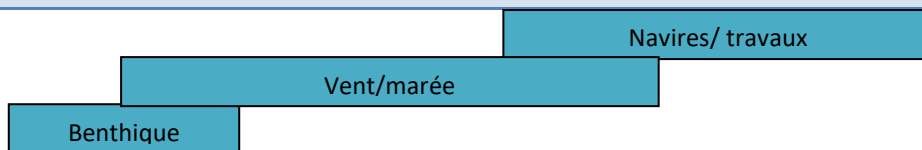
IV.5.1. Périodes été 2021 et hiver 2022

Les écarts des statistiques (Tableau 36) sont calculés entre les périodes été 2021 et hiver 2022, en utilisant :

$$\Delta_{saison} = SPL_{Hiver2022} - SPL_{Eté2021}$$

Tableau 36 : Différences de niveaux sonores entre l'hiver 2022 et l'été 2021 (dB) en fonction de la zone et du percentile.

Δ (dB)	Percentile (%)	Niveau très courant			Niveau médian			Niveau très rare		
		100	99	90	75	50	25	10	1	0
	Nord-Ouest	2,6	-3,1	-2,3	-1,7	-0,6	1,2	4,6	6,2	9,2
	Sud-Ouest	0	0,3	1	1,8	3	5,7	10,1	10,3	8,2
	Sud-Est	-0,9	-0,9	0	1	2,3	3,2	4,6	5	0,4
	Mor-Braz	-3,3	-1,1	-0,5	0	0,9	1,6	1,9	-5,4	-0,5



Le Tableau 37 propose une synthèse des écarts des niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) mesurés entre l'hiver 2022 et l'été 2021. Sa construction est basée sur le Tableau 36 :

- ✓ L'indicateur « niveaux très courants » est obtenu en moyennant les écarts mesurés pour les percentiles 99 et 90 ;
- ✓ L'indicateur « niveaux médians » correspond à l'écart au percentile 50 ;
- ✓ L'indicateur « niveaux très rares » est obtenu en moyennant les écarts mesurés pour les percentiles 1 et 10.

Cette synthèse permet alors de dresser des tendances sur les écarts inter saisons mesurés.

Tableau 37 : Synthèse des écarts de niveaux sonores large bande (20HZ-40kHz) entre l'hiver 2022 et l'été 2021, en fonction de la zone d'étude.

		Niveaux très courants	Niveaux médians	Niveaux très rares
Nord-Ouest	Hiver 2022-été 2021 (dB)	-2,7	-0,6	5,4
Sud-Ouest	Hiver 2022-été 2021 (dB)	0,7	3,0	10,2
Sud-Est	Hiver 2022-été 2021 (dB)	-0,5	2,3	4,8
Mor-Braz	Hiver 2022-été 2021 (dB)	-0,8	0,9	-1,8

IV.5.1.a. Zone Nord-Ouest (NW)

De manière générale :

- ✓ Les bruits les plus forts de la période hiver sont supérieurs à la période été de 5.4dB : la différence de déplacement sédimentaire entre l'été et l'hiver en est responsable ;
- ✓ Les bruits médians relevés sont proches entre l'hiver et l'été ;
- ✓ Pour les bruits les plus faibles, la période hiver est inférieure à l'été de 2.7dB : les conditions météo plus rudes en hiver ainsi que les activités chantier ne suffisent pas à contrer l'activité benthique plus forte en été.

IV.5.1.b. Zone Sud-Ouest (SW)

De manière générale :

- ✓ Les bruits les plus forts de la période hiver sont supérieurs à la période été de 10.2dB : la différence de déplacement sédimentaire entre l'été et l'hiver en est responsable ;
- ✓ Les bruits médians relevés en hiver sont 3dB supérieurs à ceux relevés en été : le déplacement sédimentaire et les conditions météo permettent d'expliquer cet écart ;
- ✓ Pour les bruits les plus faibles, on ne constate pas de différence entre l'hiver et l'été.

IV.5.1.c. Zone Sud-Est (SE)

De manière générale :

- ✓ Les bruits les plus forts de la période hiver sont supérieurs à la période été de 4.8 dB : la différence de déplacement sédimentaire entre l'été et l'hiver en est responsable ;

- ✓ Les bruits médians relevés en hiver sont supérieurs de 2,3dB par rapport à l'été : les conditions météo plus rudes en hiver expliquent ce phénomène ;
- ✓ On ne constate pas de différence notable entre l'été et l'hiver sur les bruits les plus faibles : il y a compétition entre le bruit benthique plus fort en été et des conditions météo plus rudes en hiver.

IV.5.1.d. Zone Mor-Braz (MB)

De manière générale :

- ✓ Les bruits les plus forts sont plus faibles de 1.8 dB en hiver 2022 qu'en été 2021 : ceci est imputable à la navigation de plaisance, beaucoup plus active en été qu'en hiver;
- ✓ Les bruits médians sont équivalents entre l'hiver et l'été ;
- ✓ Les niveaux les plus faibles proches.

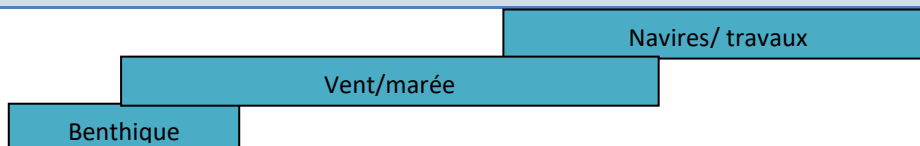
IV.5.2. Périodes été 2021 et été 2022

Les écarts (Tableau 38) sont calculés entre les périodes été 2021 et été 2022, en utilisant :

$$\Delta_{saison} = SPL_{été2022} - SPL_{été2021}$$

Tableau 38 : Différences de niveaux sonores entre l'été 2022 et l'été 2021 (dB) en fonction de la zone et du percentile.

		Niveau très courant			Niveau médian			Niveau très rare		
Percentile (%)		100	99	90	75	50	25	10	1	0
Δ (dB)	Nord-Ouest	5	-1,4	-0,7	-0,7	-0,6	-0,3	0,3	-5,1	5,1
	Sud-Ouest	1	1,2	1,1	1	0,7	0,4	0,2	1	-2,3
	Sud-Est	1,5	1,3	2,1	2,7	4,1	8,2	13,3	26,4	1,9
	Mor-Braz	-0,8	-1	-1,3	-1,3	-1,7	-2,1	-2,1	0,1	2,4



A l'identique de la comparaison précédente, le Tableau 39 propose une synthèse des écarts des niveaux sonores large bande (20Hz-40kHz) mesurés entre l'été 2022 et l'été 2021. Sa construction est basée sur le Tableau 38 :

Tableau 39 : Synthèse des écarts de niveaux sonores large bande (20HZ-40kHz) entre l'été 2022 et l'été 2021, en fonction de la zone d'étude.

		Niveaux très courants	Niveaux médians	Niveaux très rares
Nord-Ouest	Été 2022 -été 2021 (dB)	-1,1	-0,6	-2,4
Sud-Ouest	Été 2022 -été 2021 (dB)	1,2	0,7	0,6
Sud-Est	Été 2022 -été 2021 (dB)	1,7	4,1	19,9
Mor-Braz	Été 2022 -été 2021 (dB)	-1,2	-1,7	-1,0

IV.5.2.a. Zone Nord-Ouest (NW)

De manière générale :

- ✓ Les bruits les plus forts de la période été 2022 sont inférieurs à la période été 2021 de 2.4dB : les travaux ont davantage impacté la zone en 2021, ce qui est confirmé par le planning des travaux ;
- ✓ Les bruits médians relevés sont proches entre les étés 2021 et 2022 ;
- ✓ Les bruits faibles relevés sont proches entre les étés 2021 et 2022.

IV.5.2.b. Zone Sud-Ouest (SW)

Aucune différence notable de niveau sonore n'est relevée entre les périodes été 2021 et été 2022.

IV.5.2.c. Zone Sud-Est (SE)

L'impact important des travaux de pose de câbles dans la zone Sud-Est a impacté tous les percentiles lors de l'été 2022. Une augmentation des niveaux de bruit de 19.9dB, 4.1 et 1.7dB pour les percentiles forts, médians et faibles est visible en regard du suivi été 2021.

IV.5.2.d. Zone Mor-Braz (MB)

De manière générale :

- ✓ Les bruits les plus forts sont équivalents d'un été à l'autre : ceci montre la stabilité de la fréquentation des navires de plaisance durant la période estivale ;
- ✓ Les bruits médians relevés en 2022 sont inférieurs de 1.7dB à ceux mesurés en 2021 ;
- ✓ Pour les bruits les plus faibles, les niveaux mesurés sont proches d'un été à l'autre.

Chapitre V. Détection des signaux biologiques

Dans cette partie, un rappel sur les informations de la littérature est présenté (de la classification scientifique des espèces en passant par les signatures acoustiques recherchées ainsi qu'une description des capacités auditives des cétacés), suivi par la description de la fréquentation du site par les mammifères marins établie lors de l'état de référence. Les résultats sur la fréquentation du site pendant les travaux sont ensuite présentés, puis croisés avec les différentes activités sur zone et comparés à la fréquentation observée lors de l'état de référence.

A noter que le suivi de l'évolution de la fréquentation des zones d'études par les mammifères marins, et leur comportement associé, pendant les travaux a été réalisé suite à un traitement bioacoustique de la donnée recueillie par les enregistreurs acoustiques.

Concernant le point de mesure situé au niveau de la zone Mor-Braz, ce point n'a pas fait l'objet d'un suivi acoustique lors de l'état de référence et ne permet donc aucune comparaison dans le cadre d'un protocole BACI (cf. Chapitre III). Pour rappel, les suivis visuels réalisés lors de l'état de référence (été 2019 et hiver 2020) au niveau de la zone Mor-Braz ont mis en évidence une fréquentation régulière de mammifères marins à cet emplacement. Cette zone étant sous l'influence des bruits les plus élevés du chantier, il a été décidé d'y installer une station de suivi durant la période des travaux afin d'évaluer un potentiel effet de dérangement à travers l'observation de sa fréquentation par les mammifères marins.

V.1. Connaissance biologique du site

V.1.1. Rappels de la littérature

V.1.1.a. 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 51).

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 Trichéchiidés qui regroupe les espèces de Lamantins et la famille des Dugongidés qui est représentée uniquement par le Dugong (*Dugong dugong*).

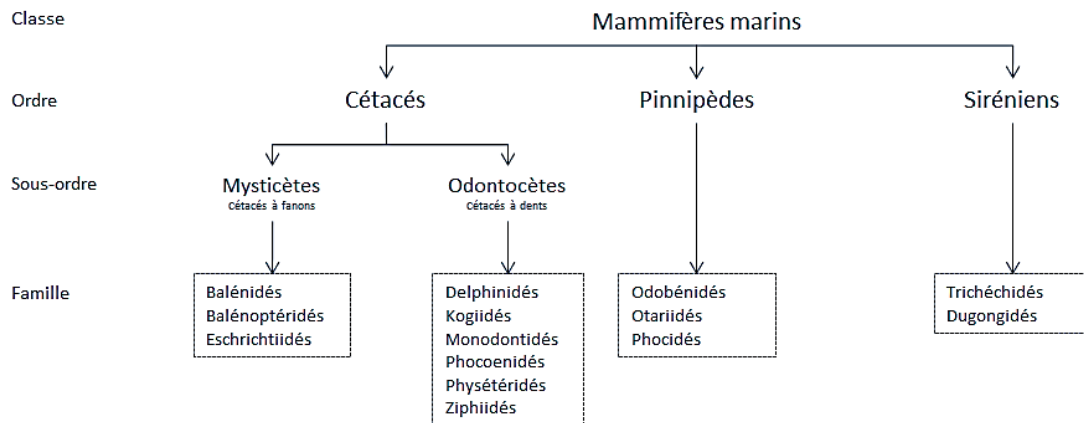


Figure 51 : Schéma de la classification scientifique des espèces océaniques et marines de mammifères. Source : Quiet-Oceans.

V.1.1.b. Fréquentation a priori du site par les mammifères marins

Le Tableau 40 synthétise les informations recensées via des données bibliographiques et des campagnes d'observations visuelles, concernant les mammifères marins susceptibles d'être rencontrés au large de Saint-Nazaire, à proximité des zones étudiées (Figure 6). Ce recensement permet de définir les familles de mammifères marins qui seront acoustiquement recherchées durant le traitement et l'analyse bioacoustique de la donnée audio. Bien que des observations visuelles de Petit Rorqual et Phoque gris aient lieu chaque année, la présence de ces deux espèces reste très occasionnelle dans un rayon de 50 km autour de la zone d'étude.

Du point de vue acoustique, les espèces sont catégorisées en quatre classes définies par (Southall et al., 2019) (cf. V.1.1.d.) :

- ✓ Basses fréquences (acronyme LF) : 0.2 - 19 kHz ;
- ✓ Hautes fréquences (acronyme HF) : 8.8 - 110 kHz ;
- ✓ Très hautes fréquences (acronyme VHF) : 12-140 kHz ;
- ✓ Les pinnipèdes ont leur propre catégorie acoustique (acronyme PCW) : 1.9 -30 kHz.

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

- **DD** = Données Insuffisantes (manque d'informations suffisantes sur les espèces et leur abondance) ;
- **LC** = Moins Concernée (l'espèce est largement répartie et abondante) ;
- **NT** = Non Menacée (l'espèce n'est pas menacée, mais le sera probablement dans un avenir proche) ;
- **VU** = Vulnérable (l'espèce présente un risque élevé d'extinction dans la nature sauvage) ;
- **EN** = En Danger (l'espèce affronte un risque très élevé d'extinction dans la nature) ;
- **CR** = En Danger Critique (risque extrêmement élevé d'extinction dans la nature).

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

Tableau 40 : Synthèse des données concernant les mammifères marins susceptibles d'être présents au large de Saint-Nazaire à proximité des zones d'étude.

Famille	Espèce		Statut UICN	Statut de fréquentation du site	Catégorie acoustique
	Nom Usuel	Nom Latin			
Delphinidés	Grand dauphin	<i>Tursiops truncatus</i>	LC	Permanent	HF
	Dauphin bleu-et-blanc	<i>Stenella coeruleoalba</i>	LC	Occasionnel	HF
	Dauphin commun	<i>Delphinus delphis</i>	LC	Permanent	HF
	Dauphin de Risso	<i>Grampus griseus</i>	LC	Permanent	HF
	Globicéphale noir	<i>Globicephala melas</i>	LC	Permanent	HF
	Orque	<i>Orcinus orca</i>	DD	Occasionnel	HF
	Lagénorhynque à flanc blanc	<i>Lagenorhynchus acutus</i>	LC	Occasionnel	HF
Phocoenidés	Marsouin commun	<i>Phocoena phocoena</i>	LC	Permanent	VHF
Balénoptéridés	Petit Rorqual	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	LC	Occasionnel	LF
Phocidés	Phoque gris	<i>Halichoerus grypus</i>	LC	Occasionnel	PCW



Figure 52 : Famille des Delphinidés – Grand dauphin (*Tursiops truncatus*). Source : EcoOcéan Institut.



Figure 53 : Famille des Phocoenidés - Groupe de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*). Source : GREMM.

V.1.1.c. 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.

i. 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 54 et la Figure 55.

Les sifflements, utilisés pour la communication entre les différents individus (but social), sont émis dans une bande fréquentielle allant généralement de 2 à 25 kHz. Chaque espèce de Delphinidés a sa propre gamme d'émissions caractéristique pour une grande diversité de sifflements émis (Tableau 41). 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 classification⁸.

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'écholocation⁹. 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.

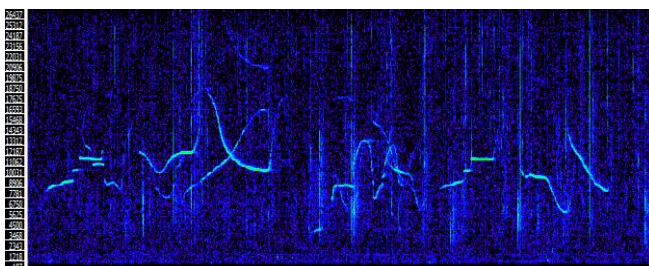


Figure 54 : Sifflements de Delphinidés émis entre 2 kHz et 25 kHz. Source : Quiet-Oceans.

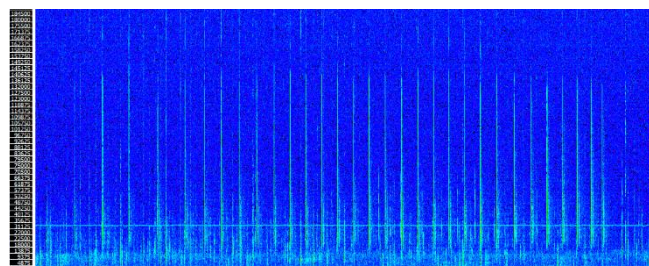
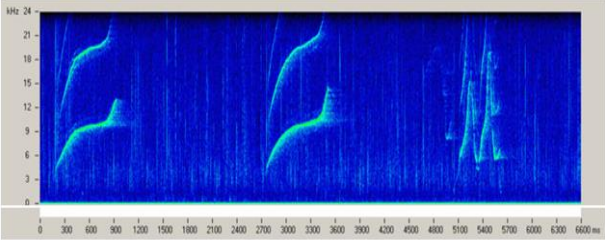
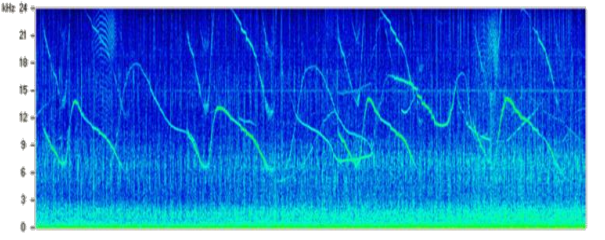
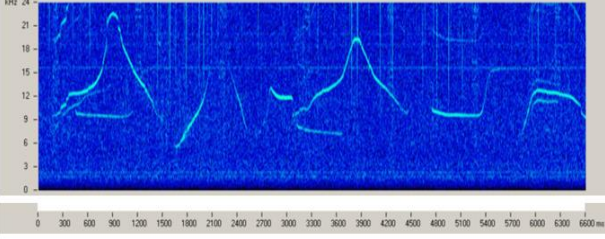


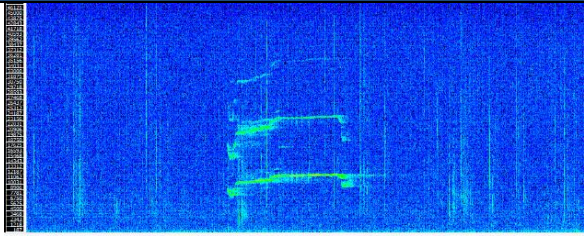
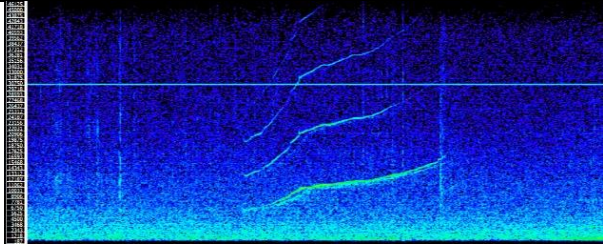
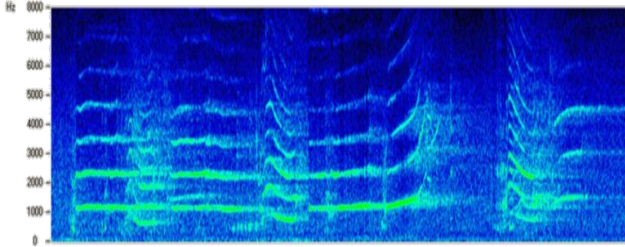
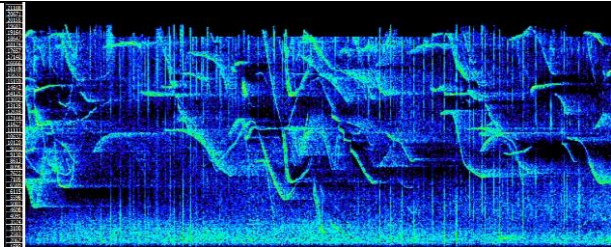
Figure 55 : Clics de Delphinidés émis entre 10 kHz et 180 kHz. Source : Quiet-Oceans.

Tableau 41 : Exemple de la diversité de sifflements émis par les Delphinidés avec le spectrogramme des émissions des espèces supposées présentes au large de Saint-Nazaire.

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
Dauphin bleu-et-blanc (<i>Stenella coeruleoalba</i>)	3.5 à 28.5 kHz	 http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html
Dauphin commun (<i>Delphinus delphis</i>)	Variation géographique mais en moyenne entre 5 et 20 kHz	 http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html

⁸ La classification permet d'associer l'espèce animale correspondante à un signal biologique.

⁹ 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 de Risso (<i>Grampus griseus</i>)	4 à 22 kHz	 Source : Quiet-Oceans
Globicéphale noir (<i>Globicephala melas</i>)	4.2 à 8.9 kHz	 Source : Quiet-Oceans
Orque (<i>Orcinus orca</i>)	1 à 20 kHz	 http://www-3.unipv.it/cibra/edu_occasional_uk.html
Lagénorhynque à flanc blanc (<i>Lagenorhynchus acutus</i>)	6 à 15 kHz	 https://www.nefsc.noaa.gov/psb/acoustics/sounds.html

ii. Sons émis par les Phocoenidés

Les caractéristiques d'émission acoustique du Marsouin commun, *Phocoena phocoena*, sont des clics (signaux impulsifs) hautes fréquences dont la bande fréquentielle d'émission est concentrée dans la bande allant de 110 à 150 kHz. Les clics durent en moyenne 0.1 ms. Ces émissions sonores ont un double rôle, elles sont utilisées pour la communication (Figure 56) mais également pour l'écholocation (Figure 57).

L'écholocation, indicateur d'une quête de nourriture, se traduit par un changement d'intervalle de temps entre deux clics consécutifs, ICI (« *Inter-Click Interval* »), entre le moment où le Phocoenidé recherche une proie et le moment où il approche et capture cette dernière. Plus le Phocoenidé se rapproche de sa proie, plus l'ICI est court et peut être apparenté à un « buzz ». Lors de la recherche de la proie, l'intervalle de temps entre chaque clic est compris entre 30 et 100 ms. Cet intervalle se réduit progressivement jusqu'à une cadence d'un clic toutes les 1.5 ms lorsque le Phocoenidé n'est plus qu'à un ou deux mètres de sa proie (Miller & Wahlberg, 2013).

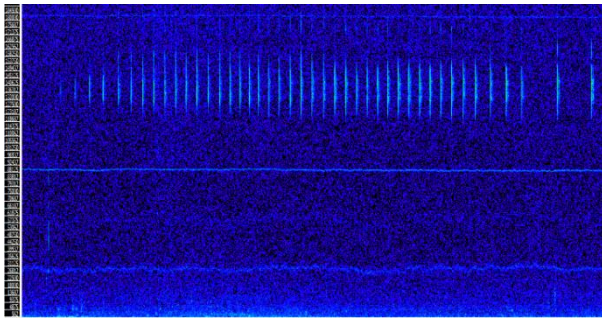


Figure 56 : Spectrogramme illustrant des clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, émis dans la bande fréquentielle allant de 110 à 150 kHz.

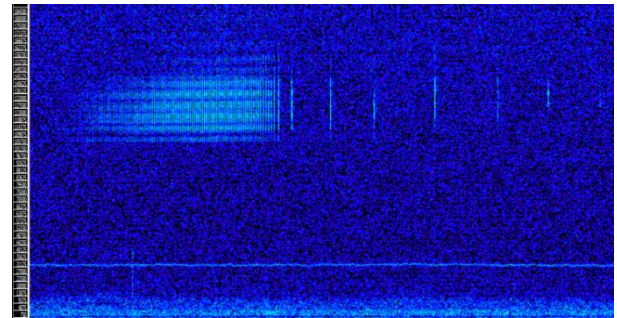


Figure 57 : Spectrogramme illustrant des clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, lors d'une activité de chasse (clics d'écholocalisation).

V.1.1.d. Capacités auditives des cétacés

La connaissance des capacités auditives des cétacés est indispensable à la compréhension des incidences sonores des sources de bruit généré par les activités humaines sur les cétacés (cf. II.3.). Les capacités auditives des cétacés sont représentées à l'aide d'audiogrammes, graphiques représentant l'intensité minimum d'un son pouvant être détecté par un animal en fonction de la fréquence (Figure 58). Par exemple, les Delphinidés sont capables de détecter les sons émis et engendrés à 10 kHz pour une intensité minimale de 45 dB environ.

L'estimation des incidences sonores est donc contextualisée en fonction de la sensibilité acoustique des espèces identifiées comme étant potentiellement présentes dans la zone du projet. Ainsi, la dernière colonne du Tableau 40 spécifie la gamme de fréquence auxquelles les espèces de mammifères marins référencées sont naturellement sensibles (Southall et al., 2019):

- ✓ Basses fréquences (acronyme LF) : 0.2 - 19 kHz ;
- ✓ Hautes fréquences (acronyme HF) : 8.8 - 110 kHz ;
- ✓ Très hautes fréquences (acronyme HF) : 12-140 kHz ;
- ✓ Les pinnipèdes ont leur propre catégorie acoustique (acronyme PCW) : 1.9 -30 kHz.

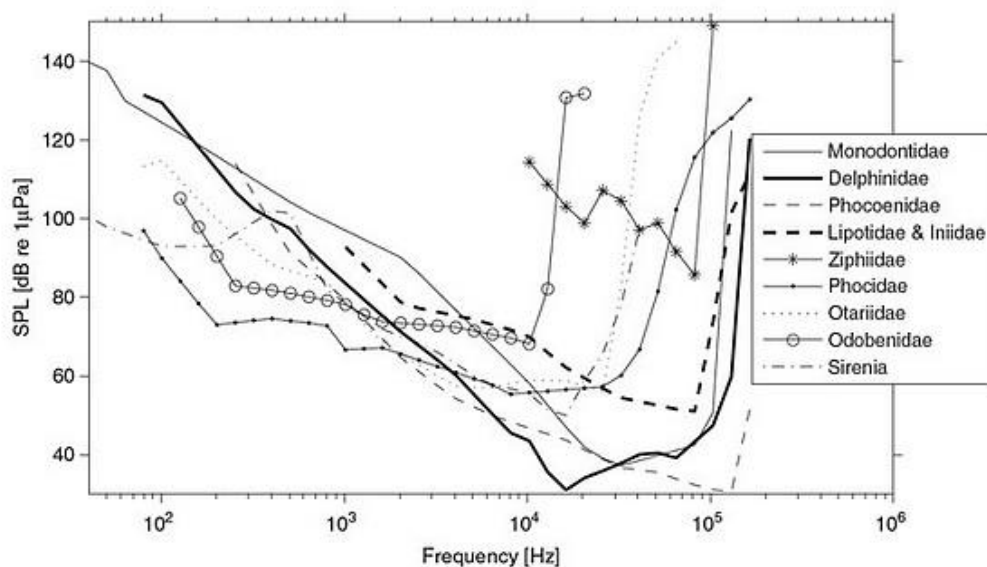


Figure 58: Audiogramme spécifique à neuf familles de mammifères marins (Popper & Hawkins 2012).

V.1.2. Fréquentation du site durant l'état de référence

Lors de l'état de référence, les campagnes de mesure ont été réalisées du 20 juin au 30 octobre 2019 (été 2019) et du 24 janvier au 18 mai 2020 (hiver 2020). Pour rappel, un déploiement de six systèmes C-POD avait été réalisé dans la zone spécifique Nord-Ouest en été 2019 et Sud-Est en hiver 2020, et un déploiement d'un enregistreur acoustique avait été réalisé dans chaque zone.

Durant la campagne été 2019, l'analyse des signaux bioacoustiques émis par les mammifères marins couramment présents au large de Saint-Nazaire a montré une présence quotidienne de Delphinidés et Phocoenidés dans les zones situées au Nord-Ouest et Sud-Ouest du périmètre du parc éolien. A proximité de la zone située au Sud-Est, les Delphinidés étaient peu présents et les Phocoenidés étaient absents. Quel que soit l'emplacement dans le périmètre du parc éolien, les signatures acoustiques émises par les espèces de ces deux familles, et détectées dans les enregistrements, indiquaient de manière générale des comportements de socialisation. Quelques comportements de chasse avaient été mis en évidence à proximité de la zone Sud-Ouest pour les Delphinidés. La classification avait permis d'identifier la présence du Dauphin commun (*Delphinus delphis*) et probablement du Grand dauphin (*Tursiops truncatus*) aux alentours de la zone d'implantation du parc éolien.

Durant cette saison estivale 2019, l'effort de déploiement d'instrumentation dans la zone Nord-Ouest du parc (6 systèmes C-POD et un enregistreur acoustique) avait permis de mettre en évidence une différence de fréquentation à l'intérieur même de cette zone. L'extrémité Ouest de la zone Nord-Ouest était quotidiennement fréquentée par les Delphinidés et Phocoenidés, tandis que la fréquentation était occasionnelle voire absente à l'extrémité Est de cette zone. L'augmentation de la bathymétrie dans la partie Ouest de la zone Nord-Ouest pourrait potentiellement expliquer cette présence quotidienne des mammifères marins à cet emplacement. En effet, une profondeur plus importante peut améliorer la détection des signaux acoustiques émis par les mammifères marins.

Durant la campagne hiver 2020, l'analyse des signaux bioacoustique mettait en évidence la présence préférentielle de Delphinidés et Phocoenidés au niveau des zones situées au Sud des limites du parc éolien (zones Sud-Ouest et Sud-Est) avec des présences acoustiques quotidiennes à régulières, un comportement dominant de socialisation et l'observation de quelques rares comportements de chasse. La zone Nord-Ouest restait occasionnellement fréquentée par les Phocoenidés et exceptionnellement par les Delphinidés.

De manière générale, le comportement principal de ces mammifères marins restait la communication entre individus voire la connaissance de leur environnement dans lequel ils évoluent quel que soit l'emplacement dans le périmètre du parc éolien. La classification avait permis d'identifier principalement le Dauphin commun, *Delphinus delphis*, comme étant à l'origine des sifflements émis.

V.2. Portée de détection des enregistreurs acoustiques

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

- ✓ Le Grand dauphin (*Tursiops truncatus*) émet des sifflements à des niveaux sonores compris entre 125 et 173 dB ref. 1 μ Pa @1m dans la bande de fréquence [800 Hz - 24 kHz] ;
- ✓ Le Dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*) émet des sifflements à des niveaux sonores de l'ordre de 130 dB ref. 1 μ Pa @1m dans la bande de fréquence [6 kHz - 24 kHz] ;

Les connaissances sur les caractéristiques acoustiques concernant le Dauphin commun (*Delphinus delphis*) ne sont, à ce jour, pas suffisamment fines pour estimer adéquatement la portée de détection pour cette espèce. Toutefois, les émissions de sifflements par les Dauphins communs, espèce communément présente au large de

Saint-Nazaire, se rapprochent en intensité et en bande de fréquence de celles du Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*). En première approximation, les portées de détection de cette espèce peuvent donc être extrapolées à celles du Dauphin commun.

Le calcul des portées de détection quant aux émissions de signaux impulsifs (clics) par les mammifères marins ne peut être réalisé faute d'informations suffisantes sur leurs caractéristiques acoustiques. Toutefois, la littérature renseigne sur la portée de détection des clics de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*). Ces derniers émettent des clics très haute fréquence, entre 110 et 150 kHz, qui sont généralement audibles dans un rayon de 200 à 400 m autour de l'enregistreur acoustique (Bailey et al., 2010; Tougaard et al., 2006).

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 42 et Tableau 43 synthétise respectivement les statistiques des distances de détection théoriques pour les espèces de Delphinidés potentiellement présentes au large de Saint-Nazaire aux périodes estivale et hivernale. Les portées de détection sont fournies pour différentes proportions de temps (95%, 50%, etc...) et pour chaque zone d'étude (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz). Les résultats mettent en évidence une différence significative de portée de détection entre les différentes espèces de Delphinidés. Cette différence peut être expliquée d'une part, par l'écart entre les niveaux d'émission de chaque espèce et d'autre part, par l'intensité du bruit existant dans la bande de fréquence spécifique du signal bioacoustique de l'espèce considérée.

Tableau 42 : Synthèse des portées de détection pour chaque zone d'étude en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes au large de Saint-Nazaire (saison estivale).

Famille	Espèce	Zone	Portée de détection (m)				
			Proportion du temps (%)				
			95	75	50	25	5
Delphinidés	Grand dauphin <i>Tursiops truncatus</i>	Nord-Ouest (NW)	347	494	612	722	851
		Sud-Ouest (SW)	1238	1644	1958	2396	2985
		Sud-Est (SE)	1365	1745	2086	2461	2947
		Mor-Braz (MB)	1246	1760	2220	2564	2948
	Dauphin bleu et blanc <i>Stenella coeruleoalba</i>	Nord-Ouest (NW)	51	65	81	95	111
		Sud-Ouest (SW)	183	230	270	310	362
		Sud-Est (SE)	205	252	287	322	368
		Mor-Braz (MB)	266	307	332	359	394

Tableau 43: Synthèse des portées de détection pour chaque zone d'étude en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes au large de Saint-Nazaire (saison hivernale).

Famille	Espèce	Zone	Portée de détection (m)				
			Proportion du temps (%)				
			95	75	50	25	5
Delphinidés	Grand dauphin <i>Tursiops truncatus</i>	Nord-Ouest (NW)	403	713	900	1081	1335
		Sud-Ouest (SW)	974	1433	1849	2295	2996
		Sud-Est (SE)	755	1299	1751	2369	3323
		Mor-Braz (MB)	1085	1678	2458	3230	3882
	Dauphin bleu et blanc <i>Stenella coeruleoalba</i>	Nord-Ouest (NW)	88	119	142	165	197
		Sud-Ouest (SW)	187	264	304	350	441
		Sud-Est (SE)	109	243	310	376	470
		Mor-Braz (MB)	290	367	444	493	558

V.3. Procédé de traitement bioacoustique

Le traitement bioacoustique de la donnée recueillie par les enregistreurs acoustiques consiste à détecter les signaux biologiques dans les données brutes à l'aide d'un logiciel dédié, puis à réaliser le contrôle et l'analyse des résultats obtenus via une validation manuelle des événements sonores (Figure 59).

Suite à la fréquentation à priori du site par les mammifères marins (cf. V.1.1.b.) mise en regard avec la fréquentation établie lors de l'état de référence, le traitement bioacoustique a été réalisé pour les deux familles de mammifères marins présentes au large de Saint-Nazaire, c'est-à-dire les Delphinidés et les Phocoenidés.

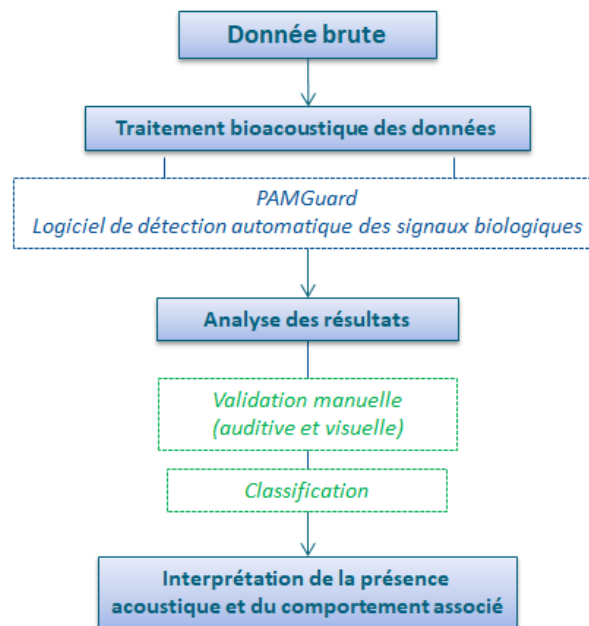


Figure 59 : Procédure générale appliquée à la donnée brute pour le traitement bioacoustique des enregistrements sonores.

V.3.1. Algorithmes de détection et d'identification des événements 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, un détecteur de signaux transitoires a été créé et calibré afin de permettre la détection de signaux transitoires d'origine biologique de type « sifflement » émis par les Delphinidés.

Ce détecteur permet la détection de signaux transitoires allant de 2 kHz à 20 kHz, bande fréquentielle couvrant les différentes variétés d'émissions de sifflements par les Delphinidés (cf.V.1.1.c. i).

V.3.1.b. Détection des signaux biologiques impulsifs

La détection automatique des signaux impulsifs est fondée sur l'émergence d'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 (cf. V.1.1.c. i), et les Phocoenidés entre 100 et 150 kHz (cf. V.1.1.c. ii).

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 saisonnière de chaque zone par les mammifères marins a été établie sur l'ensemble de la période d'écoute (période de l'ordre de 30 à 60 jours). Le Tableau 44 définit les indicateurs de présence permettant de caractériser le type de fréquentation aux alentours de chacune des stations de mesure.

Tableau 44 : 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 été 2021 (juillet à septembre)

Pour rappel, un déploiement d'un enregistreur acoustique a été réalisé dans chaque zone du 27 juillet au 16 septembre 2021 (voir III.2.3.a.).

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

i. Famille des Delphinidés

La Figure 60 représente les périodes de présence acoustique des Delphinidés (détections des clics et sifflements) dans la donnée recueillie par les enregistreurs acoustiques au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) entre le 27 juillet et 16 septembre 2021.

Suite à la vérification manuelle des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard, il apparaît que les Delphinidés sont occasionnellement présents au niveau de la **zone Nord-Ouest**, avec un taux de présence acoustique de 17.6%. En effet, 14 périodes de détections de clics et sifflements ont été observées sur 9 jours pour un total de 51 jours d'enregistrement.

De manière générale, la détection des signatures acoustiques de Delphinidés a été réalisée en journée à hauteur de 64.3% avec une différenciation au niveau des détections de clics qui ont principalement été relevés durant la nuit. Le comportement de ces cétacés est associé principalement à la socialisation/ communication entre individus avec la présence majoritaire de sifflements dans les enregistrements. Quelques détections de clics

d'écholocation entre 10 et 100 kHz (Figure 61) permettent de noter un comportement probable de sondage de l'environnement dans lequel les cétacés évoluent.

Au niveau de la **zone Sud-Ouest**, il apparaît que les Delphinidés sont régulièrement présents au niveau de cette zone sur l'ensemble de la période d'étude. En effet, 82 périodes de détections de clics et sifflements ont été réalisés sur 32 jours pour un total de 51 jours d'enregistrements, soit un taux de présence acoustique des Delphinidés sur site de 63%.

De manière générale, la détection des clics et sifflements a été constatée indépendamment des heures de la journée. Aucune période préférentielle de passage n'a donc pu être établie pour la présence des Delphinidés qui sont autant présents de jour comme de nuit à proximité de la zone Sud-Ouest.

Lors de l'analyse bioacoustique des résultats, un comportement de socialisation a été observé (Figure 62) et renforcé par plusieurs caractéristiques de signaux acoustiques détectés qui ont permis de noter des comportements de communication acoustique intense supposant des épisodes de chasse opportunistes (Figure 63) :

- ✓ 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 détectés.

De plus, les détections de clics ont principalement été réalisées en période nocturne, période propice à la quête de nourriture chez les cétacés. A noter que les sifflements détectés en dehors des épisodes de communication intense / quête de nourriture sont de faible densité et intensité.

Au niveau de la **zone Sud-Est**, l'analyse des détections de clics et sifflements réalisées dans les enregistrements montre une fréquentation régulière des Delphinidés du 27 juillet au 16 septembre 2021 avec un taux de présence acoustique de 55%. En effet, 77 périodes de détections des signatures acoustiques de Delphinidés ont été réalisées sur 28 jours pour un total de 51 jours d'enregistrement. Ces signatures acoustiques ont été observées principalement durant la période nocturne à hauteur de 68.8%. De manière générale, le comportement observé est un comportement de socialisation avec la présence de sifflements et de clics de communication entre 15 et 70 kHz associés à quelques clics d'écholocation (Figure 64 et Figure 65). Certaines détections permettent de noter un comportement de communication acoustique intense entre individus avec la détection spécifique de « buzzs » entre 15 et 80 kHz (Figure 66).

Au niveau de la **zone Mor-Braz**, zone ajoutée en complément de l'état de référence (cf. Chapitre III), l'analyse des détections de clics et sifflements réalisées dans les enregistrements montre une fréquentation quotidienne des Delphinidés du 27 juillet au 16 septembre 2021 avec un taux de présence acoustique de 98%. En effet, 288 périodes de détections de signatures acoustiques de Delphinidés ont été réalisées sur 50 jours pour un total de 51 jours de mesure. Ces détections confirment l'importante fréquentation de ce site mise en avant lors des suivis visuels réalisés durant de l'état de référence.

Les détections ont été réalisées indépendamment des heures de la journée. Aucune période préférentielle de passage n'a donc pu être établie pour la présence des Delphinidés qui sont autant présents de jour comme de nuit au niveau de la zone Mor-Braz. Toutefois, une différenciation peut être faite au niveau des détections de clics qui ont principalement étaient relevées en périodes nocturnes.

Lors de l'analyse bioacoustique, plusieurs caractéristiques des signaux acoustiques détectés ont permis de noter des comportements associés à une quête de nourriture (Figure 67) :

- ✓ Détections d'un nombre importants de clics ;
- ✓ Détections de « buzzs » et cris pulsés ;
- ✓ Détections de clics d'écholocation parfois intenses entre 10 et 192 kHz ;
- ✓ Un ICI variable (plus ou moins court) pour chaque train de clics détectés.

A noter que les sifflements détectés sont, de manière générale, de faible intensité sur l'ensemble de la période d'étude.

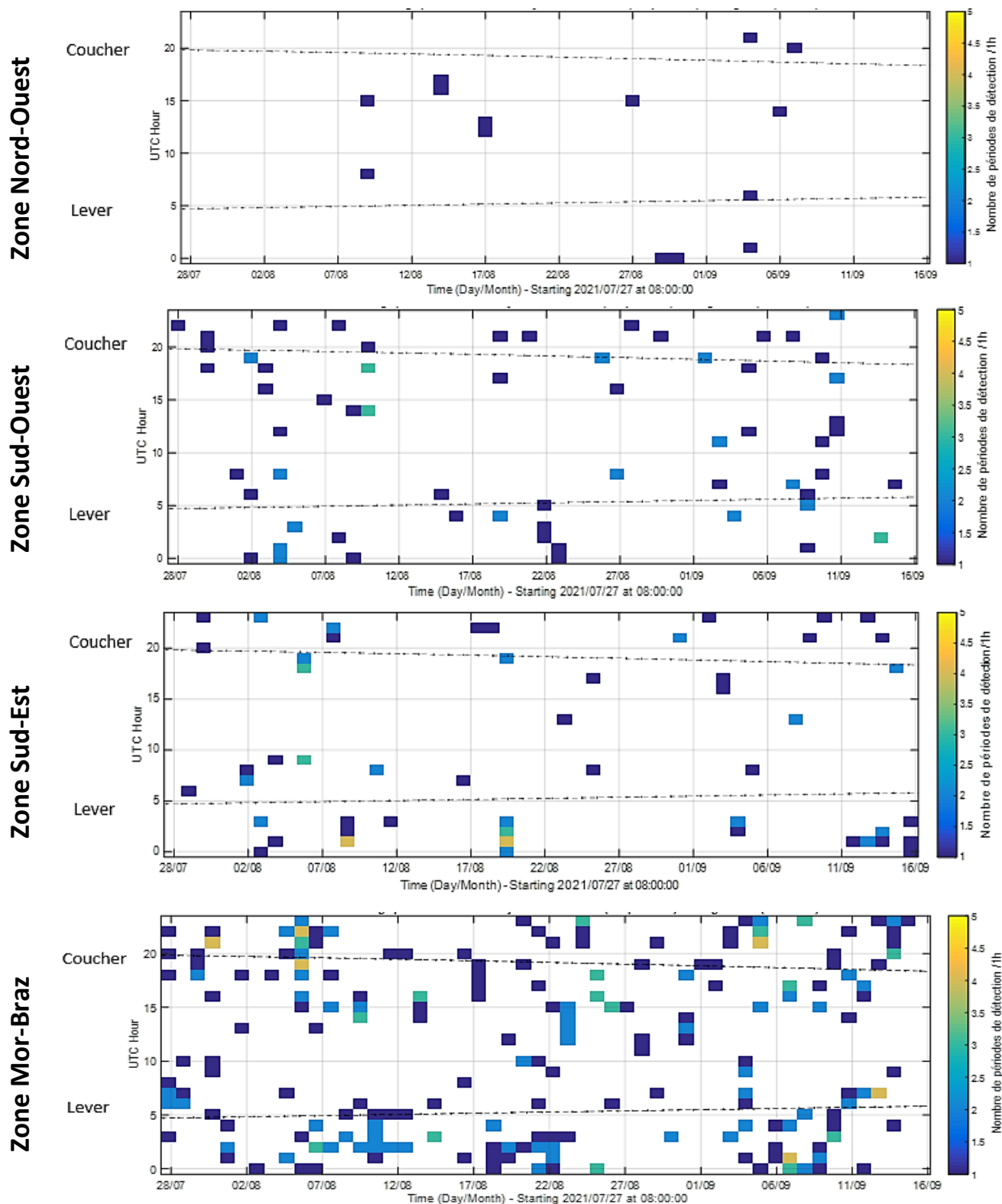


Figure 60 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) pour la période du 27 juillet au 16 septembre 2021.

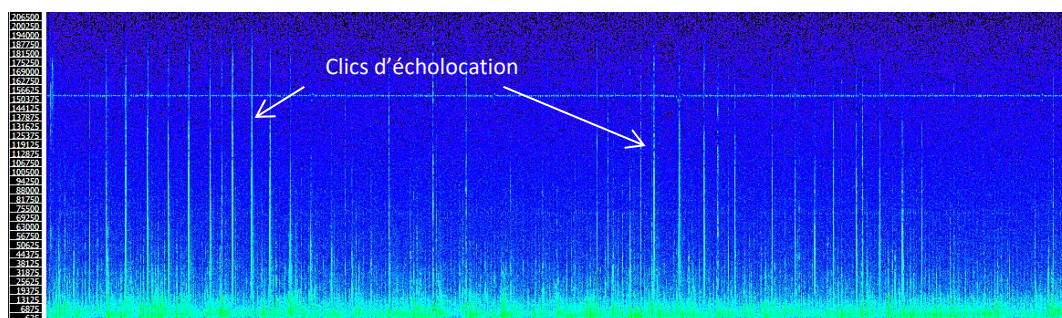


Figure 61 : Clics d'échocalisations de Delphinidés (env. 10 à 100 kHz) détectés sur la journée du 09 août 2021 vers 08h10 UTC à proximité de la zone Nord-Ouest.

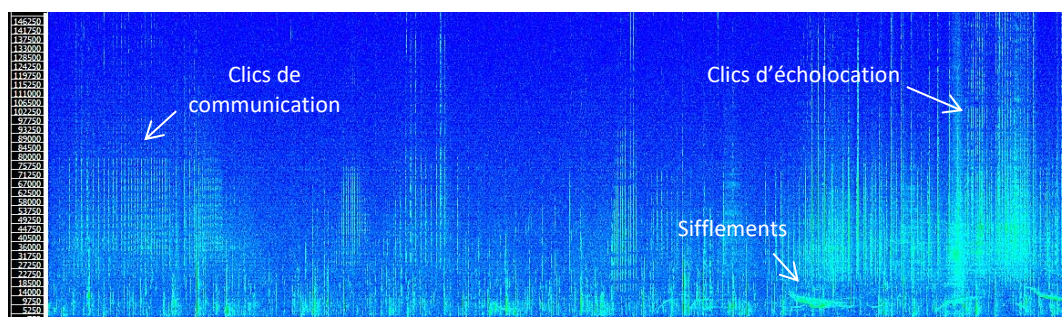


Figure 62 : Sifflements, clics de communication (15 à 80 kHz) et d'échocalisation (15 à 130 kHz) détectés sur la journée du 03 septembre 2021 à 11h32 UTC au niveau de la zone Sud-Ouest.

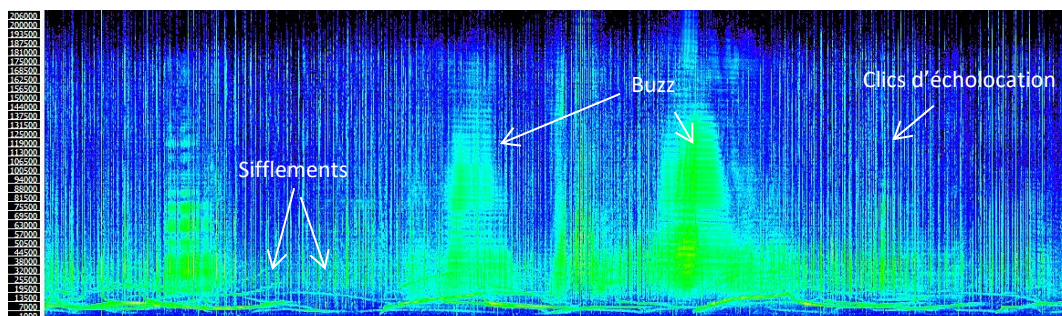


Figure 63 : Probable épisode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone Sud-Ouest. Journée du 08 septembre 2021 vers 07h11 UTC.

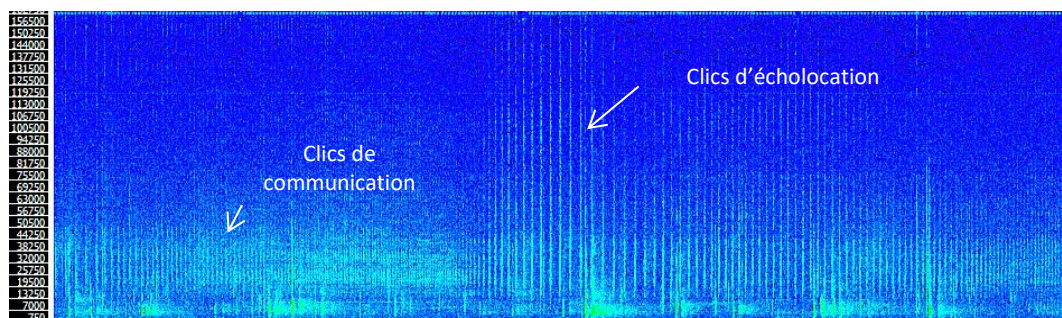


Figure 64 : Clics de communication (15 à 70 kHz) et d'échocalisation de faible intensité (15 à 115 kHz) de Delphinidés détectés le 19 août 2021 vers 01h551 UTC à proximité de la zone Sud-Est.

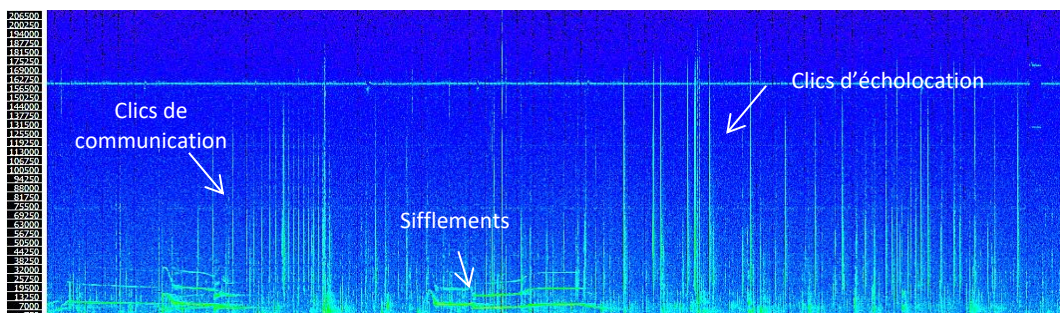


Figure 65 : Sifflements, clics de communication et d'écholocation de Delphinidés suggérant un épisode de communication entre individus. Détections réalisées le 13 septembre 2021 à 01h01 UTC à proximité de la zone Sud-Est.

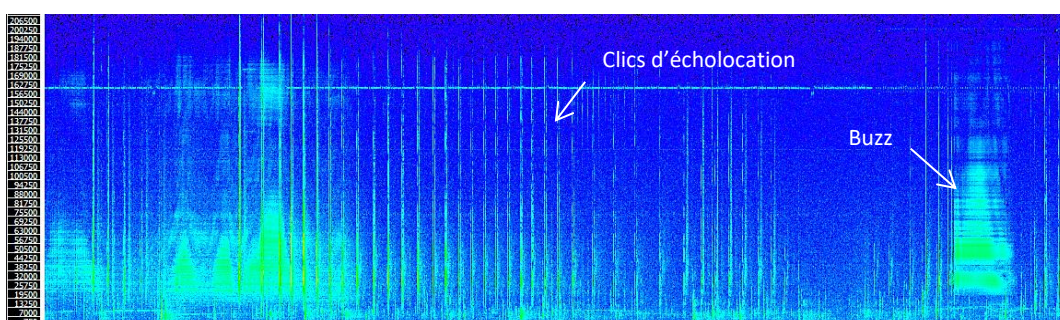


Figure 66 : Clics d'écholocation (15 à 150 kHz) et buzzs (15 à 80 kHz) de Delphinidés faisant référence à une communication intense entre individus. Détections réalisées le 19 août 2021 à 01h50 UTC à proximité de la zone Sud-Est.

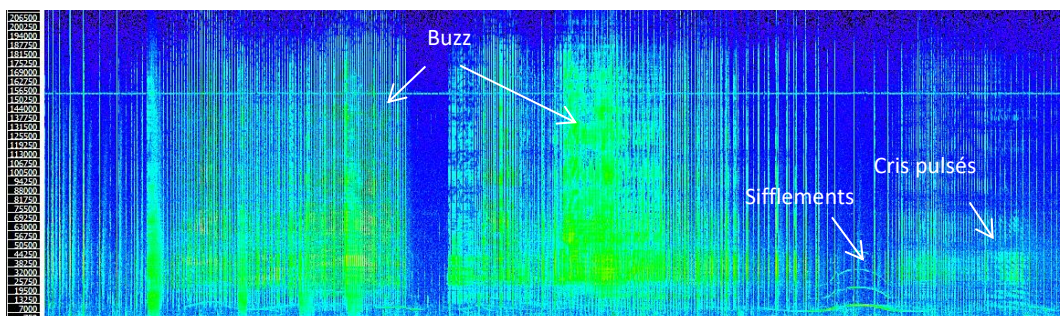


Figure 67 : Probable épisode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone Mor-Braz. Journée du 23 août 2021 vers 13h32 UTC.

ii. Famille des Phocoenidés

La Figure 68 représente les périodes de détections des clics haute fréquence émis par les Marsouins communs dans la donnée recueillie par les enregistreurs acoustiques au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) entre le 27 juillet et 16 septembre 2021.

A noter que l'analyse des résultats obtenus pour la **zone Nord-Ouest** permet de noter la présence exceptionnelle des Marsouins communs (*Phocoena phocoena*) avec la détection de trains de clics le 15 septembre 2021 à 17h50 UTC (Figure 69).

Au niveau de la **zone Sud-Ouest**, les Marsouins communs fréquentent occasionnellement le site avec un taux de présence acoustique de 35.3%, soit des détections de clics réalisées sur 18 jours pour un total de 51 jours d'enregistrements. Toutefois, il est possible de différencier plusieurs phases dans la fréquentation de ces cétacés sur l'ensemble de la période d'étude :

- ✓ Une phase de fréquentation régulière entre le 27 juillet et 15 août 2021 ;
- ✓ Une phase d'absence entre le 16 août et le 02 septembre 2021 ;
- ✓ Une phase de fréquentation exceptionnelle entre le 03 et 16 septembre 2021 avec quatre périodes de détections de clics confirmées.

De manière générale, les clics de Marsouins communs ont été détectés en journée à hauteur de 88.9%. Bien que le comportement dominant mis en évidence par les détections de clics soit un comportement de socialisation/communication, quelques rares détections de trains de clics permettent de supposer un comportement de chasse opportuniste suite à l'observation d'un intervalle de temps entre chaque clic (ICI) variable et de courte durée (Figure 70 et Figure 71).

Au niveau de la **zone Sud-Est**, il apparaît que les Marsouins communs sont occasionnellement présents entre le 27 juillet et 16 septembre 2021 avec 8 périodes de détections de clics confirmées sur 7 jours pour un total de 51 jours d'enregistrements, soit un taux de présence acoustique de 13.7%. Les détections de clics ont été réalisées principalement en journée avec un taux de présence diurne de 75%. Les clics détections étant peu nombreux et de faible intensité pour la plupart (Figure 72 et Figure 73), il est supposé que les Marsouins communs étaient assez éloignés de la zone Sud-Est lors de leur passage.

Au niveau de la **zone Mor-Braz**, les Marsouins communs fréquentent régulièrement cette zone avec un taux de présence acoustique proche de 57%, soit 53 périodes de détections de clics confirmées sur 29 jours pour un total de 51 jours d'enregistrements. Les détections de clics ont été réalisées aussi bien de jour comme de nuit avec des taux respectifs de 56.6% et 43.4%. Le comportement dominant de ces détections est associé à la socialisation (Figure 74), toutefois quelques épisodes de chasse opportuniste ont été observés avec la détection simultanée de trains de clics et buzzs (Figure 75). A noter que dans la plupart des détections, les clics sont de faible intensité et supposent un passage lointain des Marsouins communs par rapport à la station de suivi Mor-Braz.

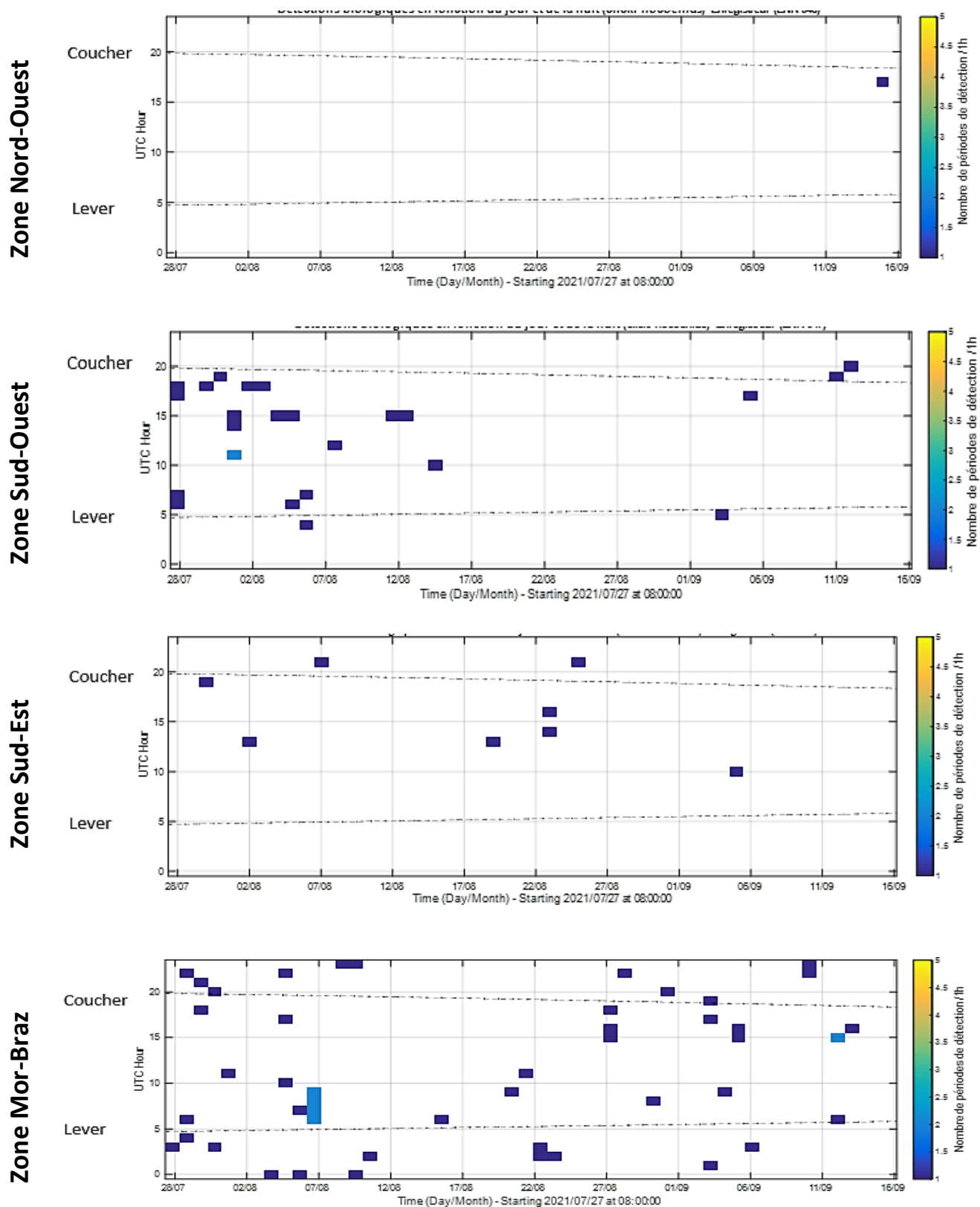


Figure 68 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) pour la période du 27 juillet au 16 septembre 2021.

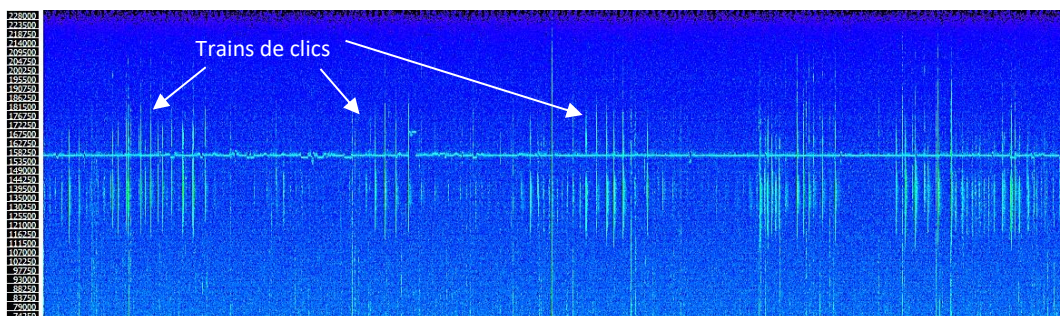


Figure 69 : Trains de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 115 et 170 kHz sur la journée du 15 septembre 2021 vers 17h50 UTC à proximité de la zone Nord-Ouest.

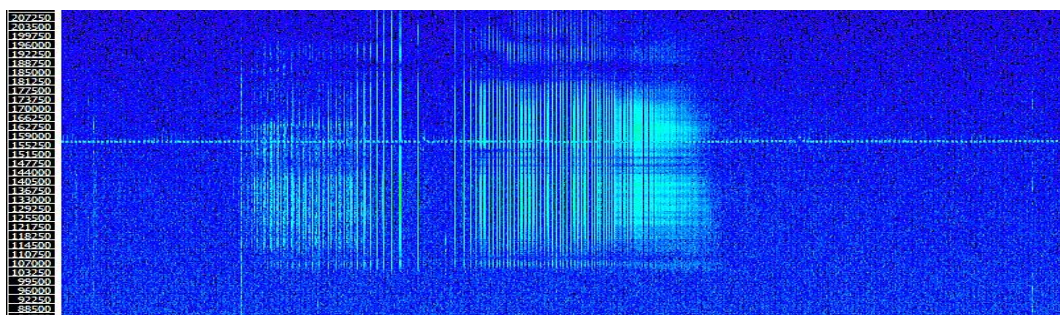


Figure 70 : Buzs de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 170 kHz avec un ICI variable et traduisant un probable comportement de chasse opportuniste au niveau de la zone Sud-Ouest. Journée du 13 août 2021 à 15h31 UTC.

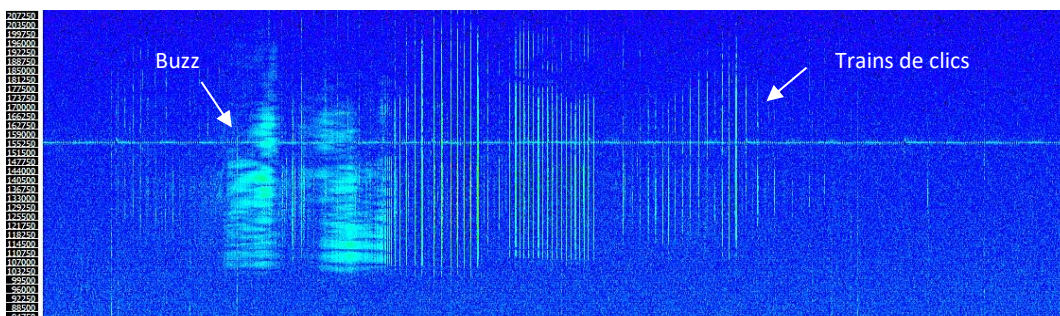


Figure 71 : Trains de clics et buzses de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 170 kHz traduisant un probable comportement de chasse opportuniste au niveau de la zone Sud-Ouest. Journée du 03 août 2021 à 18h30 UTC.

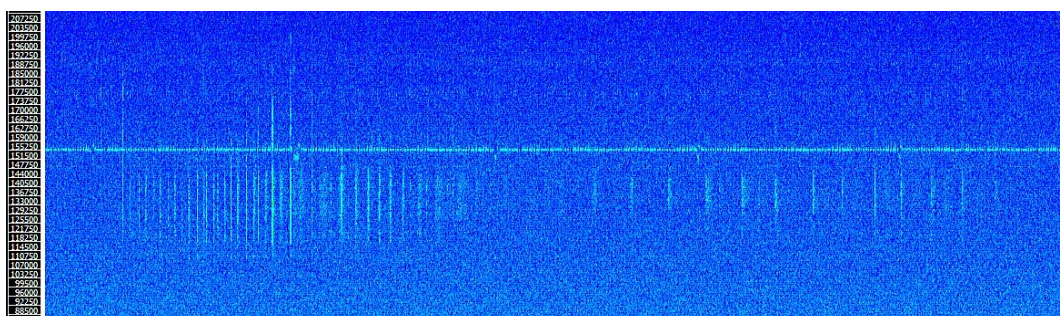


Figure 72 : Trains de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, de faible intensité entre 110 et 150 kHz détectés sur la journée du 06 août 2021 vers 07h21 UTC à proximité de la zone Sud-Est.

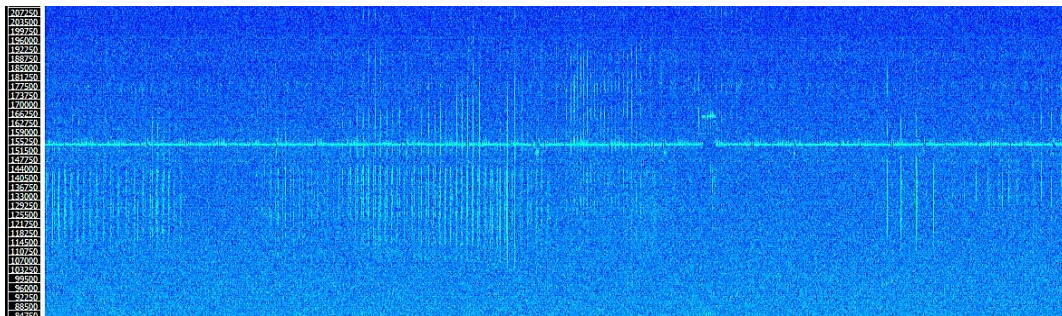


Figure 73 : Trains de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, de faible intensité entre 110 et 150 kHz détectés sur la journée du 07 août 2021 vers 07h31 UTC à proximité de la zone Sud-Est.

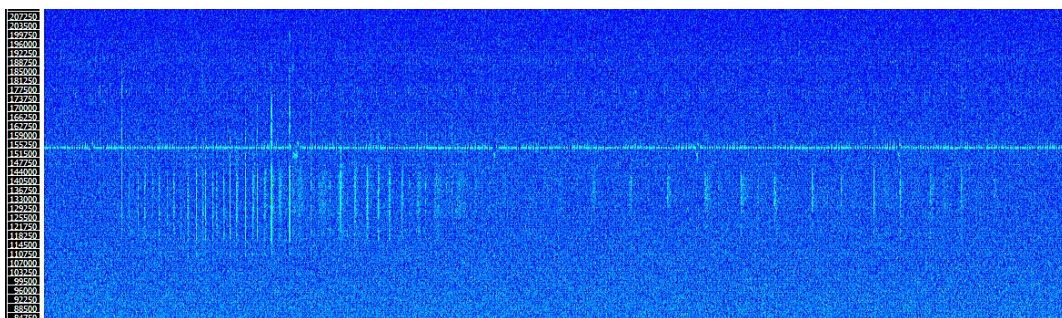


Figure 74 : Trains de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 150 kHz sur la journée du 06 août 2021 vers 07h21 UTC au niveau de la zone du Mor-Braz.

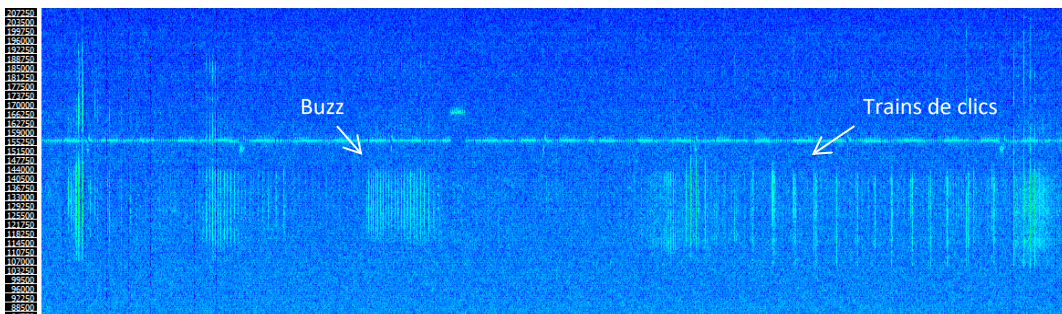


Figure 75 : Trains de clics et buzzs de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 150 kHz traduisant un probable comportement de chasse opportuniste au niveau de la zone Mor-Braz. Journée du 27 août 2021 à 15h32 UTC.

V.4.1.b. Comportements observés

Sur la période de mesure estivale allant du 27 juillet au 19 septembre 2021, 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. 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 (Figure 67) indiquant quelques comportements de chasse opportuniste et de quête de nourriture principalement sur les détections réalisées à proximité des zones Sud-Ouest et Mor-Braz. Ces comportements de chasse restent moindres sur l'ensemble de la période analysée.

Concernant les **Phocoenidés**, l'analyse des clics détectés entre 110 et 150 kHz sur la période du 27 juillet au 19 septembre 2021 a permis de noter principalement un comportement de socialisation avec quelques épisodes de chasse opportuniste et/ou de communication intense, principalement au niveau de la zone Mor-Braz.

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 avec certitude des sifflements émis par :

- ✓ Le Dauphin commun, *Delphinus delphis*, entre 8 et 18 kHz (Figure 76);
- ✓ Le Grand Dauphin, *Tursiops truncatus*, entre 5 et 12 kHz (Figure 77).

Il apparaît que le Dauphin commun est l'espèce prédominante dans l'ensemble de la donnée enregistrée au niveau de chacune des zones d'études, avec un taux de classification proche de 6% sur l'ensemble de la période. Le Grand Dauphin a, quant à lui, été observé principalement au niveau de la zone Mor-Braz.

A noter que la faible intensité sonore de la plupart des sifflements détectés rend les caractéristiques acoustiques de ces signaux peu visibles et donc, peu propices à la classification. Dans ce contexte, afin de garantir la qualité des informations d'identification, seuls les sifflements à contraste significatif ont été utilisés lors de cette opération de classification. Toutes les espèces de Delphinidés n'ont pas pu être identifiées avec certitude, mais il est possible d'affirmer leur appartenance au genre dauphin *sp.* (Figure 78).

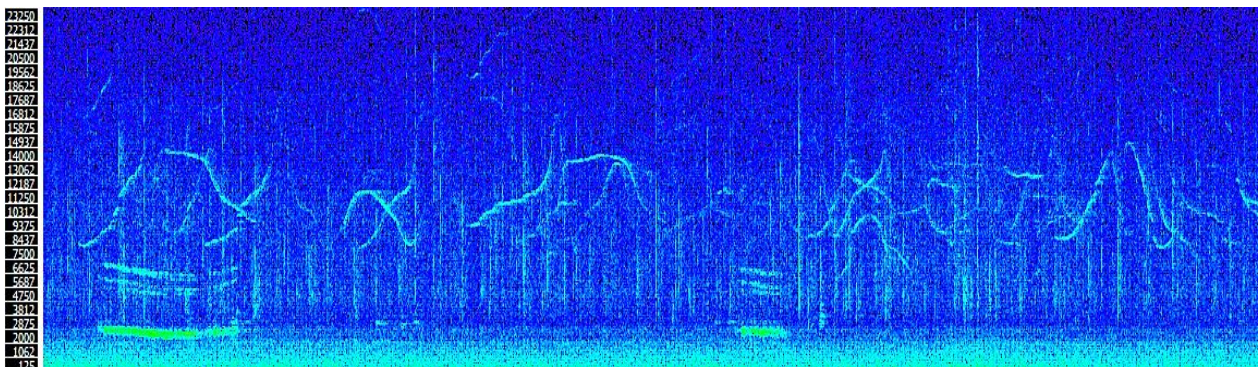


Figure 76 : Sifflements émis par le Dauphin commun (*Delphinus delphis*) entre 8 et 15 kHz, le 30 juillet 2021 à 18h31 UTC au niveau de la zone Mor-Braz.

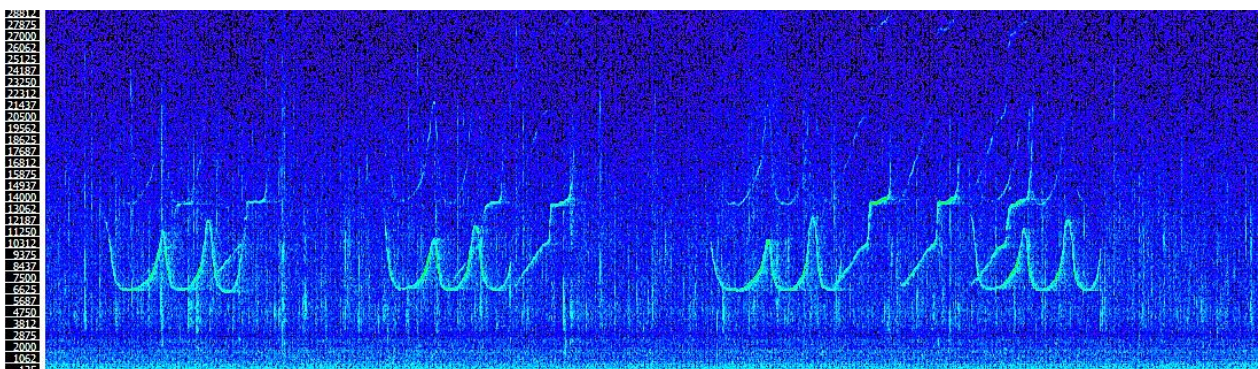


Figure 77 : Sifflements émis par le Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*) entre 5 et 18 kHz, le 22 août 2021 à 01h30 UTC au niveau de la zone Mor-Braz.

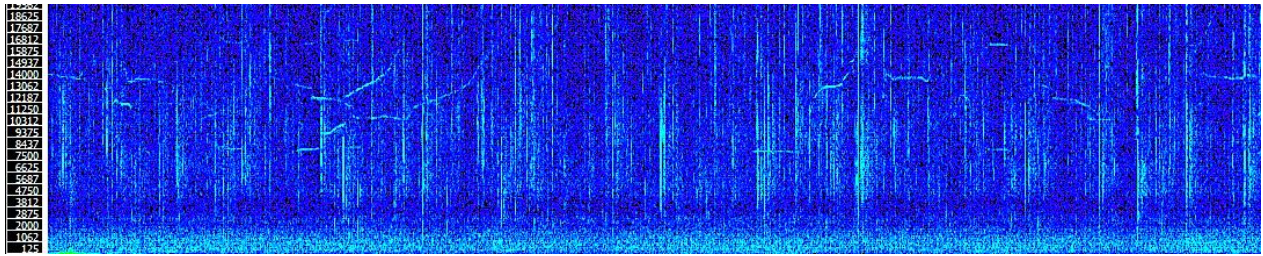


Figure 78 : Sifflements de faible intensité observés sur l'enregistrement du 03 août 2021 à 18h41 UTC, au niveau de la zone Sud-Ouest, appartenant au genre dauphin sp.

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

Le Tableau 45 synthétise les résultats obtenus via les enregistreurs acoustiques (enregistrement 30% du temps soit 3 minutes toutes les 10 minutes) quant à la présence des mammifères marins au niveau de chaque zone d'étude entre le 27 juillet et 16 septembre 2021 durant les périodes actives d'enregistrement :

- ✓ La zone d'étude Mor-Braz apparaît comme l'emplacement le plus fréquenté par les mammifères marins avec une fréquentation quotidienne à régulière de Delphinidés et Phocoenidés ;
- ✓ La zone d'étude Nord-Ouest est occasionnellement fréquentée par les Delphinidés tandis que la présence de Marsouins communs sur cette zone est exceptionnelle ;
- ✓ Les zones Sud-Ouest et Sud-Est sont toutes deux régulièrement fréquentées par les Delphinidés et occasionnellement par les Marsouins communs.

Le comportement prédominant des Delphinidés et Phocoenidés sur chacune des zones est la socialisation. Quelques épisodes de quête de nourriture ont été mis en évidence au niveau des zones Sud-Ouest et Mor-Braz pour les Delphinidés, et spécifiquement au niveau de la zone Mor-Braz pour les Phocoenidés.

Tableau 45 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant la période des travaux en saison estivale, entre le 27 juillet et 19 septembre 2021. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement de 3 minutes toutes les 10 minutes).

	Fréquentation du site				Comportement			
	Nord-Ouest	Sud-Ouest	Sud-Est	Mor-Braz	Nord-Ouest	Sud-Ouest	Sud-Est	Mor-Braz
Delphinidés	Occasionnelle	Régulière	Régulière	Quotidienne	Socialisation	Socialisation/ chasse opportuniste	Socialisation	Socialisation/ chasse
Phocoenidés	Exceptionnelle	Occasionnelle	Occasionnelle	Régulière	N/A	Socialisation	Socialisation/ en déplacement	Socialisation/ chasse opportuniste

V.4.1.e. Analyse en regard des activités du chantier

Lors des campagnes de mesures réalisées dans le cadre de MSU8, des travaux impliquant du forage et du battage ont été réalisés selon un planning défini (cf. IV.1.) et sur une durée de 30 minutes à plusieurs heures en fonction du type de technique utilisé (forage complet, battage complet ou hybride). Des mesures longues durées ont été réalisées en simultané des périodes de travaux à l'aide d'enregistreurs acoustiques sur la période allant du 27 juillet au 16 septembre 2021. Les données collectées ont permis de déterminer, entre autres, la fréquentation acoustique du site par les mammifères marins.

Un croisement de ces données, c'est-à-dire des résultats obtenus pour la fréquentation des mammifères marins, et la présence de ces ateliers sur site a été réalisé afin de pouvoir évaluer un éventuel impact biologique. Pour rappel, des effaroucheurs acoustiques sont mis en œuvre systématiquement 40 minutes (sealscarer) à 50 minutes (pinger) avant le démarrage progressif de chaque atelier de battage¹⁰ afin de garantir l'absence de cétacés à proximité immédiate de la zone de battage (~740m).

De manière générale, aucune variation significative n'a été observée dans la fréquentation des mammifères marins pour chacune des zones d'étude au regard des activités du chantier sur la période des mesures acoustiques longues durées.

A titre d'exemple, le croisement entre fréquentation des mammifères marins et présence des ateliers sur site a été effectué par rapport aux activités de forage et de battage associées à l'installation de la pile A01 (solution hybride) sur la journée du 21 août 2021 :

- ✓ Opérations de forage entre 03h09 UTC et 10h27 UTC ;
- ✓ Opérations de battage entre 17h31 UTC et 18h02 UTC.

La pile A01 est située à 2.6 km du point de mesure acoustique localisé au niveau de la zone Sud-Ouest, et à 22.5 km de l'enregistreur localisé au niveau de la zone Mor-Braz. Une étude spécifique a été réalisée via l'analyse de la fréquentation de chacun de ces sites environ 24h avant le début de l'atelier de forage, pendant les travaux et environ 24h après la fin de l'atelier de battage¹¹. Cette étude spécifique a été corrélée avec l'empreinte sonore de l'atelier de battage mis en œuvre pour l'installation de la pile A01 (solution hybride) représentée en fonction de la gamme de perception des espèces hautes fréquences (HF) et très hautes fréquences (VHF) (Annexe - Tableau 55).

Concernant les **Delphinidés** (classe acoustique HF entre 8.8 et 110 kHz, cf. V.1.1.b.), l'analyse du croisement de la fréquentation avec les activités de forage et battage au niveau de la **zone Sud-Ouest** (Figure 79) met en avant l'absence de Delphinidés à proximité de cette zone avant le début de l'atelier de forage (24h à quelques minutes avant) et ce jusqu'à la fin de l'atelier de battage, soit une absence continue de ces cétacés durant l'interruption entre les deux ateliers (durée 07h). Suite à la fin de l'activité de battage, il est possible de noter la présence de Delphinidés au niveau de la zone Sud-Ouest :

- ✓ Détections de clics de Delphinidés trois heures après la fin de l'activité de battage, soit le 21/08/2021 à 21h00 UTC ;
- ✓ Détections nocturnes de clics de Delphinidés environ huit heures après la fin de l'activité de battage, soit à partir du 22/08/2021 à 02h20 UTC.

De manière générale, au niveau de la **zone Mor-Braz**, zone la plus éloignée des ateliers de forage et battage avec une distance de 22.5 km, il est possible de noter (Figure 80) :

- ✓ Une fréquentation régulière des Delphinidés avant et après les travaux ;

¹⁰ Pour plus d'informations sur le protocole mis en œuvre durant la période des travaux se référer aux documents suivants : SNA-FOU-ESG- preliminary Noise monitoring decision matrix_20201020.pdf et SNA-FOU-ESG-00556 - Noise Management and Monitoring - Method Statement Rev4.pdf.

¹¹ Cette méthodologie d'analyse d'impact a déjà été mise en œuvre par (Brandt et al., 2011).

- ✓ Une fréquentation exceptionnelle durant la période des travaux.

Après une analyse détaillée, il apparaît que des détections de clics et sifflements de Delphinidés ont été réalisées, dans le secteur Mor-Braz, jusqu'à quelques minutes avant le démarrage de l'atelier de forage avec la dernière période de détections confirmée le 21/08/2021 à 03h00 UTC. Aucune présence de Delphinidés n'a été relevée durant l'activité de forage, toutefois une période de détections de clics de Delphinidés a été réalisée à 10h40 UTC soit quelques minutes après la fin de l'activité de forage. Une fois de plus, il est possible de noter l'absence de Delphinidés durant les 07h d'interruption entre les deux ateliers. Une période de détections de clics de Delphinidés a été relevée à 17h40 UTC le 21/08/2021, soit quelques minutes après le démarrage de l'atelier de battage. Suite à la fin de cet atelier, la fréquentation des Delphinidés tend à redevenir régulière avec une période de détections de signatures acoustiques à 22h20 UTC soit quatre heures après la fin du battage et plusieurs périodes de détections sur la journée du 22/08/2021.

La corrélation de ces résultats avec l'empreinte sonore de l'atelier de battage au niveau de la pile A01 (solution hybride) représentée en fonction de la gamme de perception des espèces hautes fréquences montre une perception du bruit par les Delphinidés jusqu'à 9km autour de la pile A01 et un niveau de 102 dB ref $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ à l'emplacement Sud-Ouest (Annexe - Tableau 55). La perception du bruit des ateliers de forage et de battage (dans le contexte hybride) par les Delphinidés est absente au niveau de la **zone Mor-Braz**, située à 22.5km de la pile A01. Cette absence de perception permet de noter le caractère indépendant de la fréquentation vis-à-vis du bruit engendré par ces travaux au niveau de cette zone.

Concernant les **Marsouins communs** (classe acoustique VHF entre 12 et 140 kHz, cf. V.1.1.b.), il apparaît que ces derniers sont absents au niveau de la **zone Sud-Ouest** durant toute la période des travaux sur la journée du 21 août 2021, mais également 24h avant et 24h après les travaux, soit sur les journées du 20 et 22 août 2021 (Figure 81). Ces résultats mettent en évidence des comportements indépendants de l'effet du bruit, et ce malgré l'empreinte sonore de l'activité de battage par solution hybride (telle que la pile A01), perceptible jusqu'à 7 km (Annexe – Tableau 55). Cette empreinte couvre ainsi la distance séparant la pile A01 du point de mesure acoustique localisé au niveau de la zone Sud-Ouest (2.6 km),

Au niveau de la **zone Mor-Braz** (Figure 82), seule une période de détections de clics de Marsouins communs a été relevée le 20 août 2021 à 09h40 UTC soit 18h avant le démarrage de l'atelier de forage. Ces cétacés sont absents de la zone lors de l'activité de forage et seule une présence a été relevée le 21 août 2021 à 11h40 UTC, soit environ une heure après la fin de l'atelier de forage et six heures avant le démarrage de l'atelier de battage. Aucune présence n'a été relevée avant le 22 août à 02h20 UTC, soit sept heures après la fin des travaux. Toutefois, il est difficile de corréliser la faible présence acoustique des Marsouins communs au niveau de la zone Mor-Braz, entre le 20 et 22 août 2021, aux ateliers de forage et de battage. En effet, l'émergence du niveau sonore au niveau de cette zone lors de l'atelier de forage est négligeable et, bien que l'atelier de battage entraîne une émergence de 3 à 5 dB au niveau de cette zone, cette émergence a été observée dans la bande de fréquence entre 200 et 900 Hz. En corrélant ces informations avec l'audiogramme des Marsouins communs (cf. Figure 58), il apparaît que le niveau sonore reste en-dessous des capacités auditives de ces cétacés. Ces résultats sont mis en avant par la représentation de l'empreinte sonore de l'atelier de battage au niveau de la pile A01 (solution hybride) en fonction de la gamme de perception des espèces très hautes fréquences (Annexe - Tableau 55). La perception du bruit des travaux par les Marsouins communs est bien absente au niveau de cette zone.

Ainsi, à partir des données collectées lors du forage et du battage de la pile A01 (21/01/2021), la corrélation entre la fréquentation biologique et les activités présentes sur site semble (a) faible pour la zone Sud-Ouest située à 2.6 km de l'atelier et (b) indépendante du bruit anthropique pour la zone Mor-Braz située à 22.5 km de la pile A01.

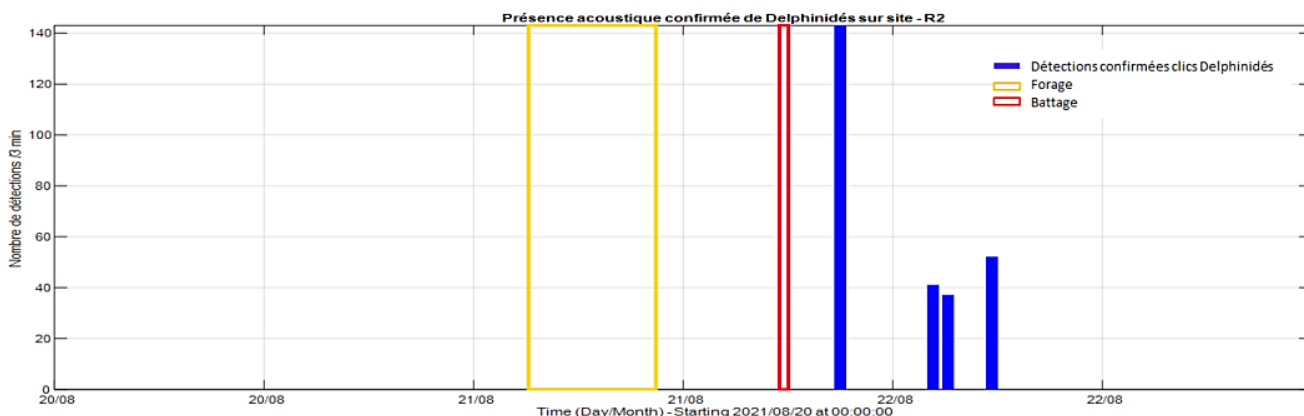


Figure 79 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Delphinidés sur site et les périodes actives de travaux au niveau de la zone Sud-Ouest. Analyse ciblée entre le 20 et 22 août 2021.

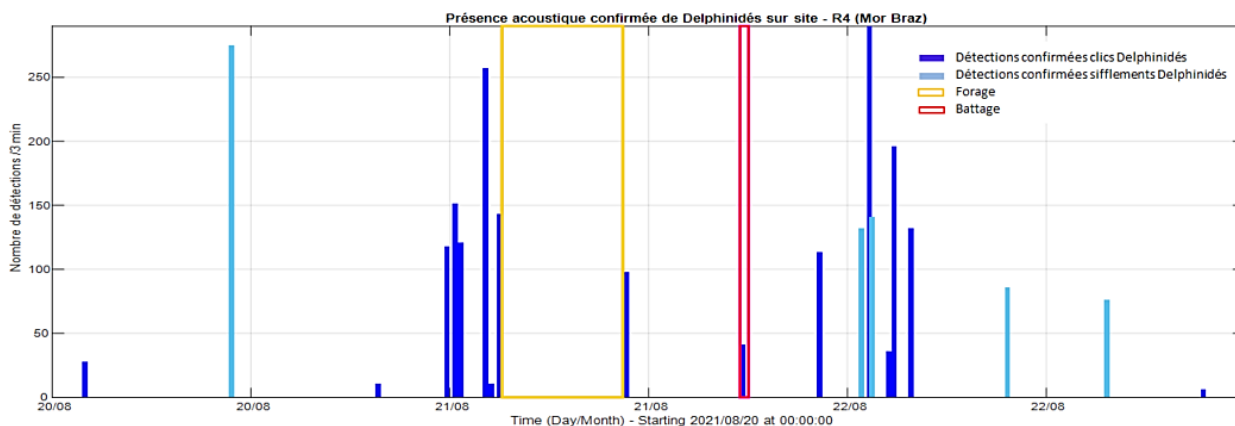


Figure 80 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Delphinidés sur site et les périodes actives de travaux au niveau de la zone Mor-Braz. Analyse ciblée entre le 20 et 22 août 2021.

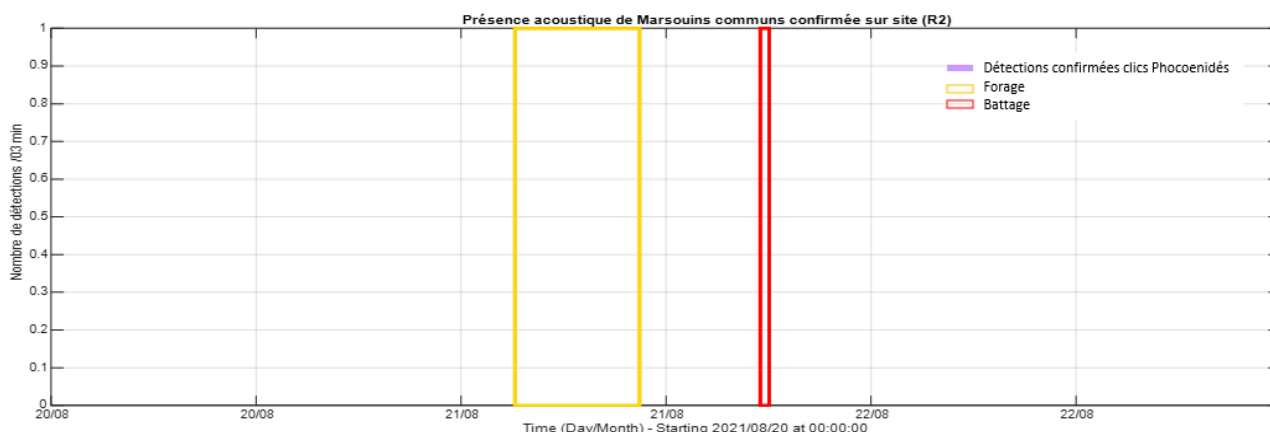


Figure 81 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Phocoenidés sur site et les périodes de travaux au niveau de la zone Sud-Ouest. Analyse ciblée entre le 20 et 22 août 2021.

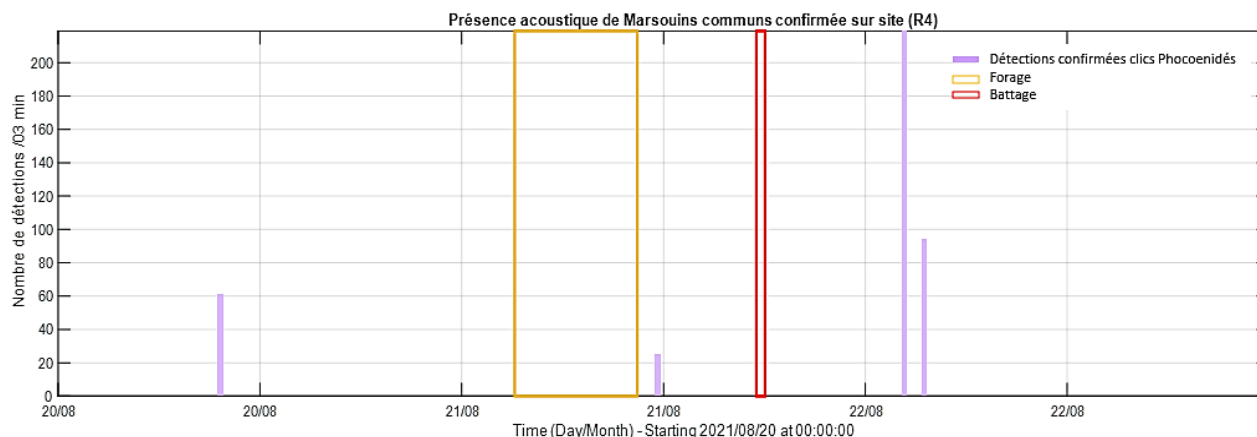


Figure 82 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Phocoenidés sur site et les périodes de travaux au niveau de la zone Mor-Braz. Analyse ciblée entre le 20 et 22 août 2021.

V.4.1.f. Analyse en regard de l'état de référence estivale

Pour rappel, l'Etat de Référence apporte un volet complémentaire aux résultats de l'Etat Initial par le biais de la caractérisation de la fréquentation du site par les mammifères marins par acoustique passive. L'analyse des résultats obtenus lors de l'état de référence confirme la présence régulière des Delphinidés et des Phocoenidés dans la zone d'étude comme indiqué dans l'état initial. A savoir que durant la saison estivale 2019, la fréquentation des Delphinidés est plus importante au sud de la zone d'implantation du parc éolien (zones Sud-Ouest et Sud-Est), et la fréquentation des Phocoenidés est plus importante au niveau de la zone Sud-Ouest.

Le suivi par acoustique passive réalisé durant la période estivale des travaux de battage, forage et pose de câbles (été 2021) a permis de réaliser le suivi de la fréquentation des mammifères marins sur chacune des zones d'études et de pouvoir comparer les résultats obtenus avec la fréquentation observée lors de l'Etat de Référence en été 2019 (Tableau 46). A noter que cette comparaison est effectuée spécifiquement sur la base des résultats obtenus via les enregistreurs acoustiques déployés sur chacune des zones en été 2019 et été 2021.

Concernant les Delphinidés :

- ✓ La fréquentation a sensiblement augmenté au niveau de la zone Nord-Ouest avec une fréquentation exceptionnelle en été 2019 et occasionnelle en été 2021 avec des détections acoustiques réalisées principalement en journée ;
- ✓ Au sud de la zone d'implantation du parc éolien (zone Sud-Ouest et Sud-Est), la fréquentation observée en été 2021 est similaire à celle observée en été 2019 lors de l'Etat de Référence. Cette fréquentation est régulière sur l'ensemble de la période d'analyse avec un comportement prédominant de socialisation et quelques épisodes de chasse opportuniste au niveau de la zone Sud-Ouest.

Concernant les Phocoenidés :

- ✓ La zone Nord-Ouest est exceptionnellement fréquentée par les Phocoenidés, que ce soit lors de l'Etat de Référence (été 2019) ou pendant les travaux (été 2021) ;
- ✓ Au niveau de la zone Sud-Ouest, la fréquentation des Marsouins communs est passée de régulière durant l'Etat de Référence (été 2019) à occasionnelle durant la période des travaux (été 2021) ;
- ✓ La fréquentation de la zone Sud-Est a sensiblement augmenté avec l'absence de détections en été 2019 et une fréquentation occasionnelle en été 2021.

De manière générale, la fréquentation des Delphinidés et Phocoenidés est plus importante au sud de la zone d'implantation du parc éolien (zones Sud-Ouest et Sud-Est) et est donc sensiblement similaire à la fréquentation observée en été 2019. Dans un même contexte, les comportements observés lors de l'Etat de Référence (été

2019) n'ont pas changé pour les deux familles de mammifères marins durant la période des travaux (été 2021) avec une prédominance de socialisation, et quelques épisodes de chasse opportuniste au niveau de la zone Sud-Ouest pour les Delphinidés.

La zone Mor-Braz, ajoutée suite à l'Etat de Référence, permet de noter la complémentarité des suivis par acoustique passive et des suivis visuels. Situé entre 18 et 34 km du parc éolien, ce point permet également d'évaluer dans quelle mesure les mammifères marins sont potentiellement impactés par les travaux (cf.V.4.1.e.). En effet, les résultats obtenus via les suivis par acoustique passive permettent (1) de confirmer la fréquentation quotidienne à régulière des Delphinidés et Marsouins communs observée en été 2019 à cet emplacement suite à la réalisation des suivis visuels par Biotope et, (2) de mettre en avant l'indépendance de la fréquentation biologique de la zone Mor-Braz par rapport à l'ajout de bruit anthropique généré par les travaux d'installation du parc éolien.

Tableau 46 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant l'Etat de Référence en été 2019 et durant la période de travaux en été 2021 au niveau des zones Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées par les enregistreurs acoustiques (3 minutes de données toutes les 10 minutes).

		Zone Nord-Ouest		Zone Sud-Ouest		Zone Sud-Est		Mor-Braz		
		Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	
Etat de référence	Période estivale 2019	Fréquentation du site	Exceptionnelle	Exceptionnelle	Quotidienne à régulière	Régulière	Quotidienne à occasionnelle	Absente	Absence de mesure	
		Plage horaire préférentielle	Jour/Nuit	N/A	Jour/Nuit	Jour/Nuit	Nuit	N/A		
		Comportement	Socialisation / en déplacement	N/A	Socialisation / quelques comportement de chasse	Socialisation	Socialisation	N/A		
		Classification	N/A	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i> Probable <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i>	<i>Phocoena phocoena</i>		
Pendant travaux	Période estivale 2021	Fréquentation du site	Occasionnelle	Exceptionnelle	Régulière	Occasionnelle	Régulière	Occasionnelle	Quotidienne	Régulière
		Plage horaire préférentielle	Jour	N/A	Jour/Nuit	Jour	Nuit	Jour	Jour/Nuit	Jour/Nuit
		Comportement	Socialisation	N/A	Socialisation / chasse opportuniste	Socialisation	Socialisation	Socialisation / en déplacement	Socialisation / chasse	Socialisation / chasse opportuniste
		Classification	<i>Delphinus delphis</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i> Probable <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i> <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>

	Hausse de la fréquentation en regard de l'Etat de Référence
	Fréquentation similaire à l'Etat de Référence
	Baisse de la fréquentation en regard de l'Etat de Référence
	Fréquentation de la zone Mor-Braz (absence de comparaison possible avec l'Etat de Référence)

V.4.2. Campagne hiver 2022 (janvier à mars)

Pour rappel, un déploiement d'un enregistreur acoustique a été réalisé dans chaque zone du 24 janvier au 10 mars 2022 (voir III.2.3.b.).

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

i. Famille des Delphinidés

La Figure 83 représente les périodes de présence acoustique des Delphinidés (détections des clics et sifflements) dans la donnée recueillie par les enregistreurs acoustiques au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) entre le 24 janvier et 10 mars 2022.

Au niveau de la **zone Nord-Ouest**, il apparaît que les Delphinidés sont occasionnellement présents, avec un taux de présence acoustique proche de 35%. En effet, 87 périodes de détections de clics et sifflements ont été observés sur 16 jours pour un total de 46 jours d'enregistrement.

De manière générale, la détection des signatures acoustiques des Delphinidés a été réalisée en période nocturne à hauteur de 72.4%. Les sifflements, qui sont principalement apparentés à la socialisation, ont été détectés aussi bien de jour comme de nuit. Toutefois, les Delphinidés ont émis des clics en grande majorité la nuit. Le comportement des Delphinidés sur site est associé principalement à des interactions sociales avec la présence de sifflements mais également de clics dont la fréquence d'émission est inférieure à 80 kHz (Figure 84). Quelques détections ont permis de noter des communications intenses entre individus, voire probablement des quêtes de nourriture avec l'observation de nombreux clics d'écholocation et buzzs de forte intensité (Figure 85). Toutefois, ce comportement est minoritaire sur l'ensemble de la période d'étude.

Au niveau de la **zone Sud-Ouest**, les Delphinidés sont régulièrement présents avec un taux de présence acoustique de 50% sur l'ensemble de la période. En effet, 82 périodes de détections de clics et sifflements ont été observés sur 23 jours pour un total de 46 jours d'enregistrement.

De manière générale, la détection des signatures acoustiques des Delphinidés a été réalisée en période nocturne à hauteur de 90.2%. La grande majorité des détections sont associées à des clics de communication émis entre 10 et 80 kHz. Toutefois, plusieurs détections de clics d'écholocation associés à des « buzzs », sifflements et cris pulsés font référence à un comportement de communication plus intense entre individus, voire même à des épisodes de chasse opportuniste (Figure 86). A noter que l'ensemble des détections de clics ont été relevées durant la nuit, période propice aux épisodes de chasse.

Au niveau de la **zone Sud-Est**, les Delphinidés sont régulièrement présents avec un taux de présence acoustique proche de 50% sur l'ensemble de la période. En effet, 294 périodes de détections de clics et sifflements ont été observées sur 22 jours pour un total de 46 jours de mesure. Sur ces 22 jours de présence acoustique, il est possible de noter en moyenne 6 (± 12) passages par jour de Delphinidés à proximité de la zone. La présence acoustique de ces cétacés a principalement été observée durant la nuit, à hauteur de 64.6%.

De manière générale, le comportement des Delphinidés à proximité de la zone Sud-Est est associé principalement à de la communication et/ou sondage de l'environnement dans lequel les cétacés évoluent (Figure 87). A noter que la grande majorité des sifflements et clics observés entre le 27 janvier et 12 février 2022 ont probablement été émis par des Globicéphales noirs, *Globicephala melas* (Figure 88). Cette présence significative de Delphinidés durant cette période coïncide avec l'incident d'un chalutier ayant eu lieu début février 2022 qui a déversé un tapis flottant de poissons morts au large des côtes Atlantiques, au niveau du Golfe de Gascogne. Il peut être supposé que cet incident, localisé à plusieurs kilomètres du projet de parc éolien du banc de Guérande, ait pu influencer la présence de ces cétacés non loin de la zone d'étude (attirait de la

nourriture). Il s'agit ici d'une des hypothèses pouvant expliquer la fréquentation significative de Delphinidés observée durant la période hivernale 2022.

Au niveau de la zone **Mor-Braz**, l'analyse des détections de clics et sifflements réalisées dans les enregistrements montre une fréquentation occasionnelle des Delphinidés sur l'ensemble de la période avec un taux de présence acoustique de 45.7%. En effet, 98 périodes de détections de signatures acoustiques de Delphinidés ont été observées sur 21 jours pour un total de 46 jours de mesure. Ces détections contrastent avec l'importante fréquentation du site mise en avant lors des suivis visuels réalisés durant l'état de référence mais également avec la fréquentation quotidienne relevée par acoustique passive durant l'été 2021.

Les détections de clics et sifflements ont été réalisées majoritairement durant la nuit à hauteur de 89.8%. Cette fréquentation nocturne, propice aux activités de chasse, rejoint les résultats obtenus au niveau des zones Nord-Ouest et Sud-Est. La grande majorité des détections sont associés à des clics de communication émis entre 10 et 70 kHz (Figure 89). Toutefois, plusieurs détections de clics d'écholocation et buzzs (figure) font référence à un comportement de communication plus intense entre individus, voire même être associées à de probables épisodes de chasse opportunistes.

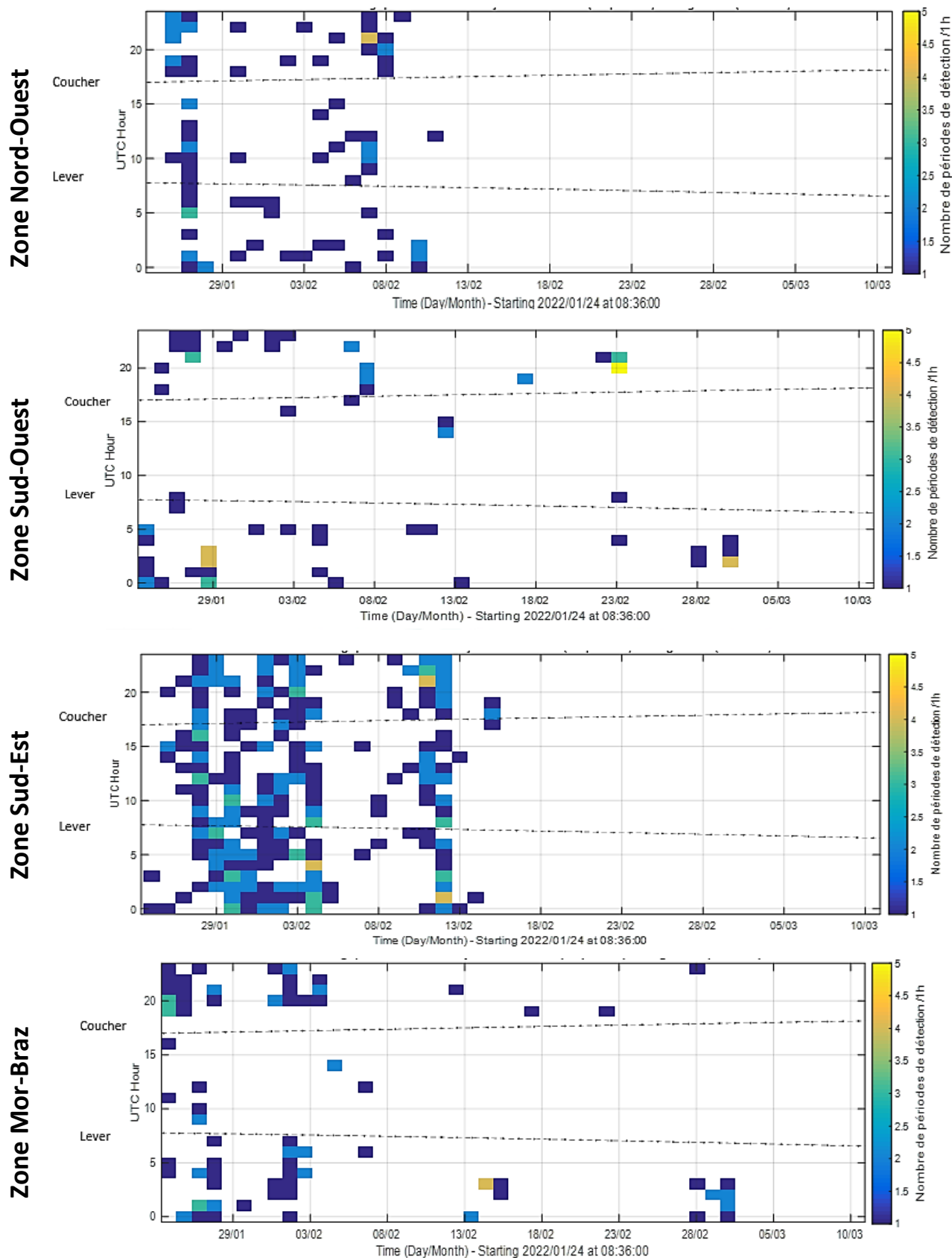


Figure 83 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) pour la période du 24 janvier au 10 mars 2022.

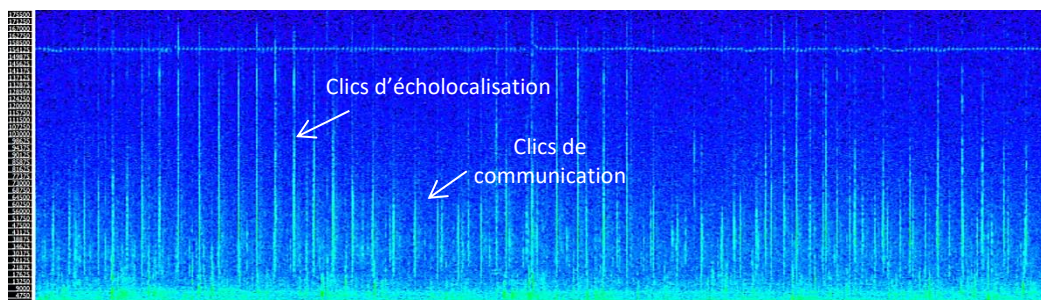


Figure 84 : Clics de communication et d'écholocation émis par les Delphinidés à proximité de la zone Nord-Ouest. Journée du 07/02/2022 vers 05h55 UTC.

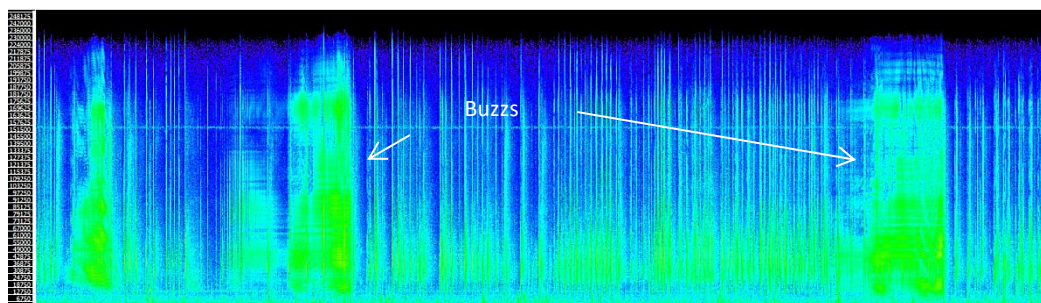


Figure 85 : Clics d'écholocation et buzzs émis par les Delphinidés à proximité de la zone Nord-Ouest suggérant un épisode de communication intense entre individus/quête de nourriture. Journée du 30/01/2022 vers 06h00 UTC.

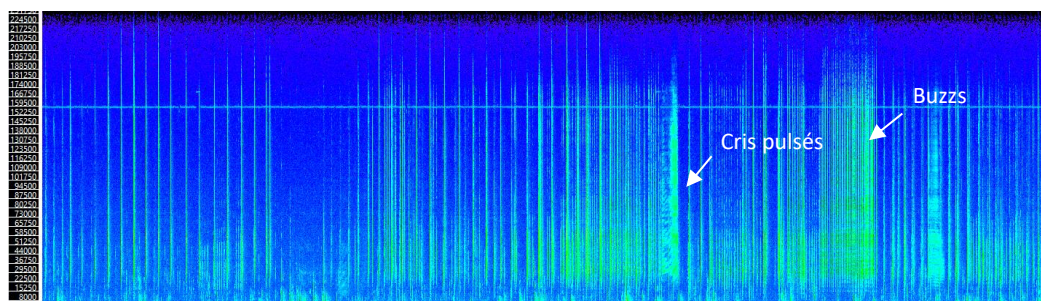


Figure 86 : Clics d'écholocation, buzzs et cris pulsés émis par les Delphinidés au niveau de la zone Sud-Ouest suggérant un épisode de communication intense entre individus/quête de nourriture. Journée du 29/01/2022 vers 03h41 UTC.

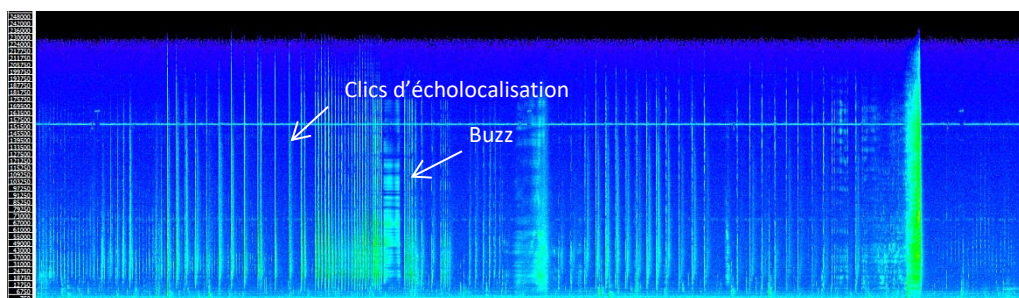


Figure 87 : Clics d'écholocation et buzzs de Delphinidés émis entre 10 et 190 kHz faisant référence à un probable sondage de l'environnement dans lequel les cétacés évoluent au niveau de la zone Sud-Est. Journée du 25/01/2022 vers 00h20 UTC.

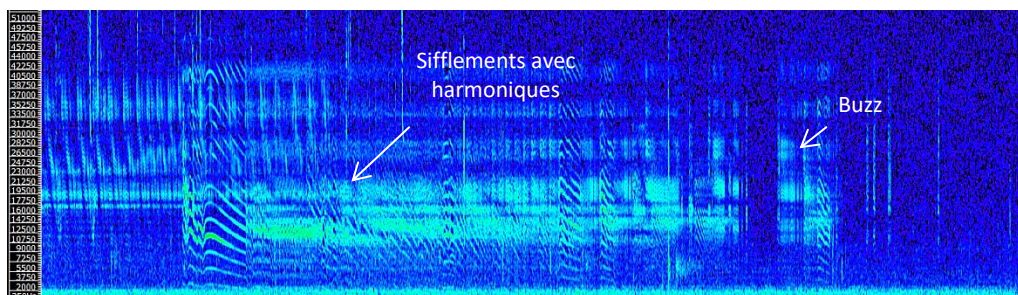


Figure 88: Sifflements et buzzs probablement émis par des Globicéphales noirs, *Globicephala melas*, à proximité de la zone Sud-Est. Journée du 11/02/2022 vers 15h30 UTC.

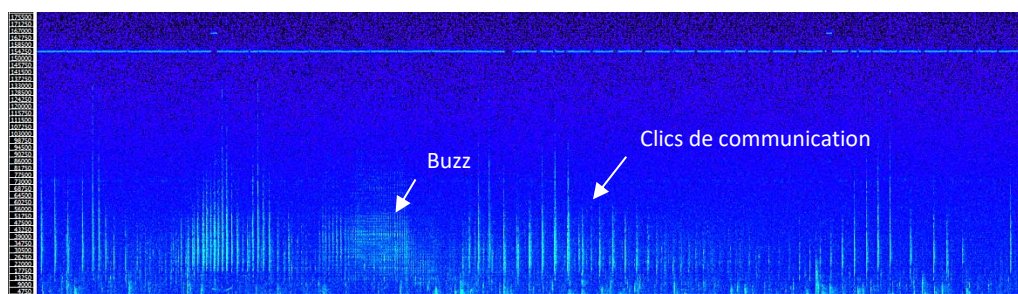


Figure 89 : Clics et buzzs de Delphinidés émis entre 10 et 70 kHz à proximité de la zone Mor-Braz. Journée du 27/01/2022 vers 09h47 UTC.

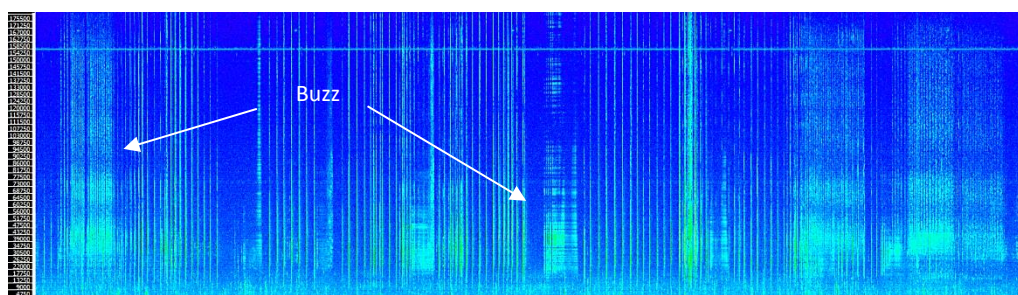


Figure 90 : Clics d'écholocation et buzzs de Delphinidés émis entre 10 et 190 kHz à proximité de la zone Mor-Braz suggérant une quête de nourriture. Journée du 02/02/2022 vers 03h56 UTC.

ii. Famille des Phocoenidés

La Figure 91 représente les périodes de détections des clics haute fréquence émis par les Marsouins communs dans la donnée recueillie par les enregistreurs acoustiques au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) entre le 24 janvier et 10 mars 2022.

A noter que la présence des Marsouins communs au niveau de la **zone Nord-Ouest** est exceptionnelle avec une seule période de détections de clics sur la journée du 14/02/2022 (Figure 92), pour un total de 46 jours d'enregistrement. Cette détection a été réalisée de nuit, vers 21h16 UTC.

Au niveau de la **zone Sud-Ouest**, les Marsouins communs sont occasionnellement présents avec un taux de présence acoustique proche de 20%, soit 12 périodes de détection de clics sur 9 jours pour un total de 46 jours d'enregistrement. Les détections de clics ont été réalisées indépendamment des heures de la journée, les Marsouins communs sont donc autant présents de jour comme de nuit au niveau de la zone Sud-Ouest. A noter

que la grande majorité des clics détectés sont de faible intensité et faible densité. Ils sont associés à de la communication et probablement à un passage éloigné de ces individus de la zone Sud-Ouest.

Au niveau de la **zone Sud-Est**, il apparaît que les Marsouins communs sont exceptionnellement présents sur site avec trois périodes de détections acoustiques sur 2 jours, pour un total de 46 jours d'enregistrement. Le taux de présence acoustique est donc proche de 5%. Les trois périodes de présence acoustique de ces cétacés ont été réalisées principalement durant la nuit :

- ✓ Dans la nuit et sur la journée du 30/01/2022 vers 05h56 UTC et 11h00 UTC ;
- ✓ Dans la nuit du 27/02/2022 vers 03h26 UTC.

A noter qu'un probable épisode de chasse a été observé sur la journée du 30/01/2022 vers 11h03 UTC avec la présence de nombreux buzzs émis entre 110 et 180 kHz (Figure 93). Toutefois, suite au faible nombre de périodes de détections réalisées, cet épisode de chasse ne peut pas être considéré comme représentatif du comportement des Marsouins communs au niveau de la Zone Sud-Est et est considéré opportuniste.

Au niveau de la **zone Mor-Braz**, la présence des Marsouins communs est régulière avec un taux de présence acoustique de 52.2% sur l'ensemble de la période d'étude. En effet, 59 périodes de détections de clics hautes fréquences ont été réalisées sur 24 jours, pour un total de 46 jours d'enregistrements. Les détections de clics ont été réalisées indépendamment des heures de la journée, les Marsouins communs sont donc autant présents de jour comme de nuit au niveau de la zone Mor-Braz.

Les clics détectés sont en grande majorité de faible densité et intensité. Ils sont associés à de la communication et à probablement un passage de ces individus à proximité de la zone. Toutefois, quelques détections suggèrent un comportement de chasse avec la détection de nombreux buzzs entre 110 et 150 kHz (Figure 94).

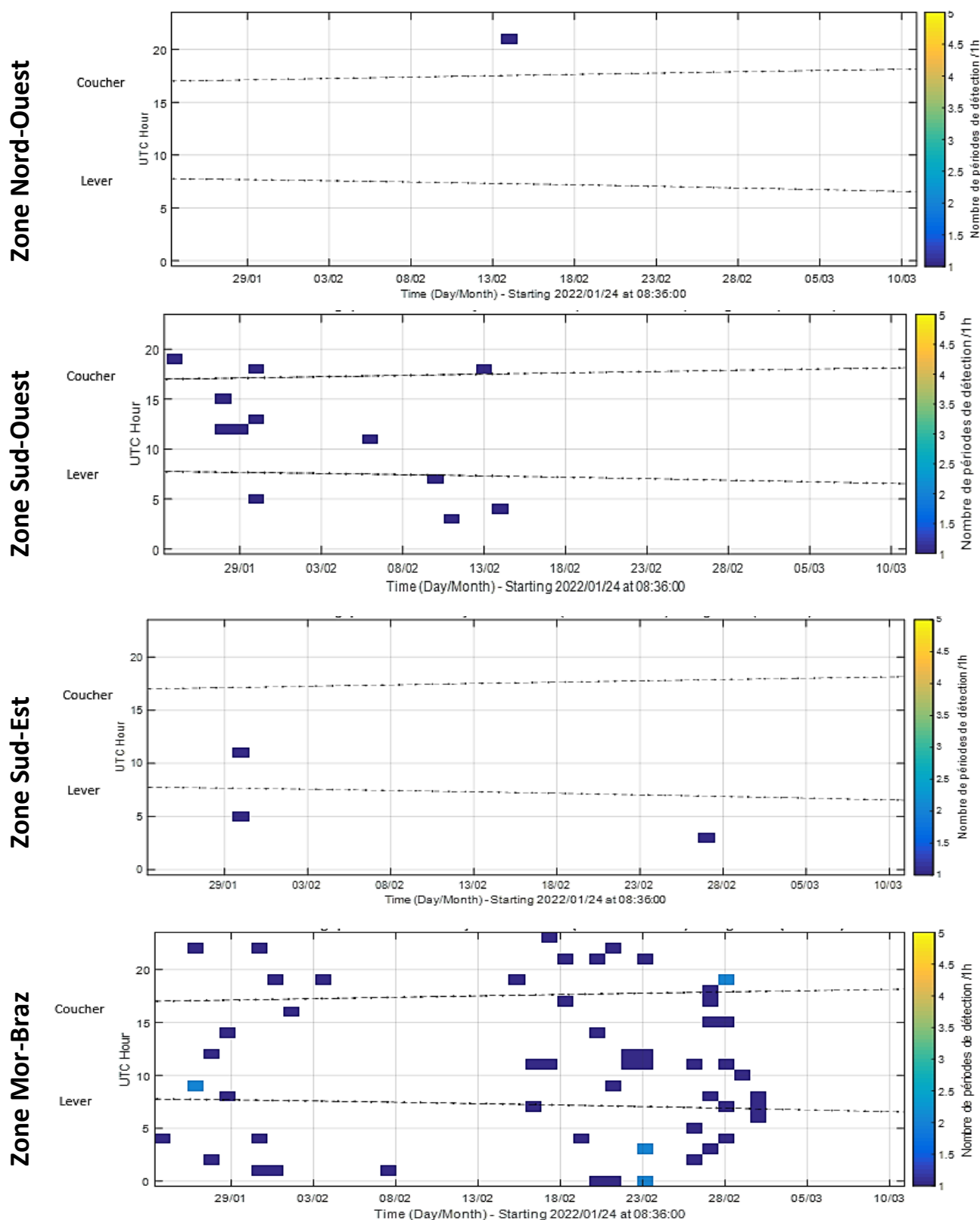


Figure 91 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) pour la période du 24 janvier au 10 mars 2022.

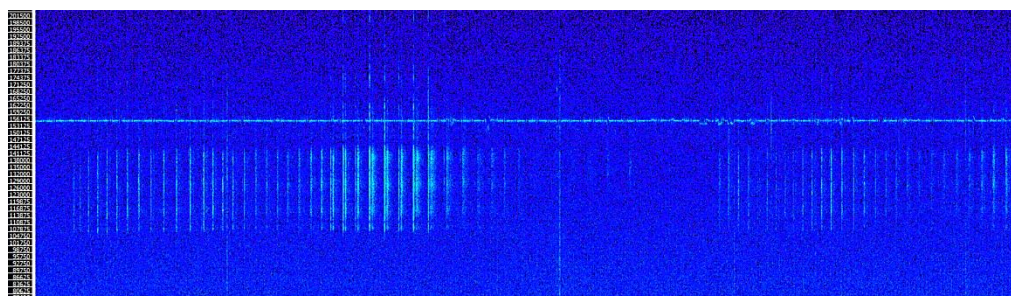


Figure 92 : Trains de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 150 kHz sur la journée du 14 février 2022 vers 21h16 UTC au niveau de la zone Nord-Ouest.

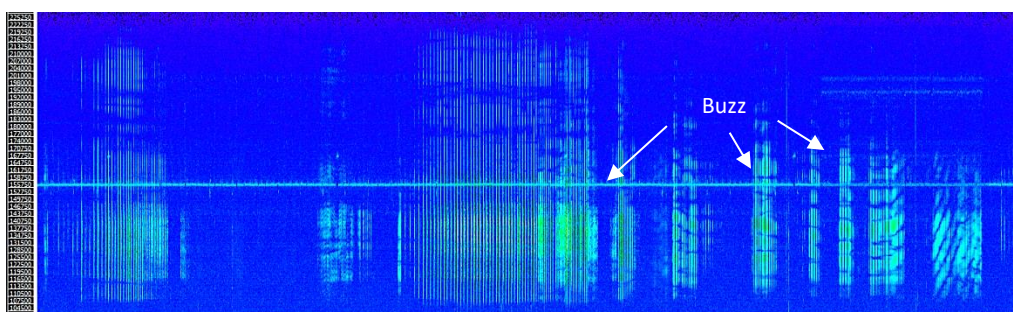


Figure 93 : Trains de clics et buzzs émis par des Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 200 kHz avec un ICI variable et traduisant un probable comportement de chasse opportuniste au niveau de la zone Sud-Est. Journée du 30/01/2022 vers 11h03 UTC.

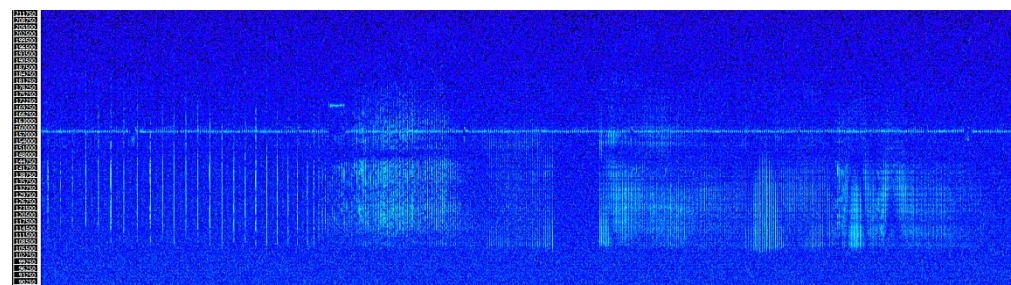


Figure 94 : Trains de clics et buzzs de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, émis entre 110 et 150 kHz suggérant un épisode de chasse à proximité de la zone Mor-Braz. Journée du 17/02/2022 vers 17h41 UTC.

V.4.2.b. Comportements observés

Sur la période hivernale allant du 24 janvier au 10 mars 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 10 et 80 kHz. Toutefois, certaines détections ont permis de mettre en évidence (1) un sondage de l'environnement au niveau de la zone Sud-Est et (2) quelques épisodes de chasses opportuniste au niveau des zones Sud-Ouest et Mor-Braz avec la présence de clics d'écholocation associés à des buzzs et cris pulsés.

La fréquentation des zones Nord-Ouest et Sud-Est par les **Phocoenidés** étant exceptionnelle avec des taux de présence acoustique inférieurs à 5%, il est difficile d'établir le comportement associé à cette présence. Toutefois, au niveau des zones Sud-Ouest et Mor-Braz, l'analyse des clics détectés entre 110 et 150 kHz sur la période allant du 24 janvier au 10 mars 2022 a permis de noter un comportement de transit des Marsouins communs. Quelques épisodes de chasse opportuniste ont été également observés au niveau de la zone Mor-Braz.

V.4.2.c. Classification des signaux biologiques détectés

Une classification des sifflements observée lors de l'étape de validation auditive et visuelles des signaux biologiques a été réalisée afin d'identifier les espèces émettrices. Après analyse des caractéristiques acoustiques des sifflements détectés, il a été possible d'identifier les espèces émettrices suivantes :

- ✓ Le Globicéphale noir, *Globicephala melas*, avec une fréquence fondamentale à 2 kHz et de multiples harmoniques (Figure 95) ;
- ✓ Le Grand Dauphin, *Tursiops truncatus*, avec des sifflements entre 5 et 18 kHz (Figure 96) ;
- ✓ Le Dauphin commun, *Delphinus delphis*, avec des sifflements entre 8 et 18 kHz (Figure 97).

Il apparaît que le Globicéphale noir est l'espèce prédominante dans l'ensemble de la donnée enregistrée au niveau des zones Nord-Ouest et Sud-Est, tandis que le Grand Dauphin a été identifié au niveau des zones Sud-Ouest et Mor-Braz, et le Dauphin commun au niveau de la zone Sud-Ouest exclusivement.

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.*

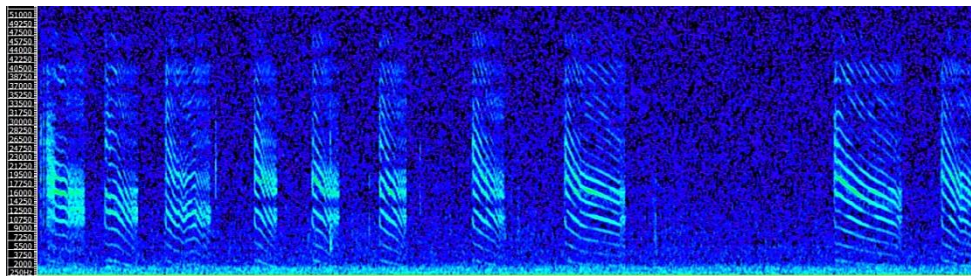


Figure 95 : Sifflements (downsweep) émis probablement par le Globicéphale noir (*Globicephala melas*) le 11/02/2022 vers 13h03 UTC au niveau de la zone Sud-Est. Fréquence fondamentale à 2 kHz avec présence de nombreux harmoniques jusqu'à 30 kHz.

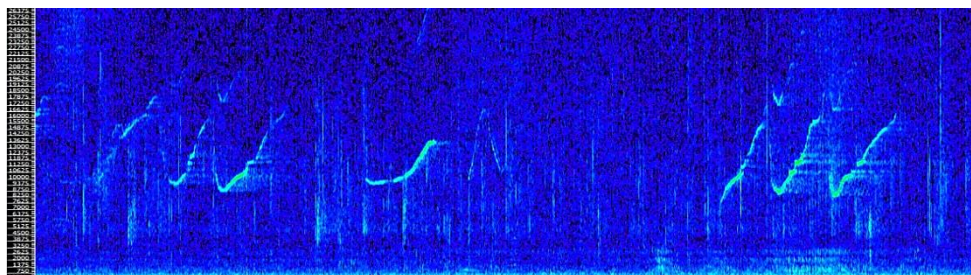


Figure 96 : Sifflements émis par le Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*) entre 5 et 18 kHz le 28/01/2022 vers 21h11 UTC au niveau de la zone Mor-Braz.

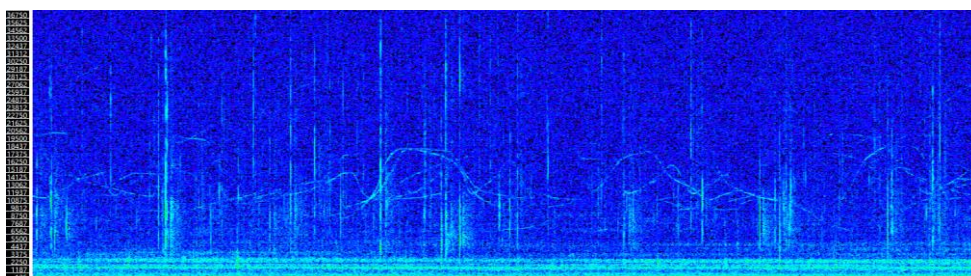


Figure 97 : Sifflements probablement émis par des Dauphins communs (*Delphinus delphis*) entre 8 et 18 kHz le 12/02/2022 vers 15h09 UTC au niveau de la zone Sud-Ouest.

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

Le Tableau 47 synthétise les résultats obtenus via les enregistreurs acoustiques (enregistrement 30% du temps / 3 minutes toutes les 10 minutes) quant à la présence des mammifères marins au niveau de chaque zone d'étude entre le 24 janvier et 10 mars 2022 durant les périodes actives d'enregistrement :

- ✓ Les zones Sud-Ouest et Mor-Braz apparaissent comme les emplacements les plus fréquentés par les mammifères marins : la zone Sud-Ouest est fréquentée en grande majorité par les Delphinidés et occasionnellement pas les Marsouins communs et, à l'inverse, la zone Mor-Braz est fréquentée en grande majorité par les Marsouins communs et occasionnellement par les Delphinidés ;
- ✓ Les zones Nord-Ouest et Sud-Est sont fréquentées en grande majorité par les Delphinidés. En effet, la présence acoustique des Phocoenidés sur ces deux zones reste exceptionnelle sur l'ensemble de la période d'étude.

Le comportement prédominant des Delphinidés sur chacune des zones est la socialisation. A noter que quelques épisodes de chasse opportuniste ont été mis en évidence au niveau des zones Sud-Ouest et Mor-Braz.

Concernant les Phocoenidés, seules les détections réalisées dans la donnée des Sud-Ouest et Mor-Braz ont permis de noter un comportement de socialisation. Des épisodes de chasse opportuniste ont été relevés uniquement au niveau de la zone Mor-Braz.

Tableau 47 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant la période des travaux en saison hivernale, entre le 24 janvier et 10 mars 2022. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement de 3 minutes toutes les 10 minutes).

	Fréquentation du site				Comportement			
	Nord-Ouest	Sud-Ouest	Sud-Est	Mor-Braz	Nord-Ouest	Sud-Ouest	Sud-Est	Mor-Braz
Delphinidés	Occasionnelle	Régulière	Régulière	Occasionnelle	Socialisation	Socialisation / Chasse opportuniste	Socialisation / Sondage de l'environnement	Socialisation / Chasse opportuniste
Phocoenidés	Exceptionnelle	Occasionnelle	Exceptionnelle	Régulière	N/A	Socialisation / En transit	N/A	Socialisation / Chasse opportuniste

V.4.2.e. Analyse en regard des activités du chantier

Lors des campagnes de mesures effectuées dans le cadre de MSU8, des mesures longues durées ont été réalisées à l'aide d'enregistreurs acoustiques sur la période allant du 24 janvier au 10 mars 2022, période sur laquelle uniquement des ateliers de forage ont été réalisés selon un planning défini (cf.IV.1.)

Sur un procédé similaire à celui mis en œuvre lors de la campagne été 2021 (cf. V.4.1.e.), un croisement de ces données, c'est-à-dire des résultats obtenus pour la fréquentation des mammifères marins, et la présence des ateliers de forage sur site a été réalisé afin de pouvoir évaluer un éventuel impact biologique.

De manière générale, aucune variation significative n'a été observée dans la fréquentation des mammifères marins pour chacune des zones d'étude au regard des activités du chantier sur la période des mesures acoustiques longues durées.

A titre d'exemple, le croisement entre fréquentation des mammifères marins et présence des ateliers sur site a été effectué par rapport aux activités de forage associées à l'installation de la pile F01 (forage complet sur l'ensemble de l'enfoncement) sur la journée du 29 janvier 2022 entre 13h05 et 18h25 UTC.

La pile F01 est située à 0.6 km du point de mesure acoustique localisé au niveau de la zone Nord-Ouest, à 11 km de l'enregistreur situé au niveau de la zone Sud-Est et à environ 18 km de l'enregistreur localisé au niveau de la zone Mor-Braz. Une étude spécifique a donc été réalisée via l'analyse de la fréquentation du site au niveau des zones Nord-Ouest et Mor-Braz environ 24h avant le début de l'atelier de forage, pendant l'atelier et environ 24h après la fin de l'atelier. En effet, la zone Nord-Ouest est la plus proche de l'atelier de forage, tandis que la zone Mor-Braz est la plus éloignée de l'atelier. Pour rappel, cette méthodologie d'analyse d'impact a déjà été mise en œuvre par (Brandt et al., 2011). Cette étude spécifique a été corrélée avec l'empreinte sonore d'un atelier de forage mis en œuvre pour l'installation de la pile A05 (forage complet) représentée en fonction de la gamme de perception des espèces hautes fréquences (HF) et très hautes fréquences (VHF) (Annexe - Tableau 56).

Concernant les **Delphinidés**, l'analyse du croisement de la fréquentation avec les activités de forage au niveau de la zone Nord-Ouest (Figure 98) met en avant l'absence de Delphinidés à proximité de cette zone avant le début de l'atelier de forage (24h à quelques minutes avant), et ce jusqu'à la fin de l'atelier le 29 janvier à 18h25 UTC. Il est possible de noter la présence acoustique de Delphinidés au niveau de la zone Nord-Ouest sur la journée du 30 janvier 2022, avec une première période de détection acoustique de clics émis par ces cétacés environ 08h après la fin de l'atelier de forage, soit le 30 janvier 2022 vers 02h00 UTC.

De manière générale, au niveau de la zone Mor-Braz, zone la plus éloignée de l'atelier de forage avec une distance de 18 km, il est possible de noter (Figure 99) :

- ✓ Une fréquentation principalement nocturne des Delphinidés sur la journée précédant l'atelier de forage, soit le 28 janvier 2022 entre 00h00 et 09h00 UTC ;
- ✓ Une absence des Delphinidés sur la journée des travaux, autrement dit une absence de ces cétacés durant l'atelier de forage ;
- ✓ Une fréquentation exceptionnelle des Delphinidés sur la journée après les travaux avec une période de détection unique le 30 janvier 2022 vers 01h00 UTC.

La corrélation de ces résultats avec l'empreinte sonore d'un atelier de forage représentée en fonction de la gamme de perception des espèces hautes fréquences montre une perception du bruit par les Delphinidés jusqu'à environ 4 km autour de l'atelier de forage et un niveau de 100 dB ref 1 μ Pa²s à l'emplacement Nord-Ouest (Annexe- Tableau 56). La perception du bruit de l'atelier de forage par les Delphinidés est absente au niveau de la zone Mor-Braz, située à 18 km du forage F01. Cette absence de perception permet de renforcer le caractère indépendant vis-à-vis du bruit engendré par ces travaux au niveau de cette zone, caractère déjà observé lors de la période estivale en présence des ateliers de forage et de battage (dans le contexte hybride) (cf. V.4.1.e.).

Concernant les **Marsouins communs**, il apparaît que ces derniers sont acoustiquement absents au niveau de la zone Nord-Ouest durant toute la période de forage lors de la journée du 29 janvier 2022, mais également 24h avant et 24h après l'atelier de forage (Figure 100). Bien qu'il existe une interaction possible entre les bruits engendrés par les activités humaines en mer et la présence de mammifères marins sur site, ces résultats mettent en évidence des comportements indépendants de l'effet du bruit. En effet, l'activité de forage entraîne, au maximum, une empreinte sonore jusqu'à 2 km autour de l'atelier en prenant en compte la gamme de perception des espèces très hautes fréquences (Annexe - Tableau 56).

Au niveau de la zone Mor-Braz (Figure 101), il apparaît que la présence acoustique des Marsouins communs est faible entre le 28 et 30 janvier 2022 :

- ✓ Deux périodes de détections ont été réalisées sur la journée précédant l’atelier de forage, soit le 28 janvier 2022 respectivement vers 02h20 UTC et 12h00 UTC ;
- ✓ Deux périodes de détection ont été réalisées sur la journée du 29 janvier 2022 avec une détection acoustique à 09h00 UTC soit environ 04h avant le début de l’atelier de forage, et une détection vers 14h20 UTC durant l’atelier de forage en cours ;

Suite à la fin de l’atelier, il est possible de noter l’absence acoustique des Marsouins communs jusqu’à 24h après. Toutefois, il est difficile de corréliser la faible présence acoustique des Marsouins communs au niveau de la zone Mor-Braz, entre le 28 et 30 janvier 2022, à l’atelier de forage. En effet, l’émergence du niveau sonore de cette zone lors de l’atelier de forage est négligeable, sans compter sur l’absence de perception du bruit des travaux par les Marsouins communs à cette distance de l’atelier (environ 18 km). Ces résultats sont mis en avant par la représentation de l’empreinte sonore d’un atelier de forage en fonction de la gamme de perception des espèces très hautes fréquences (Annexe -Tableau 56).

Ainsi, à partir des données collectées lors du forage de la pile F01 (29/01/2022), la corrélation entre la fréquentation biologique et les activités de forage sur site semble (a) faible voire nulle pour la zone Nord-Ouest située à 0.6 km de l’atelier et (b) indépendante du bruit anthropique pour la zone Mor-Braz située à 18 km de l’atelier.

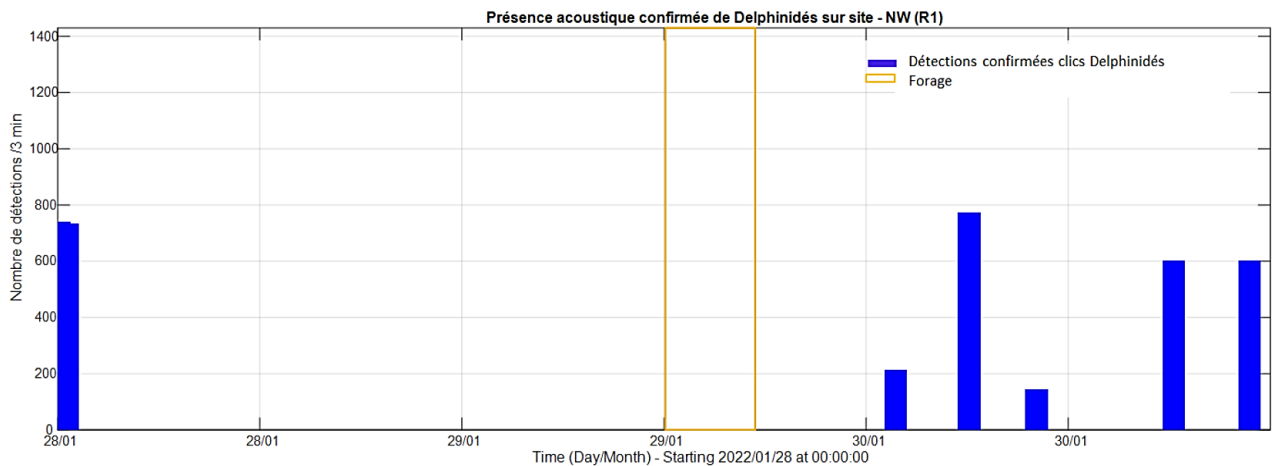


Figure 98 : Croisement entre l’évolution de la fréquentation des Delphinidés sur site et les périodes actives de travaux au niveau de la zone Nord-Ouest. Analyse ciblée entre le 18 et 30 janvier 2022.

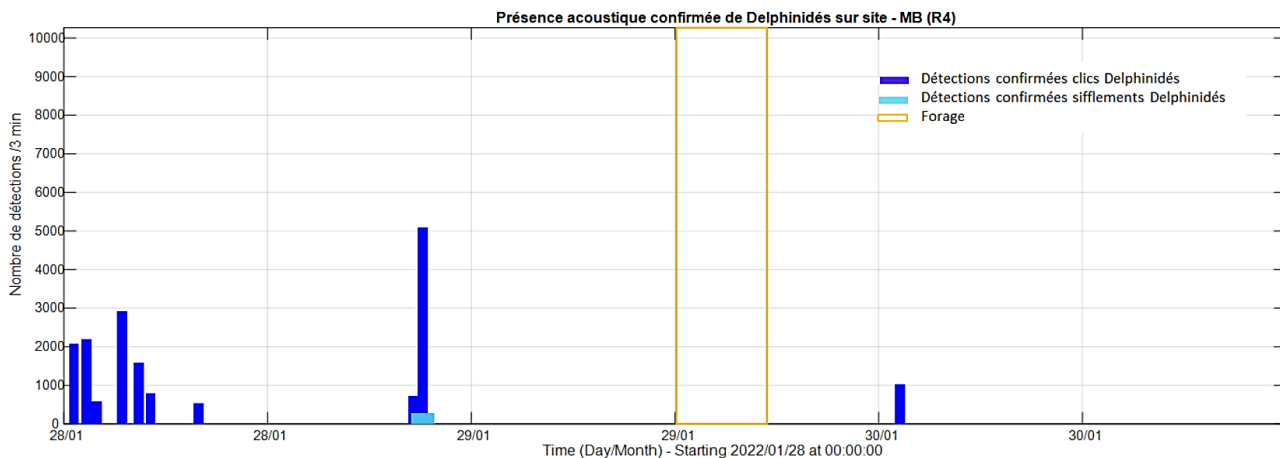


Figure 99 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Delphinidés sur site et les périodes actives de travaux au niveau de la zone Mor-Braz. Analyse ciblée entre le 28 et 30 janvier 2022.

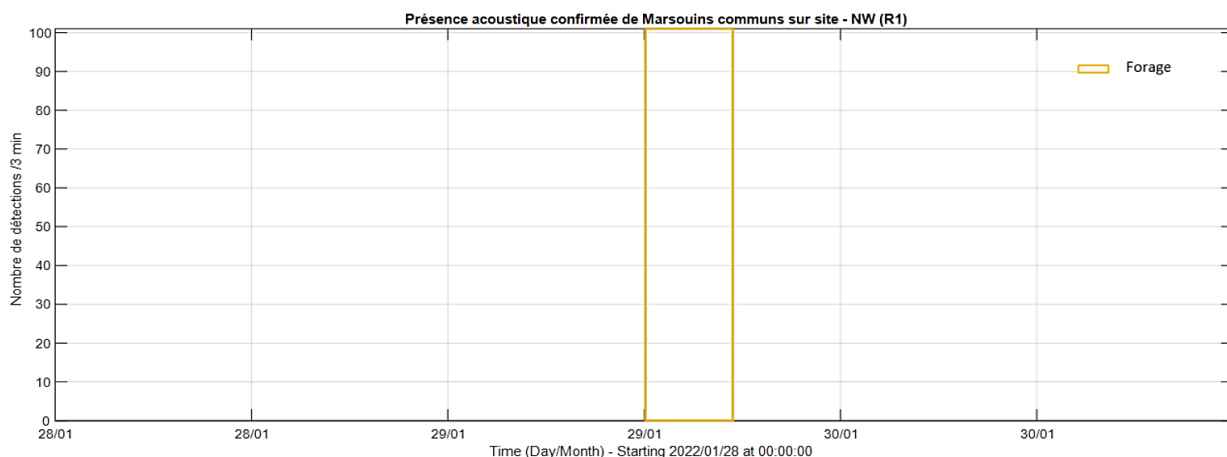


Figure 100 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Phocoenidés sur site et les périodes de travaux au niveau de la zone Nord-Ouest. Analyse ciblée entre le 28 et 30 janvier 2022.

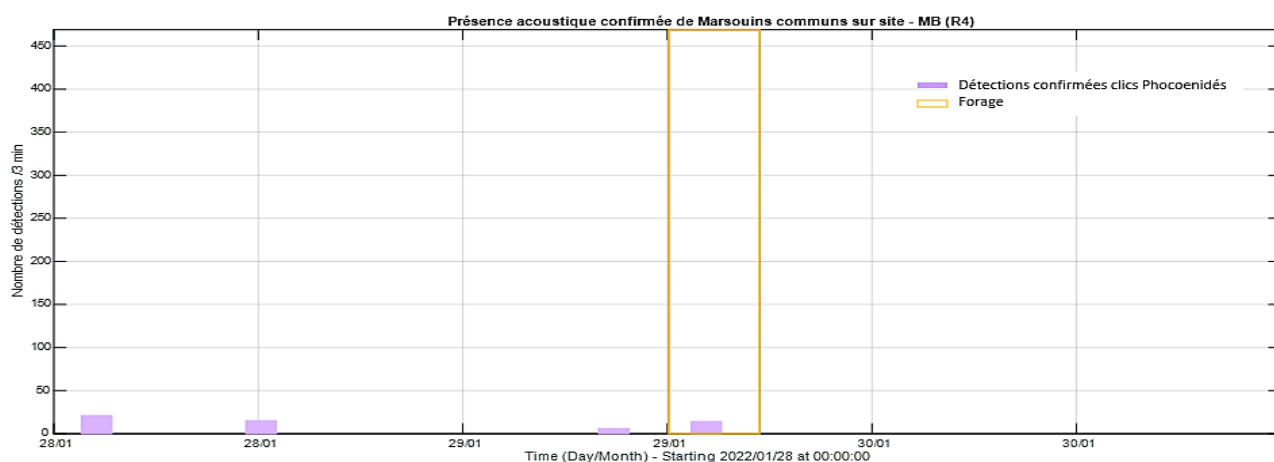


Figure 101 : Croisement entre l'évolution de la fréquentation des Phocoenidés sur site et les périodes de travaux au niveau de la zone Mor-Braz. Analyse ciblée entre le 28 et 30 janvier 2022.

V.4.2.f. Analyse en regard de l'état de référence hivernale

Pour rappel, l'Etat de Référence apporte un volet complémentaire aux résultats de l'Etat Initial par le biais de la caractérisation de la fréquentation du site par les mammifères marins par acoustique passive. L'analyse des résultats obtenus lors de l'Etat de Référence confirme la présence régulière des Delphinidés et des Phocoenidés dans la zone d'étude comme indiqué dans l'Etat Initial. A savoir que durant la saison hivernale 2020, la fréquentation des Delphinidés et des Phocoenidés était plus importante au sud de la zone de projet du parc éolien (Sud-Ouest et Sud-Est).

Le suivi par acoustique passive réalisé durant la période hivernale des travaux de forage (hiver 2022) a permis de réaliser le suivi de la fréquentation des mammifères marins sur chacune des zones d'études et ainsi comparer les résultats obtenus avec la fréquentation observée lors de l'Etat de Référence en hiver 2020 (Tableau 48). Il est important de rappeler que cette comparaison est effectuée spécifiquement sur la base des résultats obtenus via les enregistreurs acoustiques déployés sur chacune des zones en hiver 2020 et hiver 2022.

Concernant les **Delphinidés** :

- ✓ La fréquentation a sensiblement augmenté au niveau de la zone Nord-Ouest avec une fréquentation exceptionnelle en hiver 2020, et occasionnelle en hiver 2022. Cette fréquentation est toujours nocturne en grande majorité avec un comportement notable de socialisation ;
- ✓ Au niveau des zones Sud-Ouest et Sud-Est, la fréquentation observée en hiver 2022 est similaire à celle observée en hiver 2020 lors de l'Etat de Référence. Cette fréquentation est quotidienne à régulière sur l'ensemble de la période d'étude avec un comportement prédominant de socialisation.

Concernant les **Phocoenidés**, que ce soit au niveau de la zone Nord-Ouest ou Sud-Est, la fréquentation de ces cétacés a significativement diminué entre l'Etat de Référence (hiver 2020) et la période des travaux de forage (hiver 2022). En effet, la fréquentation occasionnelle des Marsouins communs au niveau de la zone Nord-Ouest et régulière au niveau de la zone Sud-Est en hiver 2020 est devenue exceptionnelle en hiver 2022. Au niveau de la zone Sud-Ouest, la fréquentation a sensiblement diminué en passant de régulière durant l'Etat de Référence (hiver 2020) à occasionnelle durant la période des travaux de forage (hiver 2022). Des comportements de recherche de nourriture / chasse ont été observés uniquement durant l'Etat de Référence, soit en hiver 2020.

Pour rappel, le suivi acoustique dans la zone Mor-Braz a été ajouté suite aux conclusions de l'Etat de Référence et permet de noter la complémentarité des suivis par acoustique passive et des suivis visuels. En effet, les résultats obtenus via les suivis par acoustique passive permettent de noter une fréquentation quotidienne des Delphinidés et régulière des Marsouins communs au niveau de cette zone Mor-Braz en hiver 2022. La réalisation des suivis visuels par Biotope en hiver 2020 vient appuyer le constat d'une fréquentation acoustique quotidienne des Delphinidés, tandis que les observations visuelles de Marsouins communs sont plus rares au niveau de la zone Mor-Braz en hiver 2020. Bien que les Marsouins communs soient actifs vocalement, ils sont donc peu visibles durant la saison hivernale. Cette faible visibilité peut être associée a (1) des conditions visuelles dégradées par rapport à des suivis visuels réalisés durant l'été mais également (2) au fait que les sorties en mer pour la réalisation des suivis visuels sont ponctuelles mais étendues spatialement à l'inverse d'un suivi par acoustique passive. Ces résultats appuient l'importance de la complémentarité de ces deux types de suivis, acoustique et visuel, dans le cadre d'un suivi de fréquentation biologique.

Tableau 48 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant l'état de référence en hiver 2020 et durant la période de travaux en hiver 2022 au niveau des zones Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées par les enregistreurs acoustiques (3 minutes de données toutes les 10 minutes).

		Zone Nord-Ouest		Zone Sud-Ouest		Zone Sud-Est		Mor-Braz		
		Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	
Etat de référence	Période hivernale 2020	Fréquentation du site	Exceptionnelle	Occasionnelle	Quotidienne	Régulière	Régulière à occasionnelle	Régulière	Absence de mesure	
		Plage horaire préférentielle	Nuit	Jour/Nuit	Nuit	Jour/Nuit	Nuit	Jour/Nuit		
		Comportement	Socialisation / en déplacement	En déplacement	Socialisation / rare comportement de chasse	Socialisation / rare comportement de chasse	Socialisation / en déplacement	Socialisation / chasse		
		Classification	N/A	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i>	<i>Phocoena phocoena</i>		
Pendant travaux	Période hivernale 2022	Fréquentation du site	Occasionnelle	Exceptionnelle	Régulière	Occasionnelle	Régulière	Exceptionnelle	Occasionnelle	Régulière
		Plage horaire préférentielle	Nuit	Nuit	Nuit	Jour/Nuit	Nuit	Nuit	Nuit	Jour/Nuit
		Comportement	Socialisation	N/A	Socialisation / chasse opportuniste	Socialisation	Socialisation / sondage de l'environnement	N/A	Socialisation / chasse opportuniste	Socialisation / chasse opportuniste
		Classification	Probable <i>Globicephala melas</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Tursiops truncatus</i> et <i>Delphinus delphis</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	Probable <i>Globicephala melas</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>

	Hausse de la fréquentation en regard de l'Etat de Référence
	Fréquentation similaire à l'Etat de Référence
	Baisse de la fréquentation en regard de l'Etat de Référence
	Fréquentation de la zone Mor-Braz (absence de comparaison possible avec l'Etat de Référence)

V.4.3. Campagne été 2022 (juillet à septembre 2022)

Pour rappel, un déploiement d'un enregistreur acoustique a été réalisé dans chaque zone du 13 juillet au 23 août 2022. Seul l'enregistreur situé au niveau de la zone Sud-Ouest a été récupéré en septembre 2022 dû à une remontée en surface plus lente du dispositif acoustique. Les contraintes météorologiques associées à la mobilisation des moyens à la mer ont conditionné la récupération de cet enregistreur à la date du 11 septembre 2022.

V.4.3.a. Fréquentation du site par les mammifères marins

i. Famille des Delphinidés

La Figure 102 représente les périodes de présence acoustique des Delphinidés (détections des clics et sifflements) dans la donnée recueillie par les enregistreurs acoustiques au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) entre le 13 juillet et 11 septembre 2022.

Suite à la vérification manuelle des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard, il apparaît que la présence acoustique des Delphinidés au niveau de la **zone Nord-Ouest** est exceptionnelle avec un taux de présence acoustique inférieur à 10%. En effet, seulement 4 périodes de détections de clics et sifflements ont été observées sur 3 jours pour un total de 41 jours d'enregistrement.

De manière générale, la détection des signatures acoustiques de Delphinidés a été réalisée aussi bien de jour comme de nuit. Les détections de sifflements, qui sont principalement apparentés à la socialisation, ont toutes été réalisées durant la journée. A l'inverse, les Delphinidés ont émis des clics uniquement en période nocturne. A la vue du faible nombre de périodes de détections réalisées, il est difficile d'établir le comportement des Delphinidés. Toutefois, en prenant en compte la faible densité et faible intensité des signatures acoustiques détections il est probable que ces derniers sont simplement de passage au large de la zone Nord-Ouest.

Au niveau de la **zone Sud-Ouest**, les Delphinidés sont occasionnellement à régulièrement présents avec un taux de présence acoustique proche de 50%. En effet, 84 périodes de détections de clics et sifflements ont été observés sur 30 jours pour un total de 61 jours d'enregistrement. Pour rappel, la durée d'analyse pour cette zone est plus étendue dû à une récupération tardive de l'enregistreur acoustique. Sur ces 30 jours de présence acoustique, il est possible de noter en moyenne 2 (± 2) passages par jour de Delphinidés à proximité de la zone. La présence acoustique de ces cétacés a principalement été observée durant le jour, à hauteur de 67.9%. Le comportement de ces cétacés est associé principalement à la socialisation/ communication entre individus avec la présence majoritaire de sifflements dans les enregistrements. Quelques détections de clics d'écholocalisation entre 10 et 100 kHz permettent de noter un comportement probable de sondage de l'environnement dans lequel les cétacés évoluent, voire quelques épisodes de chasse opportuniste avec l'association de « buzzs » et sifflements aux clics d'écholocalisation (Figure 103).

Au niveau de la **zone Sud-Est**, les Delphinidés sont occasionnellement présents avec un taux de présence acoustique de 46.3% sur l'ensemble de la période d'étude. En effet, 45 périodes de détections de clics et sifflements ont été observées sur 19 jours pour un total de 41 jours de mesure.

De manière générale, la détection des signatures acoustiques de Delphinidés a été réalisée en journée à hauteur de 67%. Le comportement de ces cétacés est associé principalement à la socialisation/communication entre individus avec la présence majoritaire de sifflements dans les enregistrements associés à quelques clics dont la fréquence d'émission est inférieure à 80 kHz. Certaines interactions entre individus sont de forte intensité avec la présence de cris pulsés et de « buzzs » associés aux sifflements. Quelques épisodes de chasse ont été mis en évidence par la détection de nombreux clics d'écholocalisation associés à des « buzzs » (Figure 104).

Au niveau de la **zone Mor-Braz**, l'analyse des détections de clics et sifflements réalisées dans les enregistrements montre une fréquentation quotidienne des Delphinidés sur l'ensemble de la période avec un taux de présence acoustique de 98%. En effet, 258 périodes de détections de signatures acoustiques de Delphinidés ont été observées sur 40 jours pour un total de 41 jours de mesure. Sur ces 40 jours de présence acoustique, il est possible de noter en moyenne 5 (\pm 5) passages par jour de Delphinidés à proximité de la zone. Dans un contexte similaire aux résultats obtenus pour la période estivale 2021, ces détections confirment l'importante fréquentation du site mise en avant lors des suivis visuels réalisés durant l'Etat de Référence mais également avec la fréquentation quotidienne relevée par acoustique passive durant l'été 2021.

Les détections ont été réalisées indépendamment des heures de la journée. Aucune période préférentielle de passage n'a donc pu être établie pour la présence des Delphinidés qui sont autant présents de jour comme de nuit au niveau de la zone Mor-Braz. Toutefois, une différenciation peut être faite au niveau des détections de clics qui ont principalement été relevées en périodes nocturnes.

Lors de l'analyse bioacoustique, plusieurs caractéristiques des signaux acoustiques détectés ont permis de noter des comportements associés à une quête de nourriture (Figure 105) :

- ✓ Détections d'un nombre importants de clics d'écholocation entre 10 et 192 kHz ;
- ✓ Détections de « buzzs » ;
- ✓ Détections de sifflements et cris pulsés ;
- ✓ Un ICI variable (plus ou moins court) pour chaque train de clics détectés.

A noter que les sifflements détectés sont, de manière générale, de faible intensité sur l'ensemble de la période d'étude.

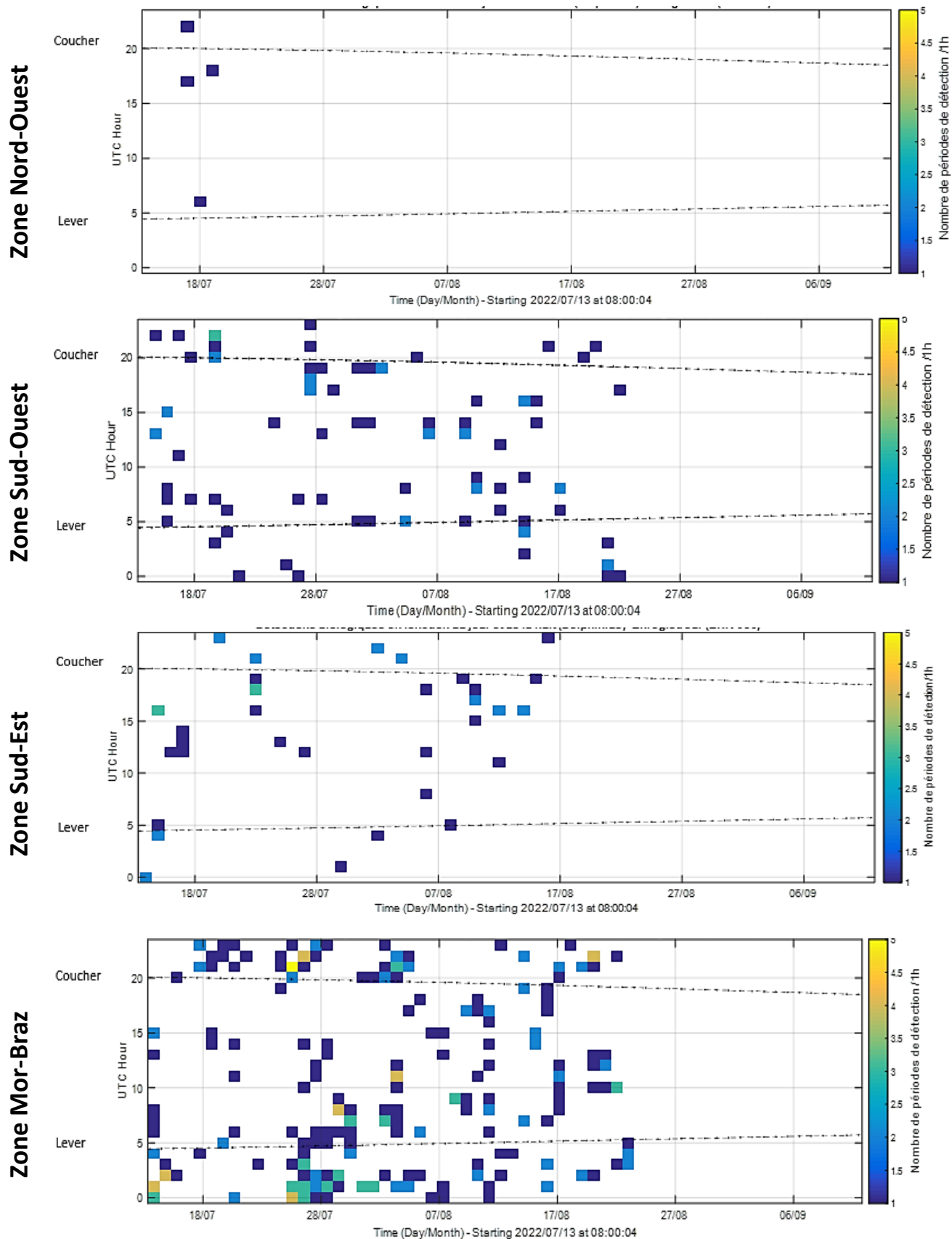


Figure 102 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) pour la période du 13 juillet au 11 septembre 2022.

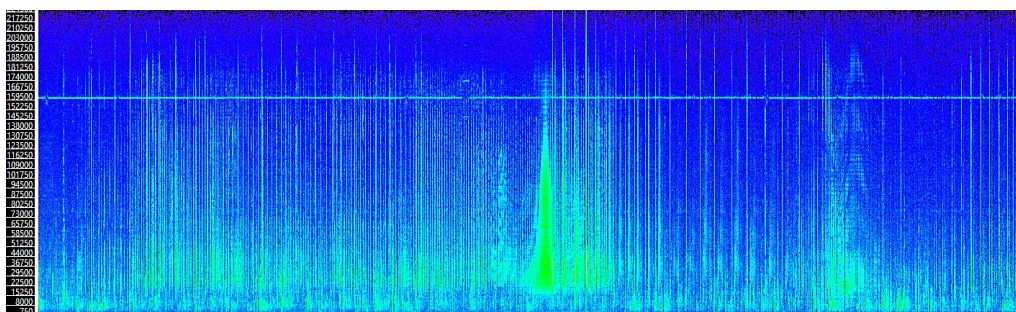


Figure 103 : Probable épisode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone Sud-Ouest. Journée du 21 août 2022 vers 01h11 UTC.

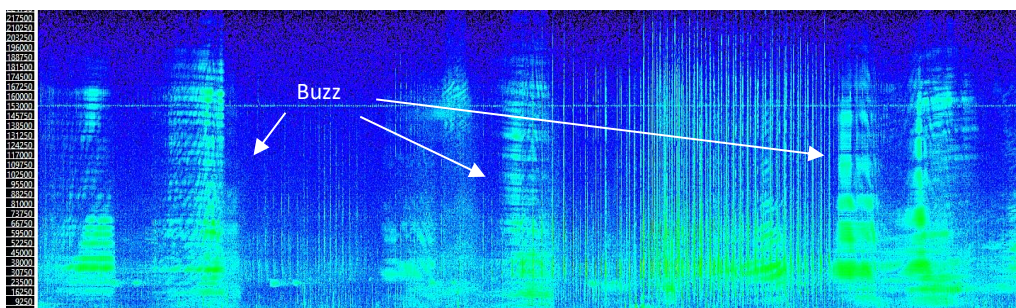


Figure 104 : Episode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone Sud-Est. Journée du 13 juillet 2022 vers 16h41 UTC.

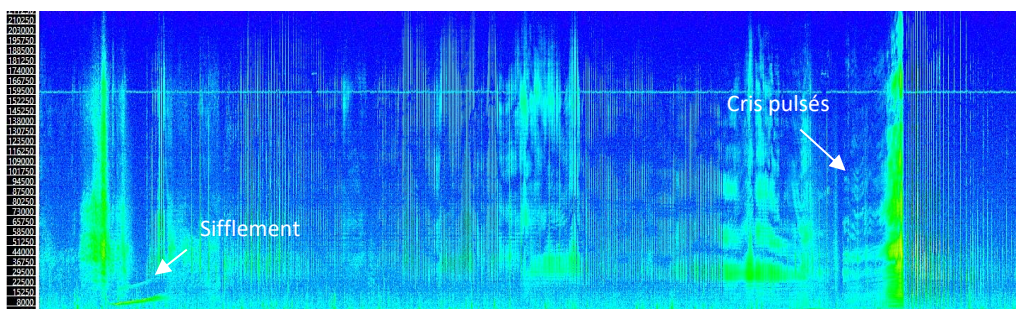


Figure 105 : Episode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone Mor-Braz. Journée du 26 juillet 2022 vers 20h41 UTC.

ii. Famille des Phocoenidés

La Figure 106 représente les périodes de détections des clics haute fréquence émis par les Marsouins communs dans la donnée recueillie par les enregistreurs acoustiques au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) entre le 13 juillet et 11 septembre 2022.

A noter que :

- ✓ La présence des Marsouins communs au niveau de la **zone Sud-Est** est exceptionnelle avec uniquement deux périodes de détections de clics sur les journées du 23/07/2022 et 05/08/2022, pour un total de 41 jours d'enregistrement. Ces détections ont été réalisées respectivement la nuit (20h30 UTC) et le jour (06h10 UTC).
- ✓ Les Marsouins communs sont acoustiquement absents au niveau de la **zone Nord-Ouest**.

Au niveau de la **zone Sud-Ouest**, les Marsouins communs fréquentent occasionnellement le site avec un taux de présence acoustique proche de 30%, soit des détections de clics réalisées sur 17 jours pour un total de 61 jours d'enregistrements.

De manière générale, les clics de Marsouins communs ont été détectés en journée à hauteur de 84.6%. Bien que le comportement dominant mis en évidence par les détections de clics, en grande majorité de faible densité et intensité, soit un comportement de socialisation/communication, quelques rares détections de trains de clics permettent de supposer un comportement de chasse opportuniste suite à l'observation d'un intervalle de temps entre chaque clic (ICI) variable et de courte durée (Figure 107).

Au niveau de la **zone Mor-Braz**, les Marsouins communs fréquentent régulièrement cette zone avec un taux de présence acoustique de 61%, soit 48 périodes de détections de clics confirmées sur 25 jours pour un total de 41 jours d'enregistrements. Les détections de clics ont été réalisées en grande majorité durant la période nocturne à hauteur de 81.3%

Le comportement dominant de ces détections est associé à la socialisation (Figure 108), toutefois quelques épisodes de chasse opportuniste ont été observés avec la détection simultanée de trains de clics et « buzzs » (Figure 109). A noter que dans la plupart des détections, les clics sont de faible intensité et supposent un passage lointain des Marsouins communs par rapport à la zone Mor-Braz.

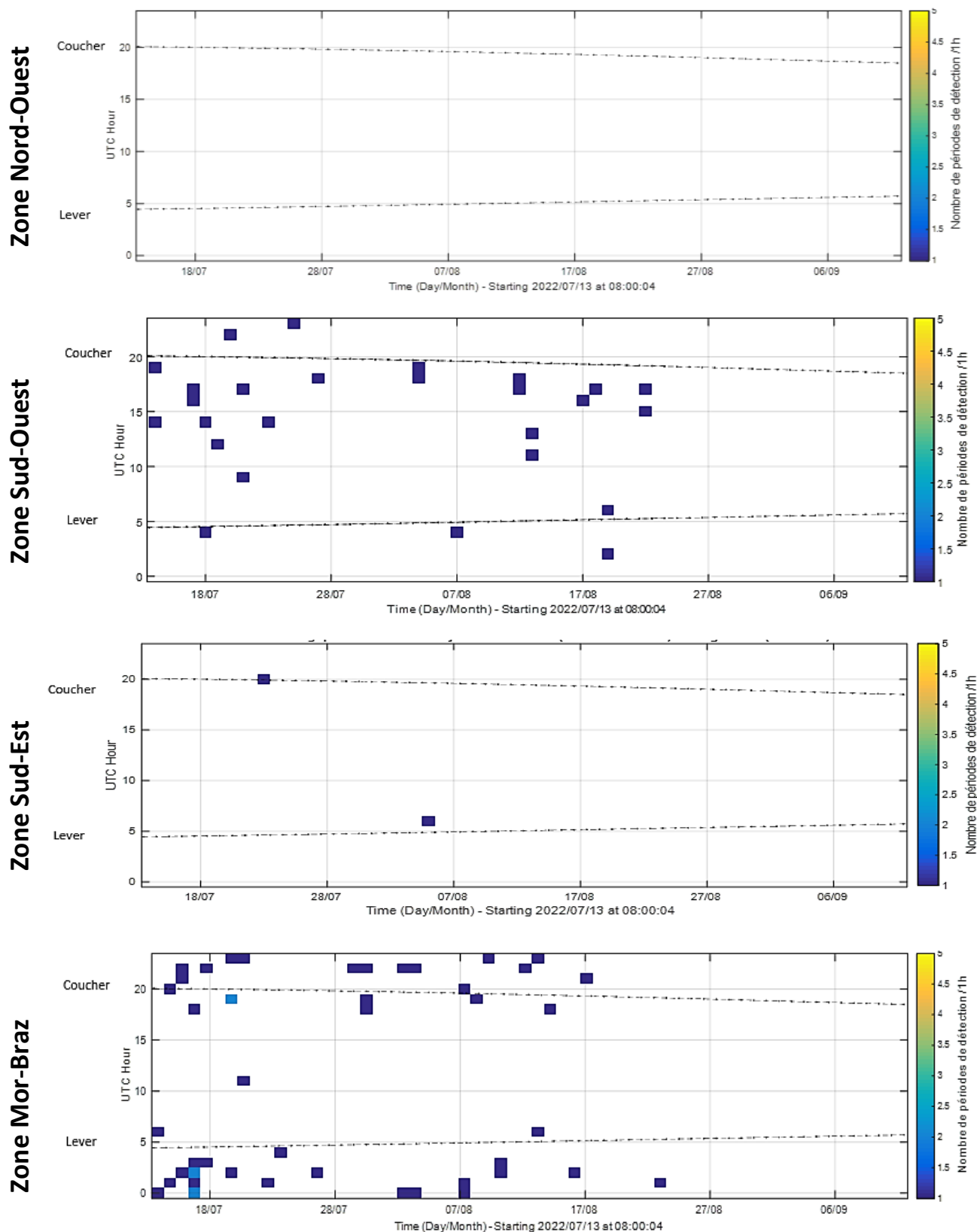


Figure 106 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, en fonction du jour et de la nuit au niveau de chaque zone (Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud-Est et Mor-Braz) pour la période du 13 juillet au 11 septembre 2022.

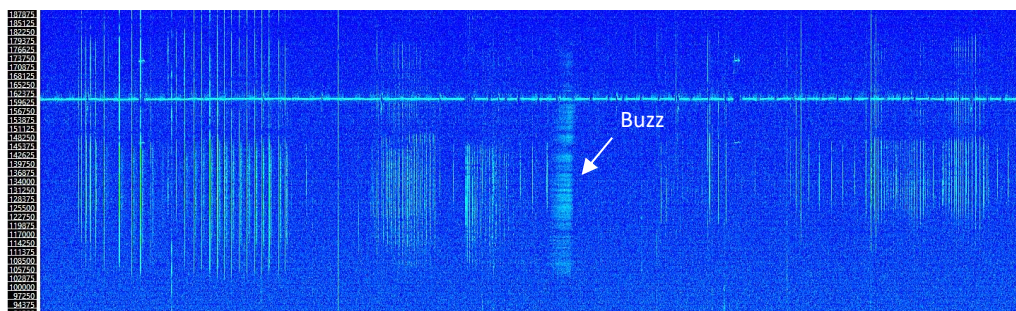


Figure 107 : Trains de clics et buzzs émis par des Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 200 kHz avec un ICI variable et traduisant un probable comportement de chasse opportuniste au niveau de la zone Sud-Ouest. Journée du 22/08/2022 vers 17h00 UTC.

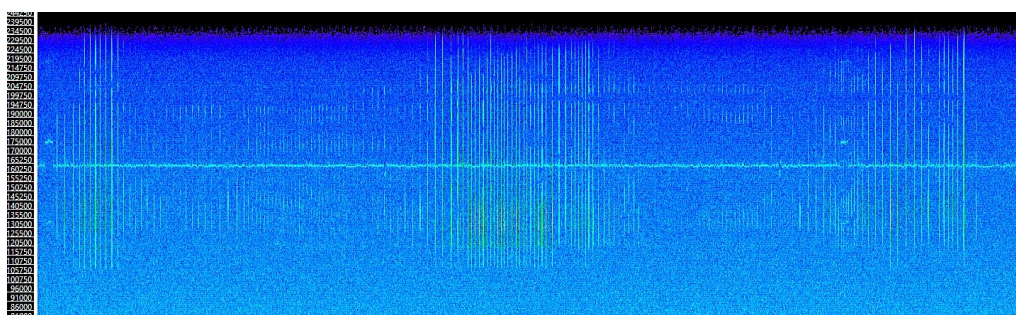


Figure 108 : Trains de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 200 kHz sur la journée du 07/08/2022 vers 00h51 UTC au niveau de la zone Mor-Braz.

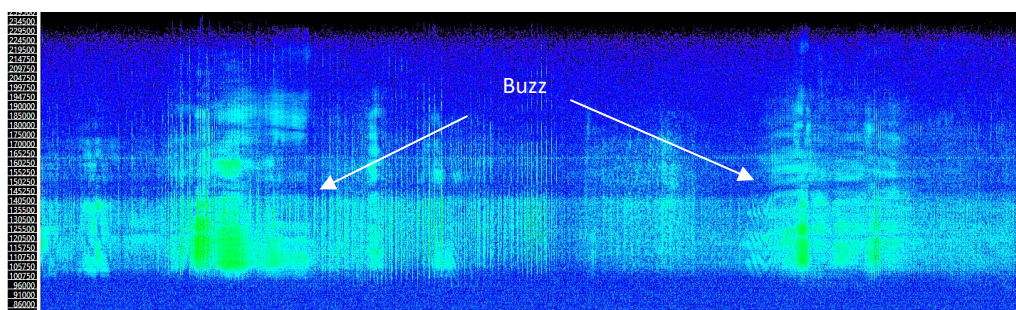


Figure 109 : Trains de clics et buzzs de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, émis entre 110 et 200 kHz suggérant un épisode de chasse à proximité de la zone Mor-Braz. Journée du 14/08/2022 vers 18h50 UTC.

V.4.3.b. Comportements observés

Sur la période de mesure estivale allant du 13 juillet au 11 septembre 2022, l'analyse des enregistrements qui contiennent des contacts acoustiques de **Delphinidés** indiquent de manière générale des comportements de socialisation par la présence majoritaire de sifflements entre 2 et 25 kHz, et de quelques clics 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 104) indiquant quelques comportements de chasse opportuniste et de quête de nourriture principalement sur les détections réalisées à proximité des zones Sud-Ouest et Mor-Braz. Bien que ces comportements de chasse restent moindres sur l'ensemble de la période analysée pour la zone Sud-Ouest, ils sont plus fréquents au niveau de la zone Mor-Braz. Concernant les **Phocoenidés**, l'analyse des clics détectés entre 110 et 150 kHz sur la période du 13 juillet au 11 septembre 2022 a permis de noter principalement un comportement de socialisation avec quelques rares épisodes de chasse opportuniste et/ou de communication intense.

V.4.3.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 avec certitude des sifflements émis par :

- ✓ Le Dauphin commun, *Delphinus delphis*, entre 8 et 18 kHz (Figure 110);
- ✓ Le Grand Dauphin, *Tursiops truncatus*, entre 5 et 12 kHz (Figure 111).

Il apparaît que le Dauphin commun est l'espèce prédominante dans l'ensemble de la donnée enregistrée au niveau de la zone Sud-Ouest. Le Grand Dauphin a, quant à lui, été observé au niveau de chaque zone d'étude.

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.*

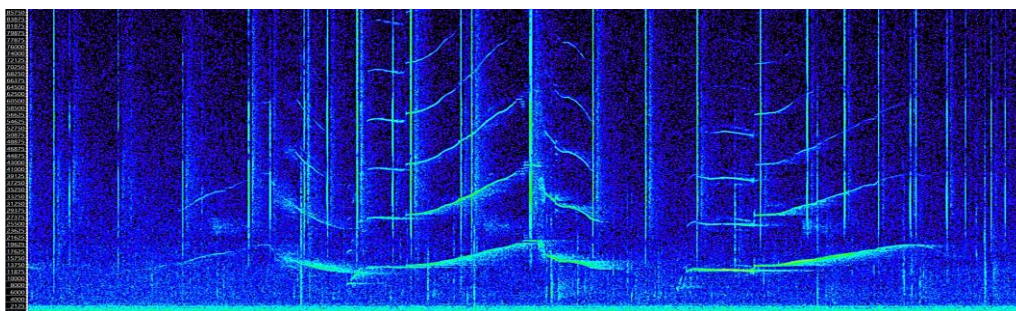


Figure 110 : Sifflements émis par le Dauphin commun (*Delphinus delphis*) entre 8 et 18 kHz, le 06 août 2022 vers 08h02 UTC au niveau de la zone Sud-Est.

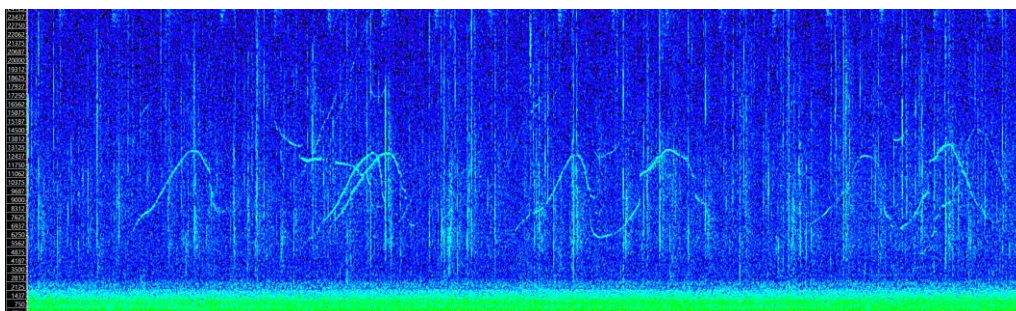


Figure 111 : Sifflements émis par le Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*) entre 5 et 12 kHz, le 15 juillet 2022 vers 04h21 UTC au niveau de la zone Sud-Est.

V.4.3.d. Synthèse de la fréquentation du site

Le Tableau 49 synthétise les résultats obtenus via les enregistreurs acoustiques quant à la présence des mammifères marins au niveau de chaque zone d'étude entre le 13 juillet et 11 septembre 2022 durant les périodes actives d'enregistrement :

- ✓ La zone Mor-Braz apparaît comme l'emplacement le plus fréquenté par les mammifères marins avec une fréquentation quotidienne à régulière de Delphinidés et Phocoenidés ;
- ✓ La zone d'étude Nord-Ouest apparaît comme l'emplacement le moins fréquenté par les mammifères marins. La présence des Delphinidés est exceptionnelle et les Marsouins communs sont acoustiquement absents sur cette zone ;

- ✓ Les zones Sud-Ouest et Sud-Est sont toutes deux occasionnellement fréquentées par les Delphinidés. La présence des Phocoenidés est également occasionnelle au niveau de la zone Sud-Ouest, mais elle est exceptionnelle au niveau de la zone Sud-Est.

Le comportement prédominant des Delphinidés et Phocoenidés sur chacune des zones est la socialisation. Quelques épisodes de quête de nourriture ont été mis en évidence au niveau des zones Sud-Ouest et Mor-Braz pour les Delphinidés, et spécifiquement au niveau de la zone Mor-Braz pour les Phocoenidés. A noter que ces épisodes de chasse apparaissent plus récurrents au niveau de la zone Mor-Braz pour les Delphinidés.

Tableau 49 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant la période des travaux en saisons estivale, ente le 13 juillet et 11 septembre 2022. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement de 3 minutes toutes les 10 minutes).

	Fréquentation du site				Comportement			
	Nord-Ouest	Sud-Ouest	Sud-Est	Mor-Braz	Nord-Ouest	Sud-Ouest	Sud-Est	Mor-Braz
Delphinidés	Exceptionnelle	Occasionnelle à régulière	Occasionnelle	Quotidienne	N/A	Socialisation/ Chasse opportuniste	Socialisation/ Sondage de l'environnement	Socialisation/ Chasse
Phocoenidés	Absence	Occasionnelle	Exceptionnelle	Régulière	N/A	Socialisation	N/A	Socialisation/ Chasse opportuniste

V.4.3.e. Analyse en regard des activités du chantier

Pour rappel, à partir des données collectées durant la période estivale 2021 et la période hivernale 2022, , il apparaît que la fréquentation des zones Nord-Ouest et Sud-Ouest est faiblement impactée par les activités présentes sur site dans un rayon de 0.6 à 2.6 km. La fréquentation de la zone Mor-Braz, zone éloignée des activités anthropiques, apparaît indépendante des activités présentes sur site.

Durant la période estivale 2022, aucun atelier de forage et de battage n'a été réalisé sur l'ensemble de la période d'étude c'est-à-dire entre le 13 juillet et 11 septembre 2022. Toutefois, des ateliers de poses des câbles et d'installation des éoliennes ont été mis en œuvre sur cette période. Il est donc possible de comparer les résultats obtenus entre les périodes estivale 2021 (travaux de forage et battage) et estivale 2022 (travaux d'installation). Le Tableau 50 synthétise la fréquentation de chaque zone par les mammifères marins pour les périodes estivales 2021 et 2022. Il apparaît que :


- ✓ La fréquentation des zones Nord-Ouest et Sud-Est par les Delphinidés et les Phocoenidés a sensiblement diminué entre les périodes estivale 2021 et estivale 2022, jusqu'à l'absence acoustique des Phocoenidés au niveau de la zone Nord-Ouest ;
- ✓ La fréquentation des zones Sud-Ouest et Mor-Braz est similaire entre la période des travaux de forage et battage (été 2021) et la période des travaux d'installation (été 2022).

Ces résultats appuient (1) la corrélation entre la fréquentation biologique et les activités présentes sur site pour les zones situées à proximité immédiate des travaux d'installation en cours dans le parc éolien, c'est-à-dire les

zones Nord-Ouest et Sud-Est et (2) l'indépendance de la fréquentation biologique des zones situées en périphérie du parc éolien, c'est-à-dire les zones Sud-Ouest et Mor-Braz, par rapport aux bruit anthropiques.

Tableau 50 : Synthèse de la fréquentation de chaque zone par les mammifères marins pour les périodes estivale 2021 (travaux de forage et battage) et estivale 2022 (travaux de poses). Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement de 3 minutes toutes les 10 minutes).

		Fréquentation du site							
		Période estivale 2021 (travaux de forage et battage)				Période estivale 2022 (travaux d'installation)			
		Nord-Ouest	Sud-Ouest	Sud-Est	Mor-Braz	Nord-Ouest	Sud-Ouest	Sud-Est	Mor-Braz
Delphinidés		Occasionnelle	Régulière	Régulière	Quotidienne	Exceptionnelle	Occasionnelle à régulière	Occasionnelle	Quotidienne
		Exceptionnelle	Occasionnelle	Occasionnelle	Régulière	Absence	Occasionnelle	Exceptionnelle	Régulière

 Baisse de la fréquentation en regard de la période des travaux de forage et battage 2021

V.4.3.f. Analyse en regard de l'état de référence estivale

Pour rappel, l'Etat de Référence (été 2019) a apporté un volet complémentaire aux résultats de l'Etat Initial (été 2013) par le biais de la caractérisation de la fréquentation du site par les mammifères marins par acoustique passive. L'analyse des résultats obtenus lors de l'Etat de Référence confirmait la présence régulière des Delphinidés et des Phocoenidés dans la zone d'étude comme indiqué dans l'état initial. A savoir que durant la saison estivale 2019, la fréquentation des Delphinidés était plus importante au sud de la zone d'implantation du parc éolien (zones Sud-Ouest et Sud-Est), et la fréquentation des Phocoenidés était plus importante au niveau de la zone Sud-Ouest.

Le suivi par acoustique passive réalisée durant les périodes estivales 2021 et 2022 a permis d'établir la fréquentation des mammifères marins sur chacune des zones d'études et de comparer aux résultats obtenus lors de l'Etat de Référence en été 2019. Le Tableau 51 synthétise les résultats obtenus via les enregistreurs acoustiques déployés sur chacune des zones durant l'Etat de référence (été 2019), la première année de travaux (été 2021 – battage, forage et pose de câbles) et la deuxième année de travaux (été 2022 – poses de câbles et d'installation d'éoliennes). A noter, les derniers ateliers de forage et de battage ont été réalisés le 11 mai 2022.

Concernant les Delphinidés :

- ✓ La fréquentation observée au niveau de chaque zone en été 2022 est similaire à celle observée en été 2019 lors de l'Etat de Référence avec (1) une fréquentation plus importante des Delphinidés au niveau des zones Sud-Ouest et Sud-Est pour chacune de ces périodes estivales et (2) un comportement prédominant de socialisation et quelques épisodes de chasse opportuniste au niveau de la zone Sud-Ouest ;

Concernant les Phocoenidés :

- ✓ Au niveau de la zone Nord-ouest, la fréquentation des Marsouins communs est passée d'exceptionnelle durant l'Etat de Référence (été 2019) à l'absence de ces cétacés durant la période estivale 2022 (travaux de pose de câbles) ;
- ✓ La fréquentation de la zone Sud-Ouest a sensiblement diminué en passant de régulière en été 2019 à occasionnelle en été 2022 ;
- ✓ La fréquentation de la zone Sud-Est a sensiblement augmenté en passant d'une absence de détections en été 2019 à une fréquentation exceptionnelle en été 2022 ;

A noter, la zone Mor-Braz, ajoutée suite à l'Etat de Référence, permet de mettre en évidence la complémentarité des suivis par acoustique passive et des suivis visuels. En effet, les résultats obtenus via les suivis par acoustique passive (été 2021 et 2022) permettent de confirmer la fréquentation quotidienne à régulière des Delphinidés et Marsouins communs observée en été 2019 à cet emplacement suite à la réalisation des suivis visuels par Biotope.

Comme prévu dans l'autorisation environnementale du parc éolien en mer de Saint-Nazaire, la poursuite du suivi des mammifères marins dans chaque zone par acoustique passive permettra de confirmer (ou infirmer) l'évolution de la fréquentation par ces espèces pendant les premières années d'exploitation du parc éolien conformément au principe BACI.

V.4.3.g. Analyse en regard de la phase des travaux été 2021

Bien que la fréquentation des Delphinidés en été 2022 (travaux de poses de câbles et d'installation d'éoliennes) soit similaire à celle observée en été 2019 (Etat de Référence), il apparaît que la fréquentation au niveau des zones Nord-Ouest et Sud-Est en été 2022 a sensiblement diminué par rapport à celle observée en été 2021 (travaux de battage, forage et pose de câbles). La fréquentation est respectivement passée d'occasionnelle et régulière en 2021 (Nord-Ouest) à exceptionnelle et occasionnelle en 2022 (Sud-Est). Concernant les Marsouins communs, la zone Sud-ouest est occasionnellement fréquentée que ce soit lors de la période estivale 2021 (avec travaux de forage, battage et pose de câbles) et estivale 2022 (travaux de poses de câbles et d'installation d'éoliennes). Toutefois, la fréquentation des zones Nord-Ouest et Sud-Est par les Marsouins communs a sensiblement diminué entre les périodes estivales 2021 et 2022.

Tableau 51 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant l'Etat de Référence (été 2019), durant la période de travaux (été 2021) et hors période des travaux (été 2022) au niveau de chaque zone. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées par les enregistreurs acoustiques (3 minutes de données toutes les 10 minutes).

		Zone Nord-Ouest		Zone Sud-Ouest		Zone Sud-Est		Mor-Braz		
		Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	
Etat de référence	Période estivale 2019	Fréquentation du site	Exceptionnelle	Exceptionnelle	Quotidienne à régulière	Régulière	Quotidienne à occasionnelle	Absente	Absence de mesure	
		Plage horaire préférentielle	Jour/Nuit	N/A	Jour/Nuit	Jour/Nuit	Nuit	N/A		
		Comportement	Socialisation / en déplacement	N/A	Socialisation / chasse opportuniste	Socialisation	Socialisation	N/A		
		Classification	N/A	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i> <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i>	<i>Phocoena phocoena</i>		
Pendant travaux (forage et battage)	Période estivale 2021	Fréquentation du site	Occasionnelle	Exceptionnelle	Régulière	Occasionnelle	Régulière	Occasionnelle	Quotidienne	Régulière
		Plage horaire préférentielle	Jour	N/A	Jour/Nuit	Jour	Nuit	Jour	Jour/Nuit	Jour/Nuit
		Comportement	Socialisation	N/A	Socialisation / chasse opportuniste	Socialisation	Socialisation	Socialisation / en déplacement	Socialisation / chasse	Socialisation / chasse opportuniste
		Classification	<i>Delphinus delphis</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i> Probable <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i> <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>
Pendant travaux d'installation	Période estivale 2022	Fréquentation du site	Exceptionnelle	Absence	Occasionnelle à régulière	Occasionnelle	Occasionnelle	Exceptionnelle	Quotidienne	Régulière
		Plage horaire préférentielle	Jour/Nuit	N/A	Jour	Jour	Jour	N/A	Jour/Nuit	Nuit
		Comportement	N/A	N/A	Socialisation/ Chasse opportuniste	Socialisation	Socialisation/ Sondage de l'environnement	N/A	Socialisation/ Chasse	Socialisation/ Chasse opportuniste
		Classification	<i>Tursiops truncatus</i>	N/A	<i>Delphinus delphis</i> <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i> <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>

	Hausse de la fréquentation en regard de l'Etat de Référence
	Fréquentation similaire à l'Etat de Référence
	Baisse de la fréquentation en regard de l'Etat de Référence
	Fréquentation de la zone Mor-Braz (absence de comparaison possible avec l'Etat de Référence)

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. Fiabilité des systèmes de mesure

Le choix du système de mesure pour l'analyse bioacoustique d'un site est déterminant pour la qualité des résultats.

Dans le cadre de l'Etat de Référence (2019-2020), deux types de systèmes ont été utilisés : des enregistreurs acoustiques passifs (pendant 1 mois) et des systèmes équipés d'un détecteur automatique C-POD (pendant 3 mois). L'enregistreur acoustique capte tous types de signaux entre 10Hz et 180kHz, par cycles de 3 minutes ON et 7 minutes OFF, afin d'obtenir un échantillon représentatif. L'enregistreur automatique C-POD ne capte que les clics, en interprète le signal selon un algorithme intégré dans le système C-POD (et non communiqué à l'utilisateur), et restitue l'information traitée sans enregistrement parallèle de la donnée acoustique brute. Il n'est donc pas possible à l'utilisateur de connaître le traitement fait de la donnée ni de réanalyser a posteriori les signaux en cas d'incertitude sur les résultats.

Lors des suivis 2019-2020, un hydrophone et un C-POD ont été placés côte à côte afin de vérifier la concordance de leurs données. Les résultats ont montré que le C-POD ne capte pas tous les signaux et que, dans le cas d'une ambiance sonore bruyante, certains signaux anthropiques ont été interprétés comme des signaux biologiques.

Pour toutes ces raisons, il a été proposé et validé en CTE (17 novembre 2020) de ne pas recourir aux systèmes C-POD dans le cadre de la mesure de suivi MSU8 en phase travaux, mais d'augmenter l'effort de suivi par enregistreur acoustique passif en ajoutant une station de mesure.

Il est important de préciser que suite à l'arrêt de fabrication des enregistreurs acoustiques SM3M par la société Wildlife Acoustics, il a été nécessaire de procéder au remplacement des enregistreurs par le système Sylence de la société RTSYS. Cette modification a été réalisée entre le suivi de l'état de référence et le suivi de la période des travaux. Ce changement de système de mesure ne modifie en rien la distinction des signaux bioacoustiques et les bruits des travaux.

V.5.2. 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.

Dans le cadre de cette étude, un bruit ambiant persistant a pu être mis en évidence dans les basses fréquences. Ces bruits ne gênent pas la détection automatique des signaux émis par les espèces cibles de cette étude (HF et

VHF). Ce bruit ambiant est principalement dû à la présence de signaux anthropiques (passage de navire, mouillage) et d'un bruit géophonique représenté par le transport sédimentaire (déplacement du sédiment engendrant un bruit de « frottement » contre l'hydrophone). Un post-traitement et une validation des détections automatiques provenant des enregistreurs ont donc été réalisés afin de pouvoir confirmer les résultats obtenus.

V.5.3. Représentativité de la mesure

V.5.3.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). En fonction de la gamme de fréquence des espèces cibles, 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 (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, tel que le Dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*) occasionnellement présent au large de Saint-Nazaire. Dans le cadre de cette étude, deux solutions ont été mises en œuvre pour atteindre cet objectif :

- ✓ Le 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 ;
- ✓ La réplication spatiale (acquisition en plusieurs points), qui dans un milieu aux conditions relativement homogène permet de généraliser les résultats à l'ensemble de l'aire d'étude.

V.5.3.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 (par exemple les Orques, considérés comme occasionnellement présents au large de Saint-Nazaire, cf. V.1.1.b.), 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.5.4. Algorithme de détection automatique

De manière générale, les algorithmes de détection automatique identifient de manière fiable la présence, le cas échéant, de signaux impulsifs et/ou transitoires dans la donnée mesurée par acoustique passive. Toutefois, il

apparaît qu'en présence d'un chorus sonore bruyant (1) le nombre de détections réalisées soit surestimé et, (2) les détections biologiques réalisées par l'algorithme s'apparentent en réalité à la détection de signaux anthropiques. En effet, la présence de bruit de mouillage tels que des chocs ou des grincements, provoqués par des chocs sur une surface ou par les vibrations d'éléments du mouillage acoustique à des fréquences inférieures à 5 kHz, peut entraîner une confusion pour l'algorithme de détection entre les signaux transitoires biologiques et ces signaux transitoires anthropiques. Dans un contexte similaire, la présence intensive de signaux impulsifs anthropiques dans la donnée mesurée, tels que ceux émis par un sondeur 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 sondeur 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. Toutefois, cette alternative n'est réalisable que lorsque la donnée acoustique brute est disponible.

Chapitre VI. Synthèse du suivi acoustique

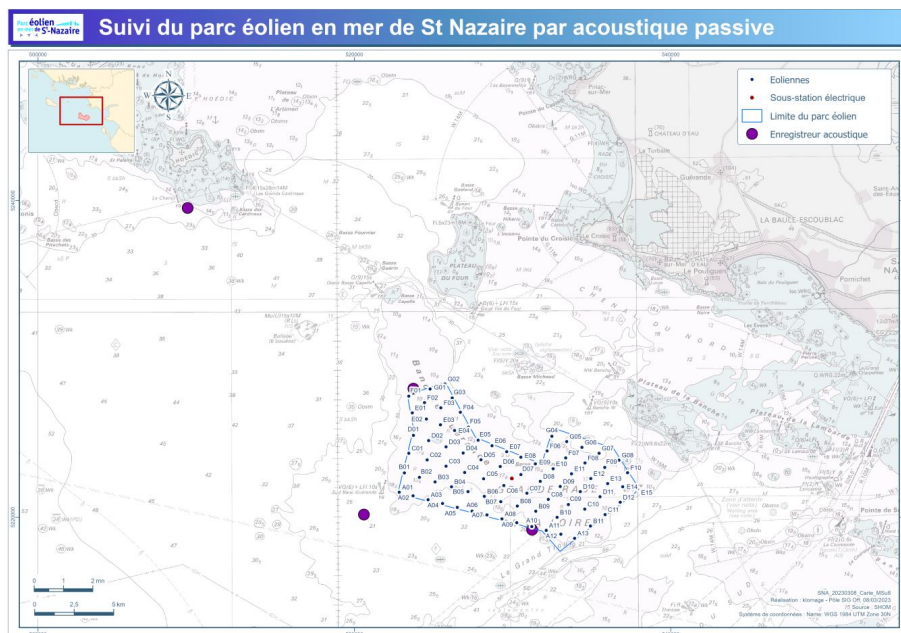
La société Parc du Banc de Guérande (PBG) s'est vue attribuer le site au large de Saint-Nazaire pour le développement et l'exploitation d'un parc éolien en mer de 80 éoliennes. Elle bénéficie depuis le 17 mars 2016 d'un arrêté autorisant, au titre de l'article L214-3 du code de l'environnement, l'aménagement et l'exploitation d'un parc éolien en mer au large de Saint-Nazaire. L'article 2.5 de cet arrêté décrit les mesures de suivi des effets du projet sur l'environnement. Ces suivis concernent plusieurs compartiments de l'environnement, dont le bruit sous-marin et les mammifères marins – objets de la présente étude, et doivent être réalisés pendant la phase de construction et tout au long de la période d'exploitation du parc éolien selon le principe Before-After-Control-Impact (BACI) et Gradient Sampling.

Le présent document rapporte les résultats relatifs à la mise en œuvre de la mesure MSU8, suivi du bruit sous-marin et des mammifères marins, au cours de la phase de construction du parc éolien en mer de St Nazaire. L'acquisition des données in situ et leur interprétation a été réalisée conformément au protocole de suivi soumis en novembre 2020 au Comité Technique Environnemental et validé par le Préfet.

Cette étude a pour objectif :

- ✓ D'analyser l'effet du bruit du chantier vis-à-vis du bruit ambiant, et pour différentes gammes de fréquence ;
- ✓ D'analyser le comportement des mammifères marins lors de cette phase du projet et du bruit additionnel induit, alors qu'une mesure d'effarouchement a été mise en œuvre pour certains types des travaux (battage notamment).

Quatre enregistreurs d'acoustique passive ont été déployés dans quatre zones nommées Nord-Ouest (NW), Sud-Ouest (SW), Sud-Est (SE) et Mor-Braz (MB) durant les saisons été 2021, hiver 2022 et été 2022, soit pendant les travaux d'installation du projet éolien. Les zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est se situent à proximité immédiate des limites du parc éolien. La zone Mor-Braz se situe entre 18 et 34 km des activités de construction et permet d'évaluer le niveau de bruit engendré par les travaux et les potentielles incidences sonores associées sur une zone régulièrement fréquentée par les mammifères marins. Les ateliers de forage et de battage sont les ateliers principaux ciblés par cette étude avec des durées d'opération, par enfoncement de pile, variant de 08h à 10h pour chaque forage et entre 20 minutes et 04h30 pour chaque atelier de battage.



Compte tenu du planning des travaux, les suivis par acoustique passive ont couvert les activités suivantes :

- ✓ Eté 2021 : travaux d'installation des fondations par battage et par forage couvrant respectivement 1% et 15% du temps d'acquisition, et opérations de pose de câble sur les fonds ;
- ✓ Hiver 2022 : travaux d'installation des fondations par forage couvrant 5% du temps d'acquisition ;
- ✓ Eté 2022 : travaux d'installation des éoliennes, opérations de pose de câble sur les fonds, et transit de personnel vers les structures pour les opérations de mise en service du parc éolien.

VI.1. Analyse des niveaux sonores pendant la phase de construction

Durant la période estivale 2021 (du 27/07 au 16/09), période au cours de laquelle étaient réalisés des travaux d'installation des fondations par forage et/ou battage ainsi que des travaux de pose de câble inter-éoliens, l'analyse du bruit physique met en évidence des niveaux large bande médians compris entre 99 et 109 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ en fonction du point de mesure. Le niveau minimal est compris entre 93 et 97 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ tandis que le niveau maximal est compris entre 141 et 151 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$.

Durant la période hivernale 2022 (du 24/01 au 10/03), période au cours de laquelle étaient réalisés des travaux d'installation des fondations par forage, l'analyse du bruit physique met en évidence des niveaux large bande médians compris entre 100 et 108 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ en fonction du point de mesure. Le niveau minimal est compris entre 90 et 99 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ tandis que le niveau maximal est compris entre 141 et 153 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$.

Durant la période été 2022 (du 13/07 au 11/09), période au cours de laquelle étaient réalisés des travaux d'installation d'éoliennes ainsi que des travaux de pose de câble inter-éoliens, l'analyse du bruit physique met en évidence des niveaux large bande médians compris entre 97 et 108 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ en fonction du point de mesure. Le niveau minimal est compris entre 93 et 102 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ tandis que le niveau maximal est compris entre 144 et 153 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$.

Globalement, seuls les capteurs situés à proximité immédiate d'une zone de travaux effectifs montrent que les navires travaillant à la construction du parc éolien engendrent ponctuellement des niveaux sonores allant jusqu'à 140dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ dans une bande de fréquences comprises entre 20Hz et 40kHz, soient des émergences allant jusqu'à 30dB par rapport au bruit environnemental permanent, lorsque le navire passe à proximité immédiate (quelques centaines de mètres) du capteur.

Identiquement aux mesures de l'état initial (2014) et de l'état de référence (2019-2020), l'activité benthique engendre une contribution sonore prépondérante dans la bande de fréquence allant de 4 à 20 kHz. Cette activité biologique montre un accroissement du niveau sonore large bande de l'ordre de 3dB durant la nuit.

A partir des données collectées lors des phases de battage et de forage, la cartographie de l'empreinte acoustique d'une pile hybride (installation par forage puis battage) montre une perception du bruit de battage dans un rayon de 20 à 34 km en fonction de la direction lors du battage. Cette information est corroborée par les mesures in-situ dans la zone Mor-Braz située à 22,5 km, avec une émergence constatée de 3 à 5 dB dans la bande de fréquence entre 50 et 800 Hz. La zone Sud-Est située à 2.6 km met en évidence une émergence de l'ordre de 30 dB.

La cartographie d'un enfoncement de pile par battage uniquement met en évidence une perception jusqu'à environ 45 km de la zone des travaux dans toutes les directions. Cette distance est plus importante que celle estimée avec une pile hybride car l'énergie acoustique émise est plus importante (passage de 196 à 209dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ à la source).

Concernant le forage, les résultats montrent une perception localisée à minima jusqu'à 1500m et variable en fonction de l'enfoncement du pieu. En comparaison du bruit perçu avant travaux, l'analyse des mesures à 750 m met en évidence une émergence allant jusqu'à 25 dB pour la fréquence spécifique à 1000 Hz et dans une moindre mesure pour les fréquences 1350 et 1700 Hz. Le forage n'a pas été à l'origine d'augmentations notables du niveau sonore large bande aux points de mesures. En comparaison, les manœuvres des navires support se

situant à moins de 1km du capteur sont plus bruyantes, avec des élévations de l'ordre de 15dB dans le tiers d'octave 1000Hz (bande caractéristique du forage).

Sur l'ensemble des suivis réalisés durant la phase des travaux (2021-2022), les niveaux de bruit faibles à médians (supérieurs au percentile 50%) sont en diminution de 2,7 à 7,9 dB en comparaison de l'état de référence. Cette décroissance s'explique par une probable baisse d'activité des organismes benthiques à l'emplacement des mesures, en particulier dans la bande de fréquence de 4 à 20 kHz.

Le bruit induit par les travaux a eu une incidence dans une proportion du temps relativement faible en comparaison de la période d'étude, dans une bande de fréquences allant de 20 Hz à quelques kilohertz. L'effet des travaux sur le bruit ambiant dépend majoritairement de la distance entre la source des bruits et la position des capteurs.

La zone Sud-Est a été fortement impactée par les activités du chantier lors de l'été 2022. Les niveaux sonores les plus forts (percentile 1%) sont alors supérieurs de 23dB à ceux mesurés lors de l'état de référence en été 2019. Cette zone correspond bien à la zone géographique dans laquelle se concentrait la plus grande partie des travaux de construction à ce moment du projet. Les travaux récurrents d'installation de câbles et les manœuvres des navires supports à proximité immédiate (minimum 80m) du capteur ont fait augmenter significativement et durablement les niveaux sonores jusqu'à 153 dB ref 1 μ Pa² dans une bande de fréquences comprise entre 20Hz et 40kHz. Ces augmentations s'étalent sur plusieurs jours tout au long de la période de suivi.

Le Tableau 53dresse une tendance saisonnière de l'impact des travaux sur la zone d'étude, en se basant sur les écarts inter-saisons pour les percentiles 1% à 10% des bruits mesurés. Ces percentiles sont généralement caractéristiques des bruits d'origine anthropique. La saison la plus affectée par les travaux (avec les niveaux les plus forts pour les percentiles 1% à 10%) est classée « ++ », et la saison la moins affectée par les travaux est classée « - ».

A titre de comparaison, le Tableau 52 illustre l'avancement des travaux en fonction de la période de suivi.

- ✓ La zone Nord-Ouest a majoritairement été affectée par les travaux lors de l'hiver 2022 et dans une moindre mesure lors de l'été 2021 ;
- ✓ La zone Sud-Ouest a été affectée majoritairement par les travaux lors de l'hiver 2022 ;
- ✓ La zone Sud Est a été très affectée par les travaux lors de l'été 2022 et dans une moindre mesure lors de l'hiver 2022 ;
- ✓ Toutefois, le déplacement sédimentaire lors de l'hiver 2022 a engendré des bruits perturbateurs sur la mesure pouvant légèrement surestimer les impacts du bruit des travaux à cette saison.
- ✓ La zone Mor Braz n'a pas ou peu été affectée par les travaux quelle que soit la saison.

Tableau 52 : Avancement des travaux en de la période du suivi

Travaux en Été 2021	Travaux en Hiver 2022	Travaux en Été 2022
 <p>Localisation des travaux pour la période de suivi « été 2021 »</p>	 <p>Localisation des travaux pour la période de suivi « hiver 2022 »</p>	 <p>Localisation des travaux pour la période de suivi « été 2022 »</p>

VI.2. Analyse de la fréquentation et du comportement des mammifères marins pendant la phase de construction

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

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

Les analyses ont permis de noter la présence acoustique de Delphinidés et de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*) sur l'ensemble des périodes d'études (Tableau 53). Plus précisément, une classification manuelle a permis d'identifier la présence du Dauphin commun (*Delphinus delphis*), du Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*) et du Globicéphale noir (*Globicephala melas*) aux alentours de la zone d'implantation du parc éolien, en plus du Marsouin commun.

Durant la campagne été 2021 (travaux de forage, battage et pose de câbles), l'analyse des signaux bioacoustiques émis par les mammifères marins montre une présence régulière de Delphinidés et occasionnelle de Phocoenidés au niveau des zones situées au Sud-Ouest et Sud-Est du périmètre du parc éolien. A proximité de la zone Nord-Ouest, les Delphinidés sont occasionnellement présents tandis que la présence des Phocoenidés à cet emplacement est exceptionnelle. Quel que soit l'emplacement dans le périmètre du parc éolien, les signatures acoustiques émises par les espèces de ces deux familles, et détectées dans les enregistrements, indiquent de manière générale des comportements de socialisation. Toutefois, quelques comportements de chasse ont été mis en évidence à proximité de la zone Sud-Ouest pour les Delphinidés. Concernant la zone Mor-Braz, située à 22.5 km du périmètre de parc éolien, la fréquentation est plus importante avec des présences

quotidiennes à régulières des Delphinidés et Phocoenidés. Quelques épisodes de chasses opportunistes ont été relevés à cet emplacement lors de l'analyse des enregistrements.

Durant la campagne hivernale 2022 (travaux de forage), les Delphinidés et Marsouins communs sont respectivement présents de manière occasionnelle et régulière au niveau de la zone Mor-Braz, qui apparaît comme étant l'emplacement le plus fréquenté par ces cétacés. Les zones Nord-Ouest et Sud-Est sont, quant à elles, fréquentées en grande majorité par les Delphinidés. Enfin, la présence acoustique des Marsouins communs sur ces deux zones reste exceptionnelle sur l'ensemble de la période d'étude. De manière générale, le comportement prédominant des Delphinidés sur chacune des zones d'études est un comportement de socialisation. Toutefois, quelques épisodes de quêtes de nourriture opportunistes ont été relevés au niveau de la zone Mor-Braz. Au niveau de cette zone, la fréquentation régulière des Phocoenidés a permis de noter un comportement similaire aux Delphinidés avec de la socialisation et des épisodes de chasse opportuniste.

Durant la campagne été 2022 (travaux de poses de câbles et d'installation d'éoliennes), l'analyse des signaux bioacoustiques montre une présence quotidienne des Delphinidés et régulière des Phocoenidés au niveau de la zone Mor-Braz. Ce résultat est similaire à la fréquentation observée par ces deux familles de mammifères marins durant la campagne été 2021, période avec réalisation de travaux de forage et battage. Indépendamment du bruit des travaux d'installation situés majoritairement à proximité de la zone Sud-Est, la zone Nord-Ouest apparaît comme l'emplacement le moins fréquenté par les mammifères marins avec une présence exceptionnelle de Delphinidés et une absence acoustique des Marsouins communs. Ce résultat permet de mettre en avant la baisse de fréquentation au niveau de cette zone par rapport à la campagne été 2021 pour laquelle la fréquentation respective des Delphinidés et des Marsouins communs est occasionnelle et exceptionnelle. Au niveau des zones situées au sud du parc éolien, c'est-à-dire les zones Sud-Ouest et Sud-Est, les Delphinidés et Phocoenidés sont occasionnellement présents sur site. Seule la fréquentation des Phocoenidés est exceptionnelle au niveau de la zone Sud-Est. Les signatures acoustiques émises par les espèces de ces deux familles, et détectées dans les enregistrements, indiquent de manière générale des comportements de socialisation. Toutefois, quelques comportements de chasse ont été mis en évidence à proximité de la zone Sud-Ouest et Mor-Braz pour les Delphinidés. Bien que ces comportements de chasse restent moindres sur l'ensemble de la période analysée pour la zone Sud-Ouest, ils sont assez fréquents au niveau de la zone Mor-Braz. Des quêtes de nourriture opportunistes ont également été observées chez les Phocoenidés au niveau de cette même zone.

En comparaison de l'état de référence (été 2019) :

- ✓ La fréquentation des Delphinidés et Phocoenidés durant la phase des travaux de forage, battage et pose de câbles (été 2021) est sensiblement similaire avec une présence plus importante au sud de la zone d'implantation du parc éolien (zones Sud-Ouest et Sud-Est). Dans un même contexte, les comportements n'ont pas changé pour les deux familles de mammifères marins avec une prédominance de socialisation, et quelques épisodes de chasse opportuniste au niveau de la zone Sud-Ouest pour les Delphinidés.
- ✓ La fréquentation des Delphinidés durant l'été 2022 est similaire à l'état de référence, c'est-à-dire une présence plus importante au sud de la zone d'implantation du parc éolien (zones Sud-Ouest et Sud-Est). Dans un même contexte, les comportements n'ont pas changé pour cette famille de mammifères marins avec une prédominance de socialisation, et quelques épisodes de chasse opportunistes au niveau de la zone Sud-Ouest. La fréquentation des Phocoenidés au niveau des zones Nord-Ouest et Sud-Ouest a diminué tandis qu'une hausse sensible de fréquentation a été observée au niveau de la zone Sud-Est en passant de l'absence acoustique des Marsouins communs à une présence exceptionnelle en regard de l'état de référence.

En comparaison de l'état de référence (hiver 2020), la fréquentation des Delphinidés observée en hiver 2022 (travaux de forage) au niveau de chacune des zones (Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est) est similaire ou sensiblement plus importante. Les comportements observés chez les Delphinidés n'ont pas changé durant la

période des travaux de forage avec une prédominance de socialisation. En revanche, la fréquentation des Phocoenidés au niveau de chacune des zones a diminué durant cette phase de travaux de forage (hiver 2022).

Ainsi, à partir des données collectées et des analyses réalisées, il apparaît que la corrélation entre la fréquentation biologique des Phocoenidés et des Delphinidés, et les activités présentes sur site semble (a) faible voire nulle pour la zone Sud-Ouest et (b) indépendante du bruit anthropique générés par les travaux d'installation du parc éolien pour la zone Mor-Braz.

Concernant les Phocoenidés, une corrélation existe entre la fréquentation biologique des zones Nord-Ouest et Sud-Est et les activités présentes sur site en été 2021 (travaux de battage, forage et pose de câbles) et été 2022 (travaux de poses de câbles et d'installation d'éoliennes). En effet, la fréquentation de ces zones par les mammifères marins a sensiblement diminué entre ces deux périodes estivales jusqu'à l'absence acoustique des Phocoenidés au niveau de la zone Nord-Ouest. Concernant les Delphinidés, aucune variation significative quant à la fréquentation de cette famille n'est observée sur ces deux zones lors des travaux d'installation.

Tableau 53 : Synthèse des émergences anthropiques inter-saisons (P1% à 10%) et des résultats quant à la présence des mammifères marins durant la période des travaux (été 2021, hiver 2022 et été 2022) au niveau des 4 stations de suivi.

		Zone Nord-Ouest		Zone Sud-Ouest		Zone Sud-Est		Mor-Braz		
		Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	
Travaux d'installations des fondations et des câbles inter-éoliens	Été 2021	Fréquentation du site	Occasionnelle	Exceptionnelle	Régulière	Occasionnelle	Régulière	Occasionnelle	Quotidienne	Régulière
		Plage horaire préférentielle	Jour	N/A	Jour/Nuit	Jour	Nuit	Jour	Jour/Nuit	Jour/Nuit
		Comportement	Socialisation	N/A	Socialisation / chasse opportuniste	Socialisation	Socialisation	Socialisation / en déplacement	Socialisation / chasse	Socialisation / chasse opportuniste
		Classification	<i>Delphinus delphis</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i> Probable <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i> <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>
		Emergence sonore d'origine anthropique (P1% à P10%)	+		=		-		=	
Travaux d'installation des fondations	Hiver 2022	Fréquentation du site	Occasionnelle	Exceptionnelle	Régulière	Occasionnelle	Régulière	Exceptionnelle	Occasionnelle	Régulière
		Plage horaire préférentielle	Nuit	Nuit	Nuit	Jour/Nuit	Nuit	Nuit	Nuit	Jour/Nuit
		Comportement	Socialisation	N/A	Socialisation / chasse opportuniste	Socialisation	Socialisation / Sondage de l'environnement	N/A	Socialisation / chasse opportuniste	Socialisation / chasse opportuniste
		Classification	Probable <i>Globicephala melas</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i> <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	Probable <i>Globicephala melas</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena Phocoena</i>

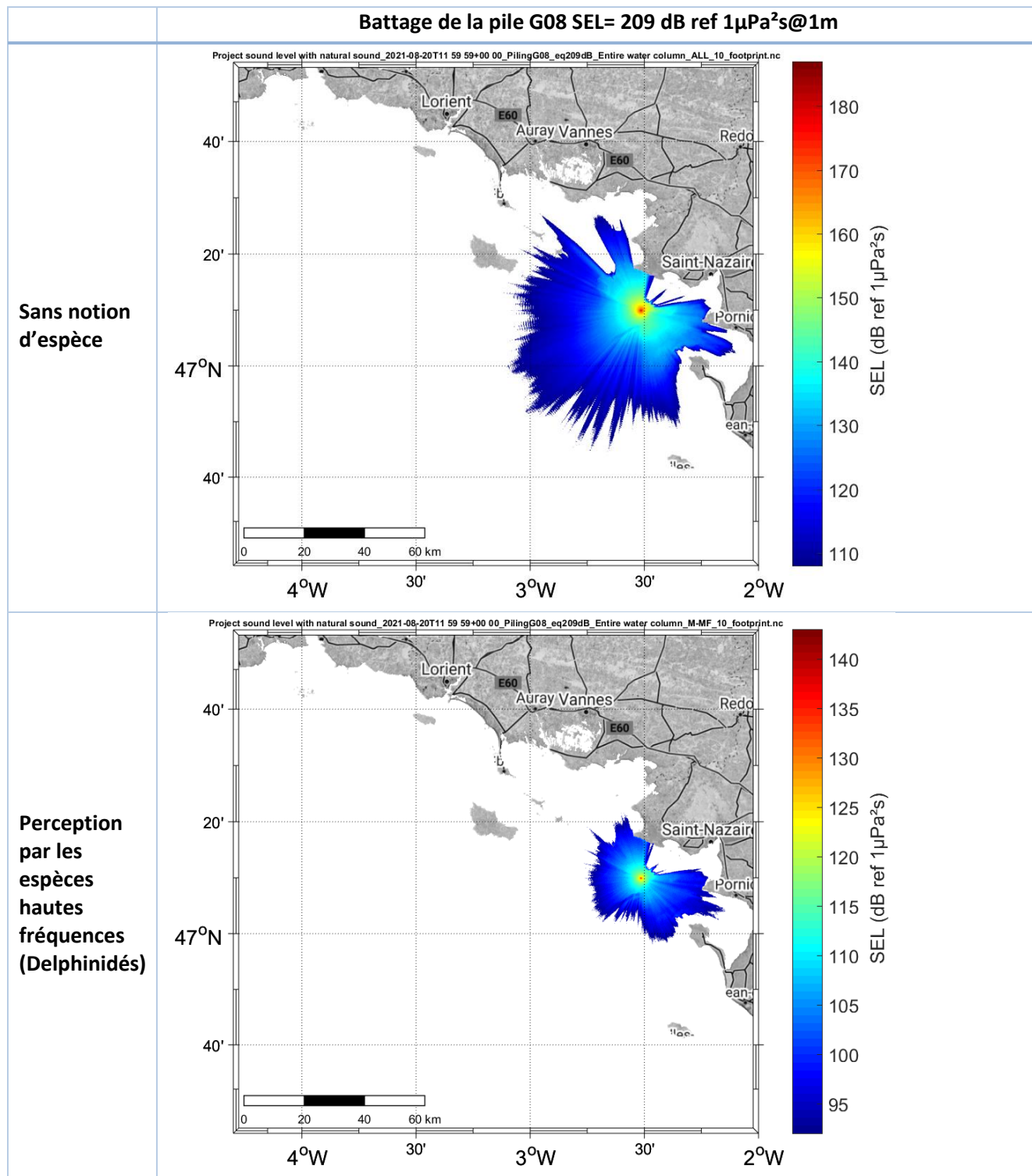
		Zone Nord-Ouest		Zone Sud-Ouest		Zone Sud-Est		Mor-Braz		
		Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	
		++		+		+		=		
Poursuite de l'installation du parc mais travaux de fondations terminés	Eté 2022	Fréquentation du site	Exceptionnelle	Absence	Occasionnelle à régulière	Occasionnelle	Occasionnelle	Exceptionnelle	Quotidienne	Régulière
		Plage horaire préférentielle	Jour/Nuit	N/A	Jour	Jour	Jour	N/A	Jour/Nuit	Nuit
		Comportement	N/A	N/A	Socialisation/ Chasse opportuniste	Socialisation	Socialisation/ Sondage de l'environnement	N/A	Socialisation/ Chasse	Socialisation/ Chasse opportuniste
		Classification	<i>Tursiops truncatus</i>	N/A	<i>Delphinus delphis</i> <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i> <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>
		Emergence sonore d'origine anthropique (P1% à P10%)	-		=		++		=	

	Hausse de la fréquentation en regard de l'Etat de Référence
	Fréquentation similaire à l'Etat de Référence
	Baisse de la fréquentation en regard de l'Etat de Référence
	Fréquentation de la zone Mor-Braz (absence de comparaison possible avec l'Etat de Référence)

++	Effet important du bruit des travaux
+	Effet relatif du bruit des travaux
-	Peu d'effet du bruit des travaux
=	Pas de variation notable

Annexe : Empreinte sonore par gamme de perception

Tableau 54 : Empreinte sonore de l'atelier de battage (battage complet) en fonction de la gamme de perception.



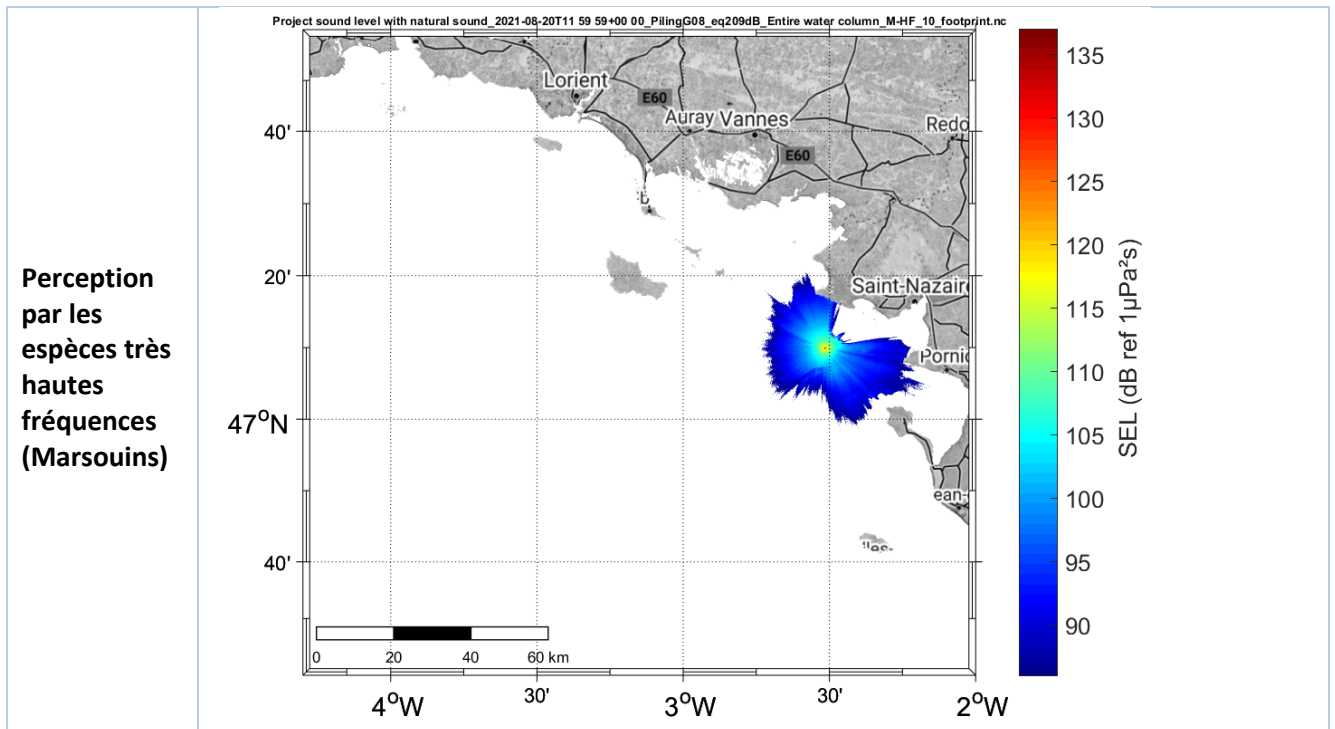
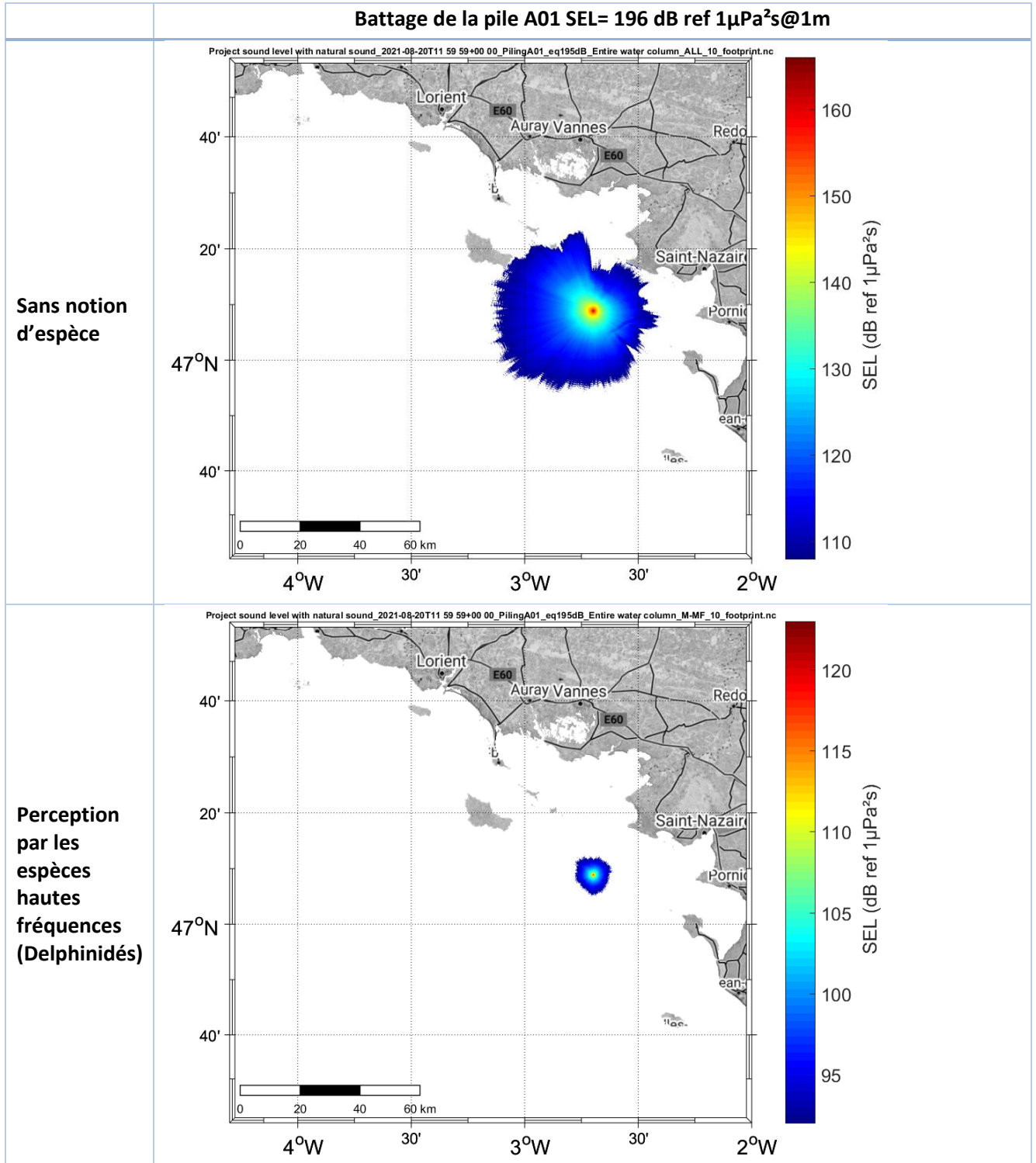


Tableau 55 : Empreinte sonore de l'atelier de battage (solution hybride) en fonction de la gamme de perception.



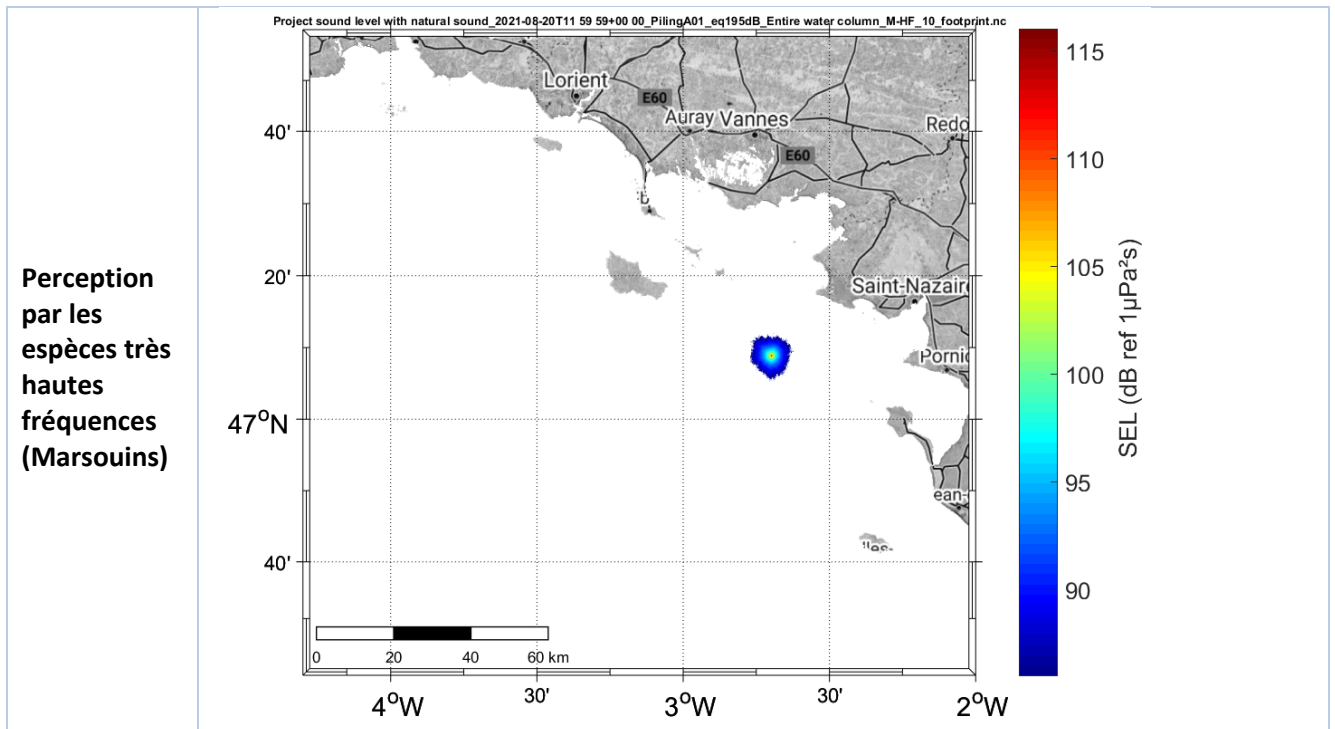
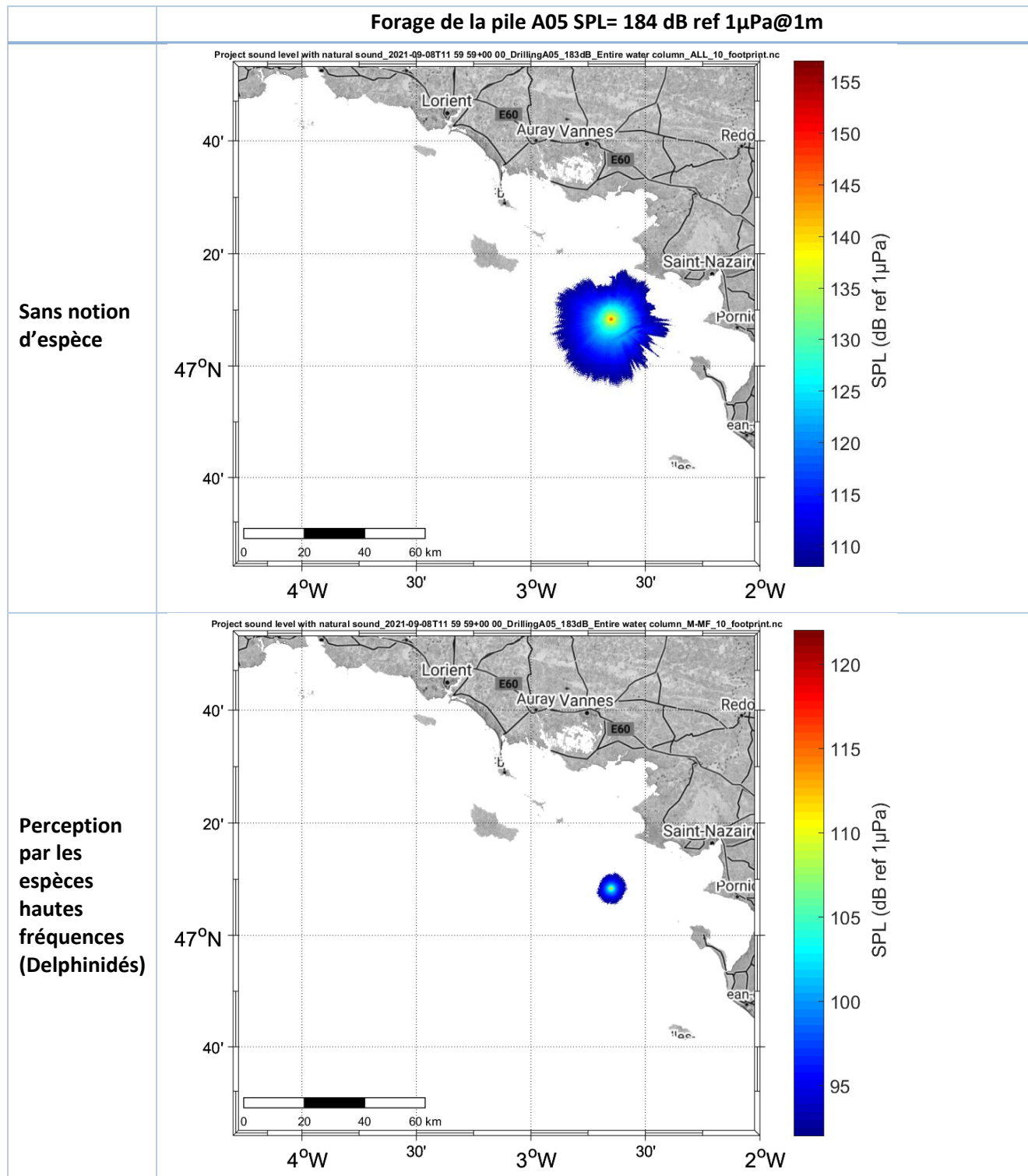
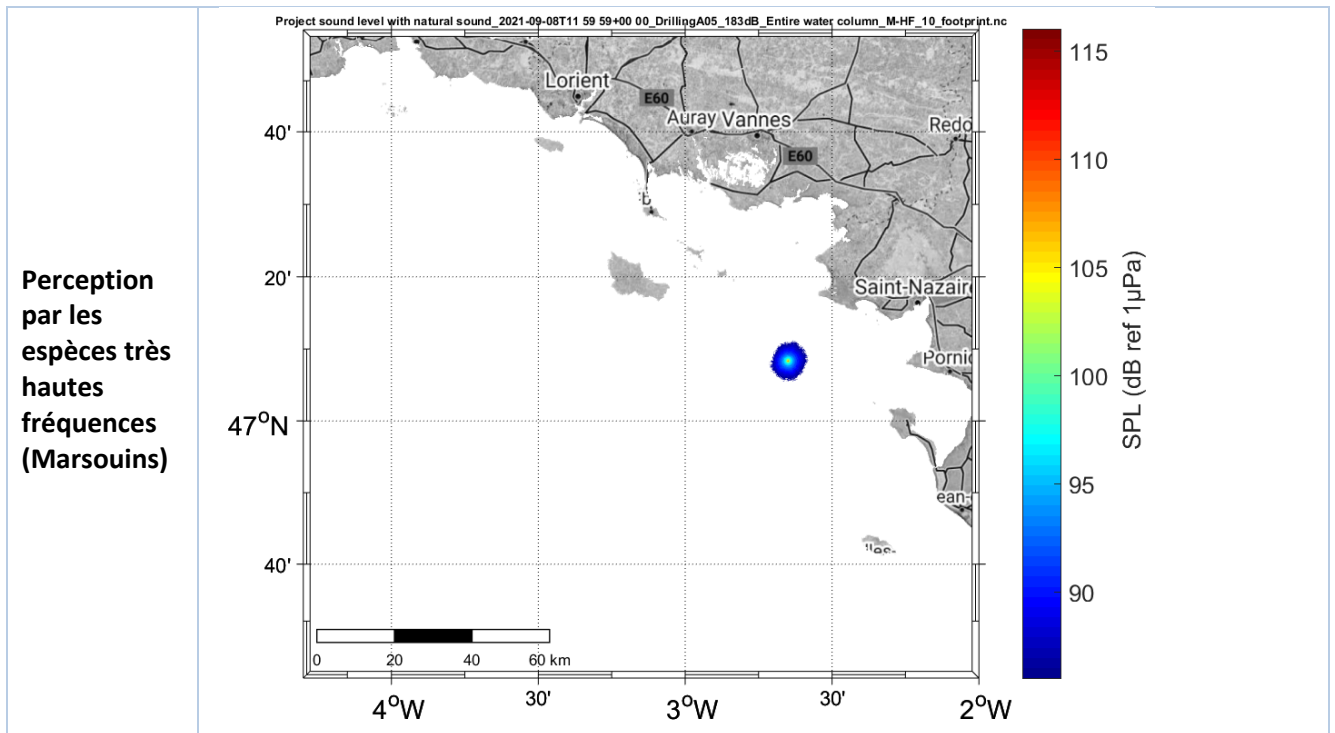


Tableau 56 : Empreinte sonore de l'atelier de forage en fonction de la gamme de perception.





Annexe : Croisement entre la fréquentation des mammifères marins et les périodes des travaux

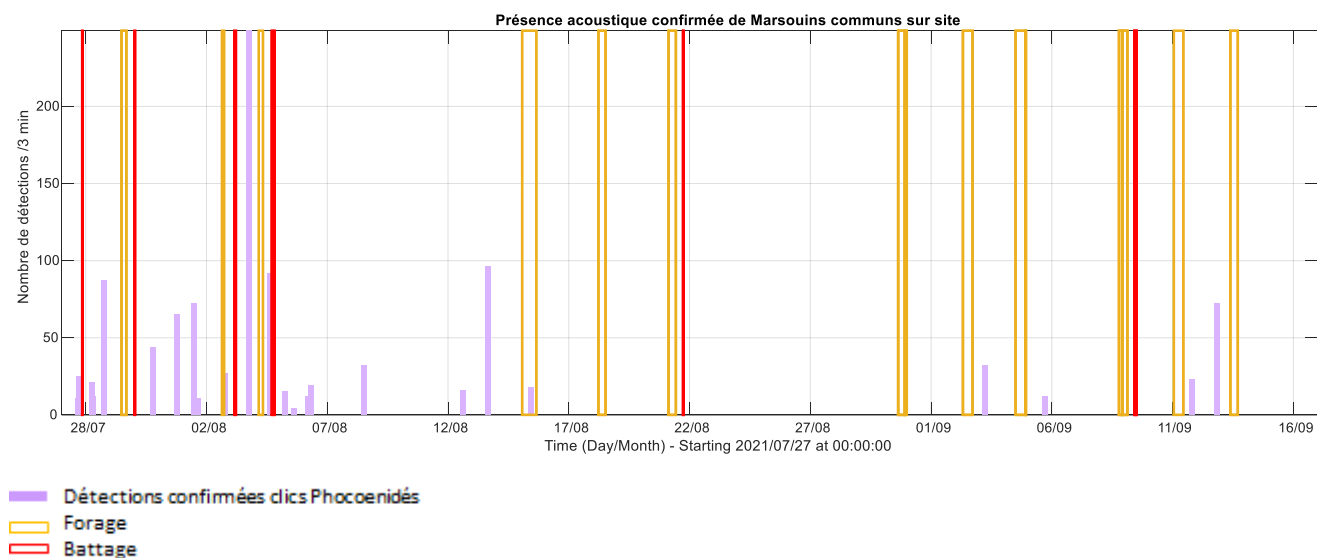
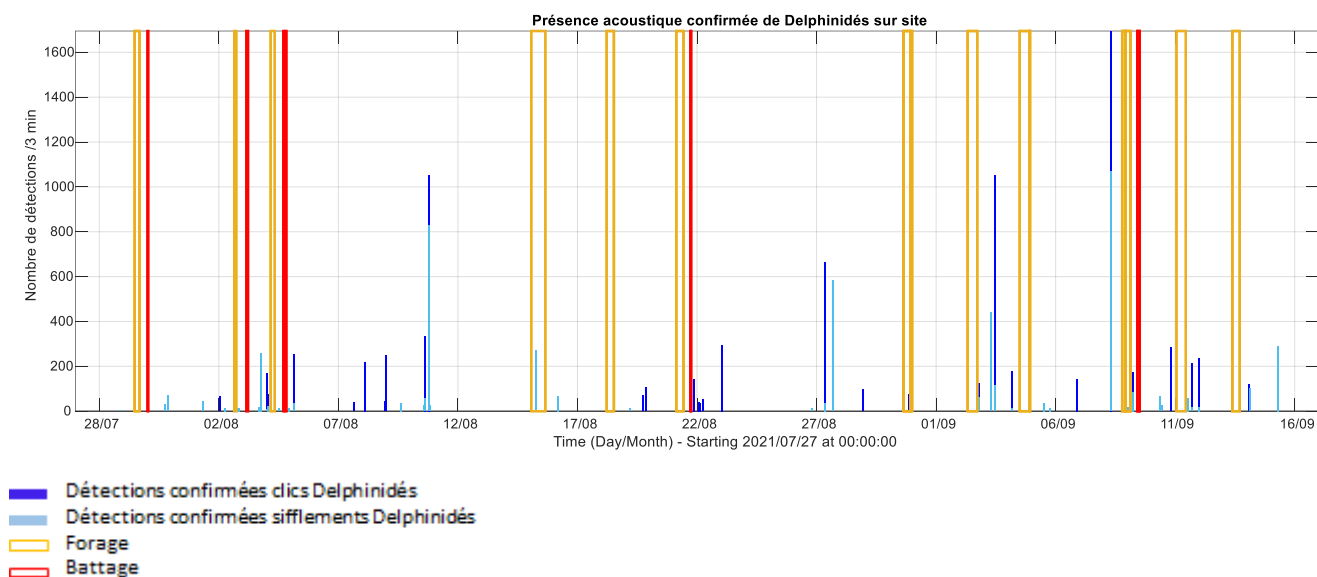
Chaque figure ci-dessous illustre les périodes des travaux d'installation (forage, battage et poses des câbles) du parc éolien et la fréquentation des mammifères marins pendant la période de suivi considérée. Les zones choisies (Sud-Ouest, Nord-Ouest et Sud-Est) sont représentatives des périodes pour lesquelles les travaux d'installation du parc éolien étaient effectifs dans un secteur proche d'un enregistreur acoustique.

Chaque session de forage est illustrée par un cadre orange, les sessions de battage par un cadre rouge et les sessions de pose par un cadre magenta.

Les détections acoustiques des mammifères marins sont matérialisées par (1) les barres bleues pour les Delphinidés et (2) mauves pour les Marsouins communs.

Eté 2021 - Zone Sud-Ouest

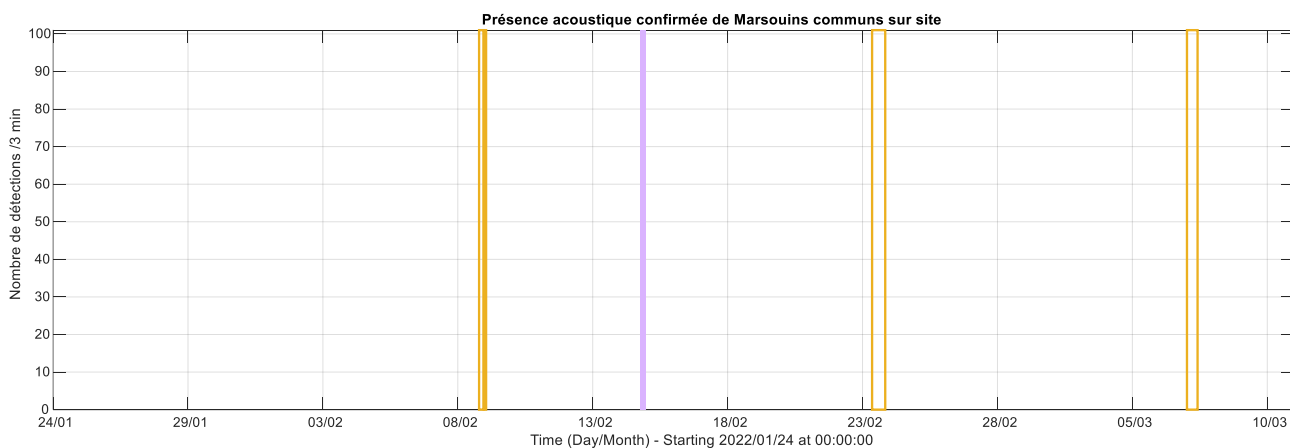
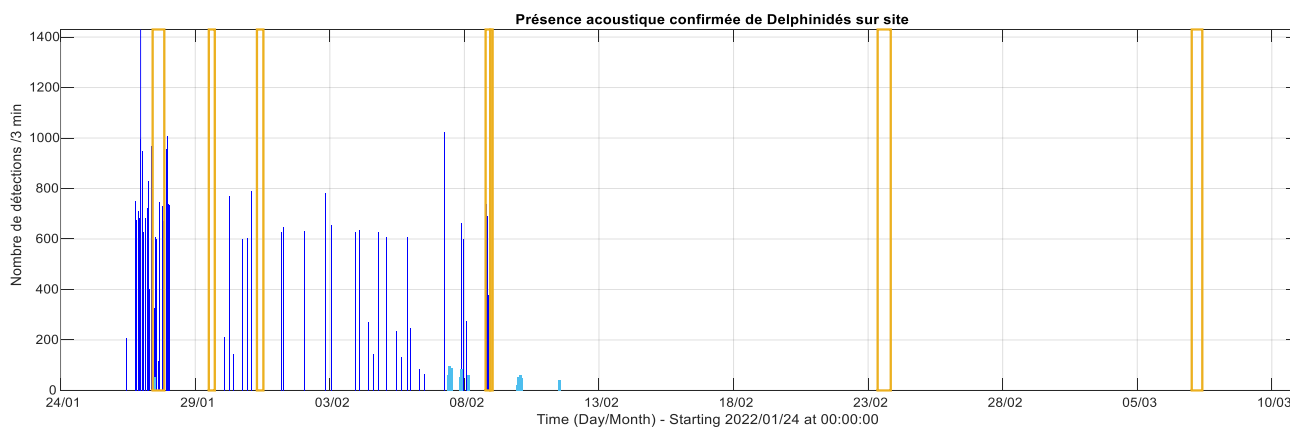
Durant cette saison dédiée aux travaux de battage et forage, il apparait que les Delphinidés et les Marsouins restent présents sur site durant toute la période du suivi sans variation notable. De manière générale, les mammifères marins sont très peu détections pendant les phases de travaux.



Hiver 2022 - Zone Nord-Ouest

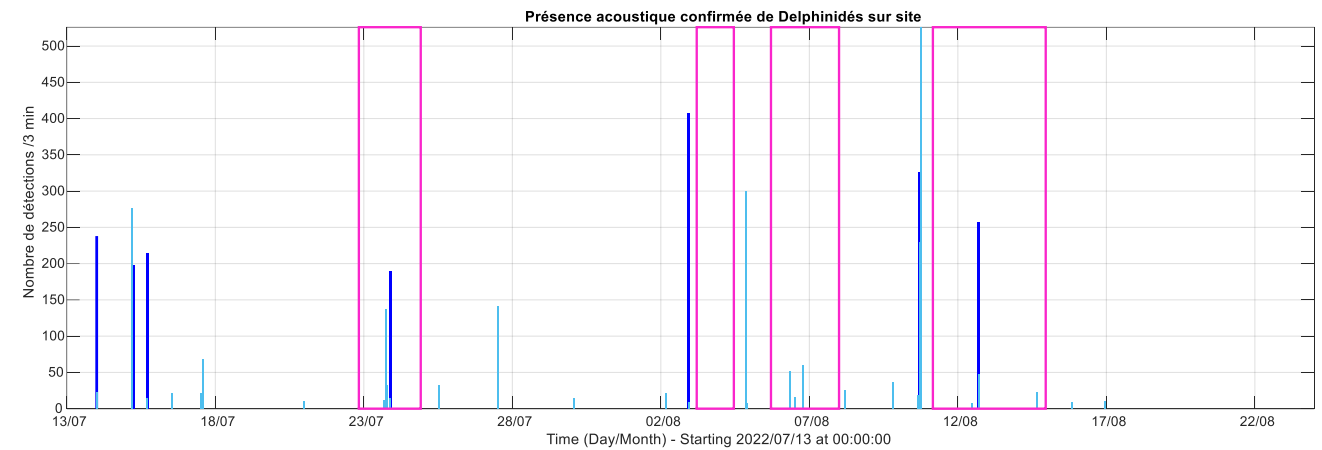
Durant cette saison dédiée aux travaux de forage, il apparait que les Delphinidés sont uniquement présents sur site sur la première partie du suivi (jusqu'au 13/02) indépendamment des activités des travaux.

Le nombre exceptionnellement faible de détections de Marsouins ne permet aucune interprétation.

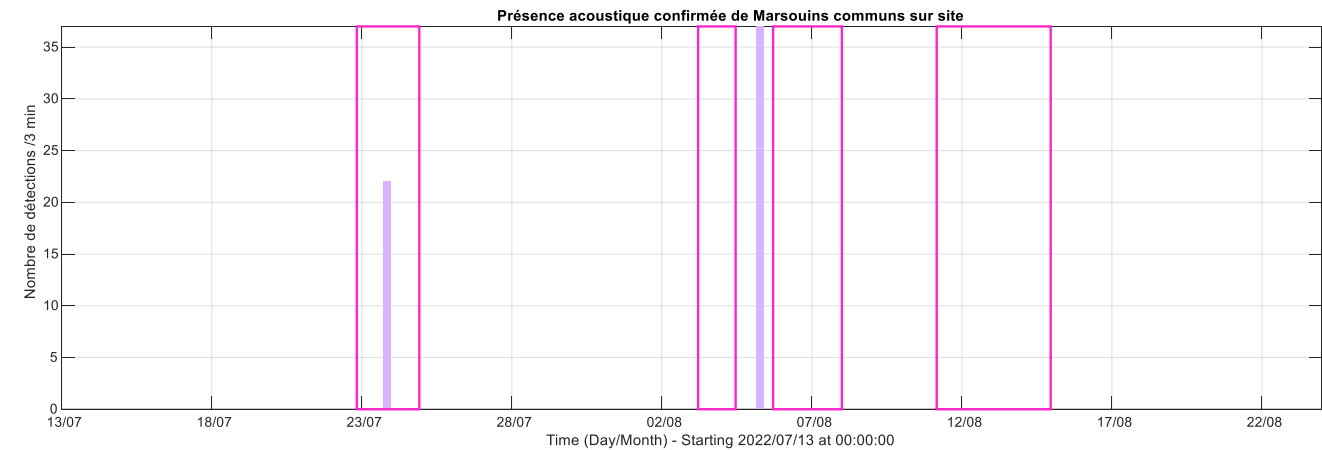


Eté 2022 – Zone Sud-Est

Durant cette saison dédiée aux travaux de pose des câbles et des éoliennes, il apparait que les Delphinidés et les Marsouins restent présents sur site durant toute la période du suivi sans variation notable et indépendamment des travaux.



- Détections confirmées clics Delphinidés
- Détections confirmées sifflements Delphinidés
- Travaux d'installations (câbles et éoliennes)



- Détections confirmées clics Phocoenidés
- Travaux d'installations (câbles et éoliennes)

Bibliographie

- Bailey, H., Clay, G., Coates, E. A., Lusseau, D., Senior, B., & Thompson, P. M. (2010). Using T-PODs to assess variations in the occurrence of coastal bottlenose dolphins and harbour porpoises. *Annales Zoologici Fennici*, 20(Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystem), 150–158. <https://doi.org/10.1002/aqc.1060>
- Brandt, M. J., Diederichs, A., Betke, K., & Nehls, G. (2011). Responses of harbour porpoises to pile driving at the Horns Rev II offshore wind farm in the Danish North Sea. *Marine Ecology Progress Series*. <https://doi.org/10.3354/meps08888>
- Dooling RJ, B. S. (2013). Avian sound perception in noise. In: *Brumm H (Ed) Animal Communication and Noise*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 229–250.
- McCauley, R. D., Fewtrell, J., Duncan, A. J., Jenner, C., Jenner, M.-N., Penrose, J. D., Prince, R. I. T., Adhitya, A., Murdoch, J., & McCabe, K. (2000). MARINE SEISMIC SURVEYS— A STUDY OF ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS. *The APPEA Journal*. <https://doi.org/10.1071/AJ99048>
- National Marine Fisheries Service. (2018). *2018 Revision to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0)*. April. <https://www.fisheries.noaa.gov/national/marine-mammal-protection/marine-mammal-acoustic-technical-guidance>
- Popper, A. N., Hawkins, A. D., Fay, R. R., Mann, D. A., Bartol, S., Carlson, T. J., Coombs, S., Ellison, W. T., Gentry, R. L., Halvorsen, M. B., Løkkeborg, S., Rogers, P. H., Southall, B. L., Zeddies, D. G., & Tavolga, W. N. (2014). Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI. In *Springer* (Issue July 2015). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06659-2>
- 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>
- Southall, B. L., Bowles, A. E., Ellison, W. T., Finneran, J. J., Gentry, R. L., Jr, C. R. G., Kastak, D., Ketten, D. R., Miller, J. H., Nachtigall, P. E., Richardson, W. J., Thomas, J. A., Tyack, P. L., & Greene, C. R. J. (2007). Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations - Chapter 4. Criteria for Behavioral Disturbance. *Aquatic Mammals*. <https://doi.org/10.1578/AM.33.4.2007.446>
- Southall, B. L., Finneran, J. J., Reichmuth, C., Nachtigall, P. E., Ketten, D. R., Bowles, A. E., Ellison, W. T., Nowacek, D. P., & Tyack, P. L. (2019). Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals*, 45(2), 125–232. <https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125>
- Tougaard, J., Poulsen, L. R., Amundin, M., Larsen, F., Hansen, J. R., & Teilmann, J. (2006). Detection function of T-PODs and estimation of porpoise densities. In *Proceedings of the Workshop: Static Acoustic Monitoring of Cetaceans*, 7–14. https://www.europeancetaceansociety.eu/system/files/ECS_Special_Publication_Series/ECS2006_News46_Static_Acoutstic_Monitoring_printing_version.pdf
- 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>