



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Parc éolien au large de la Bretagne Sud (AO5) – état initial de l’environnement

2.3 Bruit sous-marin Et détections des cétacés. Rapport Final



Avril 2025

COORDONNEES

Siège social	Directeur de projet	Responsable d'affaire
Setec énergie environnement Immeuble Central Seine 42 - 52 quai de la Rapée - CS 71230 75583 Paris cedex 12 Tél +33 1 82 51 55 55 Fax +33 1 82 51 55 56 environnement@setec.fr www.setec.fr	Philippe BORNENS 358 ZA La Grande Halte 29940 La Forêt-Fouesnant Tél. +33 (0)2 98 51 44 79 Mob. +33 (0)6 07 97 09 14 philippe.bornens@setec.com	Françoise LEVEQUE 358 ZA La Grande Halte 29940 La Forêt-Fouesnant Tél +33 (0)2 98 51 47 71 Mob +33 (0)6 31 40 54 07 françoise.leveque@setec.com

REVISIONS

Version	Date	Historique des modifications	Auteurs	Relecteur
1.0	01/03/2024	Livraison du rapport à 1 an.	COURAUD L. / BLONDEAU G. / MAGLIO A. / TECCHIO. S / DRIRA A.	MAGLIO A. HACQUEBART P. JACOB M.
1.1	04/04/2024	Réception de la version commentée des AMO et du client.	MAHAMADALY V. / MARTINEZ L. / PAILLETTE V.	
1.2	30/04/2024	Rapport à 1 an – prise en compte des commentaires AMO apport de modifications.	COURAUD L. / BLONDEAU G. / MAGLIO A. / TECCHIO. S / DRIRA A.	MAGLIO A. HACQUEBART P. JACOB M.
2.1	16/12/2024	Rédaction du rapport final.	COURAUD L. / BLONDEAU G. / MAGLIO A. / DANILLON H. / TECCHIO. S / DRIRA A.	HACQUEBART P. MILLE D.
2.1	03/04/2025	Réception de la version commentée des AMO et du client.	MAHAMADALY V.	
2.2	15/04/2025	Prise en compte des commentaires AMO apport de modifications.	COURAUD L. / TECCHIO S.	MAGLIO A.
2.3	18/04/2025	Rapport final. Prise en compte des commentaires AMO/DGEC apport de modifications.	COURAUD L.	

Table des matières

Résumé executif	14
1. Objectifs de l'étude	17
2. Contexte et enjeux	18
2.1 Contexte réglementaire	19
2.2 Contexte scientifique	19
2.3 Contexte biologique	21
3. Matériels et méthodes.....	24
3.1 Stratégie d'échantillonnage	24
3.1.1 Approche BACI pour le suivi du bruit ambiant	24
3.1.2 Approche BAG pour le suivi des cétacés	25
3.1.3 Aires d'étude	26
3.1.4 Nombre et localisation des points de mesure	28
3.1.5 Calendrier de déploiement des capteurs	30
3.2 Moyens et matériels	31
3.2.1 Les enregistreurs et hydrophones	31
3.2.2 Les POD	31
3.2.3 Ligne de mouillage	32
3.2.4 Moyens nautiques	32
3.2.5 Volume des données collectées	33
3.3 Paramètres mesurés et analyse des données de bruit ambiant sous-marin.....	34
3.3.1 Traitements des données audio	34
3.3.2 Modélisation du bruit ambiant	35
3.4 Paramètres mesurés et analyse des cétacés	39
3.4.1 Traitement des données bioacoustiques	40
3.4.2 Analyse des performances de détections et implications pour l'interprétation des résultats	40
3.4.3 Indicateurs de présence, fréquentation et comportement des cétacés	41
3.4.4 Analyses spatio-temporelles	42
3.4.5 Dépendances aux conditions environnementales et anthropiques	42
3.4.6 Nature des signaux et possibles significations	43
4. Evolution du niveau de bruit dans la zone d'étude durant la période d'enregistrements	44
4.1 Quantification des niveaux de bruit dans la large bande [25 Hz – 180 kHz]	44
4.1.1 Zone Nord du parc – Station A	44
4.1.2 Zone Sud du Parc – Station B	46
4.1.3 Zone Sud-Est hors Parc – Station Témoin	48
4.1.4 Corrélation du bruit aux conditions environnementales	50
4.2 Analyse du bruit par bandes filtrées [63 Hz et 125 Hz]	52
4.2.1 Zone Nord du parc – Station A	53

4.2.2 Zone Sud du Parc – Station B	56
4.2.3 Zone Sud-Est hors Parc – Station Témoin	59
4.3 Comparaison interannuelle	63
4.4 Quantification des niveaux de bruit – Conclusion	64
4.5 Analyse Temps-Fréquence	65
4.5.1 Densités Spectrales de Puissance	66
4.5.2 Densités Spectrales de Puissance (DSP) en tiers d'octaves	69
4.6 Caractérisation des principales sources de bruit dans le paysage sonore	70
4.6.1 Sources de bruit d'origines anthropiques	70
4.6.2 Sources de bruit d'origines météo-océaniques	72
4.6.3 Sources de bruit d'origines biologiques	74
4.7 Résultats de la modélisation	75
4.7.1 Printemps	76
4.7.1 Été	79
4.7.2 Automne	82
4.7.3 Hiver	85
4.8 Conclusion de la modélisation	87
5. Evolution des détections des cétacés dans la zone d'étude durant la période d'enregistrement (2022-2024)	89
5.1 Indicateurs d'activité bioacoustique extraits des données des enregistreurs	89
5.1.1 Présence et taux de rencontre des espèces	89
5.1.2 Variabilité temporelle de la fréquentation	91
5.1.1 Analyse comparative des différents sites échantillonnés (BACI)	102
5.2 Indicateurs d'activité bioacoustique extraits des données des POD	105
5.2.1 Présence et taux de rencontre	105
5.2.2 Variabilité temporelle de la fréquentation	107
5.2.3 Analyse comparative des différents sites échantillonnés (BACI et BAG)	119
5.3 Dépendances aux conditions environnementales et anthropiques	122
5.3.1 Conditions météo-océaniques	122
5.3.2 Identification des variables significatives	124
5.3.3 Bruits d'origines anthropiques	129
5.4 Étude comportementale des cétacés	130
5.4.1 Nature des signaux et possibles significations	130
5.4.2 Évolution du comportement des cétacés (données POD)	131
5.4.3 Évolution du comportement des Delphinidés (données enregistreurs)	138
5.5 Comparaison interannuelle de la fréquentation des cétacés	141
5.5.1 Variabilité interannuelle issue des données des enregistreurs	141
5.5.2 Variabilité saisonnière issues des données des enregistreurs	143
5.5.3 Variabilité interannuelle issue des données POD	144
5.5.4 Variabilité saisonnière issues des données POD	147

6. Synthèse des résultats	149
6.1 Synthèse des résultats de mesures du Bruit.....	149
6.2 Fréquentation des cétacés	150
7. Discussion et contextualisation	154
7.1 Caractérisation du niveau de bruit.....	154
7.2 Évolution de la fréquentation des cétacés.....	156
8. Limites et perspectives de l'étude	165
8.1 Limites.....	165
8.2 Perspectives	166
9. Bibliographie.....	168
10. Annexes	177
10.1 Guide et textes de référence pour la méthodologie d'analyse.....	177
10.2 Description du milieu de propagation pour l'analyse du bruit.....	178
10.2.1 La bathymétrie de la zone d'étude	178
10.2.2 Profils célé-bathymétriques	179
10.2.3 Propriétés géo-acoustiques du fond	180
10.2.4 Contours des marées	181
10.3 Méthode comparative de la robustesse des données entre l'acquisition par enregistreur et POD	182
10.4 Paramètres des enregistreurs acoustiques	185
10.5 Volume de données collectées.....	186
10.6 Corrélation du bruit et de la hauteur d'eau	188
10.7 Périodes d'acquisition de données et volume de jours collectes	191
10.7.1 Données acquises par les enregistreurs	191
10.7.2 Données acquises par les POD	192
10.8 Variabilité saisonnière de la fréquentation des cétacés	193
10.8.1 Variabilité saisonnière (données enregistreurs)	193
10.8.1 Variabilité mensuelle (données enregistreurs)	194
10.8.2 Variabilité saisonnière (données POD)	195
10.8.3 Variabilité mensuelle (données POD)	196
10.9 Variabilité interannuelle	197
10.9.1 Résultats des tests (t Student) des données issues des enregistreurs	197
10.9.2 Résultats des tests (t Student) des données issues des POD	199

Liste des figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'implantation du projet d'éoliennes flottantes au large de la Bretagne Sud (AO5).	18
Figure 2 : Schéma de l'approche BACI, adapté de (Secor 2018).	25
Figure 3 : Schéma de l'approche BAG, adapté de (Secor, 2018).	26
Figure 4 : Définition des aires d'étude acoustique du projet AO5 Bretagne Sud (Sinay, 2024).	27
Figure 5 : Plan d'échantillonnage pour le suivi du bruit sous-marin et le suivi acoustique des cétacés (source : Sinay, 2022). 5 stations (stations A, B, O, L dans le parc et la station Témoin) forment une droite parallèle à la côte.	29
Figure 6 : enregistreur DORI (ABYSsens©).	31
Figure 7 : POD (Chelonia Ltd©)	31
Figure 8 : Schéma des lignes de mouillage déployées pour le suivi du bruit ambiant et la détection des cétacés (source : Sinay©, 2022).	32
Figure 9 : Le « Minibex » en opération à Brest (Finistère). Ouest-France (2021).	33
Figure 10 : Aires d'étude du projet de parc éolien au large de la Bretagne Sud. L'aire d'étude éloignée (trait pointillé rouge) et l'aire d'étude rapprochée (en trait plein orange) puis l'air du parc (en trait pointillé noir).	37
Figure 11 : Niveau de bruit sous-marin mesuré en décibels (dB re μ Pa.) et la variation de la hauteur d'eau en mètres (m) dans la station A, à l'automne 2022.	51
Figure 12 : Niveau de bruit sous-marin mesuré en décibels (dB re μ Pa.) et la variation de la hauteur d'eau en mètres (m) dans la station A, à l'été 2023.	51
Figure 13 : Niveau de bruit sous-marin associé aux espèces benthiques (4 kHz à 20 kHz) mesuré en décibels (dB re μ Pa) en fonction du cycle nycthéral (en orange les périodes de jour) du 11/11/2022 au 30/11/2022.	52
Figure 14 : Évolution du niveau sonore médian sur les trois stations A (bleu), B (orange) et Témoin (vert) tout au long de la période allant de l'automne 2022 à l'automne 2024. L'année 1 est symbolisée par un carré et l'année 2 par un rond.	64
Figure 15 : Densités Spectrales de Puissance jusqu'à 180 kHz pour chaque station, représentées sur le modèle de Wenz (14/09/2023).	67
Figure 16 : Densités Spectrales de Puissance jusqu'à 180 kHz pour chaque station, représentées sur le modèle de Wenz (journée du 14/09/2024).	68
Figure 17 : Représentation des Densités Spectrales de Puissance (DSP) en tiers d'octaves de 10 Hz à 2 kHz pour chaque station de mesure (Année 1).	69
Figure 18 : Représentation des Densités Spectrales de Puissance (DSP) en tiers d'octaves de 10 Hz à 2 kHz pour chaque station de mesure (Année 2).	70
Figure 19 : Spectrogramme illustrant des passages de navires sur la zone Témoin pendant la journée entre le 05/09/2023 et le 06/09/2023.	71
Figure 20 : Spectrogramme illustrant des passages de navires sur la zone Témoin pendant la journée entre le 05/09/2023 et le 06/09/2023.	71
Figure 21 : Spectrogramme illustrant des conditions de tempête sur la station Témoin le 02/11/2023.	72
Figure 22 : Représentation des vitesses et directions des vents sur la station Témoin durant le mois de novembre 2023.	73
Figure 23 : Spectrogramme illustrant des conditions de tempête sur la station A en octobre 2023.	73
Figure 24 : Représentation des vitesses et directions des vents sur la station A durant le mois d'octobre 2023.	74
Figure 25 : Spectrogrammes illustrant des clics de cétacés issus des données 2023.	75
Figure 26 : Spectrogrammes illustrant des sifflements de cétacés issus des données 2023.	75

Figure 27 : Modélisation du bruit ambiant de la saison du printemps (année 1) - expression des percentiles.....	76
Figure 28 : Modélisation du bruit ambiant de la saison du printemps (année 2) - expression des percentiles.....	77
Figure 29 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'été (année 1) - expression des percentiles.	79
Figure 30 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'été (année 2) - expression des percentiles.	80
Figure 31 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'automne (année 1) - expression des percentiles.	82
Figure 32 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'automne (année 2) - expression des percentiles.....	83
Figure 33 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'hiver (année 1) - expression des percentiles.....	85
Figure 34 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'hiver (année 2) - expression des percentiles.	86
Figure 35 : Répartition temporelle des clics (moyenne journalière) des Marsouins communs (en haut) et des Delphinidés (en bas) sur l'ensemble des campagnes enregistreurs, toutes stations confondues (A, B et Témoin).	89
Figure 36 : Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés dans les stations A, B et Témoin (données enregistreurs campagnes 1 à 23).	92
Figure 37 : Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Marsouins dans les stations A, B et Témoin (données enregistreurs campagnes 1 à 23).	93
Figure 38 : Résultats du test pour comparaisons des moyennes par paires de Mann-Whitney pour les Delphinidés (données enregistreurs, stations A, B et Témoin).	94
Figure 39 : Résultats du test pour comparaisons des moyennes par paires de Mann-Whitney pour les Marsouins communs (données enregistreurs, stations A, B et Témoin).	95
Figure 40 : Répartition jour/nuit des clics des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B et Témoin.....	97
Figure 41 : Nombre moyen de clics des Delphinidés par minute sur une heure, en fonction de la date (X) et de l'heure du jour (Y), toutes stations confondues (A, B et Témoin). Le taux de détection moyen par minute est visualisé par des contours sur deux axes temporels : l'axe horizontal représente l'année solaire, l'axe vertical représente les heures du jour. Les intensités élevées sont rouges et les intensités faibles sont bleu foncé. Les lignes blanches discontinues indiquent les heures de lever et de coucher du soleil. Les formes géométriques à gauche correspondent à la période de faible disponibilité des données.	98
Figure 42 : Activité bioacoustique des Delphinidés (à gauche) et des Marsouins (à droite) sur le cycle journalier, par saison, sur l'ensemble des campagnes et toutes stations confondues. La longueur des barres indique les clics moyens/heure et l'angle de la barre représente l'heure du jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure).	99
Figure 43 : Clics moyens des Delphinidés (sur le cycle journalier, par station (A, B et Témoin), toutes saisons confondues. La longueur des barres indique les clics moyens/heure et l'angle de la barre représente l'heure jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure).....	100
Figure 44 : Clics moyens des Marsouins (sur le cycle journalier, par station (A, B et Témoin), toutes saisons confondues. La longueur des barres indique les clics moyens/heure et l'angle de la barre représente l'heure jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure).	101
Figure 45 : Distribution des sommes des clics par jour des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) entre la zone du parc (stations A et B) et la zone éloignée (station Témoin), pour les campagnes 1 à 23. Echelle verticale logarithmique (log10).	102
Figure 46 : Distribution des taux de détection horaire agrégés par jour des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) entre Stations A, B et Témoin, pour les campagnes 1 à 23. Echelle verticale logarithmique (log10).	103
Figure 47 : Répartition temporelle des clics (moyenne journalière) des Marsouins communs (en haut) et des Delphinidés (en bas) sur l'ensemble des campagnes POD, toutes stations confondues (A, B, C, O, L et Témoin).	105
Figure 48 : Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés dans les stations A, B, C, O, L et Témoin (données POD, campagnes 1 à 23).	108

Figure 49: Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Marsouins dans les stations A, B, C, O, L et Témoin (données POD, campagnes 1 à 23).....	109
Figure 50 : Résultats du test pour comparaisons des moyennes par paires de Mann-Whitney pour les Delphinidés (données POD, stations A, B, C, L, O et Témoin).....	110
Figure 51 : Résultats du test pour comparaisons des moyennes par paires de Mann-Whitney pour les Marsouins communs (données POD, stations A, B, C, L, O et Témoin).....	111
Figure 52 : Répartition jour/nuit des clics des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B, C, L, O et Témoin.	113
Figure 53 : Nombre moyen de clics des Delphinidés par minute sur une heure, en fonction de la date (X) et de l'heure du jour (Y), toutes stations confondues (A, B, C, O, L et Témoin). Le taux de détection moyen par minute est visualisé par des contours sur deux axes temporels : l'axe horizontal représente l'année solaire, l'axe vertical représente les heures du jour. Les intensités élevées sont rouges et les intensités faibles sont bleu foncé. Les lignes blanches discontinues indiquent les heures de lever et de coucher du soleil.	114
Figure 54 : Clics moyens des Delphinidés (à gauche) et des Marsouins (à droite) sur le cycle journalier, par saison, sur l'ensemble des campagnes et toutes stations confondues (A, B, C, O, L et Témoin). La longueur des barres indique les clics moyens/heure et l'angle de la barre représente l'heure jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure).....	115
Figure 55 : Clics moyens des Delphinidés (sur le cycle journalier, par station (A, B, C, O, L et Témoin), toutes saisons confondues. La longueur des barres indique les clics moyens/heure et l'angle de la barre représente l'heure jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure).....	117
Figure 56 : Clics moyens des Marsouins sur le cycle journalier, par station (A, B, C, O, L et Témoin), toutes saisons confondues. La longueur des barres indique les clics moyens/heure et l'angle de la barre représente l'heure jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure).....	117
Figure 57 : Distribution des sommes des clics par jour des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) entre la côte (station C) et le large (stations A, B, O, L et Témoin) sur l'ensemble de la période d'étude.	119
Figure 58 : Distribution des sommes des clics par jour des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) en suivant le gradient des distances du parc parallèles à la côte (Stations A, O, B, L et Témoin) sur l'ensemble de la période d'étude.	120
Figure 59 : Conditions environnementales (température de surface, salinité, vitesse moyenne du courant, production primaire et biomasse de zooplancton) dans la zone d'étude entre novembre 2022 et novembre 2024. La tendance de certaines variables est représentée par le biais d'une courbe de lissage moyennant les différentes stations.	123
Figure 60 : : Effets partiels du modèle additif généralisé (GAM) sur l'activité bioacoustique des Delphinidés (données enregistreurs).	125
Figure 61 : Effets partiels du modèle additif généralisé (GAM) sur l'activité bioacoustique des Delphinidés (données POD).	126
Figure 62 : Effets partiels du modèle additif généralisé (GAM) sur l'activité bioacoustique des Marsouins (données enregistreur).	127
Figure 63 : Effets partiels du modèle additif généralisé (GAM) sur l'activité bioacoustique des Marsouins (données POD).	127
Figure 64 : Comparaison de l'activité bioacoustique des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) pendant des pics de bruit et des périodes sans événements constatés, entre novembre 2022 et novembre 2024. Les résultats des tests T pour la comparaison des moyennes sont affichés (* = différence significative).	130
Figure 65 : Activités des Delphinidés par station (données POD, campagnes 1 à 23).	131
Figure 66 : Activités des Marsouins par station (données POD, campagnes 1 à 23).	132
Figure 67 : Évolution des activités saisonnières et annuelles des Delphinidés, toutes stations confondues, issue des données POD (année 2022-2023 : campagnes 1 à 11 et année 2023-2024 : campagne 12 à 23).....	133
Figure 68 : Evolution des activités saisonnières et annuelles des Marsouins, toutes stations confondues, issue des données POD (année 2022-2023 : campagnes 1 à 11 et année 2023-2024 : campagne 12 à 23).....	133

Figure 69 : Activité des Delphinidés pendant les cycles journalier et saisonnier, à l'échelle de l'ensemble des campagnes et toutes stations confondues. La longueur des barres indique le nombre des trains de clics, l'angle de la barre représente l'heure du jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure) et le code couleur représente le type d'activité.	135
Figure 70 : Activité des Marsouins pendant un cycle journalier et saisonnier, à l'échelle de l'ensemble des campagnes et toutes stations confondues. La longueur des barres indique le nombre des trains de clics, l'angle de la barre représente l'heure du jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure) et le code couleur représente le type d'activité.	136
Figure 71 : Activités dominantes des Delphinidés par station et comparaison entre l'année 2022-2023 et 2023-2024 (données enregistreurs, campagnes 1 à 23).	138
Figure 72 : Evolution des activités saisonnières des Delphinidés par stations, issue des données enregistreurs (campagnes 1 à 23).	139
Figure 73 : Activité des Delphinidés au cours des cycle journalier par saison à l'échelle de l'ensemble des campagnes et toutes stations confondues. La longueur des barres indique le nombre d'heures enregistrées assignées à chaque type d'activité, et l'angle de la barre représente l'heure de la journée concernée (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure).	140
Figure 74 : Comparaison des activités annuelles (2022-2023 et 2023-2024) en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) acquises par les enregistreurs, toutes stations confondues (A, B et Témoin).	142
Figure 75 : Comparaison des activités saisonnières entre l'année 2022-2023 et 2023-2024, en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) acquises par les enregistreurs, pour les stations A, B et Témoin.	144
Figure 76 : Comparaison des activités annuelles (2022-2023 et 2023-2024) en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) enregistrée par les POD, toutes stations confondues (A, B, C, O, L et Témoin).	145
Figure 77 : Comparaison des activités saisonnières entre l'année 2022-2023 et 2023-2024, en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) enregistrée par les POD, pour les stations A, B, C, O, L et Témoin.	147
Figure 78 : Bathymétrie de la zone d'étude élargie (Source : SHOM®).	178
Figure 79 : Vitesse de propagation du son par saison dans la zone d'étude.	179
Figure 80 : Nature des fonds de la zone d'étude élargie (Source : SHOM®).	180
Figure 81 : Contours des basses et pleines mers (Source : SHOM®).	181
Figure 82 : Méthode de comparaison des données bioacoustiques, traitements des données.	182
Figure 83 : Méthode de comparaison des CPOD et FPOD	183
Figure 84 : Méthode de comparaison des données bioacoustiques, enregistreur DORI.	184
Figure 85 : Volume en pourcentage des données disponibles et des données manquantes entre novembre 2022 et novembre 2024 pour les enregistreurs modelé DORI (source : Sinay®, 2024).	186
Figure 86 : Volume des données disponibles et des données manquantes entre novembre 2022 et novembre 2024 pour les POD (source : Sinay®, 2024).	187
Figure 87 : Evolution du niveau de bruit sous-marin et de la variation du niveau de la mer lors de la première année de suivi dans la station A.	188
Figure 88 : Evolution du niveau de bruit sous-marin et de la variation du niveau de la mer lors de la première année de suivi dans la station B.	189
Figure 89 : Evolution du niveau de bruit sous-marin et de la variation du niveau de la mer lors de la première année de suivi dans la station Témoin.	190
Figure 90 : Périodes d'acquisition des données des enregistreurs (stations A, B et Témoin) du 10/11/2022 au 03/12/2024.	191
Figure 91 : Périodes d'acquisition de données des POD (stations A, B, C, O, L et Témoin) du 10/11/2022 au 03/12/2024.	192

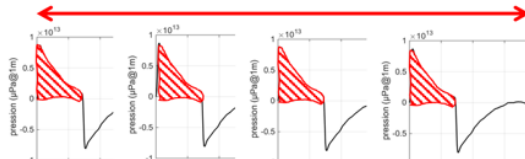
Figure 92 : Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B et Témoin.....	193
Figure 93 : Activité mensuelle en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B et Témoin.	194
Figure 94 : Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B, C, O, L et Témoin.....	195
Figure 95 : Activité mensuelle en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B, C, O, L et Témoin.	196

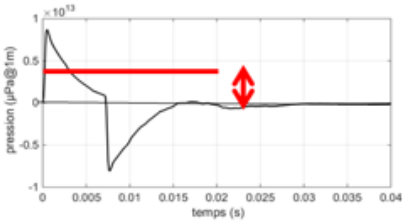
Liste des tableaux

Tableau 1 : Abondance et intervalle de confiance de l'abondance à 95 % (IC) issus des campagnes SAMM cycles I (2011/2012) et II (2021) d'après (Laran S et al., 2022) ; Campagnes PELGAS et EVHOE (Dorémus et al., 2023).	23
Tableau 2 : Calendrier des interventions en mer réalisées entre novembre 2022 et décembre 2024 pour la collecte des données acoustiques sous-marines.	30
Tableau 3 : Volume de données collectées par les enregistreurs et les POD (entre le 10/11/2022 et le 03/12/2024).	33
Tableau 4 : Niveaux de bruit Lp [25 Hz – 180 kHz] de la station A (exprimés en dB re 1μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à automne 2024).	44
Tableau 5 : Niveaux de bruit moyens obtenus par saison sur les 2 années d'étude sur la station A.	45
Tableau 6 : Niveaux de bruit Lp [25 Hz – 180 kHz] de la station B (exprimés en dB re 1μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2024).	46
Tableau 7 : Niveaux de bruit moyens obtenus par saison sur les 2 années d'étude sur la station B.	47
Tableau 8 : Niveaux de bruit Lp [25 Hz – 180 kHz] de la station T (exprimés en dB re 1μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2024).	48
Tableau 9 : Niveaux de bruit moyens obtenus par saison sur les 2 années d'étude sur la station témoin (T).	49
Tableau 10 : Niveaux de bruit Lp [63 Hz], de la station A (exprimés en dB re 1μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à automne 2024).	53
Tableau 11 : Niveaux de bruit Lp [125 Hz], de la station A (exprimés en dB re 1μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à automne 2024).	54
Tableau 12 : Niveaux de bruit Lp [63 Hz], de la station B (exprimés en dB re 1μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à automne 2024).	56
Tableau 13 : Niveaux de bruit Lp [125 Hz], de la station B (exprimés en dB re 1μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à automne 2024).	58
Tableau 14 : Niveaux de bruit Lp [63 Hz], de la station Témoin (exprimés en dB re 1μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2024).	60
Tableau 15 : Niveaux de bruit Lp [125 Hz], de la station Témoin (exprimés en dB re 1μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2024).	61
Tableau 16 : Moyenne des deux années et différence des niveaux de bruit saisonnier entre l'année 1 et 2 Lp [25 Hz – 180 kHz], [63 Hz] et [125 Hz] de la station A, B et T (exprimés en dB re 1μPa).	63
Tableau 17 : Niveaux de bruit Lp [63 Hz et 125 Hz], des stations A, B et Témoin (exprimés en dB re 1μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2024).	65

Tableau 18 : Taux de rencontre : proportion d'heures avec détection d'au moins un clic et un sifflement par rapport au nombre d'heures enregistrées, par station (A, B et Témoin) sur l'ensemble des campagnes enregistreurs).	90
Tableau 19 : Taux de rencontre : proportion d'heures avec détection d'au moins un clic par rapport au nombre d'heures enregistrées, par station (A, B, Témoin, C, O et L), sur l'ensemble des campagnes POD.	106
Tableau 20 : Résultats du Test non-paramétrique pour comparaisons des moyennes par paires de Mann-Whitney pour les Marsouins et les Delphinidés (données POD des campagnes 1 à 23 ; stations A, O, B, L et Témoin).	121
Tableau 21 : Evolution du nombre de clics moyens et écart type des Delphinidés et Marsouins dans les deux types de fenêtres : « pendant ou après événement » et « sans événement » dans chaque station.	129
Tableau 22 : Résultats des tests ANOVA à deux voies : Effet des stations et des années d'étude sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins entre l'année 2022-2023 et l'année 2023-2024 (ddl : degré de liberté).....	142
Tableau 23 : Résultats des tests ANOVA à deux voies : Effet des stations et des années d'étude sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins entre l'année 2022-2023 et l'année 2023-2024 (ddl : degré de liberté).....	145
Tableau 24 : Synthèse de la fréquentation des stations A, B et T par les Delphinidés et Marsouins lors de l'état initial (données enregistreurs du 10 novembre 2022 au 03 décembre 2024). * Moyennes des données comportementales, toutes campagnes confondues.	150
Tableau 25 : Synthèse de la fréquentation des stations A, O, B, L, T et C des Delphinidés et des Marsouins lors de l'état initial (données POD du 10 novembre 2022 au 03 décembre 2024).	151
Tableau 26 : Synthèse des caractéristiques et paramètres des enregistreurs déployés,	185
Tableau 27 : Résultats du test t de Student : Comparaison par paire des stations et des années d'étude sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins (années 2022-2023 et 2023-2024 des données enregistreurs).....	197
Tableau 28 : Résultats du test t de Student : Comparaison par paire entre années étudiées sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins par station (années 2022-2023 et 2023-2024 des données enregistreurs).	198
Tableau 29 : Résultats du test t de Student : Comparaison par paire des stations et des années d'étude sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins (années 2022-2023 et 2023-2024 des données POD).....	199
Tableau 30 : Résultats du test t de Student : Comparaison par paire entre années étudiées sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins par station (années 2022-2023 et 2023-2024 des données POD).	202

Glossaire

AO5	Appel d'offre n° 5 de l'État portant sur un parc éolien en mer flottant au large de la Bretagne Sud. Il s'agit du cadre dans lequel s'inscrivent les études de l'état initial de l'environnement. Ce terme peut être employé pour faire référence au projet de parc éolien au Sud de la Bretagne.
Analyse par bande de 1/3 d'octave	L'octave correspond à la multiplication par 2 de la fréquence. Les bandes de tiers d'octave subdivisent chaque octave en trois bandes égales en largeur logarithmique. Cela permet une analyse plus précise des caractéristiques spectrales des signaux acoustiques. Les bandes de tiers d'octave sont couramment utilisées dans l'analyse spectrale, notamment pour visualiser, filtrer et mesurer la distribution de l'énergie sonore sur les différentes fréquences présentes dans un signal audio avec une précision supérieure à celle des bandes d'octave standard. Elle a plusieurs utilisations dont étudier le type de sources de bruit et donc les activités humaines à un endroit, comprendre la capacité d'un signal de se propager et le risque préliminaire que cela représente pour la faune marine.
Audiogramme	Courbe qui présente la capacité auditive d'un animal. Il s'agit du niveau sonore le plus bas en dB re 1μPa qu'un animal peut entendre, en fonction de la fréquence.
Décibel (dB re 1μPa)	Unité de mesure du niveau de pression acoustique , en échelle logarithmique, relative à une valeur de référence. En acoustique sous-marine, le niveau de référence de la pression sonore est 1 μPa (micropascal), référence différente de l'acoustique aérienne (20 μPa). Lorsque la puissance sonore double, la valeur en décibel augmente de 3 dB et inversement. Par exemple, l'addition de 2 sons de 60 dB chacun n'équivaut pas à 120 dB mais à 63 dB.
Densité Spectrale de Puissance (DSP)	Cette représentation décrit comment la puissance du signal est distribuée selon les fréquences, avec une résolution de 1 Hz. C'est une représentation similaire à l'analyse par bande de fréquence en tiers d'octave, avec une résolution plus fine.
Detection-Positive Hours (DPH)	Le nombre d'heures contenant au moins une détection de clics de Cétacés.
Durée du signal acoustique impulsif	La durée d'un signal impulsif (durée de l'impulsion) est déterminée par les deux instants (début et fin du signal) où les seuils de 5 % et 95 % de l'énergie totale du signal sonore sont atteints.
Empreinte acoustique	Zone étendue dans laquelle le bruit est perçu. Dans cette zone et pendant la durée du signal sonore, celui-ci est plus intense que le bruit ambiant.
Hertz (Hz)	En acoustique, le Hertz représente le nombre de vibrations par seconde. Il s'agit de l'unité employée pour exprimer les fréquences.
Indicateur ICI	Analyse de l'indicateur Inter-Clic-Interval (ICI) , portant sur le temps et la fréquence entre les clics de cétacés
M – Weighting Function (MWF)	Fonction de pondération des niveaux sonores perçus par un animal. L'emploi de cette fonction permet de considérer les capacités auditives des animaux dans l'évaluation des impacts.
Niveau d'exposition sonore – L_E (Sound Exposure Level)	Indicateur acoustique qui fournit une mesure de la quantité d'énergie acoustique contenue dans un événement sonore dans un intervalle de temps. Elle correspond à l'énergie totale produite à partir d'un seul événement de bruit. En acoustique sous-marine elle est calculée en dB re 1 μPa²s. En termes mathématiques, le SEL est l'intégration de toute l'énergie acoustique contenue dans un événement en prenant en compte à la fois l'intensité et la durée du bruit rayonné. Le L_E – 24 H a pour fonction de mesurer l'impact du bruit continu, sur un pas de temps de 24 heures consécutives.
L_E – 24 H	SEL 24 h pondéré par les fonctions de transfert auditive (dB re. 1μPa²s) 

Niveau de pression sonore – L_p (Sound Pressure Level)	Mesure de la pression d'un son par rapport à une valeur de référence (1 micropascal), exprimée en décibels relatifs à 1 μPa. $SPL = 20 \log_{10} \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)$ Où p est la pression sonore mesurée et p_{ref} est la pression sonore de référence.
Percentiles	Les percentiles (allant de 1 à 100 où P1 est la valeur min, P100 la valeur max, et P50 la valeur médiane) sont des statistiques utiles pour comprendre la distribution des niveaux de bruit mesurés ou estimés sur une zone pendant une période donnée.
Pertes par propagation TL (Transmission Loss)	Perte d'énergie d'une onde acoustique lors de sa propagation de la source vers le récepteur dans un milieu.
POD, (PORpoise Detector)	Ce détecteur est devenu un outil intégré dans les programmes de surveillance à l'échelle mondiale fournissant des mesures d'occurrence standardisées qui peuvent être comparées dans le temps et dans l'espace.
Pression acoustique	Ecart de pression par rapport à la pression de référence provoqué par une onde sonore. L'unité de pression sonore est le Pascal (Pa) ou le décibel (dB).
PTS (Permanent Threshold Shift)	Perte d'audition permanente. Un PTS se manifeste après exposition à un son dont l'intensité est 40 dB au-dessus de l'audiogramme de l'animal (Southall, et al., 2019). Le PTS est irréversible et l'audition ne revient pas à son état initial après l'exposition.
Puissance d'un signal en 1/3 d'octave	Niveau en dB re 1 μPa d'une bande de 1/3 d'octave. En termes mathématiques, il s'agit de l'intégrale de la densité spectrale de puissance du signal entre 2 fréquences, f_{min} et f_{max}, de la bande en 1/3 d'octave.
Sons impulsifs	Bruits transitoires de courte durée et présentant souvent des pics de pression acoustique élevée. Dans ce rapport, la définition de bruit impulsif proposée par le groupe technique de la Commission européenne sur le bruit sous-marin est utilisée (Pajala et al., 2014)
Spectrogramme ou représentation temps-fréquence	Il permet de montrer la distribution de l'énergie d'un signal selon les fréquences, ainsi que son évolution dans le temps.
Niveau de bruit à la source – SL (Source Level)	Niveau mesuré à 1 m d'une source sonore (dB re 1 μPa @1m).
RMS (Root Mean Square) sound pressure level (L_p)	Le niveau de pression sonore RMS, exprimée en dB re 1 μPa, est la moyenne quadratique (ou niveau efficace) de la pression acoustique d'un signal et est généralement utilisé pour caractériser le bruit continu. 
SPL (Sound Pressure Level) zero-to-peak ($L_{p,pk}$)	Mesure en dB de la pression acoustique maximale pendant un intervalle de temps donné, mesurée entre zéro et le pic maximum du signal. Cette mesure est généralement utilisée pour caractériser le bruit impulsif (explosions, battage de pieux, etc.).
TTS (Temporary Threshold Shift)	Perte d'audition temporaire. Un TTS se manifeste après exposition sonore à un son dont l'intensité est 6 dB au-dessus de l'audiogramme d'un animal (Southall, et al., 2019). Le TTS est réversible et l'audition initial est retrouvé au bout de 15 minutes pour les mammifères marins.

RESUME EXECUTIF

Cette étude s'inscrit comme une des étapes de la procédure d'autorisation pour la construction d'un parc éolien conformément à l'article R. 122-5 du Code de l'Environnement. En effet, la construction et l'exploitation d'un parc éolien en mer génère du bruit sous-marin modifiant le paysage sonore d'une zone. Il est reconnu que ces modifications peuvent avoir des effets négatifs sur la faune marine et en particulier les mammifères marins.

L'objectif de cette étude est d'établir les conditions initiales de l'environnement (E_0) avant le lancement du projet de parc éolien. Cette caractérisation repose sur deux axes principaux : l'évaluation du bruit ambiant sous-marin et l'analyse de la fréquentation des cétacés.

L'étude s'appuie sur une méthodologie combinant les approches BACI (*Before After Control Impact*) pour le bruit ambiant et BAG (*Before After Gradient*) pour les cétacés. Ces cadres méthodologiques structurent la collecte et l'analyse des données afin d'assurer, en vue des prochaines phases du projet, une comparaison rigoureuse entre les conditions préexistantes et celles estimées ou observées après la mise en service du parc.

L'établissement de cet état initial passe par une acquisition des données au moyen d'instruments de mesure acoustique immergés pendant 24 mois de novembre 2022 à novembre 2024. Le plan d'échantillonnage consiste en six stations d'enregistrement dont cinq disposés sur une droite parallèle à côte à environ 40 km des côtes du Morbihan et une station côtière à environ 25 km. Les stations sont séparées entre elles d'une distance variable entre 3 et 20 km. Trois stations sont équipées avec double instrument (un enregistreur acoustique large bande et un détecteur de clics de cétacés) et trois autres avec détecteurs de clics uniquement. Le volume de données collecté est d'environ 260 To, couvrant entre 88,2 % et 95,4 % de la période d'échantillonnage (24 mois) selon les stations d'enregistrement.

Les instruments ont permis de collecter des données acoustiques utilisées pour l'analyse des niveaux sonores et des caractéristiques du bruit ambiant sous-marin, ainsi que pour la détection des vocalisations de cétacés, à l'échelle de plusieurs sites et plusieurs saisons.

Les méthodes employées pour l'analyse des données de bruit ambiant sous-marin incluent le traitement des données acoustiques in-situ et la simulation numérique de la propagation du bruit en mer :

- L'analyse des données in-situ permet de mettre en évidence l'évolution des niveaux de bruit sur différentes bandes de fréquence sur la période étudiée, aux différents sites de mesure. De plus, l'analyse du contenu fréquentiel permet de différencier la prépondérance des types de sources présentes : anthropiques (trafic maritime) ou naturelles (condition météo-océanique).
- La simulation numérique de la propagation du bruit en mer repose sur des techniques de modélisation acoustique fournissant une cartographie statistique haute résolution de la répartition spatiale du bruit selon les saisons. Le modèle employé par Sinay est basé sur l'utilisation des navires comme principale source de bruit anthropique en mer.

Les données sont traitées en large bande ([25 Hz – 180 kHz]) pour une vue globale du paysage sonore, ainsi qu'en bandes filtrées ([63 Hz et 125 Hz]), conformément à la méthodologie définie dans le cadre de la Directive-cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM) pour l'évaluation du bruit sous-marin (Descripteur 11). Cette approche permet de qualifier le milieu dans sa globalité en prenant en compte un large spectre fréquentiel mais également de suivre une référence réglementaire selon les 2 bandes de fréquences illustrant au mieux la distribution sonore du trafic maritime.

Concernant l'étude des cétacés, l'évolution de la présence des delphinidés et des marsouins ainsi que leur comportement ont été étudiés grâce à l'analyse de l'activité bioacoustique exprimée en nombre de vocalisations par unité de temps (heure, jour) et en nombre d'heures contenant des détections (*Detection Positive Hours*, DPH). Finalement, des analyses statistiques sur les possibles dépendances aux conditions météo-océaniques, environnementales et anthropique ont été réalisées.

Résultats

Les mesures du bruit mettent en évidence l'homogénéité du milieu. La variabilité est faible, mais les mesures révèlent tout de même une saisonnalité des niveaux de bruit. Les niveaux sont plus élevés en hiver (novembre-janvier) et plus faibles en été. Selon l'analyse du contenu fréquentiel, la variabilité du bruit ambiant sous-marin est principalement influencée par des sources naturelles (vents, pluie, hydrodynamisme) plutôt que par le trafic maritime. En effet, ce milieu peut être qualifié de peu bruyant par rapport aux études réalisées en milieux portuaire (Sinay, 2019) et en Manche Est (Sinay, 2021). L'apport de la modélisation consiste en une information supplémentaire, à fine échelle spatiale, sur la répartition et l'intensité du bruit du trafic maritime, par saison. Le bruit moyen estimé pour chaque saison met en évidence le caractère homogène et plutôt stable du trafic maritime au cours des saisons, ce qui vient confirmer les résultats de l'analyse de données in-situ.

L'étude des cétacés s'est focalisée sur les Delphinidés et les Marsouins communs pour une période de deux ans. À partir de l'analyse de leur activité bioacoustique, l'étude révèle des taux de rencontre (DPH/nombre total d'heures d'enregistrements) de 100 % pour les Delphinidés dans les différentes stations et 21,3 % à 41,7 % selon les POD. Les taux de rencontre des Marsouins sont compris entre 25,7 % et 31,4% (enregistreurs) et entre 2,6 % et 4,9 % (POD). L'activité bioacoustique observée est plus importante pendant les mois d'été et lors de la transition entre l'automne et l'hiver pour les deux groupes d'espèces (enregistreurs). Les données POD montrent une activité bioacoustique plus importante en automne et hiver pour les Marsouins.

L'activité bioacoustique des Delphinidés est principalement nocturne avec une intensité croissante entre le coucher et le lever du soleil. Tandis que les Marsouins ont affiché une activité mixte entre le jour et la nuit, dépendant des stations et des saisons.

Les analyses BACI, ont d'une part révélé une activité bioacoustique des cétacés plus importante dans la zone du parc que dans la zone Témoin (hors du parc) ainsi qu'une préférence pour la zone du large par rapport à la côte. Les Marsouins présentent une affinité marquée pour la station la plus proche de la côte, avec un taux de détection de 4,7 % sur la station C, le plus élevé parmi les stations équipées de POD.

Les analyses BAG ont mis en évidence un gradient d'activité bioacoustique décroissant entre stations A, B et Témoin (enregistreur) pour les Delphinidés et les Marsouins. Les données issues des POD montrent un niveau d'activité bioacoustique plus modéré et homogène chez les Marsouins dans l'ensemble des stations, avec les stations C et T se distinguant comme des zones d'intérêt, confirmée par des tests statistiques de significativité par rapport aux autres stations.

Les conditions environnementales telles que la température de surface, la salinité, la profondeur, et la concentration de zooplancton exercent une influence sur l'activité bioacoustique. Les variances, qui expliquent l'influence sur la dynamique bioacoustique, se situent entre 15,7 % et 23,8 % pour les Delphinidés et entre 11,5 % et 19,6 % pour les Marsouins. D'autres facteurs comme la distance à la côte et le courant ont quant à eux un impact limité. En ce qui concerne le bruit sous-marin, l'évolution saisonnière des niveaux de bruit ambiant médians semble avoir un impact limité sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins. En revanche, nos analyses montrent potentiellement un effet court terme lors d'événement sonores spécifiques (par exemple une augmentation des niveaux sonores causée par le passage d'un navire). Cependant, il est nécessaire d'approfondir l'étude de ces phénomènes pour déterminer le type d'effet et ses conséquences, notamment en ce qui concerne la gestion des impacts potentiels du parc éolien par rapport aux autres sources d'impact potentielles.

Cette étude a permis de caractériser le paysage sonore et décrire la fréquentation du site par les cétacés, dans un environnement vierge de tous travaux liés au futur parc éolien en mer. Les analyses temporelles, fréquentielles et la modélisation du bruit ont été présentées ainsi que les principaux aspects décrivant le paysage sonore sous-marin. L'analyse des détections des cétacés pendant 24 mois consécutifs a permis de mettre en évidence les tendances significatives sur les plans spatial et temporel dans la zone d'étude. Cette analyse permet de comprendre comment la présence et l'activité des cétacés varient selon les saisons et les stations. L'étude de l'influence des paramètres météo-

océaniques et anthropiques sur l'activité bioacoustique a été réalisée. Elle a ainsi permis d'identifier les facteurs qui influent le plus sur le comportement acoustique des Delphinidés et Marsouins communs. Cet état initial, pourra être utilisé comme référence pour l'évaluation et le suivi des impacts lors des phases successives du projet.

1. OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'état initial concerne la zone maritime prévue pour l'implantation d'un parc éolien en mer flottant au large de la Bretagne Sud (cinquième appel d'offre de l'État – AO5).

L'objectif principal est de caractériser l'état avant travaux (E_0) à l'égard du bruit ambiant sous-marin et des cétacés.

Pour la partie bruit sous-marin ambiant, cette étude vise à :

- **Caractériser le paysage sonore typique de la zone** en identifiant les principales sources de bruit : anthropiques, naturelles et biologiques, qui seront identifiées et illustrées.
- **Décrire le paysage sonore au travers de cartographies et d'indicateurs pertinents.** Le bruit est décrit en niveau de pression sonore, niveau de pic de pression sonore, niveau d'exposition sonore par unité de temps et niveau d'exposition sonore cumulé sur une période de 24h.
- **Quantifier les variations temporelles et spatiales** du bruit sous-marin au cours des deux années de suivi.

Pour la partie cétacés par écoute passive, cette étude vise à :

- **Documenter la présence et l'utilisation de la zone à fine échelle spatio-temporelle.** Afin de les évaluer, des indicateurs d'activité bioacoustique sont calculés, en se concentrant principalement sur le taux de détection des clics d'écholocation pendant les différentes périodes de déploiement.
- **Décrire la variabilité mesurée ainsi que l'influence des caractéristiques environnementales et des activités anthropiques,** au moyen de méthodes statistiques adéquates.
- **Étudier le type de fréquentation par l'analyse des différents signaux biologiques pouvant expliquer le comportement.** En particulier, l'analyse de l'indicateur *Inter-Clic-Interval (ICI)*, portant sur le temps et la fréquence entre les clics.

2. CONTEXTE ET ENJEUX

La zone couverte par ce rapport est le projet de parc éolien flottant au large de la Bretagne Sud (**Figure 1**).

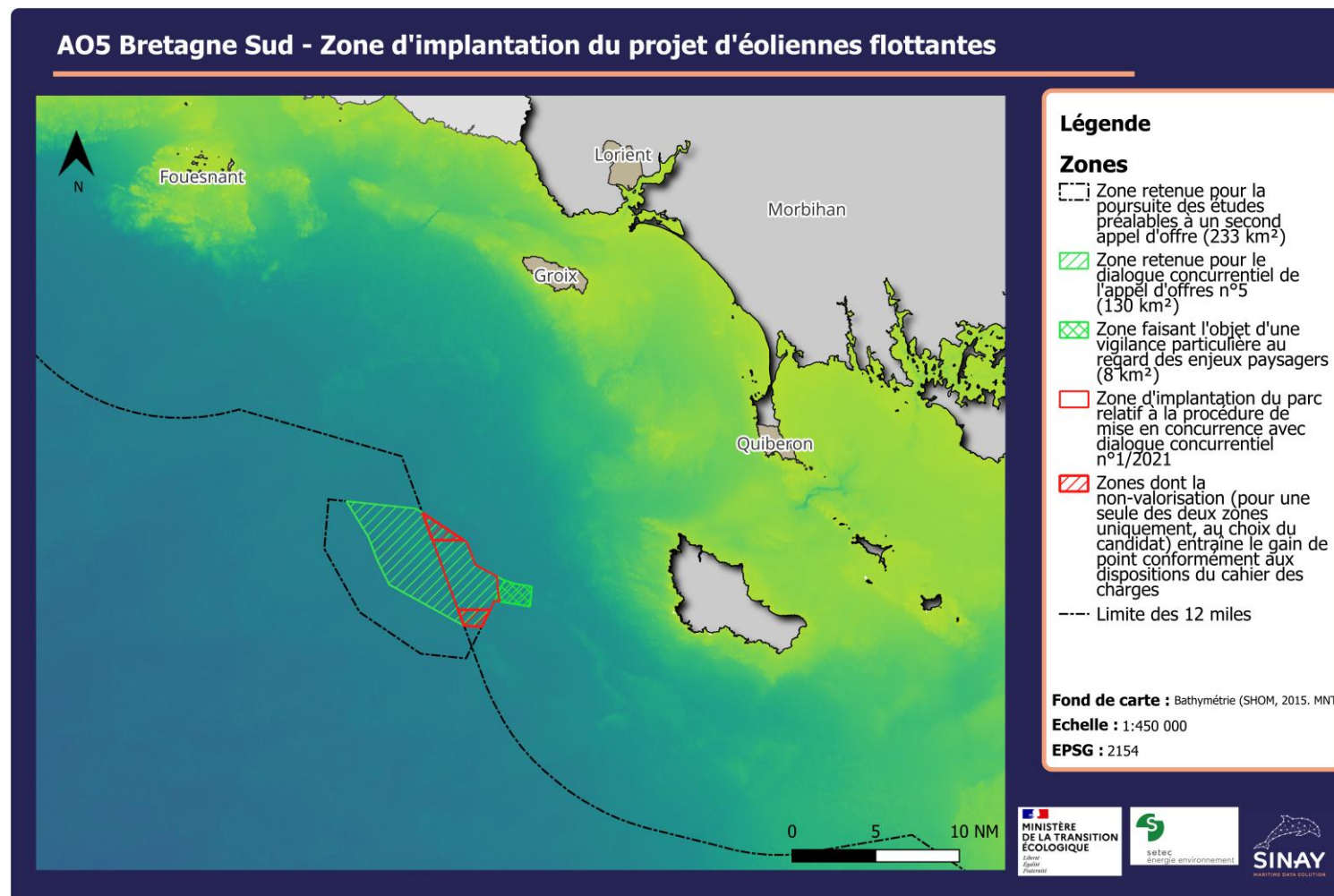


Figure 1 : Localisation de la zone d'implantation du projet d'éoliennes flottantes au large de la Bretagne Sud (AO5).

2.1 CONTEXTE REGLEMENTAIRE

La réalisation de cet état initial constitue une des étapes de la procédure d'autorisation pour la construction d'un parc éolien conformément à l'article R. 122-5 du Code de l'Environnement. La construction et l'exploitation d'un parc éolien en mer génèrent du bruit sous-marin modifiant le paysage sonore d'une zone et il est reconnu que ces modifications peuvent avoir des effets négatifs sur la faune marine et en particulier les mammifères marins.

La reconnaissance du bruit sous-marin comme une forme de pollution au niveau de l'Union européenne (UE) est due en particulier à la Directive-Cadre « Stratégie pour le Milieu Marin » (DCSMM)¹. Cette reconnaissance au niveau de l'UE suit par ailleurs celle de plusieurs organisations internationales, dont la France est membre, telles que la Commission Baleinière Internationale (CBI), la Convention sur la conservation des Espèces Migratrices (CMS), l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), et la Convention Oslo-Paris pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (OSPAR), entre autres.

De plus, les mammifères marins sont protégés au sens de la directive « Habitats² », transposée en droit français par l'arrêté ministériel du 1^{er} Juillet 2011 et modifications successives³. Il est notamment interdit de les détruire, les mutiler, de perturber intentionnellement ou de dégrader les sites de reproduction ou aire de repos. Si un risque d'impact est avéré, des mesures pour éviter, réduire ou/et compenser ces impacts doivent être mises en œuvre

Cependant, en l'absence de seuils réglementaires sur les émissions de bruit en mer, la gestion des impacts potentiels repose sur leurs évaluations notamment au travers de l'étude d'impact sur l'environnement.

À ce stade du projet, il reste nécessaire d'établir les conditions initiales de l'environnement relatives au bruit ambiant sous-marin et à la fréquentation des mammifères marins avant le démarrage du projet de parc éolien. Cet état avant travaux, pourra être utilisé comme référence pour l'évaluation et le suivi des impacts dans les phases successives du projet.

2.2 CONTEXTE SCIENTIFIQUE

Le développement des énergies renouvelables en Europe mène à porter une attention croissante aux effets sur l'environnement marin de l'installation des parcs éoliens offshore. De plus, les effets des projets d'énergie marine renouvelable s'ajoutent aux activités déjà existantes, comme le transport maritime, l'exploration pétrolière et gazière, les travaux portuaires ou encore les activités de loisirs côtières.

Les cétacés, du fait de leur forte dépendance au son pour l'alimentation, la reproduction, la communication et l'orientation, sont considérés comme sensibles aux perturbations acoustiques d'origine anthropique (Wartzok et al., 2003 ; Weilgart, 2007). Un grand nombre d'études montrent l'évidence scientifique de la corrélation entre exposition sonore et effets négatifs sur les cétacés. Cette corrélation existe pour différents types de bruits tels que le bruit rayonné des navires (Aguilar Soto et al., 2006; Erbe et al., 2019), les impulsions sismiques typiques des activités de prospection géophysique (Castellote et al., 2012; Lucke et al., 2009; Stone C.J & Tasker M.L, 2006; Weir, 2008), les sonars à basse et moyenne fréquences (Deruiter et al., 2013; Filadelfo et al., 2009; Goldbogen et al., 2013; Isojunno et al., 2020; Southall et al., 2016; Tyack

¹ Directive 2008/56/CE du Parlement Européen et du Conseil du 17 juin 2008 établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre stratégie pour le milieu marin)

² Directive 92/43/CEE - Directive habitats (DIRECTIVE 92 / 43 / CEE DU CONSEIL du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages, 1992)

³ Arrêté du 1^{er} juillet 2011 fixant la liste des mammifères marins protégés sur le territoire national et les modalités de leur protection ; Arrêté du 3 septembre 2020 portant modification de l'arrêté du 1er juillet 2011 fixant la liste des mammifères marins protégés sur le territoire national et les modalités de leur protection.

et al., 2011) ainsi que certaines techniques de construction en mer telles que le battage de pieux (Benhemma-Le Gall et al., 2021; Brandt et al., 2009; Dähne et al., 2013; Tougaard, Henriksen, et al., 2009). Ces dernières concernent plus particulièrement les projets de parc éolien en mer.

À ce propos, depuis les années 2000 un grand nombre d'articles scientifiques ont démontré les effets sur le Marsouin commun (*Phocoena phocoena*) du battage de pieux en phase de construction d'un parc éolien. Le niveau d'émission d'un battage de pieux peut atteindre des niveaux de pic de pression largement supérieurs à 200 dB re 1μPa ($L_{p, 0-pk}$) (OSPAR, 2009). Les effets peuvent inclure l'abandon total de la zone proche des travaux par les Marsouins (Brandt et al., 2018) et une diminution de la présence dans l'aire d'étude éloignée jusqu'à 20 km et au-delà (Dähne et al., 2013; Graham et al., 2019; Tougaard, Carstensen, et al., 2009) pendant le battage.

En ce qui concerne les effets sur les cétacés d'autres types de techniques et de chantiers, la littérature scientifique disponible est limitée et peut être contradictoire. Une étude portant sur les effets d'une extension portuaire en Écosse a montré que les activités de vibrofonçage et de battage de pieux ont eu un effet très léger voire négligeable sur la présence du Marsouin commun et du Grand dauphin (*Tursiops truncatus*), ce qui est en opposition à la littérature scientifique disponible sur les parcs éoliens en mer. Les dragages et les forages génèrent des niveaux plus faibles (L_S variable entre 145 et 190 dB re 1μPa selon la revue OSPAR (2009)) et ont une durée limitée dans le temps. Cependant ils peuvent donner lieu à des changements comportementaux sur les Marsouin commun et le Grand Dauphin (Diederichs A. et al., 2010; Pirota et al., 2013).

À l'égard des effets des bruits de chantier sur d'autres espèces fréquentant le Golfe de Gascogne comme les grands cétacés (Mysticètes, Cachalots) et d'autres espèces potentiellement impactées (notamment la famille des Ziphiidés), les connaissances disponibles sont presque nulles. Les considérations sur les effets des chantiers éoliens sur ces espèces se basent aujourd'hui encore sur des hypothèses tirées d'études menées sur d'autres sources de bruit, en particulier les effets des canons à air utilisés lors des prospections géophysiques sur les Mysticètes (Borsani et al., 2008; Madsen P.T. et al., 2006) et des sonars à basse et moyenne fréquences utilisées dans le cadre d'activités militaires en ce qui concerne les Ziphiidés.

Les effets de la construction des parcs éoliens flottants restent encore peu étudiés et mal compris, en raison de la nouveauté de ce type d'éoliennes offshore et de l'évolution rapide des méthodes de construction. Avec l'émergence croissante de parcs éoliens flottants comme alternative viable aux installations fixes, il devient de plus en plus urgent d'évaluer les impacts environnementaux associés à leur construction et leur exploitation. Cela inclut la compréhension des effets sur les écosystèmes marins, tels que les interactions avec la faune marine et les habitats sous-marins, ainsi que les conséquences sur le bruit sous-marin.

Quatre parcs éoliens en mer flottant existent aujourd'hui en Europe, tous de petite taille (quelques turbines)⁴. Les premières données disponibles sur les parcs flottant de Kinkardine et Hywind en Écosse indiquent une présence réduite du Marsouin sur le site proche du parc en phase d'exploitation (Risch D. et al., 2023). Une autre étude menée sur le parc (Burns et al., 2022) ne concerne pas la mesure directe de l'impact sur les taux de présence, mais plutôt la mesure des niveaux de bruit et l'estimation de l'impact potentiel sur la base d'une analyse de risque.

Dans le cadre de sa Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE), la France vise l'installation d'une capacité totale d'éolien en mer de 5 GW d'ici 2028. Cette capacité comprendra une proportion croissante d'éoliennes flottantes à partir de 2028, une technologie encore en développement. Quatre projets de fermes pilotes, chacune d'une capacité de 24 MW, ont été sélectionnés dans le cadre d'un appel à projets lancé par l'ADEME en 2017, dont un en Bretagne Sud et trois en Méditerranée (MTES, 2019). FLOATGEN, installée à Saint-Nazaire, est la première éolienne en mer, fixe et flottante confondue, à être mise en service en France. Pendant la phase de travaux, une diminution de la fréquentation de la zone d'étude par les Delphinidés (Dauphins communs principalement) est observée, bien que ces derniers restent présents quotidiennement. En phase d'exploitation, les enregistrements bioacoustiques restent cohérents avec les observations faites lors de l'état de référence. En présence de l'éolienne, la zone d'étude ne représente pas

⁴ Lien vers l'article complet [ici](#).

une zone à fort enjeu pour les Delphinidés mais elle est toujours un lieu de passage régulier, avec une présence quotidienne avérée d'individus (Reynaud et al., 2021).

Au vu de ces lacunes, cette étude représente une opportunité pour contribuer à l'amélioration des connaissances scientifiques dans la zone de la Bretagne Sud.

2.3 CONTEXTE BIOLOGIQUE

Environ 25 espèces de mammifères marins sont recensées dans l'espace maritime de France métropolitaine, au moins de manière occasionnelle, et 10 d'entre elles (toutes appartenant à l'ordre des cétacés) sont considérées comme communes (Savouré-Soubelet A. et al., 2016).

Selon les meilleures informations à disposition relatives aux différentes campagnes d'observation aériennes et nautiques réalisées au niveau national⁵, la composition spécifique de la façade Atlantique présente une prédominance marquée des Delphinidés.

La sous-famille des Delphininés (regroupant les espèces de dauphins de plus petite taille, généralement en-dessous de 2,50 m, tels que les Dauphins communs et les Dauphins bleus et blancs) se démarque en constituant environ 90 % des mammifères marins observés lors de ces campagnes. Les Globicéphalinés (Globicéphale noir et Dauphin de Risso) et les Balénoptéridés représentent, quant à eux, entre 3 et 4 % des observations. Les observations des espèces appartenant aux autres familles, telles que les Ziphiidés et les Phocoenidés, sont moins fréquentes mais régulières. Plus de détails sont présentés avec l'abondance et son intervalle de confiance à 95 % (IC) sont décrits dans le **Tableau 1** (Laran S et al. 2022) :

- **Le Dauphin commun** (*Delphinus delphis*) est l'espèce la plus abondante sur la zone Atlantique-Manche. Ils sont présents dans l'ensemble du Golfe de Gascogne depuis le plateau jusqu'au talus continental et en milieu océanique, avec des variations spatiales qui sont saisonnières et/ou interannuelles. Aussi, c'est sur le talus que les groupes les plus nombreux sont rencontrés et que la densité est plus importante (max 11 ind/km²).
- **Le Dauphin bleu et blanc** (*Stenella coeruleoalba*), représente environ 10 % des individus de petits Delphininés.
- **Le Grand dauphin** (*Tursiops truncatus*), est principalement observé au Sud du Golfe de Gascogne, le long du talus et en Manche Ouest.
- **Les Globicéphalinés** (Dauphin de Risso et Globicéphale noir) sont moins fréquemment observés. Leur distribution s'étend de la Manche Ouest au Sud du Golfe de Gascogne, principalement au niveau du talus. Il s'agit en général de petits groupes dont la moyenne oscille entre 3 et 6 individus.
- **Le Petit rorqual** (*Balaenoptera acutorostrata*), sa distribution est variable en fonction de la saison entre plateau et talus.
- **Le Marsouin commun** (*Phocoena phocoena*), dont la présence sur l'ensemble du Golfe de Gascogne est documentée par plusieurs travaux et notamment les campagnes SAMM. D'après ces résultats, le Marsouin est distribué en zone plutôt côtière et tout le long du Golfe de Gascogne en hiver, alors qu'en été il se répartit plutôt sur la partie Nord du Golfe et sur tout le plateau continental.

⁵ Campagnes SAMM cycles I (2011/2012) et II (2021) d'après (Laran et al., 2022) ; Campagnes PELGAS et EVHOE d'après (Dorémus et al., 2023)

- **Les Baleines à bec** (*Ziphius cavirostris* et espèces du genre *Mésoplodon* sp.), le Cachalot (*Physter macrocephalus*), **les Rorquals** (*Balaenoptera physalus* et espèces du genre *Balaenoptera* sp. à l'exception du Petit rorqual). Ces espèces sont considérées comme communes mais leurs effectifs sont plus faibles. Les faibles effectifs, les habitudes comportementales (grands plongeurs passant la plupart du temps en immersion) et la distinction difficile entre espèces morphologiquement proches lors des campagnes rendent les estimations d'abondance plus compliquées.

Les espèces ayant plus de chance de se trouver à proximité ou dans la zone de l'AO5 sont celles ayant des écologies au moins partiellement côtières : le Marsouin, le Grand dauphin et le Dauphin commun en particulier, mais aussi dans une moindre mesure la présence de globicéphale noir à la côte (données OBSenMer), principalement en été (Blaya M. et al., 2023)

Dans ce rapport, le Marsouin commun et les espèces de Delphinidés sont traités pour l'évaluation de l'état initial. En particulier, il est considéré que le Marsouin opère comme espèce parapluie, c'est-à-dire une espèce dont la protection assure également celles des autres espèces d'intérêt, en particulier en raison de sa sensibilité reconnue au bruit sous-marin d'origine anthropique.

Tableau 1 : Abondance et intervalle de confiance de l'abondance à 95 % (IC) issus des campagnes SAMM cycles I (2011/2012) et II (2021) d'après (Laran S et al., 2022) ; Campagnes PELGAS et EVHOE (Dorémus et al., 2023).

Ordre	Sous-ordre	Famille	Espèce		Zone	Période	Estimation d'abondance (nb d'individus)	IC	Statut UICN (FR)	Catégorie acoustique
			Nom commun	Nom latin						
Cétacés	Odontocètes	Delphinidés	Dauphin commun	<i>Delphinus delphis</i>	Golfe de Gascogne	Hiver 2021	127 437	[80 898 – 201 546]	LC / DD	HF
						Été 2012	277 237	[140 329 – 554 671]		
			Dauphin bleu et blanc	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Golfe de Gascogne	Été 2012	31 020	[17 716 – 55 502]	LC	HF
						Hiver 2021	18 672	[13 408 – 26 068]		
			Grand dauphin	<i>Tursiops truncatus</i>	Golfe de Gascogne	Hiver 2021	8 532	[3 263 – 22 555]	LC / NT	HF
						Hiver 2011-2012	10 537	[4 012 – 28 966]		
						Été 2012	6 161	[3 165 – 11 960]		
			Dauphin de Risso	<i>Grampus griseus</i>	Golfe de Gascogne	Hiver 2021	2 829	[1 016 – 8 773]	NT / VU	HF
						Hiver 2011 -2012	347	[80 - 1 506]		
						Été 2012	1 239	[470 – 3 283]		
			Globicéphale noir	<i>Globicephala melas</i>	Manche-Atlantique	Hiver 2021	950	[740-1 130]	LC / VU	HF
						Hiver 2011 -2012	1 825	[1 275-2 501]		
		Phocoenidés	Marsouin commun	<i>Phocoena phocoena</i>	Golfe de Gascogne	Hiver 2021	3 146	[2 187 – 5 551]	NT	VHF
						Été 2012	6 833	[4 767 – 10 154]		
		Ziphiidés	Baleines à bec	<i>Ziphius cavirostris, Mésoplodon sp</i>	Golfe de Gascogne	Hiver 2021	950	[379 – 2 531]	DD	HF
		Physétéridés	Cachalot macrocéphale	<i>Physeter macrocephalus</i>	Golfe de Gascogne	Hiver 2022	<100	NA	VU	HF
	Mysticètes	Balénoptéridés	Rorquals	<i>Balaenoptera physalus et sp.</i>	Golfe de Gascogne	Hiver 2023	<100	NA	NT	LF
			Petit rorqual	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Golfe de Gascogne	Hiver 2021	366	[159 – 877]	LC	LF
						Été 2012	264	[106 – 686]		
						Hiver 2021	392	NA		
					Archipel des Glénans et les Moutons	2021	31	[28-34]		

3. MATERIELS ET METHODES

La méthodologie de production de données de bruit ambiant sous-marin est basée sur l'approche *BACI* - *Before After Control Impact* – (Green, 1979) et celle des cétacés sur l'approche *BAG* – *Before After Gradient* – (Ellis & Schneider, 1997). Les deux approches concernent la même application (les études d'impact et les suivis environnementaux) et sont basées sur le principe de comparaison d'un ou plusieurs paramètres environnementaux avant et après l'apparition d'une source d'impact potentiel. La différence principale entre elles réside dans le nombre de points de mesure :

- **BACI** prévoit une comparaison entre mesures réalisées dans une zone proche des travaux (zone *impact*) et une zone loin, non impactée (zone *control*, témoin). Cette méthode convient particulièrement à la mesure de bruit ambiant sous-marin (Cf **3.1.1** ci-dessous).
- **BAG** prend en considération plusieurs points de mesure à différentes distances d'une source potentielle d'impact afin de mettre en évidence de gradients d'impacts potentiels. Cette méthode est préconisée par la communauté scientifique dans le cadre des études sur les mammifères marins (Thompson et al., 2010)

Pour ce faire, des instruments acoustiques sont déployés pour obtenir des mesures de bruit sous-marin et de présence de cétacés. Puis, les données collectées sont traitées pour produire les indicateurs et informations nécessaires.

Un plan d'échantillonnage et des méthodes pour collecter et traiter les données sont adaptés de plusieurs documents de références, notamment le guide - *Methodologies for measuring and assessing potential changes in marine mammal behaviour, abundance or distribution arising from the construction, operation and decommissioning of offshore windfarms* - (Diederichs et al., 2008), le guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens en mer du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM, 2017) et le Guide des préconisations pour limiter l'impact des bruits sur la faune marine du Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES, 2020).

Le déploiement d'instruments, la mesure et la restitution de résultats relatifs au bruit sous-marin suivent les recommandations du guide n° 133 NPL – *Underwater Noise Measurement* (Robinson, 2014). La terminologie ISO18405 (2017) est utilisée pour présenter les résultats des mesures de bruit sous-marin.

À l'égard des cétacés, aucun standard n'est actuellement défini pour les unités de mesure permettant de quantifier les différents paramètres de présence et fréquentation observés. Les choix effectués sont basés sur les méthodes communément utilisées et décrites dans la littérature scientifique (Bergès et al., 2019 ; Diederichs, Nehls, Dähne, et al., 2008; Teilmann, Miller, et al., 2002; Tougaard et al., 2006) ainsi que sur l'expérience de l'entreprise lors de projets similaires (Drira et al., 2021; Drira A. & Blondeau G., 2022).

La stratégie d'échantillonnage, le nombre et la localisation des points de mesure ainsi que la durée des périodes d'enregistrement ont été définis en concertation avec le maître d'ouvrage et les parties prenantes.

3.1 STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

3.1.1 Approche *BACI* pour le suivi du bruit ambiant

Le concept à la base de l'approche *BACI* traditionnelle est la comparaison de paramètres mesurés en deux sites, une zone impactée proche des travaux et une zone témoin, non impactée, hors de portée des effets des travaux, à deux moments différents, avant et après le début des activités ayant un impact potentiel.

L'approche traditionnelle (deux sites/deux périodes) reste adaptée pour caractériser le bruit sous-marin car les incertitudes sur les causes de la variabilité mesurée sont généralement faibles. En effet, les techniques d'analyse normalement employées en acoustique sous-marine permettent d'identifier les sources de bruit

(anthropiques, naturelles et biologiques) déterminant une variation de niveaux sonores. De plus, l'utilisation de modèles de propagation en parallèle des mesures *in situ* pour l'étude du bruit ambiant permet de simuler les niveaux sonores reçus en tout point d'une zone d'étude, réduisant ainsi le besoin de plusieurs sites d'enregistrement. L'analyse des enregistrements de bruit ambiant porte donc sur l'opposition entre niveaux sonores dans la 'zone du parc' et dans la 'zone Témoin'. Pour ce faire, les données issues des stations associées à ces deux zones sont regroupées. Une vue conceptuelle de l'approche *BACI* est illustrée en **Figure 2**.

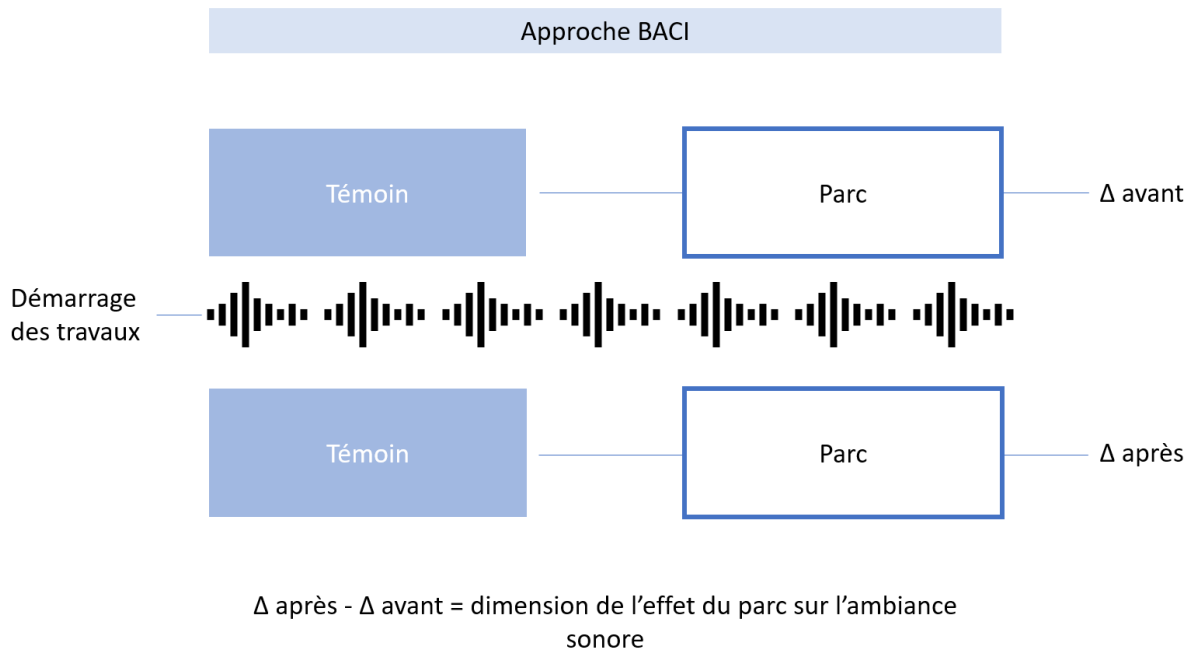


Figure 2 : Schéma de l'approche *BACI*, adapté de (Secor 2018).

3.1.2 Approche *BAG* pour le suivi des cétacés

L'explication de la variabilité des résultats de suivi des cétacés constitue un exercice plus complexe que celui du bruit sous-marin. La présence d'un individu ou d'un groupe dans une zone donnée dépend de l'utilisation de l'habitat, de la présence de proies, des habitudes comportementales ainsi que de facteurs spécifiques à chaque individu et difficilement prédictibles. De plus, la détection par acoustique passive dépend de l'émission de signaux biologiques (clics, sifflements, etc.), ce qui implique que des individus n'émettant pas de son ne seront pas détectés même à proximité du capteur acoustique.

Cette hétérogénéité spatiale et ces sources d'incertitude déterminent un choix de stratégie d'échantillonnage basé sur la multiplication des sites d'enregistrement le long d'un gradient de distance à partir d'une source d'impact potentiel (dans ce cas la zone du futur parc). Il s'agit d'une approche nommée *BAG*, de *Before-After Gradient* (Methratta, 2021; Virgili et al., 2024), ce qui représente une déclinaison de l'approche *BACI* traditionnelle. L'analyse des données de présence des cétacés portera donc sur l'analyse le long d'un gradient de distance ayant pour centre la zone du parc éolien au large de la Bretagne Sud.

En outre, les différences entre zone côtière (1 station) et zone au large (données regroupées des stations au large) sont également exposées. Il s'agit ici plutôt d'une approche *BACI* classique qui complètera l'analyse *BAG*. Une vue conceptuelle de l'approche *BAG* est illustrée en **Figure 3**.

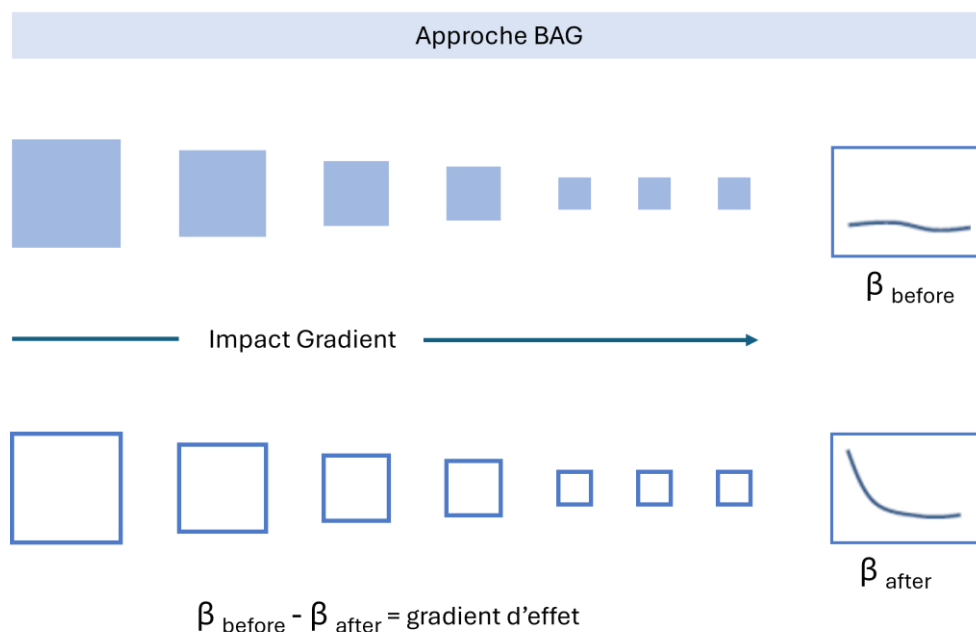


Figure 3 : Schéma de l'approche BAG, adapté de (Secor, 2018)

3.1.3 Aires d'étude

Le terme « aire d'étude » correspond à la zone géographique susceptible d'être impactée par le projet et donc au périmètre pour l'évaluation des impacts. Le choix des aires d'étude peut être modifié ou affiné au cours de l'étude d'impact à venir pour tenir compte des résultats obtenus.

La **Figure 4** illustre les trois aires d'étude définies pour l'analyse du bruit sous-marin et l'activité bioacoustique des cétacés.

Les analyses concernant les cétacés sont réalisées dans la zone d'impact, correspondant à l'emprise du futur parc éolien (en noir) et la zone d'étude rapprochée (en orange) à l'exception de la station Témoin qui se trouve en dehors de ces deux zones ('hors impact').

En revanche, l'étude du bruit, comprenant la production de cartographies, est menée dans une zone beaucoup plus vaste, nommée zone d'étude éloignée (en rouge).

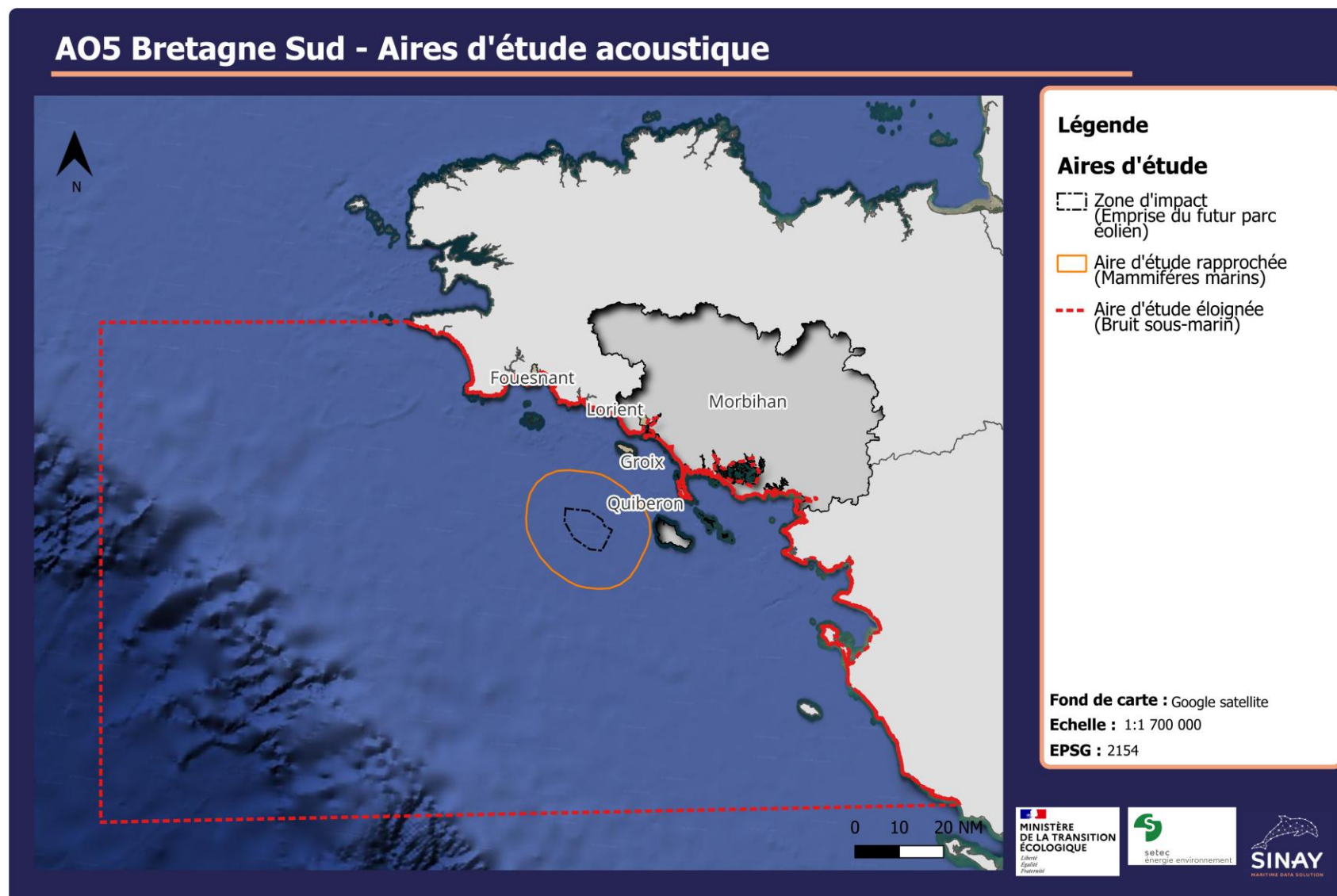


Figure 4 : Définition des aires d'étude acoustique du projet AO5 Bretagne Sud (Sinay, 2024).

3.1.4 Nombre et localisation des points de mesure

L'étude bioacoustique des cétacés repose sur six points de mesure, dont trois sont également utilisés pour l'analyse du bruit sous-marin (**Figure 5**). Ces stations sont réparties en trois zones distinctes : **la zone impact**, correspondant à l'emprise du futur parc éolien (stations A, O, B et L), **la zone rapprochée** située hors parc (station C) et **la zone hors impact** comprenant la station témoin (T).

Les comparaisons sont effectuées par station et par zone, en fonction du type d'instrument utilisé et des taux de détection associés :

- **Enregistreurs** : analyse des stations A, B et T, distinguant les données de la zone du parc (regroupement des stations A et B) et celles de la zone témoin (T).
- **POD** : comparaison entre cinq stations (A, B, O, L, T), permettant d'évaluer les différences entre la côte (station C) et le large (données combinées des stations A, B, O, L et T).

L'organisation des stations suit une approche optimisée pour l'approche BAG :

- **Stations du parc (A, B, O, L)** alignées parallèlement à la côte, à environ 40 km de celle-ci.
- **Station témoin (T)** alignée aux stations du parc et placée dans des conditions bathymétriques similaires aux autres stations et en dehors de la zone de raccordement potentiel.
- **Station rapprochée (C)** positionnée entre la côte et le parc, permettant d'évaluer la fréquentation des cétacés entre ces deux zones.

Un total de **six POD (Porpoise Detector) et trois enregistreurs large bande** a été déployé :

- **Stations A, B et T** : double instrumentation (POD + enregistreur) pour croiser et fiabiliser les données.
- **Stations O, L et C** : équipées uniquement de POD.

Le positionnement des capteurs a été optimisé en tenant compte de plusieurs critères :

- **Distance entre la zone témoin et la zone du parc** : la zone témoin a été placée à environ 20 km du parc éolien, conformément aux études scientifiques indiquant qu'au-delà de cette limite, l'influence des travaux de construction sur la présence des Marsouins est limitée voire inexistante (Brandt et al., 2009; Tougaard, Henriksen, et al., 2009). Ce positionnement permet d'émettre l'hypothèse, à vérifier lors des travaux, que la présence des Marsouins à cette distance restera similaire aux mesures effectuées durant l'état initial.
- **Évitement des doubles détections** : l'espacement entre les stations A et B a été fixé à 8 km afin d'éviter les doubles détections, compte tenu d'un rayon de détection estimé à 4 km pour les enregistreurs. Cette distance est conforme aux connaissances scientifiques sur la propagation des signaux biologiques et anthropiques. Concernant les POD, dont la portée varie entre 180 et 900 m (Clausen et al., 2019; H. K. Nuuttila et al., 2018; Roberts & Read, 2015), leur espacement ne génère pas de contrainte particulière.
- **Représentativité acoustique** : sélection de sites variés en termes de conditions géologiques et bathymétriques afin d'assurer une couverture optimale et une bonne représentativité des variations environnementales.
- **Réduction des interférences** : éloignement des voies de navigation et des zones de pêche pour limiter le masquage des signaux biologiques et réduire le risque de perte des équipements.
- **Compatibilité avec les activités militaires** : prise en compte des exercices en mer afin d'éviter toute interférence avec les dispositifs de mesure.

Cette configuration garantit la fiabilité et la robustesse des données collectées, assurant une analyse bioacoustique représentative et scientifiquement pertinente.

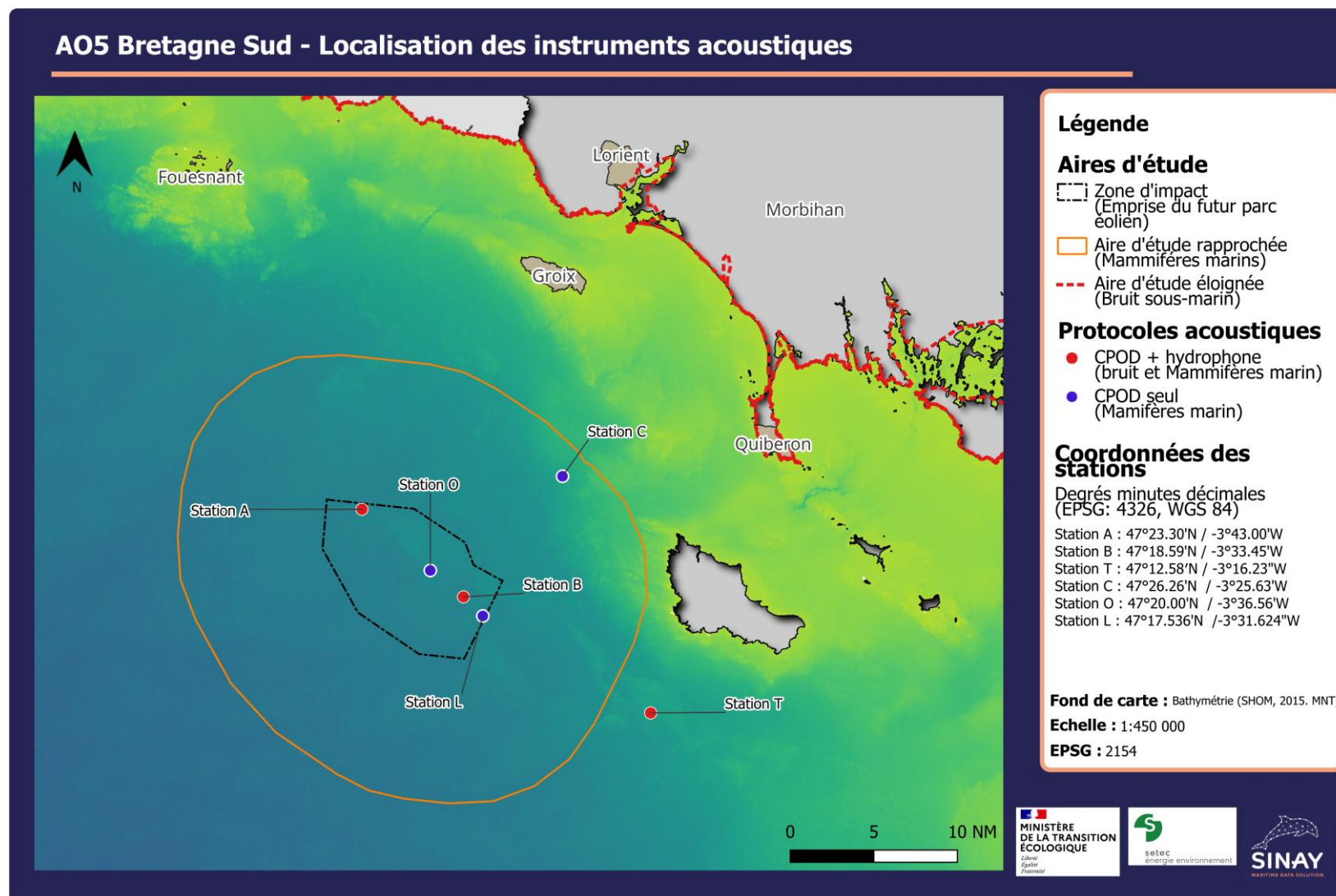


Figure 5 : Plan d'échantillonnage pour le suivi du bruit sous-marin et le suivi acoustique des cétacés (source : Sinay, 2022). 5 stations (stations A, B, O, L dans le parc et la station Témoin) forment une droite parallèle à la côte.

3.1.5 Calendrier de déploiement des capteurs

Le période de collecte de données s'étale de novembre 2022 à début décembre 2024. Les équipements ont été déployés le 10 novembre 2022 sur l'ensemble des stations et remontés le 03 décembre 2024 (**Tableau 2**)⁶ pour 24 mois d'échantillonnage. Une intervention sur les équipements a été réalisée approximativement tous les mois pour effectuer la maintenance des appareils de mesure et télécharger les données. Cette cadence a permis de réduire la perte de données liée aux pannes d'instruments et autres problématiques communes à la collecte de données acoustiques.

Tableau 2 : Calendrier des interventions en mer réalisées entre novembre 2022 et décembre 2024 pour la collecte des données acoustiques sous-marines.

Début intervention	Fin intervention	# Campagne	Activité effectuée
10/11/2022	10/11/2022	# 0	Mobilisation des enregistreurs et des POD
01/12/2022	01/12/2022	#1	Maintenance et téléchargement des données
18/02/2023	19/02/2023	#3	
20/03/2023	20/03/2023	#4	
20/04/2023	20/04/2023	#4bis	
12/05/2023	12/05/2023	#5	
15/06/2023	15/06/2023	#6	
25/07/2023	25/07/2023	#7	
01/09/2023	01/09/2023	#8	
23/09/2023	23/09/2023	#9	
23/11/2023	23/11/2023	#11	Fin de campagne 1 ^{ère} année
18/12/2023	18/12/2023	#12	Maintenance et téléchargement des données
19/01/2024	19/01/2024	#13	
20/02/2024	20/02/2024	#14	
13/03/2024	14/03/2024	#15	
19/04/2024	19/04/2024	#16	
24/05/2024	24/05/2024	#17	
25/06/2024	26/06/2024	#18	
25/07/2024	25/07/2024	#19	
03/09/2024	03/09/2024	#20	
01/10/2024	02/2024	#21	Fin de campagne 2 ^{ème} année
01/11/2024	01/11/2024	#22	
03/12/2024	03/12/2024	#23	

⁶ Des difficultés liées à l'obtention des autorisations administratives et la concertation avec les parties prenantes quant à la position des capteurs n'ont pas permis de respecter le planning initial qui prévoyait un début des enregistrements pour juin 2022.

3.2 MOYENS ET MATERIELS

3.2.1 Les enregistreurs et hydrophones



Figure 6 : enregistreur DORI (ABYSsens©).

Les enregistreurs (**Figure 6**) utilisés pour cette étude sont des systèmes autonomes permettant l'enregistrement numérique des sons sous-marins sur de longues périodes. Grâce à leur configuration optimisée, ils assurent une détection efficace des signaux biologiques des cétacés et du bruit sous-marin, tout en minimisant les risques de saturation en milieu bruyant.

- **Composition et fonctionnement** : chaque enregistreur est constitué d'un hydrophone (microphone sous-marin) et d'un enregistreur de données, comprenant une carte électronique et un compartiment pour les batteries.
- **Autonomie et adaptabilité** : la durée de fonctionnement peut être prolongée en ajustant le nombre de piles et le mode d'enregistrement, permettant ainsi un déploiement optimisé selon les besoins de l'étude.
- **Modèle utilisé** : le modèle DORI du fournisseur ABYSsens© est employé pour ce suivi. Ses spécifications techniques sont détaillées dans l'**Annexe 10.4**.
- **Réglage du gain** : fixé à 12 dB, ce paramètre permet un compromis optimal entre sensibilité et qualité de détection. Il garantit une amplification des signaux biologiques faibles, même en présence de bruit anthropique élevé, tout en évitant la saturation de l'hydrophone.
- **Capacité de détection** : l'hydrophone HTI-99-UHF utilisé couvre l'ensemble des fréquences d'intérêt, assurant une détection large bande du bruit sous-marin et des signaux biologiques des cétacés. Il permet d'enregistrer des fréquences allant jusqu'à 180 kHz, nécessaires pour la détection des Marsouins (Amundin, 1991; Kamminga & Wiersma, 1981; Verboom & Kastelein, 1997; Villadsgaard et al., 2007a).

3.2.2 Les POD



Figure 7 : POD (Chelonia Ltd©)

Les POD commercialisés par Chelonia Ltd© (**Figure 7**), sont des détecteurs automatiques de signaux impulsifs (clics) de cétacés, utilisés pour l'étude de leur présence et de leur activité acoustique. Cette utilisation en complément des enregistreurs, offre une alternative fiable et assure une redondance des données, garantissant ainsi la robustesse des résultats.

- **Fonctionnement et composition** : les POD sont équipés d'un hydrophone et d'un système électronique embarqué intégrant un algorithme d'extraction des clics émis par les Marsouins et certains Delphinidés (sans identification spécifique). Contrairement aux enregistreurs, ils ne conservent pas les enregistrements bruts.
- **Objectif d'utilisation** : intégrés à l'approche BAG, ils permettent d'analyser la présence et l'activité acoustique des cétacés sur le long terme.
- **Complémentarité avec les enregistreurs** :

- **Sécurisation des données** : en cas de panne d'un enregistreur, les POD assurent une continuité des mesures (et inversement).
- **Comparaison des détections** : leur mutualisation avec les enregistreurs sur certains points d'écoute permet de vérifier la cohérence des données et d'améliorer le contrôle qualité des détections.

3.2.3 Ligne de mouillage

Le schéma (non à l'échelle) de mouillage utilisé est illustré par la **Figure 8**.

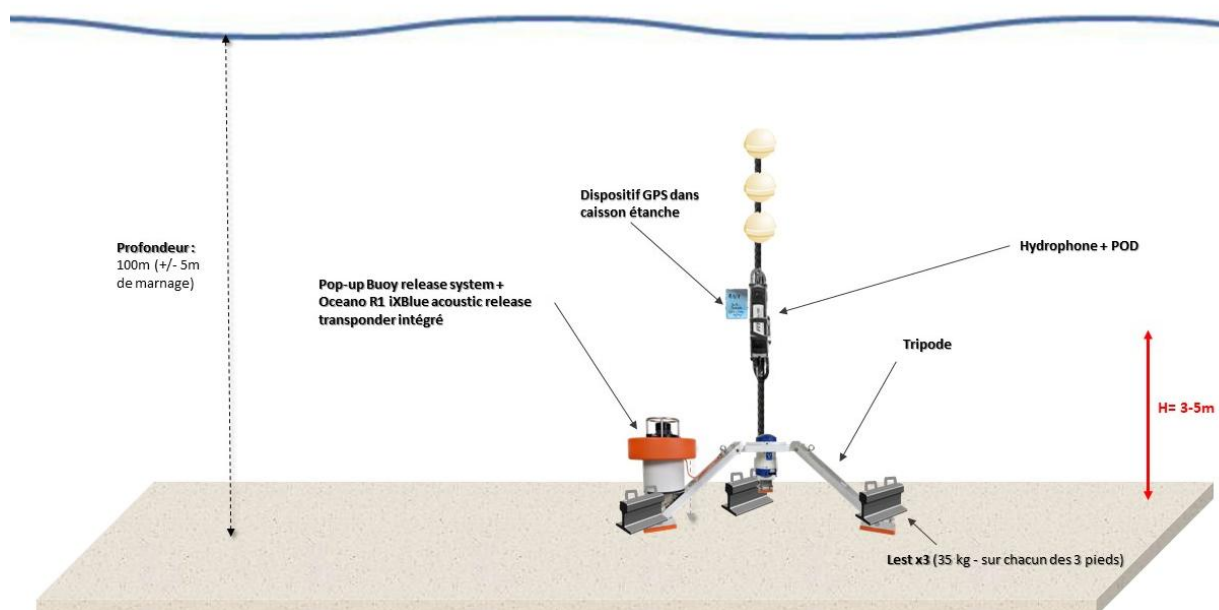


Figure 8 : Schéma des lignes de mouillage déployées pour le suivi du bruit ambiant et la détection des cétacés (source : Sinay©, 2022).

L'utilisation de ce type de mouillage permet de ne pas avoir de marqueur de surface pouvant constituer une entrave à la navigation, mais également un moyen de vandalisme pour d'éventuels opposant aux projets éoliens. L'absence de chaîne garantit des conditions d'acquisition sans ajout de parasites sonores propres aux équipements et à leurs supports. Le matériel est récupéré par l'intermédiaire d'un largueur acoustique permettant de remonter l'intégralité des instruments et supports.

3.2.4 Moyens nautiques

Le navire Minibex de la société Ship As A Service (SAAS) Offshore SAS a été choisi pour les campagnes de suivi acoustique. En effet, ce navire hauturier armé en 1ère catégorie présente l'équipement nécessaire en termes de navigation, de sécurité et d'équipements techniques pour la réalisation de la mission (**Figure 9**).



Figure 9 : Le « Minibex » en opération à Brest (Finistère). | Ouest-France (2021).

3.2.5 Volume des données collectées

Le **Tableau 3** présente les données collectées sur l'ensemble des stations montrant des résultats contrastés en fonction du type de matériel utilisé.

Tableau 3 : Volume de données collectées par les enregistreurs et les POD (entre le 10/11/2022 et le 03/12/2024).

Périodes	Enregistreurs	POD
Période de l'étude	754 jours	754 jours
Durées cumulées (toutes stations confondues)	1 995 jours	4 317 jours
	47 219 heures	103 050 heures
Taux d'acquisition	88,2 %	95,4 %

Le volume de données acquises reste très important malgré des périodes de dysfonctionnement des appareils acoustiques. En effet, considérant le nombre de stations et la double instrumentation de 3 d'entre elles (POD et Enregistreur) une redondance est rendue possible. Ainsi, la perte d'information ne compromet pas l'atteinte des objectifs de l'étude. Les **Figure 85** et **Figure 86** présentées en **Annexe 10.5**, présentent le pourcentage de volume de données disponibles (en vert) et de données manquantes (en rouge) pour les enregistreurs et les POD pour chaque durée de campagne.

3.3 PARAMETRES MESURES ET ANALYSE DES DONNEES DE BRUIT AMBIANT SOUS-MARIN

En ce qui concerne les niveaux de bruit mesurés, les analyses sont réalisées à large bande, de [25 Hz à 180 kHz], ce rapport présente différents indicateurs :

- **Des analyses temporelles** (indicateurs L_p et $L_{p,0-pk}$) pour quantifier les niveaux sonores existant et leurs variations temporelles.
- **Des analyses fréquentielles** (densité spectrale de puissance - DSP, $L_{p,f}$), pour l'étude de la répartition de l'énergie sonore par fréquence et l'évaluation des niveaux par rapport à un référentiel (Wenz 1962).
- **Des spectrogrammes** pour l'identification des sources sonores.

Les indicateurs de pression sonore et la répartition fréquentielle sont calculés à l'aide d'algorithmes développés par Sinay® et implémentés sur une solution HPC (High Performance Computing) pour accélérer le traitement d'un grand volume de données. De plus, des modèles de propagation sonore en milieu marin sont utilisés pour produire des cartographies du bruit ambiant sous-marin de la zone d'étude. La suite logicielle développée par Sinay® pour la modélisation du bruit sous-marin (SINAY HUB – Underwater Acoustics) est utilisée à cette fin (Dira et al., 2018; Maglio et al., 2015). La terminologie définie dans la norme ISO 18405 :2017 est utilisée pour la présentation des quantités mesurées et modélisées.

Aussi, les indicateurs relatifs au Critère 2 du Descripteur 11 (D11C2 – Bruit continu basse fréquence d'origine anthropique dans l'eau) de la Directive-cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM) ont été calculés. Il s'agit de plusieurs indicateurs statistiques des niveaux sonores relatifs à une période donnée (par saison, dans notre cas) dans deux bandes de tiers d'octave, l'une centrée à 63 Hz, l'autre à 125 Hz. Le calcul de ces quantités est réalisé selon les indications du guide sur le suivi du bruit sous-marin du TG-Noise qui définit ce type de suivi (Dekeling et al., 2014). Ces indicateurs visent à focaliser le suivi sur le bruit des navires qui est généralement dominant dans ces deux bandes de fréquences par rapport à d'autres sources (Hildebrand, 2009a; Hildebrand et al., 2021).

3.3.1 Traitements des données audio

3.3.1.1 Bruit ambiant : analyse temporelle

Le niveau du pic de la pression sonore ($L_{p,pk}$), correspondant au niveau de pression acoustique maximale instantanée, est utilisé pour décrire les sons dit impulsifs (voir glossaire). Le niveau de pression sonore moyen d'un signal (L_p) est utilisé pour décrire le bruit dit continu (voir glossaire).

Le niveau L_p est calculé pour une fenêtre de 10 secondes. Le nombre de fenêtres de 10 secondes pour lequel le niveau L_p est calculé représente l'échantillon utilisé pour le calcul des statistiques pour le bruit continu.

Des statistiques descriptives (moyenne, écart type, min-max, percentiles) sont produites pour permettre des comparaisons spatiales (zone Témoin et impactée) et temporelles (selon les saisons). La représentation des niveaux sonores en percentiles permet de décomposer les niveaux de bruit selon leur représentativité. Six percentiles sont calculés afin d'obtenir six niveaux d'information : allant de 1 à 100 où P1 est la valeur min, P100 la valeur max, et P50 la valeur médiane.

3.3.1.2 Bruit ambiant : analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle des niveaux sonores au moyen de la densité spectrale de puissance ($L_{p,f}$, en dB re $1\mu Pa^2/Hz$) et par bande de tiers d'octave permet de visualiser la répartition de l'énergie en fonction des

fréquences et ainsi de pouvoir identifier la contribution des différentes sources sonores (naturelles ou anthropiques) au bruit ambiant sur la période analysée.

Le spectre moyen, déterminé à partir d'échantillons de signaux enregistrés (moyenne calculée sur une journée), est visualisé sur le graphique proposé par Wenz en 1962 et toujours utilisé aujourd'hui comme référentiel pour situer le bruit mesuré sur un projet spécifique. Cette visualisation permet en effet de comparer les niveaux mesurés sur 7 indices de trafic maritimes (1 à 7 du moins au plus bruyant). La projection des densités spectrales de puissance sur le modèle de Wenz permet de visualiser des variations dans les basses, moyennes et hautes fréquences.

3.3.2 Modélisation du bruit ambiant

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte. Un modèle de bruit ambiant est construit en considérant comme sources sonores les navires équipés d'un émetteur AIS. Ce système de positionnement et d'identification est obligatoire pour les navires de plus de 300 tonnes. Les émissions sonores de ces navires dominent largement le bruit ambiant sous-marin dans les basses fréquences (Hildebrand, 2009b; Hildebrand & Jesus, 2021), en raison de leur forte intensité, de leur caractère continu et de la propagation efficace du son à ces fréquences en milieu marin. Ce bruit dépasse largement les contributions naturelles de basse fréquence, à l'exception d'événements rares (séismes, éruptions sous-marines, foudre), qui ne reflètent pas les conditions typiques du bruit ambiant.

Les modélisations acoustiques sont réalisées sur une plage de fréquences allant de 63 à 1000 Hz, couvrant les octaves principales où se concentre l'essentiel de l'énergie acoustique liée au trafic maritime. Ce choix s'explique par plusieurs facteurs :

- **Atténuation marquée au-delà de 1 000 Hz** : une baisse de plus de 5 dB est observée entre les bandes de 1 000 et 2 000 Hz dans les données enregistrées.
- **Absorption moléculaire accrue** : plus la fréquence est élevée, plus le son est rapidement atténué dans l'eau, réduisant fortement la portée des hautes fréquences.
- **Pertinence acoustique limitée** : à ces fréquences, le bruit généré par les navires devient négligeable face au bruit ambiant dominant.
- **Optimisation des calculs** : étendre la modélisation à des fréquences plus élevées augmenterait fortement le temps de calcul sans améliorer significativement les résultats.

Ce choix permet de concentrer les efforts de modélisation sur les composantes les plus représentatives du bruit ambiant sous-marin.

La société Spire Group fournit les données AIS, qui sont des données transmises par des antennes terrestres et satellitaires et donc considérées de meilleure qualité. Néanmoins, les données AIS sont inspectées visuellement et vérifiées pour éliminer les données aberrantes.

En ce qui concerne la contribution des navires, d'abord un spectre et un niveau d'émission sonore sont attribués à chaque navire en fonction de sa longueur et de sa vitesse selon le modèle de source Randi 3.0 (Peng et al. 2021). Ensuite, l'atténuation des ondes sonores est calculée à partir de chaque navire. La contribution de chaque navire au bruit total est estimée en tout point et pour chaque profondeur, en tenant compte des paramètres du milieu de propagation. Le milieu de propagation est composé des facteurs suivants :

- La bathymétrie du site ;
- Les propriétés géo-acoustiques du fond ;
- Les profils célé-bathymétriques (acquisition in situ) ;
- La marée ;

- Les données AIS (Automatique Identification System).

Les valeurs attribuées à ces paramètres sont disponibles en **Annexe 10.2** sous forme de visuels cartographiques.

La méthode de simulation de la propagation des ondes sonores est basée sur l'équation parabolique (Collins, 1993). Le modèle utilisé est le modèle RAM considéré comme étant la meilleure solution pour étudier les bruits en basses fréquences dans un environnement comme le plateau continental du Golfe de Gascogne (Farcas et al., 2016). Au total, 4 périodes sont considérées dans cette étude correspondant aux 4 saisons. Chaque période est caractérisée par la production de 90 cartes de bruit, générées trois fois par jour pendant 30 jours, pour chaque saison. Ces cartes sont ensuite utilisées pour calculer les statistiques telles que la moyenne et les percentiles.

La différence entre les cartes avec et sans lissage réside dans l'interpolation utilisée pour améliorer la résolution des images et éviter les zones vides. En effet, dans la modélisation, bien que les simulations de chaque source soient effectuées à une résolution d'un degré, certains points peuvent rester vides, notamment si leur position se trouve entre deux angles et à une distance importante (par exemple, supérieure à 100 km). Pour résoudre ce problème, une interpolation est appliquée afin de compléter et lisser ces zones vides. Les cartes raster indiquent le niveau de bruit ambiant généré par le trafic maritime dans la zone. Le bruit produit par les navires dépasse celui généré par le vent et les vagues, en particulier dans les zones à forte densité de trafic ou sur les routes maritimes. L'objectif principal de ces cartes est d'identifier le niveau de bruit d'origine anthropique.

3.3.2.1 Etalonnage du Modèle

Les données produites à partir des mesures in situ sont utilisées pour étalonner le modèle établi. Les résultats produits par le modèle sont comparés à des valeurs moyennées issues des données mesurées in situ. Les ordres de grandeur ainsi comparés permettent de valider le bon paramétrage du modèle et des données d'entrées.

La précision du modèle est fournie notamment par le calcul de l'incertitude qui valide la qualité des calculs effectués.

3.3.2.2 Définition des aires d'étude

Dans le cas d'implantation des éoliennes au large de la Bretagne Sud, deux aires d'étude pour la modélisation sont illustrées dans la **Figure 10** et sont présentées dans les paragraphes suivants.

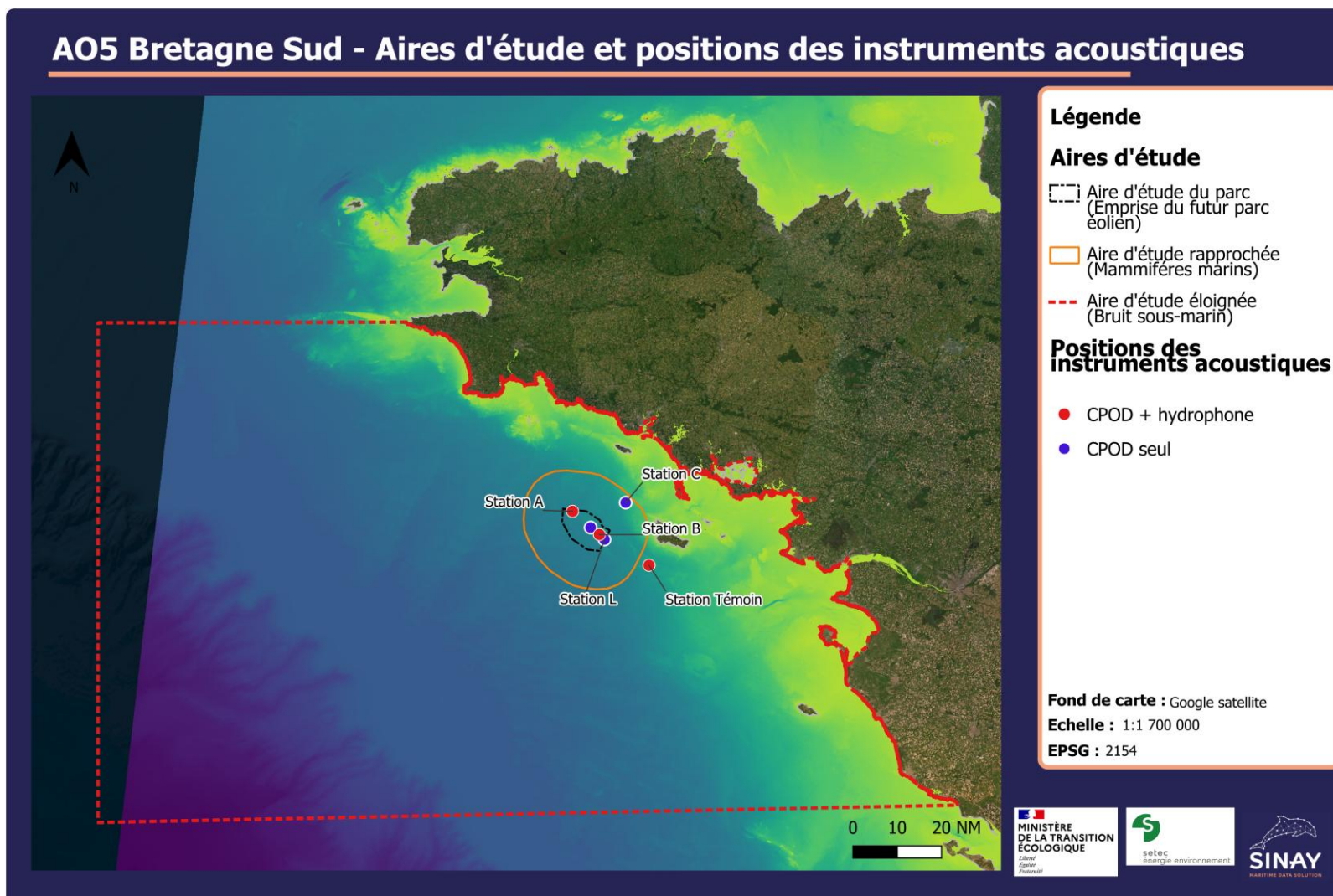


Figure 10 : Aires d'étude du projet de parc éolien au large de la Bretagne Sud. L'aire d'étude éloignée (trait pointillé rouge) et l'aire d'étude rapprochée (en trait plein orange) puis l'air du parc (en trait pointillé noir).

3.3.2.2.1 L'aire d'étude éloignée

L'aire d'étude éloignée est la zone qui englobe tous les effets potentiels du projet, y compris ceux relatifs à l'utilisation de l'habitat et aux impacts cumulés. Le périmètre de cette aire d'étude a été défini de la pointe du Raz au Nord-Ouest jusqu'à la Tranche-sur-Mer au Sud-Est. Dans le cadre de l'état initial, cette aire a été retenue pour l'analyse du bruit sous-marin.

L'aire d'étude éloignée permet de situer la zone du parc et son aire d'étude rapprochée par rapport à une échelle plus large, dans le cadre de la modélisation du bruit réalisée pour cette étude.

Un tel périmètre doit notamment permettre d'identifier :

- Les caractéristiques de la propagation de bruit généré par les activités anthropiques comme le trafic maritime ;
- Les principales conditions environnementales de propagation, les sources de bruits associées aux types d'activités maritimes et l'établissement des prévisions de distributions du bruit ambiant ;
- Les espèces qui font un usage régulier, mais non exclusif de la zone de projet à certains stades de leur cycle biologique parce qu'elles y trouvent un milieu propice au nourrissage, à la reproduction, à la mise bas des jeunes ou bien comme zone de repos ;
- Les espèces qui font un usage plus occasionnel de la zone de projet en la traversant lors de phases de migration.

3.3.2.2.2 L'aire d'étude rapprochée

L'aire d'étude rapprochée, englobe la zone d'implantation du parc éolien dans un rayon de 10 miles nautiques. C'est à l'intérieur de cette aire que se feront sentir, principalement, les effets directs du projet ainsi que certains effets indirects. Cette zone se rapporte également au périmètre des études environnementales permettant d'évaluer le bruit ambiant et les fonctionnalités de la zone d'implantation du projet de parc éolien au large de la Bretagne Sud pour les cétacés. Il s'agit du périmètre d'étude des campagnes en mer. La zone de projet est délimitée par un contour en trait plein sur la **Figure 10**.

3.4 PARAMETRES MESURES ET ANALYSE DES CETACES

En ce qui concerne la présence de cétacés, l'indicateur fondamental dérivé des détections de signaux bioacoustiques est le nombre de clic par heure. Cette quantité est à la base de l'évaluation de la variabilité spatiale et temporelle. Aussi, sont utilisés pour l'étude de présence, le nombre d'heures contenant au moins une détection de clics (DPH, de l'anglais *Detection-positive hours*) ainsi que le taux de rencontre (nombre de DPH divisé par le nombre d'heures d'enregistrement, en %).

Dans le cadre de ce rapport, les DPH et le nombre de clics par heure jouent des rôles distincts mais complémentaires pour l'analyse de la fréquentation et des comportements des cétacés.

- **Les DPH** sont utilisés comme un indicateur simple et robuste pour fournir une vision globale de la fréquentation des stations. Ce choix méthodologique permet de :
 - Mettre en évidence la présence des espèces dans chaque station, sans être influencé par les variations dans l'intensité des vocalisations.
 - Répondre aux objectifs d'identification des zones où les cétacés sont fréquemment présents, notamment dans le cadre d'analyses initiales ou exploratoires.

Cependant, les DPH sont volontairement limités à cet usage, car leur résolution temporelle ne permet pas de définir les changements comportementaux ou les variations fines nécessaires pour des analyses approfondies.

- **Le nombre de clics par heure** : constitue l'indicateur principal pour des analyses approfondies. Cette approche est particulièrement adaptée pour :
 - Les variations temporelles (annuelles, saisonnières, mensuelles et horaires) : le suivi des clics permet de décrire précisément l'évolution de l'activité acoustique des cétacés sur différentes échelles de temps.
 - Les analyses comportementales : les trains de clics permettent d'identifier des comportements spécifiques, comme l'écholocalisation, associée à la navigation, à la chasse (les activités sociales sont analysées à partir des sifflements).
 - Les corrélations avec les facteurs environnementaux : les clics sont également utilisés pour explorer les relations entre l'activité acoustique et les paramètres environnementaux (ex. température, bruit anthropique, disponibilité des proies).

Cette granularité permet d'aller au-delà de la simple détection et de comprendre comment et pourquoi les cétacés utilisent les différentes zones d'étude.

- **L'approche méthodologique**, qui combine l'utilisation des DPH pour une évaluation globale et celle des clics pour des analyses détaillées, répond aux objectifs suivants :
 - Assurer une vision large et accessible des fréquentations globales des stations par les cétacés.
 - Offrir une base solide pour des analyses avancées, tenant compte de la variabilité temporelle et des comportements spécifiques.
 - Apporter des éléments quantifiables et reproductibles pour les analyses BACI/BAG et les corrélations environnementales.

Cette distinction méthodologique garantit la fiabilité des résultats et leur pertinence pour répondre aux enjeux de l'état initial. De plus, les analyses relevant des approches *BACI* et *BAG* portent sur la comparaison entre stations. Aussi, la dépendance aux conditions météo-océaniques et anthropiques est étudiée à l'aide de techniques statistiques adaptées. Enfin, l'identification des principaux comportements sur la base des caractéristiques bioacoustiques des signaux biologiques enregistrés a été réalisée.

3.4.1 Traitement des données bioacoustiques

Le traitement des fichiers audio, issus des enregistreurs, est réalisé avec des algorithmes IA développés en partenariat entre SINAY et CHORUS pour détecter les clics et les sifflements de cétacés. Un expert acoustique supervise la vérification des analyses automatisées, évaluant la pertinence de la classification.

Il examine également les taux de faux positifs et de détections manquées en écoutant les fichiers acoustiques et inspectant les spectrogrammes. La détection des clics par les POD, en revanche, est réalisée par un algorithme propriétaire embarqué et l'extraction est faite à l'aide du logiciel POD.exe fourni par Chelonia Ltd®. Dans les deux cas, la détection concerne les Marsouins commun et la famille de Delphinidés. Dans cette étude, seules les détections associées à un indice de confiance élevé ont été retenues. Chaque détection ou classification réalisée par le système est accompagnée d'un indice de confiance (élevé, modéré, faible), reflétant la fiabilité des données collectées et évitant ainsi les fausses détections. En se concentrant exclusivement sur les indices de confiance élevés, il a été possible de garantir une analyse précise et robuste du statut de fréquentation des Delphinidés et des Phocoenidés, basée uniquement sur leurs émissions de clics.

Une base de données des détections est construite pour le Marsouin commun et une autre pour les Delphinidés avec le nombre de clics détectés par heure, les heures avec détection (DPH), et le taux de rencontre. Une troisième base de données concerne les sifflements de Delphinidés.

3.4.2 Analyse des performances de détections et implications pour l'interprétation des résultats

Une analyse comparative entre données acquises par enregistreur et par POD a été réalisée sur une campagne complète. La méthode de comparaison est présentée en **Annexe 10.3**. Il en ressort que les algorithmes :

- Des CPOD détectent entre **2** et **13%** des signaux captés par l'enregistreur.
- Des FPOD détectent entre **7** et **30%** des signaux captés par l'enregistreur.

La différence de performance entre les détections réalisées par POD et celles réalisées avec des enregistreurs large bande est connue en littérature scientifique. Des tests de corrélation publiés d'après une étude menée au Danemark (Sarnocinska et al., 2016) indiquent que les POD détectent entre 1 et 5% des clics détectés par le logiciel PAMGUARD sur les fichiers audios collectés par un enregistreur. Cependant, cette étude indique aussi que la corrélation entre détections issues des deux instruments est significative, ce qui implique que les deux instruments détectent le même type de variation de présence de Marsouin, bien que le pouvoir explicatif (r^2) des tests présentés dans cette étude soit plutôt faible. Les résultats d'une autre étude menée aux Etats Unis (Jacobson et al., 2017) également avec CPOD et enregistreurs présentent des différences moins marquées (13% de clics en moins pour le CPOD) et une bonne corrélation (r^2 élevé). Les résultats exposés dans la présente étude s'apparentent à ceux de Sarnocinska (2016) en ce qui concerne les CPOD. Des tests de corrélations doivent tout de même être menés pour approfondir ces résultats. En ce qui concerne les FPOD, il s'agit à notre connaissance des premières données de performance pour cet instrument par rapport aux détections obtenues avec enregistreurs large bande.

Les éventuelles raisons des divergences examinées dans les deux études précédentes sont principalement d'ordre technique, liées à la configuration des algorithmes de détection des POD. Une troisième étude (Clausen et al., 2019) suggère que les variations dans les détections des POD par rapport à celles de PAMGUARD sur des fichiers audios enregistrés peuvent être attribuées à des comportements différents des algorithmes de détection en réponse au niveau de bruit ambiant.

Dans notre étude, en revanche, le rayon de détection émerge comme la cause probable des divergences observées entre les détections des POD et celles de nos algorithmes sur les enregistrements réalisés avec les instruments DORI. En effet, les rayons de détection varient de 600 à 2000 m pour les clics et de 1500 à 4000 m pour les sifflements, en se basant sur nos premières estimations avec un modèle théorique validé

par des tests in-situ pour les sifflements. Pour les POD, les rayons de détection vont de 188 m à 900 m selon différentes sources (Nuuttila et al., 2018a; Roberts & Read, 2015a). Le rayon plus étendu pour les enregistreurs fait que la probabilité de capter un signal biologique est majeure, ainsi que l'extension de la zone de détection. Le rayon de détection dépend en réalité de l'intensité de la source, de sa bande de fréquence et des niveaux de bruit ambiant pouvant éventuellement masquer les signaux biologiques et il n'y a donc pas de limite de détection théorique quand le bruit ambiant est faible. D'après les études disponibles, les Rorquals communs peuvent être détectés à plus de 100 km de distance, 10 km le Petit rorqual, 30 km les Baleines à bosse, plusieurs dizaines de kilomètres les sifflements de Delphinidés (Van Geel et al. 2022).

Un rayon de détection plus étendu implique qu'un enregistreur apporte un niveau d'information à plus grande échelle par rapport au POD. Pour cela, l'analyse de données des enregistreurs semble être adaptée pour capter des tendances globales de présence sur les zones de déploiement, et donc pour comparer les résultats entre stations Témoin et zone du parc selon une approche *BACI* classique. En revanche, du fait du petit rayon de détection, les résultats des détections obtenus avec POD apparaissent plus adaptés pour évaluer la présence à petite échelle et donc mettre en valeur les différences entre stations selon l'approche *BAG*.

Au vu des différences de détection, les analyses sont divisées en deux chapitres distincts :

1. Analyses des enregistreurs : stations A, B et Témoin ;
2. Analyses des POD : station A, O, B, L, C et Témoin.

3.4.3 Indicateurs de présence, fréquentation et comportement des cétacés

Une fois les signaux biologiques extraits, les bases de données des détections de Marsouin et des Delphinidés sont traitées en *R*. Les variations de présence journalières et saisonnières sont mises en évidence ainsi que les différences entre stations et par zone.

Les indicateurs de présence reposent sur plusieurs mesures :

- Le nombre de détections par heure (clics pour les Marsouins, clics et sifflements pour les delphinidés) ;
- Le nombre d'heures avec détection (DPH) ;
- le taux de rencontre (DPH divisé par le nombre total d'heures d'enregistrement).

Conformément aux recommandations méthodologiques, l'activité bioacoustique est interprétée comme un indicateur de présence, et non d'abondance (Teilmann et al. 2002, Carstensen et al. 2006, Tougaard et al. 2006, Diederichs et al. 2008b).

Pour décrire les différences de taux de rencontre entre station, selon l'approche *BACI*, un taux de rencontre moyen de la présence des cétacés est calculé pour l'ensemble de la zone d'étude (toutes stations confondues). Ensuite, le pourcentage de différence par rapport à cette moyenne est déterminé pour chaque station. Cette évaluation repose sur l'utilisation du taux de rencontre, calculé en divisant le nombre de détections positives par le nombre d'heures de suivi.

La résolution horaire est considérée d'une granularité adéquate pour l'étude de l'état initial sur une période longue (2 ans). Le taux de détection horaire est utilisé pour décrire les variations journalières. Cet indicateur est ensuite agrégé au niveau d'un jour (nombre de clics par jour) pour l'étude de la variabilité saisonnière.

La significativité des différences temporelles est testée avec le test statistique non paramétrique de Mann-Whitney⁷.

⁷ Le choix d'un test non-paramétrique est due à la distribution non-normale (non-gaussienne) des taux de détection.

3.4.4 Analyses spatio-temporelles

Les résultats des analyses comparatives des différents sites échantillonnés sont présentés sous forme de graphiques à violons utilisant une échelle logarithmique (log10). Chaque violon représente la distribution de clics journaliers des Delphinidés et Marsouins sur la période totale d'échantillonnage, ainsi que la médiane et les quartiles. Le test Mann-Whitney (MW) est utilisé pour tester la significativité des différences de présence car, comme pour les différences temporelles, la distribution des taux de détection par station est non-gaussienne.

Pour complétude et transparence, les résultats de l'ensemble de ces analyses sont exposés. En revanche, sur la base des raisonnements concernant les rayons de détection présentés à la section précédente, l'interprétation et les conclusions sont basés sur les résultats suivants :

- **Impact/Témoin (BACI)** : données des enregistreurs portant sur les différences globales entre zones impact et Témoin.
- **Analyse fine échelle (BAG)** : données des POD pour évaluation des variations autour de chaque site.
- **Comparaison côte/large** : la présence d'un POD sur la station C permet d'identifier les différences entre la zone côtière et le large.

3.4.5 Dépendances aux conditions environnementales et anthropiques

Pour construire un modèle explicatif des variations de l'activité bioacoustique, une série de variables environnementales a été prise en compte. Leur est réalisé sur la base de connaissances existantes sur les variables ayant un pouvoir explicatif sur la distribution de cétacés :

- **Cinq variables abiotiques** : la température de surface (SST), la température au fond, la salinité, la vitesse du courant et la profondeur.
- **Trois variables biogéochimiques** : la production primaire, la biomasse de zooplancton, et l'oxygène dissous.

Les données environnementales et biogéochimiques sont issues de la base de données [Copernicus](#). La profondeur est obtenue du modèle digital harmonisé mis à disposition par EMODnet.

Les modèles statistiques de type GAM (*Generalized Additive Models*) sont ensuite ajustés afin d'identifier quelles variables sont significativement influentes sur l'activité bioacoustique. Ces modèles offrent la possibilité d'expliquer une variable dépendante (le nombre de clic journaliers) avec une combinaison de prédictors linéaires et non-linéaires, et de visualiser les effets partiels de chaque variable identifiée comme importante. La variable dépendante étant un comptage, la distribution binomiale-négative a été choisie comme famille de représentation, et la fonction de logarithme comme lien de la variable dépendante.

Quatre modèles GAM sont réalisés : deux pour l'activité des Delphinidés (avec les données POD et celle des enregistreurs) et deux pour l'activité des Marsouins. À chaque approche, plusieurs combinaisons de variables explicatives sont testées pour évaluer la représentativité de chaque variable sur le taux de détection. La sélection du meilleur modèle est faite en fonction de la variance expliquée (en %), et des diagnostics des résiduels (Q-Q, histogramme des fréquences, distribution vs prédicteur linéaire, et distribution des valeurs observées vs ajustées).

Pour vérifier le possible effet des événements de bruit anthropique sur l'activité bioacoustique, les données de bruit ont été analysées pour en discerner des périodes contenant des événements sonores (comme le passage de navire). La méthode utilisée consiste à filtrer et regrouper des données temporelles afin d'identifier les moments où les valeurs $L_{p,rms}$ dépassent un seuil spécifique (> 110 dB re μPa) pendant une période d'au moins 10 minutes, suivant des variations gaussiennes. Cela indique ainsi une élévation du niveau de bruit pendant un laps de temps avant de revenir au niveau de bruit ambiant. Cette élévation brève dans le temps peut être due à diverses activités, telles que le passage de navires ou des activités de pêche à proximité de l'hydrophone, ou encore à des événements naturels tels que les tempêtes.

Les données de clics provenant des hydrophones (stations A, B, Témoin) ont été regroupées : chaque heure d'observation a été assignée à un niveau du facteur « Évènement », selon si un évènement était en cours ou avait eu lieu dans les 12 heures suivantes. Les différences de moyennes d'activité bioacoustique horaire, entre les deux niveaux et entre stations, ont été vérifiées avec des tests de Welch.

3.4.6 Nature des signaux et possibles significations

La mesure de l'intervalle entre les clics (ICI) est utile pour identifier les détections associées à des comportements de chasse du Marsouin (Bergès et al., 2019). En effet, les émissions de trains de clic avec ICI très faible, nommés buzz, sont mis en relation avec la poursuite d'une proie.

L'ICI a été utilisé dans cette étude à partir des données des POD pour quantifier les proportions de comportement de chasse par rapport aux autres types de comportement. Chaque train de clics a été associé à un comportement suivant les informations connues en littérature (H. Nuuttila et al., 2013; Tellechea, 2020). Pour les Marsouins, quand la moyenne des intervalles d'un train était de 10 ms ou moins, un comportement de chasse/écholocation a été associé au train, et un comportement de déplacement dans les autres cas. Pour les Delphinidés, nous avons utilisés deux seuils : 10 ms et 130 ms. Les trains de clic avec valeurs ICI inférieurs à 10 ms ont été classés comme chasse/écholocation, entre 10 et 130 ms comme socialisation, supérieurs à 130 ms comme déplacement.

La répartition des types d'activité a été étudiée sur le cycle journalier (distribution sur les 24 heures), saisonnier, et interannuel. La relation avec la photopériode (intervalle horaire d'ensoleillement) a été aussi étudiée en regroupant toutes les données et les représentant sur une surface bi-dimensionnelle.

4. EVOLUTION DU NIVEAU DE BRUIT DANS LA ZONE D'ETUDE DURANT LA PERIODE D'ENREGISTREMENTS

4.1 QUANTIFICATION DES NIVEAUX DE BRUIT DANS LA LARGE BANDE [25 Hz – 180 kHz]

Les niveaux sonores ont été suivis dans la bande de fréquences allant de 25 Hz à 180 kHz au cours de de la première année puis de la seconde année d'acquisition, pour chaque enregistreur acoustique déployé aux stations A, B et Témoin. Cette bande de fréquences englobe les principales émissions sonores anthropiques (telles que le trafic maritime, les sonars, les activités de pêche, etc.), environnementales (comme la houle, le vent, les vagues, la hauteur d'eau, etc.) et biologiques (notamment l'activité des mammifères marins et des espèces benthiques, etc.).

Les **Tableau 4**, **Tableau 6** et **Tableau 8** présentent les niveaux L_p , la distribution du bruit selon 6 percentiles ($P1 - P5 - P10 - P50 - P95 - P100$).

4.1.1 Zone Nord du parc – Station A

Les informations présentées dans le **Tableau 4** permettent d'établir, pour la station A, le niveau de bruit moyen, sa représentativité ainsi que sa distribution sur deux années.

Tableau 4 : Niveaux de bruit L_p [25 Hz – 180 kHz] de la station A (exprimés en dB re $1\mu Pa$) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à automne 2024).

Saison	Station A	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
ANNÉE 1									
Automne	Campagne 1	100,61	2,98	98,53	98,82	98,99	99,8	104,93	137,71
Hiver	Campagne 3	102,20	3,78	99,21	99,58	99,82	100,86	112,78	145,87
Hiver	Campagne 4	100,33	1,82	98,85	99,04	99,15	99,99	102,52	149,04
Printemps	Campagne 4B	100,02	1,30	98,73	98,85	98,97	99,80	101,75	135,43
Printemps	Campagne 5	99,64	1,44	98,79	98,87	98,93	99,37	100,92	146,02
Printemps	Campagne 6	99,40	1,052	98,59	98,64	98,69	99,26	100,51	143,81
Été	Campagne 7	99,19	1,02	98,72	98,73	98,75	98,98	100,11	139,68
Été	Campagne 8	99,56	0,93	98,87	98,93	98,98	99,32	100,81	133,38
Été	Campagne 9	99,39	1,68	98,52	98,56	98,61	99,03	101,07	150,84
Automne	Campagne 11	101,30	4,94	98,67	98,71	98,75	99,71	111,05	151,02
ANNÉE 2									
Automne	Campagne 12	100,35	1,62	99,01	99,18	99,31	100,04	102,12	143,42
Hiver	Campagne 13	101,04	1,99	99,17	99,47	99,64	100,54	104,08	146,95
Hiver	Campagne 14	100,06	1,41	98,68	98,83	98,98	99,78	102,04	148,94
Printemps	Campagne 15	100,36	1,48	98,97	99,16	99,31	100,08	102,18	140,96
Printemps	Campagne 16	100,11	1,42	98,66	98,85	98,97	99,83	102,17	148,96
Printemps	Campagne 17	100,09	1,5	98,61	98,75	98,87	99,73	102,64	142,5

Saison	Station A	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
Été	Campagne 18	99,69	1,25	98,55	98,65	98,75	99,46	101,24	145,77
Été	Campagne 19	99,55	1,03	98,91	98,97	99,02	99,38	100,55	144,91
Été	Campagne 20	99,4	1,35	98,65	98,71	98,75	99,12	100,84	139,53
Automne	Campagne 21	99,64	1,51	98,78	98,82	98,86	99,32	101,18	139,24
Automne	Campagne 22	100,41	2,98	98,7	98,78	98,87	99,45	104,62	140,5
Automne	Campagne 23	99,81	1,33	98,81	98,89	98,97	99,45	101,67	141,01

- Bruit moyen par saison**

L'analyse des niveaux de bruit moyen L_p (**Tableau 5**), par saison révèle que le paysage sonore au niveau de la station A est plus bruyante en hiver qu'en été de 1,88 dB re μPa pour la 1ère année et de 1,01 dB re μPa pour la 2ème année. Les moyennes des niveaux de bruit dans la large bande [25 Hz – 180 kHz] reste dans le même ordre de grandeur (<1dB) d'une année sur l'autre.

Tableau 5 : Niveaux de bruit moyens obtenus par saison sur les 2 années d'étude sur la station A.

SAISONS	BRUIT ANNÉE 1 (dB re μPa)	BRUIT ANNÉE 2 (dB re μPa)	DIFFERENCES INTERANNUELLES (dB re μPa)
HIVER	101,26	100,55	0,71
PRINTEMPS	99,69	100,18	-0,49
ÉTÉ	99,38	99,54	-0,16
AUTOMNE	100,95	100,35	0,6

- Percentiles**

Les percentiles 95, 50 et 10 représentent les niveaux de bruit qui sont atteint respectivement pendant 5 %, 50 % et 95 % du temps pour chaque campagne.

Sur la 1ère année d'étude, seules les saisons automne et hiver présentent un percentile 95 variant entre 4 et 10 dB re μPa par rapport à la moyenne. Le reste des saisons présente des variations des percentiles 10 et 95 rapprochés de la moyenne (+/- 2 dB re μPa).

Sur la 2ème année d'étude, seule la campagne n°22, en automne, présente un percentile 95 variant de presque 3 dB à la moyenne. Les restes des campagnes et saisons présentent des variations des percentiles 10 et 95 rapprochés de la moyenne (+/- 2 dB re μPa).

Sur les 2 années de suivi, un caractère homogène et centré sur les valeurs de bruit moyen est mis en évidence. Cependant, la saison hivernale de la 1ère année témoigne d'une variation plus importante par rapport à la moyenne.

- Extremum**

Les niveaux de bruit maximum enregistrés lors de chaque campagne sont représentés dans le percentile P100 et dont les valeurs ne sont pas représentées dans le Percentiles P95. Cette non-représentation renseigne sur le caractère très ponctuel de la valeur maximale enregistrée. Dans le contexte de cette étude

l'explication la plus probable se trouve dans le passage de navires au-dessus du point de mesure (station A).

Les niveaux de bruit minimal enregistrés lors de chaque campagne sont représentés dans le percentile P1 et dont les valeurs des Percentiles P5, P10 et P50 sont très proches. La proximité de ces valeurs témoigne d'un environnement stable sur les deux années, et renforce la probabilité que le Percentile P100 soit le marqueur de passage de navire à la verticale de l'hydrophone.

La zone Nord du parc (Station A) est caractérisée par un niveau de bruit moyen sur les deux années de **100,24 dB re μ Pa**. Ce niveau est stable sur les deux années avec un écart type de **0,72 dB re μ Pa**.

Ce niveau de bruit moyen peut être considéré comme peu bruyant. En effet, il est inférieur à celui de sites où le trafic maritime est plus dense, comme la Manche Est, où les valeurs de l'état de référence du parc éolien de Fécamp (Sinay, 2021) varient entre 131 dB (large cap d'Antifer) et 107 dB (zone du futur parc éolien en mer).

De même, ces valeurs peuvent être comparées à des mesures de bruit moyen réalisées en milieu portuaire, comme le montre l'état acoustique du port des Bas Sablons et du Terminal du Naye à Saint-Malo (Sinay, 2019), avec des niveaux de 117 dB.

Les variations intersaisons observées sur la 1ère année entre l'été et l'hiver restent dans l'ordre de grandeur des variations moyennes. **Les variations du bruit moyen sur la seconde année ne témoignent pas de variation entre les saisons.**

L'analyse des percentiles et extremum confirme, par un écart-type moyen à **1,81 dB re μ Pa**, traduisant la **faible amplitude du bruit moyen mesuré sur les deux années d'étude**.

4.1.2 Zone Sud du Parc – Station B

Les informations présentées dans le **Tableau 6** permettent d'établir, pour la station B, le niveau de bruit moyen, sa représentativité ainsi que sa distribution sur deux années.

Tableau 6 : Niveaux de bruit L_p [25 Hz – 180 kHz] de la station B (exprimés en dB re 1μ Pa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2024).

Saison	Station B	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
ANNÉE 1									
Automne	Campagne 1	100,91	2,63	99,44	99,57	99,64	100,23	104,39	142,98
Hiver	Campagne 3	102,04	2,74	99,53	99,75	99,94	101,0	105,31	143,63
Hiver	Campagne 4	100,18	2,06	98,82	98,91	98,97	100,03	101,59	168,22
Printemps	Campagne 4B	99,84	1,24	98,67	98,77	98,8	99,61	101,70	134,65
Printemps	Campagne 5	99,73	1,45	98,93	98,99	99,04	99,43	101,08	147,73
Printemps	Campagne 6	99,31	1,09	98,54	98,63	98,71	99,17	100,13	146,00
Été	Campagne 7	99,34	1,22	98,66	98,69	98,72	99,07	100,59	140,65
Été	Campagne 8	99,48	1,31	98,76	98,80	98,83	99,17	100,88	151,36
Été	Campagne 9	99,41	1,34	98,87	98,89	98,91	99,13	100,47	154,91

Saison	Station B	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
Automne	Campagne 11	99,98	1,63	98,52	98,57	98,63	99,70	102,23	144,10
ANNÉE 2									
Automne	Campagne 12	100,27	1,49	98,93	99,05	99,14	99,98	102,13	148,84
Hiver	Campagne 13	100,48	1,36	99,15	99,36	99,5	100,17	102,25	150,95
Hiver	Campagne 14	100,16	1,52	98,87	98,96	99,06	99,82	102,2	152,59
Printemps	Campagne 15	100,4	1,85	98,83	99,01	99,17	100,04	102,57	141,84
Printemps	Campagne 16	100,14	1,38	98,84	98,94	99,06	99,88	102,08	147,8
Printemps	Campagne 17	99,93	1,34	98,97	99,05	99,12	99,62	101,66	140,41
Été	Campagne 18	99,68	1,23	98,95	99,0	99,05	99,47	100,8	135,73
Été	Campagne 19	99,42	1,04	98,66	98,72	98,76	99,19	100,81	127,5
Été	Campagne 20	99,46	1,38	98,77	98,81	98,84	99,16	100,84	142,4
Automne	Campagne 21	99,45	1,38	98,54	98,59	98,64	99,15	101,21	142,17
Automne	Campagne 22	99,48	1,04	98,8	98,85	98,89	99,27	100,59	140,14
Automne	Campagne 23	99,83	1,5	98,61	98,7	98,8	99,42	101,83	144,05

• Bruit moyen par saison

L'analyse des niveaux de bruit moyen Lp (**Tableau 7**), par saison révèle que le paysage sonore au niveau de la station B est plus bruyant en hiver qu'en été de 1,7 dB re μPa pour la 1ère année et de 0,8 dB re μPa pour la 2ème année. Les moyennes des niveaux de bruit dans la large bande [25 Hz – 180 kHz] reste dans le même ordre de grandeur (<1dB) d'une année sur l'autre.

Tableau 7 : Niveaux de bruit moyens obtenus par saison sur les 2 années d'étude sur la station B.

SAISONS	BRUIT ANNÉE 1 (dB re μPa)	BRUIT ANNÉE 2 (dB re μPa)	DIFFERENCES INTERANNUELLES (dB re μPa)
HIVER	101,11	100,32	0,79
PRINTEMPS	99,63	100,16	-0,53
ÉTÉ	99,41	99,52	-0,11
AUTOMNE	100,45	99,75	0,7

• Percentiles

Les percentiles 95, 50 et 10 représentent les niveaux de bruit qui sont atteint respectivement pendant 5 %, 50 % et 95 % du temps pour chaque campagne. L'ensemble des saisons présente des percentiles 10 et 95 rapprochés de la moyenne (inférieur ou égal à 2 dB re μPa).

Sur les 2 années de suivi, un caractère homogène et centré sur les valeurs de bruit moyen est mis en évidence.

- **Extremum**

Les niveaux de bruit maximum enregistrés lors de chaque campagne sont représentés dans le percentile P100 et dont les valeurs ne sont pas représentées dans le Percentiles P95. Cette non-représentation renseigne sur le caractère très ponctuel de la valeur maximale enregistrée. Dans le contexte de cette étude, l'explication la plus probable se trouve dans le passage de navires au-dessus du point de mesure (station B).

Les niveaux de bruit minimal enregistrés lors de chaque campagne sont représentés dans le percentile P1 et les valeurs des Percentiles P5, P10 et P50 sont très proches. La proximité de ces valeurs témoigne d'un environnement stable sur l'année, et renforce la probabilité que le Percentile P100 soit le marqueur de passage de navire à la verticale de l'hydrophone.

La zone Sud-Est du parc (Station B) est caractérisée par un niveau de bruit moyen sur les années d'étude de **99,95 dB re μ Pa**. Ce niveau est stable sur les deux années avec une variation moyenne de **0,65 dB re μ Pa**.

Ce niveau de bruit moyen peut être considéré comme peu bruyant. En effet, il est inférieur à celui de sites où le trafic maritime est plus dense, comme la Manche Est, où les valeurs de l'état de référence du parc éolien de Fécamp (Sinay, 2021) varient entre 131 dB (large cap d'Antifer) et 107 dB (zone du futur parc éolien en mer

De même, ces valeurs peuvent être comparées à des mesures de bruit moyen réalisées en milieu portuaire, comme le montre l'état acoustique du port des Bas Sablons et du Terminal du Naye à Saint-Malo (Sinay, 2019), avec des niveaux de 117 dB.

L'analyse des percentiles et extremum confirme un écart-type moyen à **1,51 dB re μ Pa** traduisant la **faible amplitude du bruit moyen mesuré sur une année**.

4.1.3 Zone Sud-Est hors Parc – Station Témoin

Les informations présentées dans le **Tableau 8** permettent d'établir, pour la station témoin (T), le niveau de bruit moyen, sa représentativité ainsi que sa distribution sur deux années.

Tableau 8 : Niveaux de bruit L_p [25 Hz – 180 kHz] de la station T (exprimés en dB re 1μ Pa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2024).

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
ANNÉE 1									
Automne	Campagne 1	100,92	3,58	98,28	98,49	98,66	99,77	110,4	140,09
Hiver	Campagne 3	100,01	2,91	97,99	98,21	98,4	99,29	103,27	142,45
Hiver	Campagne 4	100,31	2,74	98,92	99,02	99,11	99,852	102,65	168,26
Printemps	Campagne 4B	100,03	1,78	98,91	98,98	99,04	99,62	101,94	144,49
Printemps	Campagne 5	99,27	1,6	98,48	98,50	98,54	98,90	101,00	155,61
Printemps	Campagne 6	99,29	0,90	98,83	98,85	98,87	99,16	99,90	141,24
Été	Campagne 7	98,98	1,11	98,46	98,47	98,48	98,72	100,09	143,76
Été	Campagne 8	99,24	1,27	98,62	98,64	98,65	98,93	100,64	143,27

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
Été	Campagne 9	99,13	1,27	98,711	98,718	98,72	98,85	100,10	141,90
Automne	Campagne 11	100,17	2,59	98,83	98,84	98,85	99,46	103,68	148,07
ANNÉE 2									
Automne	Campagne 12	100,18	1,9	98,65	98,77	98,87	99,77	102,55	143,76
Hiver	Campagne 13	100,38	1,75	98,99	99,17	99,3	99,9	102,78	151,14
Hiver	Campagne 14	100,18	1,99	98,95	99,02	99,09	99,62	102,99	135,05
Printemps	Campagne 15	101,01	2,78	98,91	99,09	99,21	100,2	106,27	143,47
Printemps	Campagne 16	99,94	1,74	98,91	98,98	99,04	99,55	101,66	142,39
Printemps	Campagne 17	99,39	1,23	98,78	98,82	98,86	99,19	100,29	138,01
Été	Campagne 18	100,13	2,7	98,95	99,0	99,05	99,49	102,39	135,73
Été	Campagne 19	99,08	0,82	98,7	98,71	98,72	98,95	99,68	141,08
Été	Campagne 20	98,89	1,16	98,45	98,46	98,48	98,69	99,62	146,2
Automne	Campagne 21	99,39	1,02	98,84	98,86	98,88	99,16	100,58	140,66
Automne	Campagne 22	99,24	1,21	98,5	98,53	98,56	98,98	100,47	144,0
Automne	Campagne 23	99,74	1,36	98,89	98,93	98,99	99,4	101,2	144,33

- Bruit moyen par saison**

L'analyse des niveaux de bruit moyen Lp (**Tableau 9**) par saison révèle que le paysage sonore au niveau de la station T est plus bruyant en hiver qu'en été de 1,04 dB re μPa pour la 1ère année et de 0,91 dB re μPa pour la 2ème année. Les moyennes des niveaux de bruit dans la large bande [25 Hz – 180 kHz] reste dans le même ordre de grandeur (<1dB) d'une année sur l'autre.

Tableau 9 : Niveaux de bruit moyens obtenus par saison sur les 2 années d'étude sur la station témoin (T).

SAISONS	BRUIT ANNÉE 1 (dB re μPa)	BRUIT ANNÉE 2 (dB re μPa)	DIFFERENCES INTERANNUELLES (dB re μPa)
HIVER	100,16	100,28	-0,12
PRINTEMPS	99,53	100,11	-0,58
ÉTÉ	99,12	99,37	-0,25
AUTOMNE	100,55	99,64	0,91

- Percentiles**

Les percentiles 95, 50 et 10 représentent les niveaux de bruit qui sont atteints respectivement pendant 5 %, 50 % et 95 % du temps pour chaque campagne. L'ensemble des saisons présente des percentiles 10 et 95 rapprochés de la moyenne (inférieur à 2,5 dB re μPa). Il est tout de même à noter que l'automne de la première année et le printemps de la seconde année font exception avec respectivement un écart maximum entre les percentiles 95 et 50 de l'ordre de 10 dB re μPa et de 6 dB re μPa .

- **Extremum**

Les niveaux de bruit maximum enregistrés lors de chaque campagne sont représentés dans le percentile P100 et dont les valeurs ne sont pas représentées dans le Percentile P95. Cette non-représentation renseigne sur le caractère très ponctuel de la valeur maximale enregistrée. Dans le contexte de cette étude, l'explication la plus probable se trouve dans le passage de navires au-dessus du point de mesure (station Témoin).

Les niveaux de bruit minimum enregistrés lors de chaque campagne sont représentés dans le percentile P1 et dont les valeurs des Percentiles P5, P10 et P50 sont très proches. La proximité de ces valeurs témoigne d'un environnement stable sur l'année, et renforce la probabilité que le Percentile P100 soit le marqueur de passage de navire à la verticale de l'hydrophone.

La zone Est, en dehors du parc (station T), est caractérisée par un niveau de bruit moyen sur l'année de **99,77 dB re μ Pa**. Ce niveau est stable sur les deux années avec une variation moyenne de 0,03 dB re μ Pa. Également, la variation moyenne entre l'hiver (**100,22 dB re μ Pa**) et l'été (**99,24 dB re μ Pa**) est de **0,98 dB re μ Pa**.

Ce niveau de bruit moyen peut être considéré comme peu bruyant. En effet, il est inférieur à celui de sites où le trafic maritime est plus dense, comme la Manche Est, où les valeurs de l'état de référence du parc éolien de Fécamp (Sinay, 2021) varient entre 131 dB (large cap d'Antifer) et 107 dB (zone du futur parc éolien en mer).

De même, ces valeurs peuvent être opposées à des mesures de bruit moyen réalisées en milieu portuaire bruyant, comme le montre l'état acoustique du port des Bas Sablons et du Terminal du Naye à Saint-Malo (Sinay, 2019), avec des niveaux de 117 dB.

L'analyse des percentiles et extremum confirme un écart-type moyen à **1,79 dB re μ Pa**, traduisant la **faible amplitude du bruit moyen mesuré sur une année**.

4.1.4 Corrélation du bruit aux conditions environnementales

L'étude du bruit ambiant a également été menée en considérant 2 facteurs environnementaux :

- L'analyse des données de hauteur d'eau pour chaque station et saison de la zone d'étude,
- L'analyse du cycle nycthéral pouvant se traduire par l'émission du bruit des espèces benthiques dans une gamme de fréquences comprises entre 4 kHz et 20 kHz.

Une corrélation entre ces variables a été recherchée, mais aucune relation évidente n'a été observée dans les échantillons analysés. Cependant, cette analyse constitue une étape importante pour comprendre l'impact potentiel des variables environnementales sur le bruit ambiant sous-marin. Les résultats de l'évolution du bruit en fonction de la hauteur d'eau pour des stations A, B et Témoin sont présentés en **Annexe 10.6**.

Les **Figure 11** et **Figure 12** permettent de visualiser sur un même axe temps, le niveau de bruit sous-marin mesuré en décibels (dB re μ Pa.) et la variation de la hauteur d'eau en mètres (m) de la station A en automne 2022 et à l'été 2023. La superposition des hauteurs d'eau et niveaux de bruit pour chaque station ne permet pas de mettre en évidence une corrélation. En effet, la bathymétrie moyenne sur la zone d'étude varie entre 80 et 100 m suivant les stations. Les variations de hauteur d'eau liées à la marée se traduisent par des amplitudes maximale de l'ordre de 5m soit des variations entre 5 à 6,25% et ne constituent pas un facteur suffisamment marquant pour identifier une corrélation avec les niveaux de bruit.

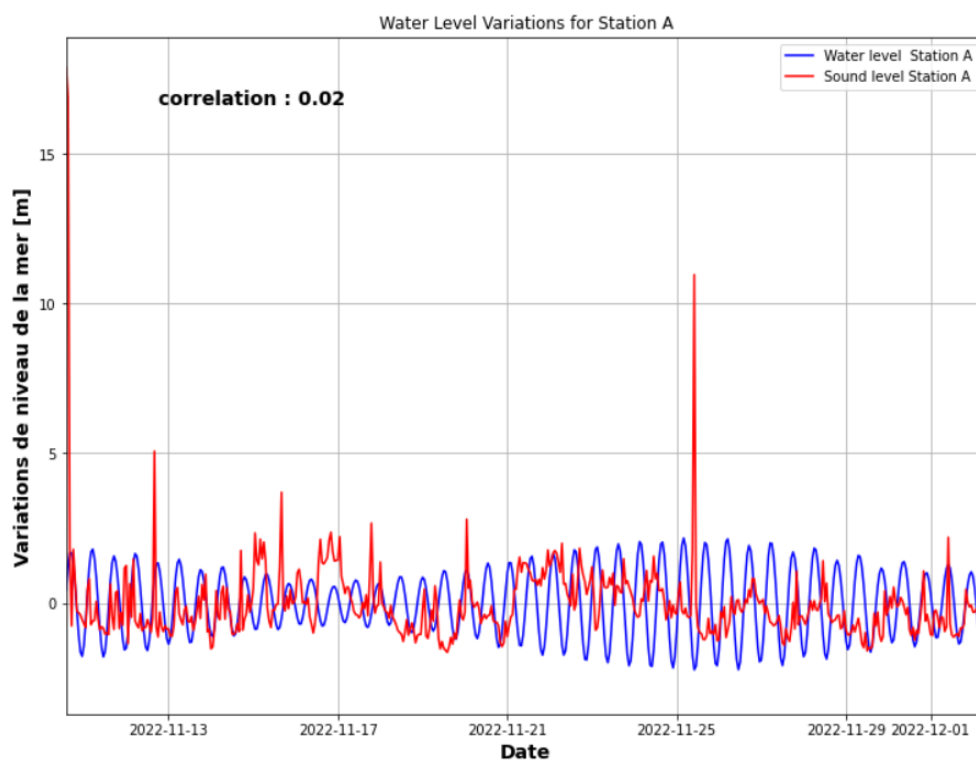


Figure 11 : Niveau de bruit sous-marin mesuré en décibels (dB re $\mu\text{Pa.}$) et la variation de la hauteur d'eau en mètres (m) dans la station A, à l'automne 2022.

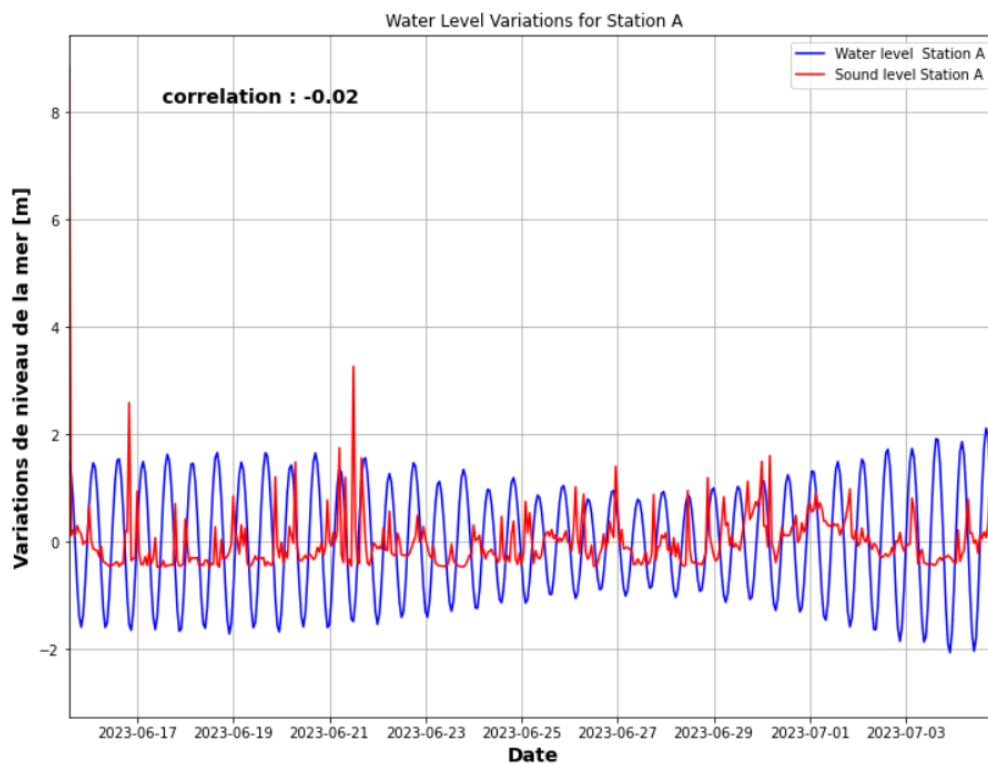


Figure 12 : Niveau de bruit sous-marin mesuré en décibels (dB re $\mu\text{Pa.}$) et la variation de la hauteur d'eau en mètres (m) dans la station A, à l'été 2023.

La **Figure 13** illustre le niveau de bruit moyen associé aux espèces benthiques (4 kHz à 20 kHz) en fonction des périodes de jour et nuit entre le 11/11/2022 et le 30/11/2022.

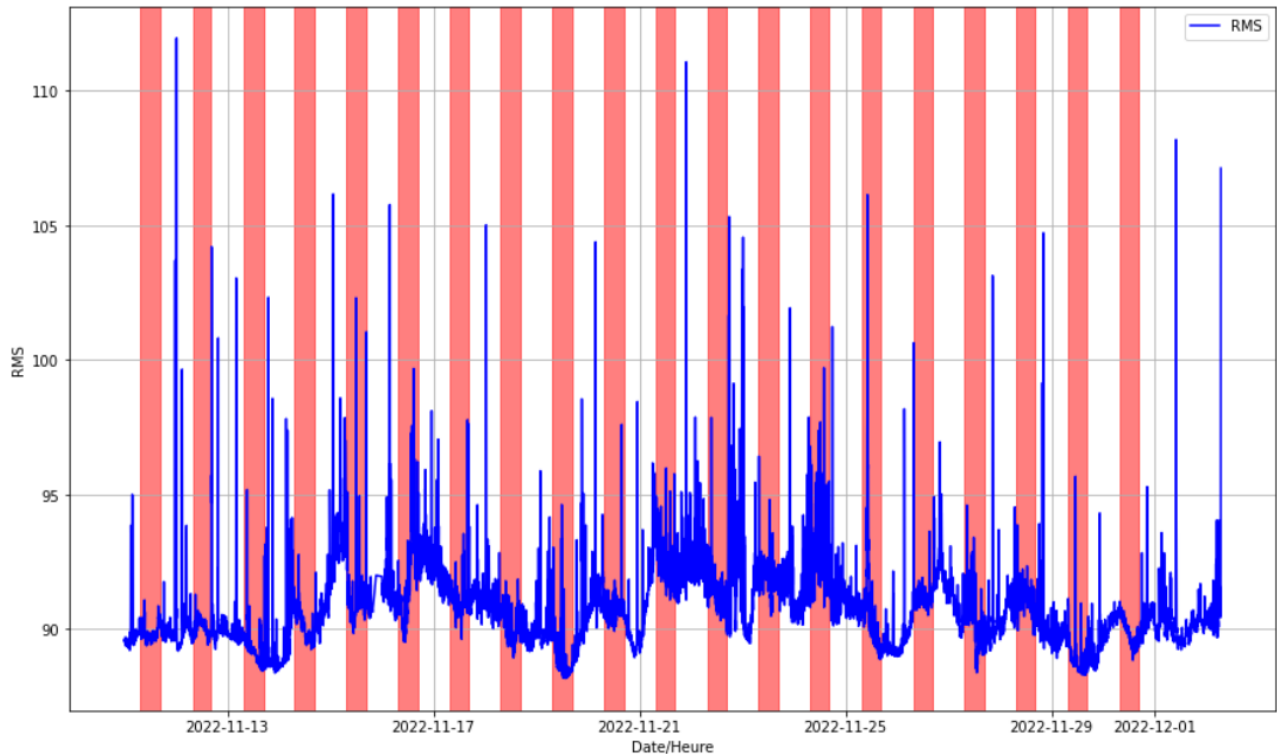


Figure 13 : Niveau de bruit sous-marin associé aux espèces benthiques (4 kHz à 20 kHz) mesuré en décibels (dB re μPa) en fonction du cycle nyctéméral (en orange les périodes de jour) du 11/11/2022 au 30/11/2022.

Aucune distinction claire entre le jour et la nuit en termes de niveaux sonores n'a été identifiée. Pour exemple, des périodes où le niveau sonore est plus élevé sont observées pendant la journée, tandis que dans d'autres cas, le niveau sonore est plus élevé la nuit. Cependant, dans la plupart des situations, la différence entre les niveaux sonores diurnes et nocturnes ne dépasse pas 1 dB.

4.2 ANALYSE DU BRUIT PAR BANDES FILTRÉES [63 Hz ET 125 Hz]

Les **Tableau 10** à **Tableau 15** portent sur les indicateurs définis dans le cadre du descripteur 11 de la DCSMM et donnent la répartition statistique des niveaux sonores en dB re $1\mu\text{Pa}$ relevés dans les bandes de tiers d'octave centrées à 63 Hz et 125 Hz pour chaque station. Ces bandes de fréquences sont généralement dominées par le bruit du trafic maritime.

La représentativité est exprimée avec les percentiles, qui indiquent pendant combien de temps, sur la période d'enregistrement, les différents niveaux ont été mesurés. La définition de percentile utilisée ici est celle communément utilisée en statistique où le percentile 1 peut approximer le niveau minimum, le percentile 100 représente le niveau sonore le plus élevé enregistré de toute la période, et le percentile 50 est le niveau médian.

4.2.1 Zone Nord du parc - Station A

Les informations présentées dans les **Tableau 10** et **Tableau 11** permettent d'établir pour la station A le niveau de bruit moyen, sa représentativité ainsi que sa distribution pour les deux années, dans les bandes de tiers d'octave centrées à 63 Hz et 125 Hz.

Tableau 10 : Niveaux de bruit Lp [63 Hz], de la station A (exprimés en dB re 1μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à automne 2024).

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
ANNÉE 1									
Automne	Campagne 1	70,7	6,5	65,5	66	66,3	68,9	79	117,8
Hiver	Campagne 3	71,9	6,4	66,4	66,9	67,2	70	82,6	133,5
Hiver	Campagne 4	71,6	6,1	67,4	67,9	68,1	69,9	80,6	132,2
Printemps	Campagne 4B	71,9	5,6	67,9	68,4	68,6	70,4	78	120
Printemps	Campagne 5	69,8	6,1	66,1	66,5	66,8	68,1	78	130,2
Printemps	Campagne 6	69,7	5,8	66,7	67	67,2	68,2	75,4	126,5
Été	Campagne 7	68	6	65,2	65,5	65,7	66,4	73,4	120
Été	Campagne 8	69,6	5,9	66,3	66,6	66,8	67,8	76,7	119,8
Été	Campagne 9	69	6,3	65,5	65,8	66	67,1	77,6	134,9
Automne	Campagne 11	75,7	10,2	67,2	67,7	68	71,7	99,2	138,6
ANNÉE 2									
Automne	Campagne 12	70,8	6,0	66,4	66,8	67,0	69,2	78,1	116,7
Hiver	Campagne 13	75,2	6,5	68,3	68,9	69,4	73,4	87,8	123,0
Hiver	Campagne 14	72,5	6,2	67,0	67,5	67,9	70,8	83,4	124,5
Printemps	Campagne 15	69,9	6,0	66,0	66,4	66,7	68,1	77,6	125,1
Printemps	Campagne 16	69,4	5,8	66,8	67,1	67,2	68,0	73,9	121,1
Printemps	Campagne 17	71,7	5,9	66,8	67,4	67,8	70,0	80,4	123,9
Été	Campagne 18	69,0	6,3	57,7	65,8	66,0	67,1	77,1	127,7
Été	Campagne 19	71,8	8,6	65,8	66,2	66,4	67,8	90,1	146,3
Été	Campagne 20	72,4	7,3	57,3	67,5	67,8	69,4	85,6	124,2
Automne	Campagne 21	71,0	6,3	66,3	66,7	67,0	69,1	81,4	133,4
Automne	Campagne 22	69,9	6,0	66,9	67,2	67,4	68,3	76,8	123,3
Automne	Campagne 23	68,8	6,2	65,5	65,8	66,0	66,9	75,8	120,0

- Année 1**

Pour la première année dans la zone Nord du parc (Station A), le niveau de bruit moyen à 63 Hz s'élève à 70,79 dB re μPa avec un écart-type moyen de +/- 6,49 dB re μPa. Les valeurs des percentiles 5 et 10 observés par saison varient peu (< 1 dB) et demeurent proche des niveaux de bruit moyen et médian (P50).

L'examen des niveaux de bruit moyen par saison révèle des niveaux plus élevés pour l'automne et l'hiver par rapport au printemps et à l'été.

En regardant le percentile 95, il est possible d'apprécier que les niveaux sonores soient inférieurs ou égale à la moyenne des percentiles 95 (80,05 dB re 1µPa) à l'exception des campagnes 3, 4 et 11. Ce percentile varie de 5,4 à 23,5 dB re µPa par rapport à la moyenne.

Les niveaux de bruit maximum, représentés par le percentile P100 qui, par définition, indique des valeurs ponctuelles, sont compris entre 117,8 et 138,6 dB re µPa selon les différentes campagnes. Ces niveaux indiquent un passage de navires proches de la station A. De même, les niveaux de bruit minimum, représentés par le percentile P1 dont les valeurs sont comprises entre 65,2 et 67,9 dB re µPa, sont proches des valeurs des Percentiles P5, P10 et P50 à chaque saison, suggérant un environnement stable tout au long de l'année.

- Année 2

Pour la seconde année, dans la zone Nord du parc (Station A), le niveau de bruit moyen à 63 Hz s'élève à 71,04 dB re µPa avec un écart-type moyen de +/- 6,43 dB re µPa. Les valeurs des percentiles 5 et 10 observées par saison varient peu (< 1 dB) et demeurent proche des niveaux de bruit moyen et médian (P50). L'examen des niveaux de bruit moyen par saison révèle des niveaux plus élevés pour l'automne et l'hiver par rapport au printemps et à l'été.

En regardant le percentile 95 de cette deuxième année, il est possible d'apprécier que les niveaux sonores soient inférieurs ou égale à la moyenne des percentiles (80,67 dB re 1µPa) à l'exception des campagnes 13, 14, et 19, 20 et 21. Ce percentile varie de 4,5 à 18,3 dB re µPa par rapport à la moyenne.

Les niveaux de bruit maximum, représentés par le percentile P100, sont compris entre 116,7 et 146,3 dB re µPa selon les différentes campagnes. Ces niveaux indiquent un passage de navires proches de la station A. De même, les niveaux de bruit minimum, représentés par le percentile P1 dont les valeurs sont comprises entre 57,30 et 68,30 dB re µPa, sont proches des valeurs des Percentiles P5, P10 et P50 à chaque saison, suggérant un environnement stable tout au long de l'année.

La zone Nord du parc (Station A) est caractérisée par un niveau de bruit moyen à 63 Hz de 70,92 dB re µPa sur les deux années. Ce niveau est stable sur les deux années avec un écart type de 0,12 dB re µPa.

Tableau 11 : Niveaux de bruit L_p [125 Hz], de la station A (exprimés en dB re 1µPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à automne 2024).

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
ANNÉE 1									
Automne	Campagne 1	73,6	5,4	67,8	68,6	69,2	72,3	82,2	119,8
Hiver	Campagne 3	75,9	6,3	68,6	70,1	70,9	73,9	90,3	130,2
Hiver	Campagne 4	74	5,1	69,4	70	70,4	72,7	81,8	132,6
Printemps	Campagne 4B	73,7	4,8	69,4	69,9	70,4	72,5	80,6	121,3
Printemps	Campagne 5	70,8	5,5	66,9	67,3	67,6	69,2	79,8	129,9
Printemps	Campagne 6	71,6	5,3	67,6	68	68,3	70,2	79,5	128,9
Été	Campagne 7	69,3	5,5	66,1	66,3	66,5	67,6	76,7	128,4
Été	Campagne 8	70,9	5,3	67,4	67,7	67,9	69,4	79,4	125
Été	Campagne 9	69,9	5,8	66,1	66,4	66,7	68,3	78,4	135,4

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
Automne	Campagne 11	76,7	9,1	68,4	68,9	69,2	73,9	96,2	138
ANNÉE 2									
Automne	Campagne 12	73,6	5,2	68,3	68,9	69,4	72,4	82,4	119,4
Hiver	Campagne 13	70,8	5,3	67,7	68,0	68,2	69,4	77,7	122,5
Hiver	Campagne 14	70,7	5,4	67,6	67,9	68,1	69,1	78,3	124,3
Printemps	Campagne 15	74,3	5,3	68,7	69,4	70,0	73,0	84,3	129,1
Printemps	Campagne 16	77,0	5,9	70,5	71,3	71,9	75,3	90,6	121,1
Printemps	Campagne 17	76,0	8,0	58,6	68,9	69,3	72,2	90,1	119,8
Été	Campagne 18	73,6	5,5	67,9	68,7	69,3	72,1	84,9	129,2
Été	Campagne 19	73,2	6,4	66,8	67,5	68,0	70,9	83,6	144,1
Été	Campagne 20	70,2	5,6	66,4	66,7	66,9	68,5	78,4	118,0
Automne	Campagne 21	71,0	5,7	59,0	66,9	67,3	69,4	80,1	120,5
Automne	Campagne 22	72,2	5,3	67,2	67,9	68,3	71,0	79,5	132,2
Automne	Campagne 23	73,5	5,0	68,3	69,2	69,7	72,3	81,0	120,6

• Année 1

Pour la première année dans la zone Nord du parc (Station A), le niveau de bruit moyen à 125 Hz s'élève à 72,64 dB re μ Pa avec un écart-type moyen de $\pm 5,81$ dB re μ Pa. Les valeurs des percentiles 5 et 10 observées par saison varient peu (< 2 dB) et demeurent proches des niveaux de bruit moyen et médian (P50). Comme pour le tiers d'octave centré à 63 Hz, les niveaux de bruit moyen sur le tiers d'octave à 125 Hz par saison révèlent un niveau plus élevé l'hiver et l'automne par rapport à l'été et au printemps.

En regardant le percentile 95 de cette deuxième année, il est possible d'apprécier que les niveaux sonores soient inférieurs ou égale à la moyenne des percentiles (82,5 dB re 1μ Pa) à l'exception des campagnes 3 et 11. Ce percentile varie de 6,9 à 19,5 dB re μ Pa par rapport à la moyenne.

Les niveaux P100 sont compris entre 119,8 et 138 dB re μ Pa indiquant également le passage ponctuel de navires près de la station A. De même, les niveaux de bruit minimum, représentés par le percentile P1 dont les valeurs sont comprises entre 66,1 et 69,4 dB re μ Pa, sont proches des valeurs des Percentiles P5, P10 et P50 à chaque saison, suggérant un environnement stable tout au long de l'année.

• Année 2

Pour la deuxième année, dans la zone Nord du parc (Station A), le niveau de bruit moyen à 125 Hz s'élève à 73,00 dB re μ Pa avec un écart-type moyen de $\pm 5,72$ dB re μ Pa au cours de la deuxième année. Les valeurs des percentiles 5 et 10 observées par saison varient peu (< 2 dB) et demeurent proches des niveaux de bruit moyen et médian (P50). Comme pour le tiers d'octave centré à 63 Hz, les niveaux de bruit moyen sur le tiers d'octave à 125 Hz par saison révèlent un niveau plus élevé l'hiver et l'automne par rapport à l'été et au printemps.

En regardant le percentile 95 de cette deuxième année, il est possible d'apprécier que les niveaux sonores soient inférieurs ou égale à la moyenne des percentiles (82,6 dB re 1μ Pa) à l'exception des campagnes 15, 16, 17, 18 et 19. Ce percentile varie de 6,9 à 14,1 dB re μ Pa par rapport à la moyenne.

Les niveaux P100 compris entre 118,0 et 144,1 dB re μ Pa indiquent également le passage ponctuel de navires près de la station A. De même, les niveaux de bruit minimum, représentés par le percentile P1 dont

les valeurs sont comprises entre 58,6 et 70,5 dB re μPa , sont proches des valeurs des Percentiles P5, P10 et P50 à chaque saison, suggérant un environnement stable tout au long de l'année.

La zone Nord du parc (Station A) est caractérisée par un niveau de bruit moyen à 125 Hz de **72,84 dB re μPa** sur les deux années. Ce niveau est stable sur les deux années avec un écart type de 0,18 dB re μPa .

La zone Nord du parc (Station A) est caractérisée par des niveaux de bruit moyen à 63 Hz et 125 Hz de **70,92 dB re μPa** et **72,84 dB re μPa** respectivement. Les valeurs des percentiles 1 à 50 sont stables sur l'année. L'écart type moyen est de 6,46 pour le tiers d'octave centré à 63 Hz et de 5,76 dB re μPa pour le tiers d'octave centré à 125 Hz. Le passage des navires à proximité de la station A reste ponctuel et marqué par des niveaux mesurés qui atteignent **146,3 dB re μPa** à 63 Hz et **144,1 re μPa** à 125 Hz.

Les niveaux de bruit moyens restent inférieurs à la valeur de **100,10 dB re μPa** obtenue lors de l'analyse large bande [25 Hz – 180 kHz]. **Cette observation indique que dans les basses fréquences, les sources de bruit d'origines naturelles et biologiques dominent le bruit anthropique généré par des navires.**

4.2.2 Zone Sud du Parc - Station B

Les informations présentées dans les **Tableau 12** et **Tableau 13** permettent d'établir pour la station B le niveau de bruit moyen, sa représentativité ainsi que sa distribution pour les deux années, dans les bandes de tiers d'octave centrées à 63 Hz et 125 Hz.

Tableau 12 : Niveaux de bruit L_p [63 Hz], de la station B (exprimés en dB re $1\mu\text{Pa}$) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à automne 2024).

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
ANNÉE 1									
Automne	Campagne 1	60,4	6,7	54,5	55	55,3	58,0	70,3	111,7
Hiver	Campagne 3	59,7	6,4	54,4	54,9	55,1	58,0	70,2	116,2
Hiver	Campagne 4	71,9	6,5	66,3	66,7	67,0	70,7	83,9	145,6
Printemps	Campagne 4B	72,2	6,0	67,1	67,6	68,0	70,6	79,7	120,4
Printemps	Campagne 5	70,7	6,2	66,8	67,2	67,4	68,9	80,2	132,4
Printemps	Campagne 6	70,5	6,0	66,4	66,9	67,3	69,1	78,6	127,9
Été	Campagne 7	70,5	6,1	67,2	67,6	67,8	68,7	79,4	124,3
Été	Campagne 8	69,5	6,3	65,4	65,7	66,0	67,5	78,8	135,3
Été	Campagne 9	69,6	6,2	66,2	66,5	66,7	67,6	78,5	142,6
Automne	Campagne 11	72,1	6,8	65,5	65,9	66,3	70,4	84,7	129,0
ANNÉE 2									
Automne	Campagne 12	72,9	6,9	66,1	66,6	67,0	71,0	86,3	134,5
Hiver	Campagne 13	68,9	6,3	57,0	65,8	66,1	67,2	77,3	116,0
Hiver	Campagne 14	69,7	6,3	65,7	66,0	66,3	67,6	78,3	119,5
Printemps	Campagne 15	70,8	6,1	66,9	67,3	67,5	68,8	80,3	122,0

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
Printemps	Campagne 16	73,2	6,5	67,1	67,6	68,1	71,5	83,3	122,0
Printemps	Campagne 17	70,0	6,0	66,9	67,2	67,4	68,3	77,8	108,1
Été	Campagne 18	72,3	6,1	66,7	67,2	67,6	70,7	80,6	132,4
Été	Campagne 19	70,3	6,0	66,9	67,3	67,5	68,6	78,5	124,6
Été	Campagne 20	72,4	6,0	67,8	68,3	68,6	70,5	80,5	138,6
Automne	Campagne 21	70,1	6,5	58,0	66,3	66,5	68,1	80,2	124,5
Automne	Campagne 22	72,6	6,0	68,1	68,5	68,8	70,7	81,5	130,6
Automne	Campagne 23	68,9	6,2	65,5	65,9	66,1	67,0	78,0	126,9

• Année 1

Pour la première année, dans la zone Sud du parc (Station B), le niveau de bruit moyen à 63 Hz s'élève à 68,71 dB re 1µPa, avec un écart-type moyen de +/- 6,32 dB re µPa. La différence entre les percentiles 5 et 10 dans la même saison est inférieure à 1 dB et les valeurs demeurent proches des niveaux de bruit moyen et médian (P50). L'examen des niveaux de bruit moyen par saison révèle des conditions stables entre saisons différentes à l'exception de la campagne 1 (à l'automne) et 3 (à l'hiver) dont les niveaux sont inférieurs au niveau de bruit moyen d'environ 10 dB re 1µPa.

En regardant le percentile 95, il est possible d'apprécier que les niveaux sonores soient inférieurs ou égale à la moyenne des percentiles 95 (78,43 dB re 1µPa) 95% du temps, à l'exception des campagnes 4 et 11. Ce percentile varie de 7,5 à 12,6 dB re µPa par rapport à la moyenne.

Les niveaux P100 sont compris entre 111,7 et 145,6 dB re µPa, indiquant le passage ponctuel de navires près de la station B. De même, les niveaux de bruit minimum, représentés par le percentile P1 dont les valeurs sont comprises entre 54,4 et 67,2 dB re µPa, sont proches des valeurs des percentiles P5, P10 et P50 à chaque saison, suggérant un environnement stable tout au long de l'année.

• Année 2

Pour la deuxième année dans la zone Sud du parc (Station B), le niveau de bruit moyen à 63 Hz s'élève à 71,01 dB re 1µPa avec un écart-type moyen de +/- 6,24 dB re µPa. La différence entre les percentiles 5 et 10 dans la même saison est inférieure à 1 dB et les valeurs demeurent proches des niveaux de bruit moyen et médian (P50). L'examen des niveaux de bruit moyen par saison révèle des conditions stables entre saisons.

En regardant le percentile 95 de cette deuxième année, il est possible d'apprécier que les niveaux sonores soient inférieurs ou égale à la moyenne des percentiles 95 (80,2 dB re 1µPa) à l'exception des campagnes 12, 15, 20 et 22. Ce percentile varie de 7,8 à 13,4 dB re µPa par rapport à la moyenne.

Les niveaux P100 sont compris entre 108,1 et 138,6 dB re µPa, indiquant le passage ponctuel de navires près de la station B. De même, les niveaux de bruit minimum, représentés par le percentile P1, dont les valeurs sont comprises entre 57,0 et 68,1 dB re µPa, sont proches des valeurs des percentiles P5, P10 et P50 à chaque saison, suggérant un environnement stable tout au long de l'année.

La zone Sud du parc (Station B) est caractérisée par un niveau de bruit moyen à 63 Hz de 69,97 dB re µPa sur les deux années. Ce niveau est stable sur les deux années avec un écart type de 1,15 dB re µPa.

Tableau 13 : Niveaux de bruit Lp [125 Hz], de la station B (exprimés en dB re 1μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à automne 2024).

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
ANNÉE 1									
Automne	Campagne 1	61,3	5,5	56,2	56,8	57,1	60,0	69,2	114,7
Hiver	Campagne 3	63,8	6,0	57	57,7	58,1	61,6	72,3	115,6
Hiver	Campagne 4	74,6	5,0	70	70,5	70,8	73,7	82,3	145,8
Printemps	Campagne 4B	74,5	4,7	70,3	71,0	71,4	73,3	81,7	115,0
Printemps	Campagne 5	73,2	5,2	69,1	69,6	69,9	71,7	81,8	131,3
Printemps	Campagne 6	72	5,2	67,5	68,2	68,8	70,8	79,0	128,2
Été	Campagne 7	71,6	5,2	68,5	69,0	69,2	70,2	78,9	125,6
Été	Campagne 8	70,3	5,6	66,5	66,9	67,1	68,7	79,0	137,9
Été	Campagne 9	70,5	5,4	67,3	67,6	67,8	68,9	77,5	134,9
Automne	Campagne 11	73,1	6,0	66,2	66,7	67,2	72,3	84,3	125,8
ANNÉE 2									
Automne	Campagne 12	74,2	5,5	67,8	68,6	69,3	73,1	84,5	137,4
Hiver	Campagne 13	70,2	5,6	58,6	66,9	67,2	68,8	78,9	120,4
Hiver	Campagne 14	75,3	4,8	71,0	71,6	72,0	74,1	82,9	128,3
Printemps	Campagne 15	71,2	5,6	66,7	67,1	67,4	69,5	79,6	121,7
Printemps	Campagne 16	72,2	5,2	68,2	68,7	69,0	70,8	79,7	122,6
Printemps	Campagne 17	70,2	5,6	66,5	66,8	67,1	68,5	80,3	134,6
Été	Campagne 18	71,4	5,3	67,9	68,3	68,5	69,8	79,7	105,4
Été	Campagne 19	72,2	5,8	59,2	67,4	68,0	70,7	82,1	134,8
Été	Campagne 20	75,6	4,8	70,6	71,4	71,9	74,5	82,6	123,7
Automne	Campagne 21	73,4	5,1	68,9	69,4	69,9	72,0	81,7	117,7
Automne	Campagne 22	75,3	4,7	71,1	71,7	72,1	74,2	82,0	133,9
Automne	Campagne 23	75,2	5,1	69,8	70,7	71,2	74,0	84,5	121,1

• Année 1

Pour la première année dans la zone Sud du parc (Station B), le niveau de bruit moyen à 125 Hz s'élève à 70,49 dB re 1μPa avec un écart-type moyen de +/- 5,38 dB re μPa au cours de la première année. La différence entre les percentiles 5 et 10 dans la même saison est inférieure à 1 dB dans toutes les saisons et les valeurs demeurent proches des niveaux de bruit moyen et médian (P50). L'examen des niveaux de bruit moyen par saison révèle des conditions stables entre saisons différentes à l'exception de la campagne 1 (à l'automne) et 3 (à l'hiver) dont les niveaux sont inférieurs au bruit moyen d'environ 10 dB re 1μPa.

En regardant le percentile 95 de cette deuxième année, il est possible d'apprécier que les niveaux sonores soient inférieurs ou égale à la moyenne des percentiles 95 (78,6 dB re 1μPa), à l'exception des campagnes 4, 5 et 11. Ce percentile varie de 7,0 à 11,2 dB re μPa par rapport à la moyenne.

Les niveaux P100 sont compris entre 114,7 et 145,8 re 1μPa, indiquant le passage ponctuel de navires près de la station B. De même, les niveaux de bruit minimum, représentés par le percentile P1 dont les valeurs

sont comprises entre 56,2 et 70,3 dB re μPa , sont proches des valeurs des Percentiles P5, P10 et P50 à chaque saison, suggérant un environnement stable tout au long de l'année.

- **Année 2**

Pour la deuxième année, dans la zone Sud du parc (Station B), le niveau de bruit moyen à 125 Hz s'élève à 73,03 dB re $1\mu\text{Pa}$ avec un écart-type moyen de $\pm 5,26$ dB re μPa au cours de la deuxième année. La différence entre les percentiles 5 et 10 dans la même saison est inférieure à 1 dB dans toutes les saisons et les valeurs demeurent proches des niveaux de bruit moyen et médian (P50). L'examen des niveaux de bruit moyen par saison révèle des conditions stables entre saisons différentes.

En regardant le percentile 95 de cette deuxième année, il est possible d'apprécier que les niveaux sonores soient inférieurs ou égale à la moyenne des percentiles 95 (81,5 dB re $1\mu\text{Pa}$), à l'exception des campagnes 12, 14, 20 et 23. Ce percentile varie de 6,70 à 10,28 dB re μPa par rapport à la moyenne.

Les niveaux P100 sont compris entre 105,4 et 137,4 re $1\mu\text{Pa}$, indiquant le passage ponctuel de navires près de la station B. De même, les niveaux de bruit minimum, représentés par le percentile P1 dont les valeurs sont comprises entre 58,6 et 71,1 dB re μPa , sont proches des valeurs des percentiles P5, P10 et P50 à chaque saison, suggérant un environnement stable tout au long de l'année.

La zone Sud du parc (Station B) est caractérisée par un niveau de bruit moyen à 125 Hz sur les deux années de **71,88 dB re μPa** . Ce niveau est stable sur les deux années avec un écart type de 1,27 dB re μPa .

La zone Sud du parc (Station B) est caractérisée par des niveaux de bruit moyen à 63 Hz et 125 Hz de **69,97 dB re μPa** et **71,88 dB re μPa** respectivement. Les valeurs des percentiles 1 à 50 sont stables sur l'année. L'écart type moyen est de 6,28 dB re $1\mu\text{Pa}$ pour le tiers d'octave centré à 63 Hz et de 5,31 dB re $1\mu\text{Pa}$ pour le tiers d'octave centré à 125 Hz. Le passage des navires à proximité de la station B reste ponctuel et marqué par des niveaux mesurés qui atteignent **145,6 dB re μPa** à 63 Hz et **145,8 re μPa** à 125 Hz. En effet, 95% du temps les niveaux sont inférieurs à **86,3 dB re μPa** ce qui signifie que les sources de bruit d'origines naturelles et biologiques dominent le bruit anthropique généré par des navires.

Les niveaux de bruit moyen restent inférieurs à la valeur de 99,95 dB re μPa obtenue lors de l'analyse large bande [25 Hz – 180 kHz]. L'analyse des résultats montre que, dans les basses fréquences, **le bruit d'origine naturelle et biologique prédomine sur le bruit anthropique généré par les navires.**

4.2.3 Zone Sud-Est hors Parc - Station Témoin

Les informations présentées dans les **Tableau 14** et **Tableau 15** permettent d'établir pour la station Témoin le niveau de bruit moyen, sa représentativité ainsi que sa distribution pour les deux années, dans les bandes de tiers d'octave centrées à 63 Hz et 125 Hz.

Tableau 14 : Niveaux de bruit Lp [63 Hz], de la station Témoin (exprimés en dB re 1μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2024).

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
ANNÉE 1									
Automne	Campagne 1	70,8	6,4	66,2	66,6	66,8	68,8	78,6	122,8
Hiver	Campagne 3	70,1	6,1	66,1	66,4	66,7	68,2	76,2	131,1
Hiver	Campagne 4	69,3	6,3	65,9	66,2	66,4	67,4	76,5	133,8
Printemps	Campagne 4B	69,9	6,0	66,1	66,5	66,7	68,4	76,3	124,4
Printemps	Campagne 5	68,9	6,6	65,0	65,3	65,5	66,4	80,1	141,5
Printemps	Campagne 6	68,2	5,9	66,0	66,2	66,4	67,0	70,4	125,8
Été	Campagne 7	67,3	6,1	64,8	65,1	65,2	65,9	70,9	122,4
Été	Campagne 8	69,3	6,0	66,6	67,0	67,2	67,9	73,2	130,8
Été	Campagne 9	68,1	6,3	65	65,3	65,5	66,3	75,0	128,9
Automne	Campagne 11	69,8	6,4	65,8	66,1	66,3	67,4	80,1	119,6
ANNÉE 2									
Automne	Campagne 12	69,5	6,4	65,3	65,6	65,8	67,4	78,1	127,3
Hiver	Campagne 13	68,0	6,2	65,3	65,6	65,7	66,4	73,6	123,7
Hiver	Campagne 14	69,3	6,0	66,3	66,6	66,8	67,6	75,6	124,5
Printemps	Campagne 15	69,4	6,1	66,2	66,5	66,7	67,5	77,6	115,8
Printemps	Campagne 16	69,0	5,8	66,5	66,8	66,9	67,5	73,3	116,5
Printemps	Campagne 17	72,0	6,2	67,1	67,7	68,0	70,1	82,3	128,2
Été	Campagne 18	67,4	6,0	65,2	65,4	65,6	66,1	69,2	124,4
Été	Campagne 19	69,7	6,2	65,6	65,9	66,1	67,6	77,9	135,4
Été	Campagne 20	68,0	6,2	56,8	65,6	65,8	66,6	74,5	118,7
Automne	Campagne 21	69,4	5,8	66,7	67,1	67,3	68,2	71,8	122,7
Automne	Campagne 22	67,5	6,1	65,1	65,4	65,5	66,1	70,6	131,4
Automne	Campagne 23	69,0	6,0	57,7	66,6	66,8	67,5	75,0	128,8

• Année 1

Pour la première année, dans la zone Sud-Est du parc (Station Témoin), le niveau de bruit moyen à 63 Hz s'élève à 69,17 dB re 1μPa avec un écart-type moyen de +/- 6,21 dB re μPa au cours de la première année. La différence entre les percentiles 5 et 10 dans la même saison est inférieure à 1 dB dans toutes les saisons et les valeurs demeurent proches des niveaux de bruit moyen et médian (P50). L'examen des niveaux de bruit moyen par saison révèle des conditions stables entre saisons différentes

En regardant le percentile 95 de cette deuxième année, il est possible d'apprécier que les niveaux sonores soient inférieurs ou égale à la moyenne des percentiles 95 (75,7 dB re 1μPa), à l'exception des campagnes 1,2,3,4,5 et 11. Ce percentile varie de 2,2 à 11,2 dB re μPa par rapport à la moyenne.

Les niveaux P100 sont compris entre 119,6 et 141,5 dB re μPa, indiquant le passage ponctuel de navires près de la station Témoin. De même, les niveaux de bruit minimum, représentés par le percentile P1 dont

les valeurs sont comprises entre 64,8 et 66,6 dB re μPa , sont proches des valeurs des percentiles P5, P10 et P50 à chaque saison, suggérant un environnement stable tout au long de l'année.

• Année 2

Pour la deuxième année, dans la zone Sud-Est du parc (Station Témoin), le niveau de bruit moyen à 63 Hz s'élève à 69,01 dB re μPa avec un écart-type moyen de +/- 6,09 dB re μPa au cours de la deuxième année. La différence entre les percentiles 5 et 10 dans la même saison est inférieure à 1 dB dans toutes les saisons et les valeurs demeurent proches des niveaux de bruit moyen et médian (P50). L'examen des niveaux de bruit moyen par saison révèle des conditions stables entre saisons différentes

En regardant le percentile 95 de cette deuxième année, il est possible d'apprécier que les niveaux sonores soient inférieurs ou égale à la moyenne des percentiles 95 (75 dB re μPa), à l'exception des campagnes 12,15,17 et 19. Ce percentile varie de 1,8 à 10,3 dB re μPa par rapport à la moyenne.

Les niveaux p100 sont compris entre 115,8 et 135,4 dB re μPa , indiquant le passage ponctuel de navires près de la station Témoin. De même, les niveaux de bruit minimum, représentés par le percentile P1 dont les valeurs sont comprises entre 56,8 et 67,1 dB re μPa , sont proches des valeurs des percentiles P5, P10 et P50 à chaque saison, suggérant un environnement stable tout au long de l'année.

La zone Sud-Est du parc (Station Témoin), est caractérisée par un niveau de bruit moyen à 63 Hz sur les deux années de 69,09 dB re μPa . Ce niveau est stable sur les deux années avec un écart type de 0,08 dB re μPa .

Tableau 15 : Niveaux de bruit L_p [125 Hz], de la station Témoin (exprimés en dB re μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2024).

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
ANNÉE 1									
Automne	Campagne 1	72,5	5,7	67,5	67,9	68,2	71,2	79,6	125,4
Hiver	Campagne 3	72,2	5,2	67,6	68,1	68,5	71,0	77,5	128,0
Hiver	Campagne 4	72,5	5,4	68,3	68,6	68,9	71,0	80,2	134,8
Printemps	Campagne 4B	72,4	5,3	68,0	68,4	68,7	71,0	79,1	123,2
Printemps	Campagne 5	71,7	7,5	65,8	66,1	66,4	68,6	91,7	145,8
Printemps	Campagne 6	69,8	5,2	67,0	67,3	67,4	68,4	74,2	125,3
Été	Campagne 7	68,7	5,7	65,5	65,7	65,9	66,9	75,6	132,3
Été	Campagne 8	70,9	5,3	67,2	68,3	68,4	69,2	77,0	122,3
Été	Campagne 9	69,0	5,9	65,6	65,9	66,0	66,8	78,9	125,3
Automne	Campagne 11	71,3	5,8	66,7	66,9	67,1	69,5	79,9	124,4
ANNÉE 2									
Automne	Campagne 12	72,0	6,0	66,2	66,7	67,1	70,8	80,6	127,0
Hiver	Campagne 13	71,3	5,2	67,5	67,9	68,4	69,9	76,8	123,7
Hiver	Campagne 14	70,4	5,5	58,9	67,4	67,6	68,8	77,3	136,4
Printemps	Campagne 15	72,2	5,4	67,0	67,6	68,1	70,8	79,8	139,0
Printemps	Campagne 16	69,1	5,6	58,4	66,0	66,3	67,7	74,7	122,7

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
Printemps	Campagne 17	72,1	5,3	68,0	68,3	68,6	70,6	79,7	129,1
Été	Campagne 18	68,5	5,7	65,5	65,8	65,9	66,8	75,5	132,3
Été	Campagne 19	70,1	5,4	66,7	67,0	67,3	68,7	75,6	122,4
Été	Campagne 20	68,5	5,4	65,8	66,0	66,2	67,0	72,6	120,9
Automne	Campagne 21	70,1	5,3	67,2	67,4	67,6	68,4	76,1	122,2
Automne	Campagne 22	71,7	5,4	67,8	68,1	68,3	69,8	80,6	121,1
Automne	Campagne 23	74,1	5,1	68,6	69,7	70,3	72,8	81,5	123,7

• Année 1

Pour la première année, dans la zone Sud-Est hors du parc (Station Témoin), le niveau de bruit moyen à 125 Hz s'élève à 71,1 dB re 1µPa avec un écart-type moyen de +/- 5,7 dB re µPa au cours de la première année. La différence entre les percentiles 5 et 10 dans la même saison est inférieure à 1 dB dans toutes les saisons et les valeurs demeurent proches des niveaux de bruit moyen et médian (P50). L'examen des niveaux de bruit moyen par saison révèle des conditions stables avec toutefois des valeurs légèrement plus faibles en été.

En regardant le percentile 95 de cette deuxième année, il est possible d'apprécier que les niveaux sonores soient inférieurs ou égale à la moyenne des percentiles 95 (79,4 dB re 1µPa), à l'exception de la campagne 5 (printemps). Cette campagne présente un niveau P95 de 91,7 dB re 1µPa. Ce percentile varie de 4,4 à 20,0 dB re µPa par rapport à la moyenne.

Les niveaux P100 sont compris entre 122,3 et 145,8 dB re µPa, indiquant le passage ponctuel de navires près de la station Témoin. De même, les niveaux de bruit minimum, représentés par le percentile P1 dont les valeurs sont comprises entre 65,5 et 68,3 dB re µPa, sont proches des valeurs des percentiles P5, P10 et P50 à chaque saison, suggérant un environnement stable tout au long de l'année.

• Année 2

Pour la deuxième année, dans la zone Sud-Est hors du parc (Station Témoin), le niveau de bruit moyen à 125 Hz s'élève à 70,84 dB re 1µPa avec un écart-type moyen de +/- 5,44 dB re µPa au cours de la deuxième année. La différence entre les percentiles 5 et 10 dans la même saison est inférieure à 1 dB dans toutes les saisons et les valeurs demeurent proches des niveaux de bruit moyen et médian (P50). L'examen des niveaux de bruit moyen par saison révèle des conditions stables avec toutefois des valeurs légèrement plus faibles en été.

En regardant le percentile 95 de cette deuxième année, il est possible d'apprécier que les niveaux sonores soient inférieurs ou égale à la moyenne des percentiles 95 (77,6 dB re 1µPa), à l'exception des campagnes 12,15,17, 22 et 23. Ce percentile varie de 4,1 à 8,9 dB re µPa par rapport à la moyenne.

Les niveaux P100 sont compris entre 120,9 et 139,0 dB re µPa, indiquant le passage ponctuel de navires près de la station Témoin. De même, les niveaux de bruit minimum, représentés par le percentile P1 dont les valeurs sont comprises entre 58,4 et 68,6 dB re µPa, sont proches des valeurs des percentiles P5, P10 et P50 à chaque saison, suggérant un environnement stable tout au long de l'année.

La zone Sud-Est du parc (Station Témoin) est caractérisée par un niveau de bruit moyen à 125 Hz sur les deux années de **70,96 dB re μ Pa**. Ce niveau est stable sur les deux années avec un écart type de 0,13 dB re μ Pa.

La zone Sud-Est hors du parc (Station Témoin) est caractérisée par des niveaux de bruit moyen à 63 Hz et 125 Hz de **69,09 dB re μ Pa** et **70,96 dB re μ Pa** respectivement. Les valeurs des percentiles 1 à 50 sont stables sur l'année. Les amplitudes moyennes sont comprises entre +/- 6,14 et 5,56 dB re μ Pa, ce qui confirme que le passage des navires à proximité de la station Témoin reste ponctuel.

Ces niveaux de bruit moyens restent inférieurs à la valeur de **99,77 dB re μ Pa** obtenue lors de l'analyse large bande [25 Hz – 180 kHz], indiquant que **les sources de bruit d'origines naturelles et biologiques dominent le bruit anthropique généré par des navires**.

4.3 COMPARAISON INTERANNUELLE

Le **Tableau 16** présente les différences saisonnières et annuelles, ainsi que la moyenne des deux années, des niveaux de bruit acoustique (L_p) mesurés dans trois bandes de fréquences distinctes : 25 Hz – 180 kHz, 63 Hz et 125 Hz aux stations A, B et T.

Tableau 16 : Moyenne des deux années et différence des niveaux de bruit saisonnier entre l'année 1 et 2 L_p [25 Hz – 180 kHz], [63 Hz] et [125 Hz] de la station A, B et T (exprimés en dB re 1 μ Pa).

	Station A			Station B			Station T		
	[25 Hz – 180 kHz]	[63 Hz]	[125 Hz]	[25 Hz – 180 kHz]	[63 Hz]	[125 Hz]	[25 Hz – 180 kHz]	[63 Hz]	[125 Hz]
Différence Hiver	0,71	-2,10	4,20	0,79	-3,50	-3,55	-0,12	1,05	1,50
Différence Printemps	-0,50	0,13	-3,73	-0,53	-0,20	2,03	-0,58	-1,13	0,17
Différence Été	-0,17	-2,20	-2,30	-0,11	-1,80	-2,27	-0,25	-0,13	0,50
Différence Automne	0,90	3,30	2,92	0,69	-4,28	-7,43	0,91	1,67	-0,07
Moyenne des deux années	100,10	70,92	72,84	99,95	69,97	71,88	99,77	69,09	70,96
Différence Annuelle	0,12	-0,25	-0,36	0,13	-2,30	-2,54	-0,06	0,16	0,26

- Analyse des variations saisonnières des niveaux de bruit**

Hiver : La saison hivernale ne montre pas de tendance entre l'année 1 et l'année 2. Les différences les plus significatives ont lieu à la station A pour la fréquence 125 Hz (+4,20 dB) et à la station B pour les fréquences 63 Hz (-3,50 dB) et 125 Hz (-3,55 dB).

Printemps : La saison printanière est marquée par une tendance à l'augmentation entre l'année 1 et l'année 2. La différence la plus significative a lieu à la station A pour la fréquence 125 Hz (-3,73 dB).

Été : La saison estivale est marquée par une tendance à l'augmentation entre l'année 1 et l'année 2. Les différences entre année restent cependant faibles, avec une valeur maximale à la station A pour la fréquence 125 Hz (-2,30 dB).

Automne : La saison automnale est marquée par une tendance à la diminution entre l'année 1 et l'année 2. Les différences les plus importantes ont eu lieu à cette saison à la station B pour les fréquences 63 Hz (-4,28 dB) et 125 Hz (-7,43 dB).

- **Analyse des variations annuelles des niveaux de bruit**

L'analyse des variations annuelles montrent une augmentation du niveau de bruit entre l'année 1 et l'année 2 à la station B pour les fréquences 63 Hz (-2,30 dB) et 125 Hz (-2,54 dB). Le reste des valeurs ne montre pas de différence significative entre les valeurs annuelles.

L'évolution des niveaux de bruit sous-marin entre l'année 1 et l'année 2 montre une légère variabilité saisonnière, entre l'hiver et l'automne. Les variations observées pourraient être corrélées aux variations d'activités anthropiques et aux conditions météorologiques.

4.4 QUANTIFICATION DES NIVEAUX DE BRUIT – CONCLUSION

- **Analyses large bande [25 Hz – 180 kHz]**

Les niveaux de bruit illustrés par la **Figure 14** pour les deux années et pour chaque station (A, B et Témoin), présentent une faible variabilité, avec un écart type ne dépassant généralement pas les 2 à 3 dB re μ Pa. La moyenne comme la médiane du niveau sonore sont très proches pour chaque station, avoisinant les 100 dB re μ Pa.

La station Témoin affiche un niveau de bruit légèrement inférieur à celui de la zone du parc, avec une différence moyenne d'environ -0.30 dB re μ Pa.

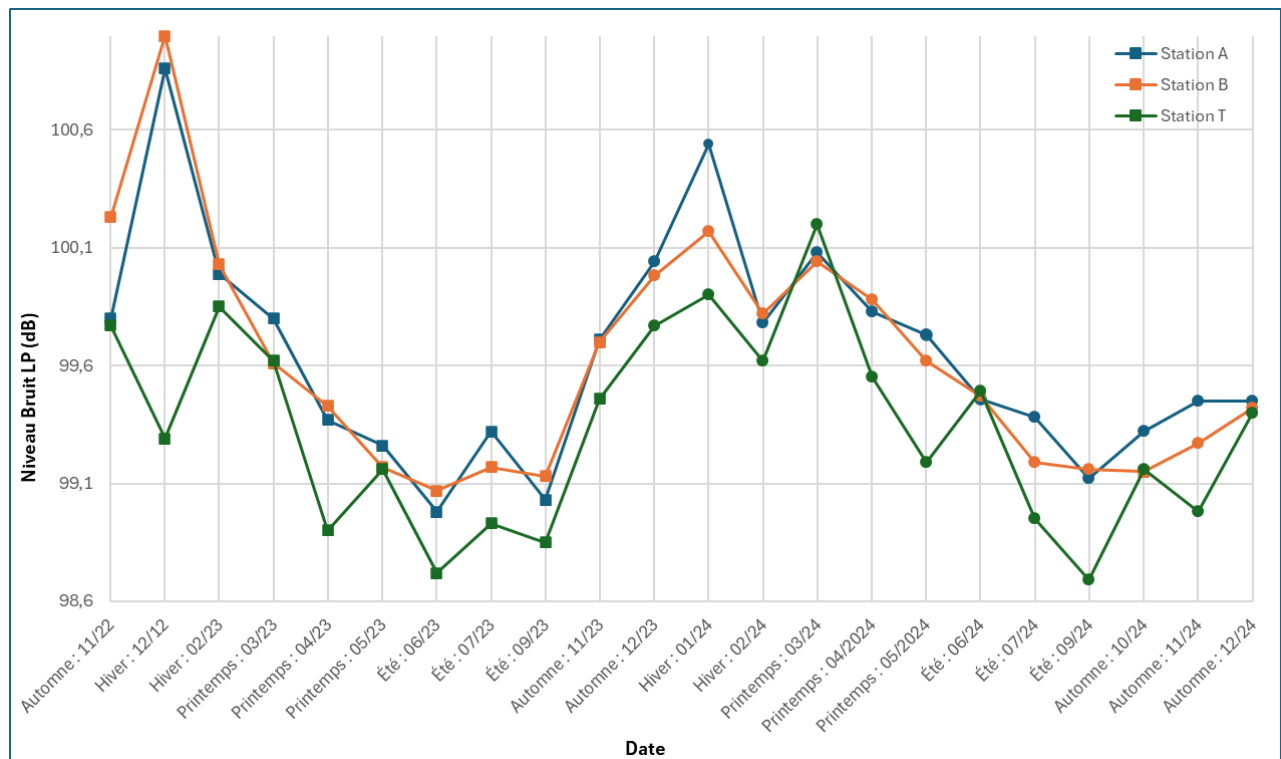


Figure 14 : Évolution du niveau sonore médian sur les trois stations A (bleu), B (orange) et Témoin (vert) tout au long de la période allant de l'automne 2022 à l'automne 2024. L'année 1 est symbolisée par un carré et l'année 2 par un rond.

La disparité entre le percentile 10 (représentant les valeurs les plus basses pendant 10% de la période d'enregistrement) et le percentile 95 (correspondant aux valeurs les plus élevées pendant 5 % du temps) ne dépassant pas les 5 dB re μPa la plupart du temps. Ces différences témoignent d'une stabilité relativement importante du niveau de bruit sur une année.

Le niveau sonore est généralement plus élevé pour pendant les mois de novembre et janvier et atteint les valeurs les plus basses pendant l'été avant d'augmenter de nouveau à l'automne. Le mois de mars 2024 fait exception avec un niveau sonore semblable à ceux de la période automnale.

Cette variation pourrait être attribuée à deux phénomènes :

- La propagation des ondes : compte tenu de l'augmentation de la température de l'eau pendant l'été et de sa diminution pendant l'hiver (effet d'une thermocline).
- Le bruit généré par les vagues et le vent (marqué par une saisonnalité).

• Analyses dans les bandes de fréquence de 63 Hz et 125 Hz

Les niveaux de bruit, enregistrés sur les deux années, pour chaque station (A, B et Témoin) présentent une faible variabilité entre les percentiles 1, 5 et 10, avec un écart type ne dépassant généralement pas les 6,5 dB re μPa . La moyenne comme la médiane du niveau sonore à 63 Hz et 125 Hz sont très proches des percentiles P1, P5 et P10 pour chaque station, avoisinant les 70-72 dB re μPa .

La station A montre un niveau de bruit moyen légèrement plus élevé que les autres stations, avec une différence moyenne d'environ 1,75 dB re μPa à 63 Hz, et d'environ 1,5 dB re μPa à 125 Hz.

Tableau 17 : Niveaux de bruit L_p [63 Hz et 125 Hz], des stations A, B et Témoin (exprimés en dB re 1 μPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2024).

STATION	A		B		T	
	63 Hz	125 Hz	63 Hz	125 Hz	63 Hz	125 Hz
HIVER	72,8	72,9	67,6	71,0	69,2	71,6
PRINTEMPS	70,4	73,9	71,2	72,2	69,6	71,2
ÉTÉ	70,0	71,2	70,8	71,9	68,3	69,3
AUTOMNE	71,2	73,4	68,8	71,7	69,3	71,9

Les niveaux sonores moyens sont plus élevés en hiver et automne sur la station A et au printemps - été sur la station B (**Tableau 17**). Les niveaux moyens de la station témoin sont globalement moins élevés que pour les stations A ou B.

Globalement, les trois stations présentent des niveaux semblables avec une différence moyenne pour toutes les saisons confondues d'environ 1,75 dB re μPa à 63 Hz et d'environ 1,5 dB re μPa à 125 Hz.

4.5 ANALYSE TEMPS-FRÉQUENCE

Pour rappel, l'analyse fréquentielle des niveaux sonores au moyen de la Densité Spectrale de Puissance (DSP) permet de visualiser la répartition de l'énergie en fonction des fréquences et ainsi de pouvoir discriminer l'implication de différentes sources sonores (naturelles ou anthropiques) sur la période analysée.

Afin de qualifier la représentation fréquentielle du bruit enregistré, le spectre moyen est déterminé à partir d'échantillons de signaux enregistrés sur une journée représentative de la zone d'étude à l'échelle de l'année. Le spectre moyen est représenté sur le modèle de Wenz afin de comparer avec des indices d'intensité de trafic maritime et d'intensité de vent.

Le modèle de Wenz présente les caractéristiques les plus répandues et dominantes du bruit ambiant dans l'océan. Il met en évidence les différentes composantes du bruit ambiant sous-marin, les plages de fréquences ainsi que les gammes d'intensités typiques. En règle générale, le bruit ambiant est composé d'au moins quatre composantes qui se chevauchent :

- Les fluctuations de la pression turbulente effective (lié à l'écoulement des masses d'eau) dans la bande allant de 1 Hz à 100 Hz ;
- Le bruit dépendant du vent, des bulles et des aérosols résultant principalement de l'agitation en surface, bruit localisé dans les fréquences de 50 Hz à 20 kHz ;
- Le trafic maritime, bruit localisé dans les fréquences 10 Hz à 1000 Hz ;
- Des sources supplémentaires, notamment celles ayant des effets intermittents et locaux, sont également abordées :
 - Sources naturelles : vagues, houle, précipitations et orages (principalement dans les basses et moyennes fréquences, selon l'intensité des vagues), courants marins (généralement dans les basses fréquences) ;
 - Sources biologiques : activités acoustiques des mammifères marins (basses, moyennes et hautes fréquences), bruits émis par les poissons (basses fréquences, mais peut inclure des fréquences plus élevées en fonction de l'espèce et du comportement), les crustacés et invertébrés marins (moyennes fréquences), organismes planctoniques (très large bande de fréquence des basses aux hautes fréquences).

La projection des Densité Spectrale de Puissance (DSP) sur le modèle de Wenz permet de visualiser des variations exprimables sur un référentiel d'indices. Ces indices permettant à la fois de représenter les variations dans les basses et hautes fréquences.

4.5.1 Densités Spectrales de Puissance

La **Figure 15** et **Figure 16** mettent en évidence que l'énergie du bruit ambiant mesuré en moyenne, est répartie préférentiellement sur les basses et moyennes fréquences (entre 20 Hz et 1 kHz) pour les stations A, B et T. Cette énergie est considérée comme faible au regard des indices du trafic maritime du modèle de Wenz.

• Année 1

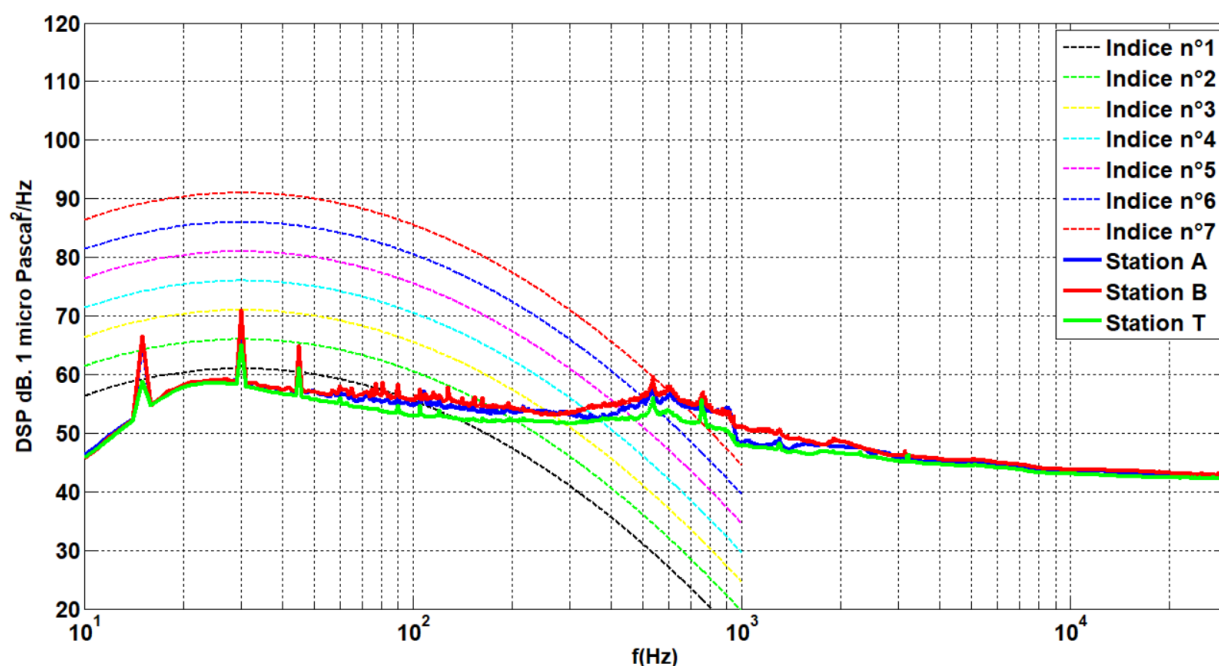


Figure 15 : Densités Spectrales de Puissance jusqu'à 180 kHz pour chaque station, représentées sur le modèle de Wenz (14/09/2023).

La Figure 15 met en évidence que l'énergie du bruit ambiant mesuré en moyenne, est répartie préférentiellement sur les basses et moyennes fréquences (entre 20 Hz et 1 kHz). Cette énergie est considérée comme faible au regard des indices du trafic maritime du modèle de Wenz.

L'énergie située dans les basses fréquences (<200 Hz) reste inférieure à l'indice 2 du modèle de Wenz. Les variations ponctuelles peuvent trouver une explication par la proximité géographique de navires avec l'hydrophone au point de mesure.

L'énergie présente dans les moyennes fréquences, comprises entre 200 Hz et 1 kHz, est typique des fortes précipitations ainsi que de l'activité des grands navires comme les supertankers et les frégates.

L'énergie située dans les moyennes et hautes fréquences (de 1 kHz à 180 kHz) montre une diminution progressive avec la fréquence de 50 dB re $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ à 45 dB re $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$. Cette bande de fréquences est susceptible d'être impactée par les conditions météo-océaniques de la zone d'étude.

• Année 2

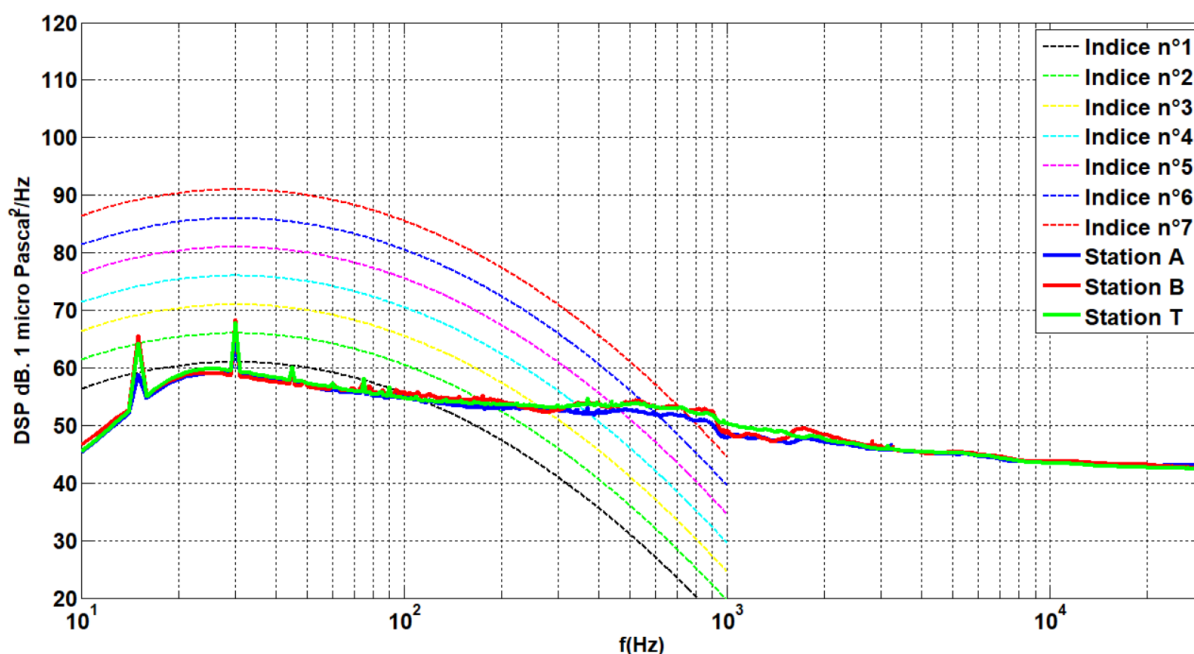


Figure 16 : Densités Spectrales de Puissance jusqu'à 180 kHz pour chaque station, représentées sur le modèle de Wenz (journée du 14/09/2024).

La Figure 16 met en évidence que l'énergie du bruit ambiant mesuré en moyenne, est répartie préférentiellement sur les basses et moyennes fréquences (entre 20 Hz et 1 kHz). Cette énergie est considérée comme faible au regard des indices du trafic maritime du modèle de Wenz.

L'énergie située dans les basses fréquences (<200 Hz) reste inférieure à l'indice 2 du modèle de Wenz. Les variations ponctuelles peuvent trouver une explication par la proximité géographique de navires avec l'hydrophone au point de mesure.

L'énergie présente dans les moyennes fréquences, comprises entre 200 Hz et 1 kHz, est typique des fortes précipitations ainsi que de l'activité des grands navires comme les supertankers et les frégates.

L'énergie située dans les moyennes et hautes fréquences (de 1 kHz à 180 kHz) montre une diminution progressive avec la fréquence de 50 dB re $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ à 45 dB re $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$. Cette bande de fréquences est susceptible d'être impactée par les conditions météo-océaniques de la zone d'étude.

4.5.2 Densités Spectrales de Puissance (DSP) en tiers d'octaves

Les **Figure 17** et **Figure 18** représentent le niveau des DSP en tiers d'Octave pour les stations A, B et T. Cette représentation permet d'observer par bande de fréquences les répartitions de l'énergie et cela pour chaque station.

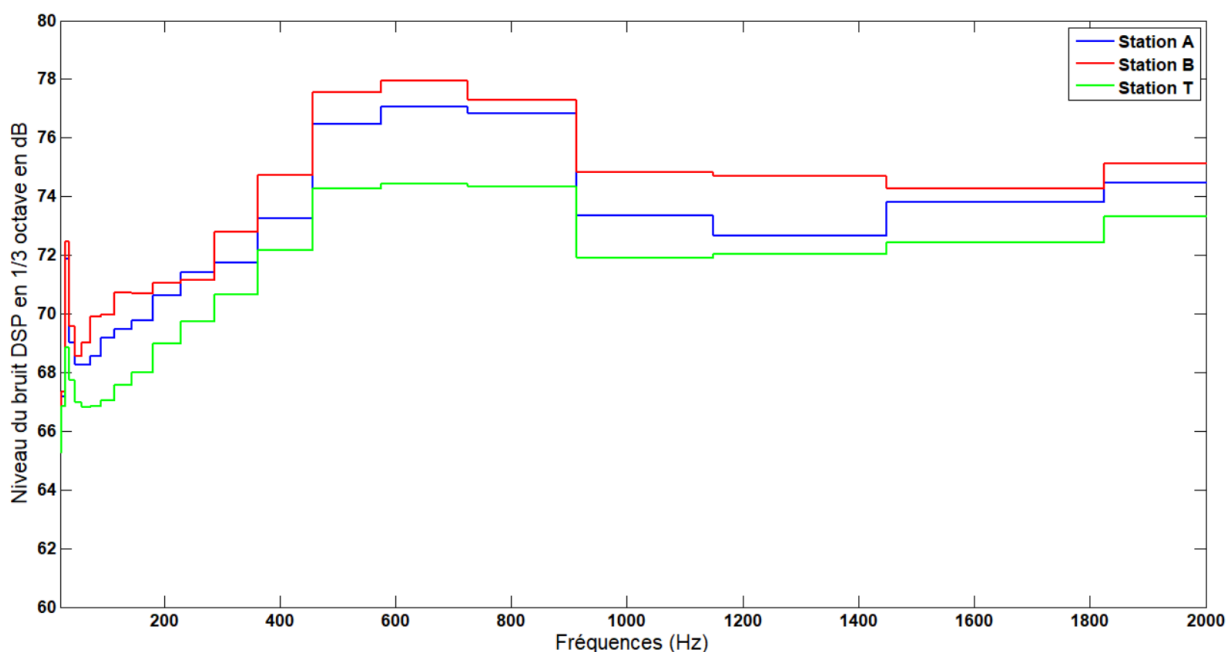


Figure 17 : Représentation des Densités Spectrales de Puissance (DSP) en tiers d'octaves de 10 Hz à 2 kHz pour chaque station de mesure (Année 1).

La **Figure 17** met en évidence que la distribution de l'énergie sur les basses et moyennes fréquences est plus importante dans la zone du parc que dans la zone Témoin. Cette description vient confirmer une tendance présentée précédemment dans l'analyse temporelle du bruit.

De plus, la représentation des DSP en tiers d'octaves met en évidence de manière plus précise que l'énergie maximum enregistrée est située entre 400 Hz et 900 Hz indifféremment entre la zone du parc et la zone Témoin.

- Année 2

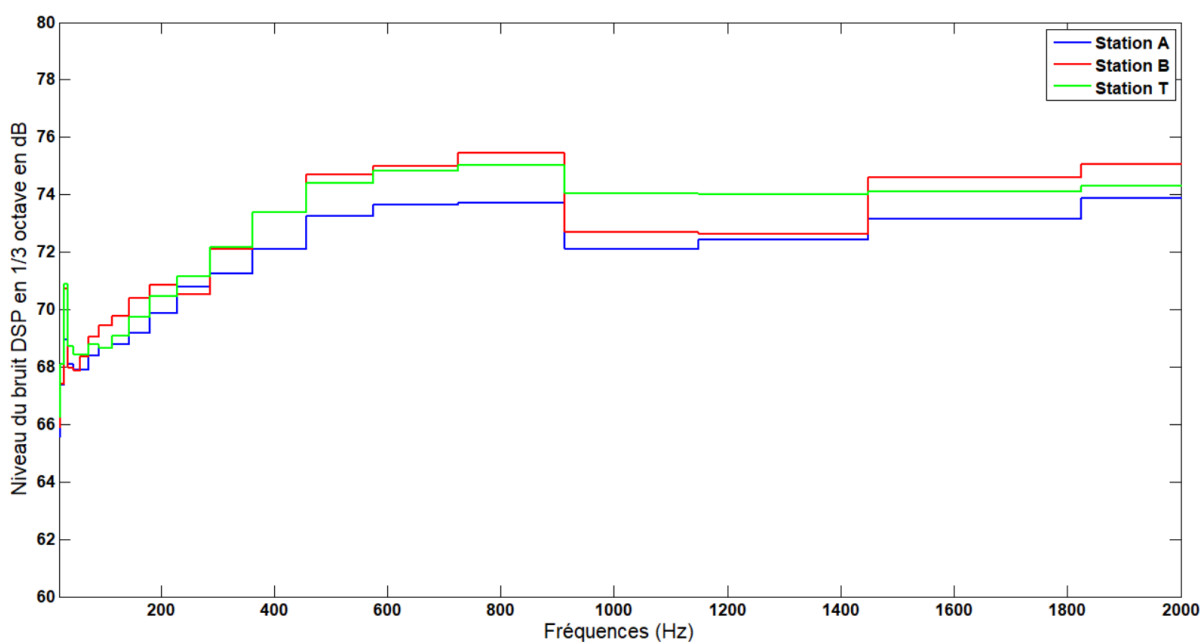


Figure 18 : Représentation des Densités Spectrales de Puissance (DSP) en tiers d'octaves de 10 Hz à 2 kHz pour chaque station de mesure (Année 2).

La **Figure 18** met en évidence que la distribution de l'énergie sur les basses et moyennes fréquences se comportent différemment de l'année. Si les niveaux en dB restent dans le même ordre de grandeur (+/- 2dB), on observe que la station A présente des niveaux plus bas que les stations B et Témoin. Cependant la répartition énergie-fréquence suivie une distribution similaire pour les 3 stations et plus homogène que sur la 1^{ère} année.

La représentation des DSP en tiers d'octaves met en évidence de manière plus précise que l'énergie maximum enregistrée sur l'année 2, est située entre 400 Hz et 900 Hz indifféremment entre la zone du parc et la zone Témoin. Cette distribution de la majorité de l'énergie est similaire à celle mesurée pour la 1^{ère} année.

4.6 CARACTERISATION DES PRINCIPALES SOURCES DE BRUIT DANS LE PAYSAGE SONORE

Dans l'étude du paysage sonore, plusieurs sources de bruit se distinguent. Ces sources peuvent être d'origines anthropiques, biologiques, géologiques ou météo-océaniques. La caractérisation des principales sources du paysage sonore se traduit par l'étude des spectrogrammes associés à chaque identification.

4.6.1 Sources de bruit d'origines anthropiques

Les **Figure 19** et **Figure 20** présentent une analyse temps-fréquence représentée sous forme de spectrogramme. Ces représentations sont extraites des données de la station Témoin entre 20h le 05/09/2023 et 7h le 06/09/2023.

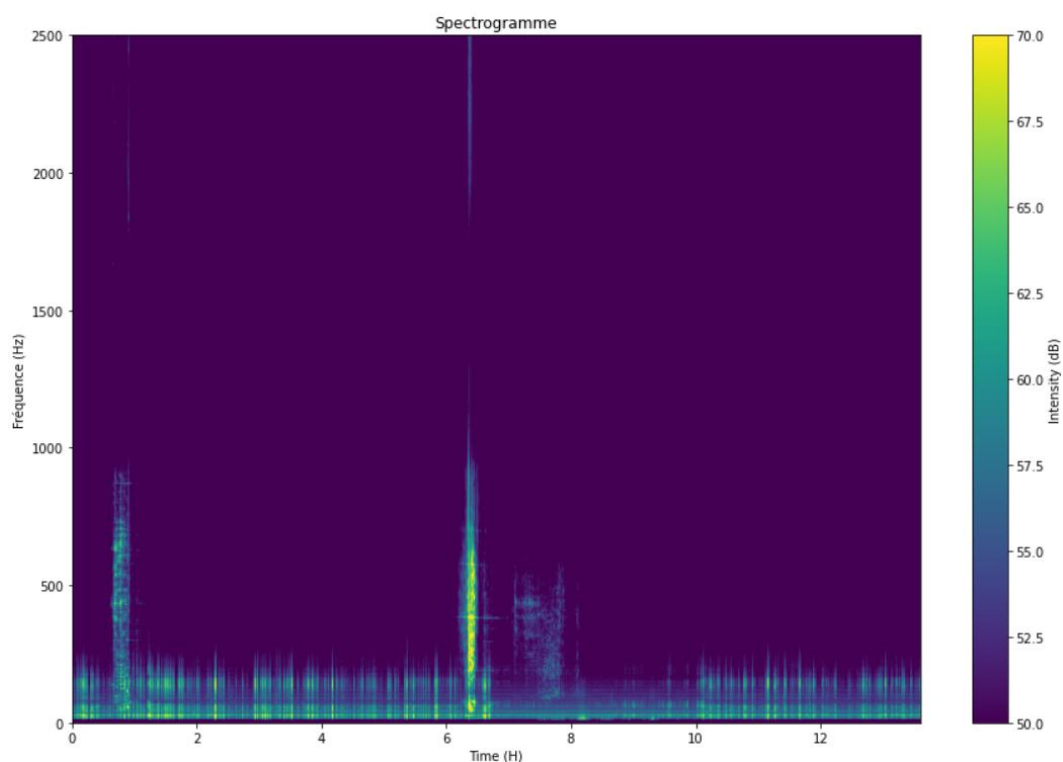


Figure 19 : Spectrogramme illustrant des passages de navires sur la zone Témoin pendant la journée entre le 05/09/2023 et le 06/09/2023.

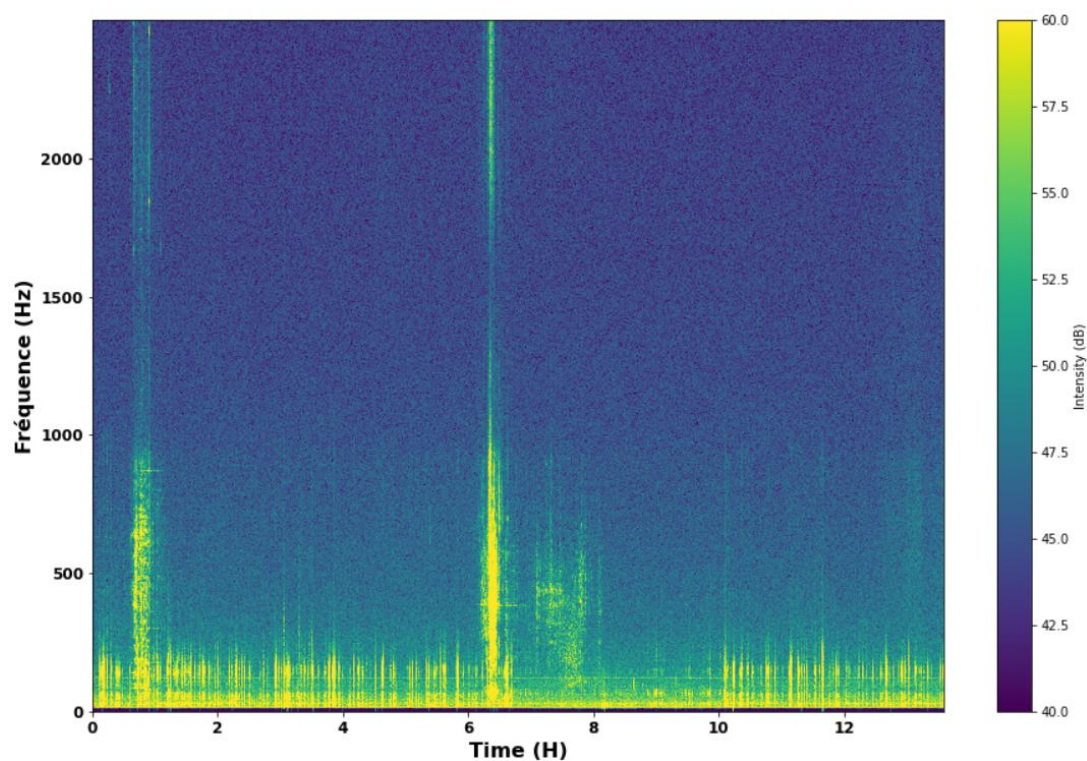


Figure 20 : Spectrogramme illustrant des passages de navires sur la zone Témoin pendant la journée entre le 05/09/2023 et le 06/09/2023.

Les **Figure 19** et **Figure 20** révèlent plusieurs passages de navires près de la station Témoin entre 20h le 05/09/2023 et 7h le 06/09/2023, où le niveau sonore reste relativement calme en dehors de ces passages. Trois passages sont clairement identifiés dont deux se trouvent à une distance modérée et un passage proche. La notion de distance est symbolisée sur le spectrogramme par l'échelle d'intensité acoustique (dB re μ Pa).

La conséquence de ces passages de navires se traduit par une augmentation du niveau sonore pendant quelques minutes, atteignant une intensité supérieure à 90 dB re μ Pa dans la bande de fréquences inférieure à 1000 Hz. En dehors de ces passages, le niveau sonore demeure généralement autour de 50-60 dB re μ Pa.

Il est notable que la bande de fréquences inférieures à 200 Hz demeure la plus intense tout' au long de l'observation. Cela s'explique par le bruit généré par le trafic maritime des navires, même à grande distance. En effet, les ondes basses fréquences se propagent sur de longues distances et c'est également dans cette bande de fréquence que le niveau sonore maximal généré par ces navires est atteint, maintenant un niveau de bruit ambiant constant autour de 50 à 60 dB re μ Pa. Cette constatation souligne l'importance de ces basses fréquences dans l'environnement sonore marin, même en présence de navires éloignés.

4.6.2 Sources de bruit d'origines météo-océaniques

La **Figure 21** présente le spectrogramme de conditions de tempête sur la station Témoin en novembre 2023.

La **Figure 22** représente la vitesse et direction des vents sur la station Témoin pendant le mois de novembre 2023.

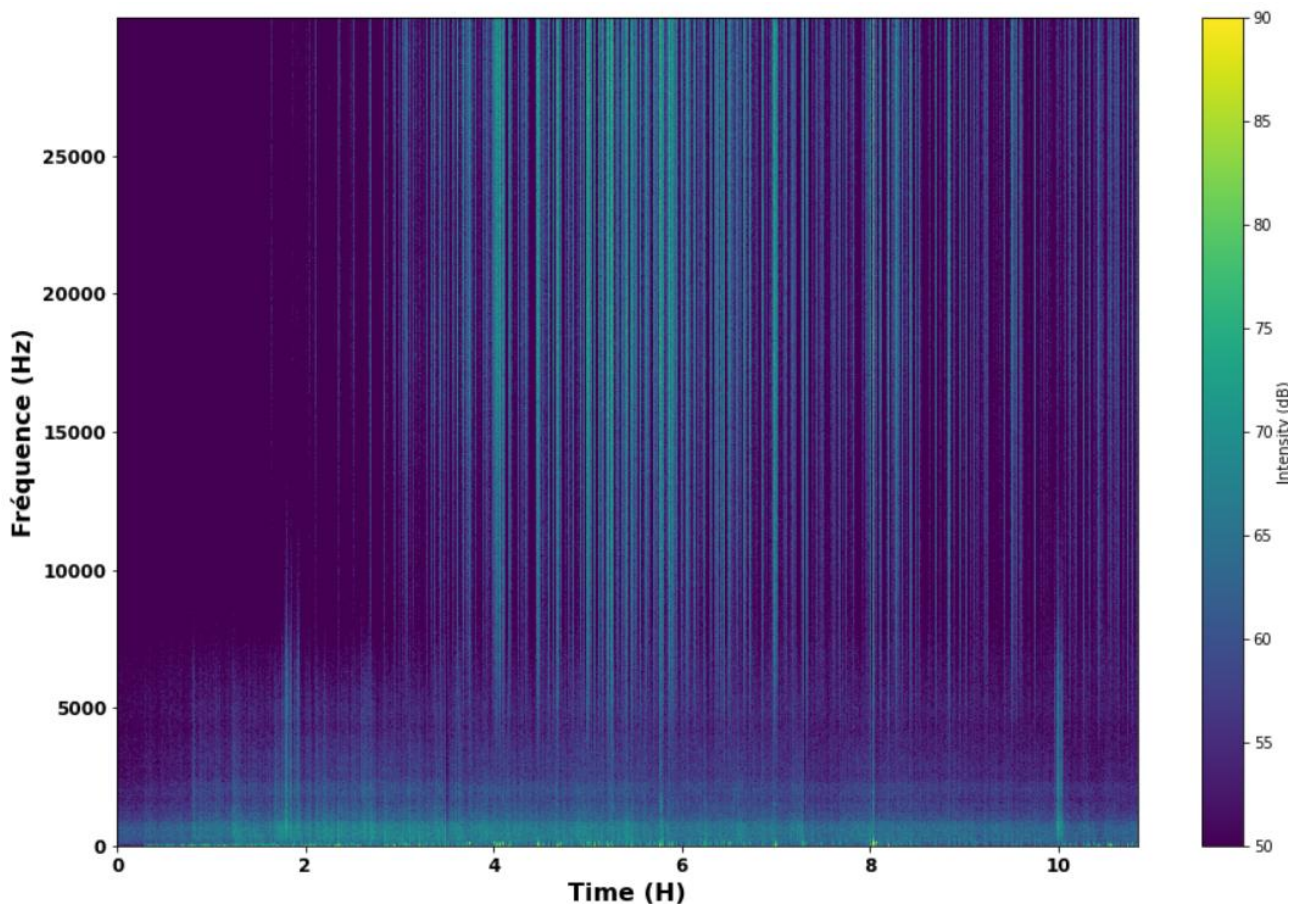


Figure 21: Spectrogramme illustrant des conditions de tempête sur la station Témoin le 02/11/2023.

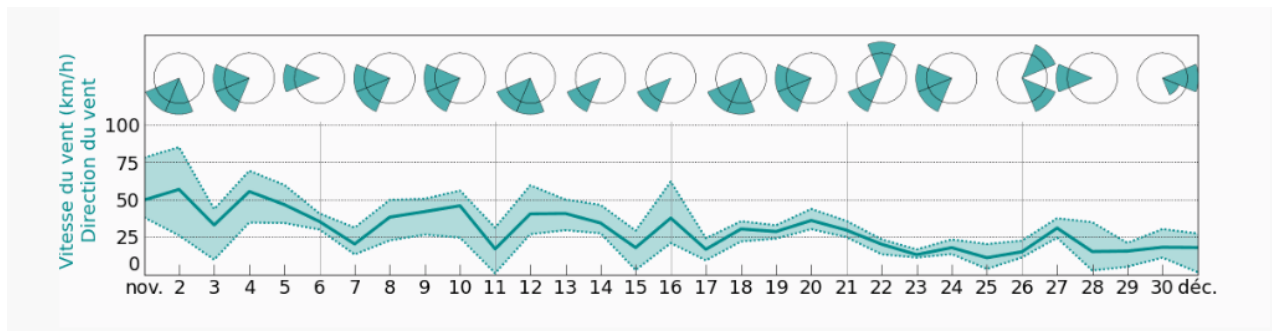


Figure 22 : Représentation des vitesses et directions des vents sur la station Témoin durant le mois de novembre 2023.

La **Figure 23** présente le spectrogramme de conditions de tempête sur la station A en octobre 2023.

La **Figure 24** représente la vitesse et direction des vents sur la station A pendant le mois d'octobre 2023.

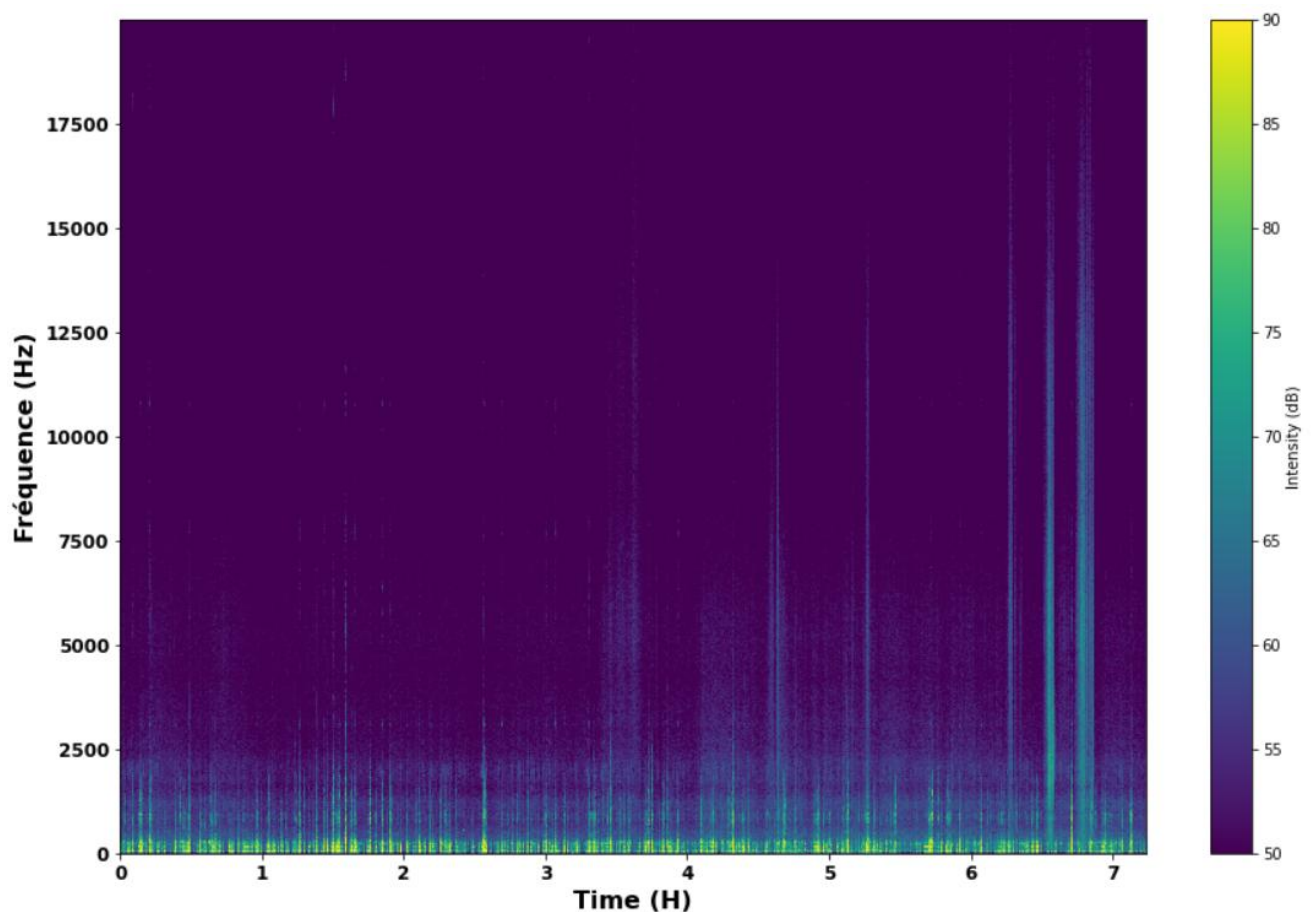


Figure 23 : Spectrogramme illustrant des conditions de tempête sur la station A en octobre 2023.

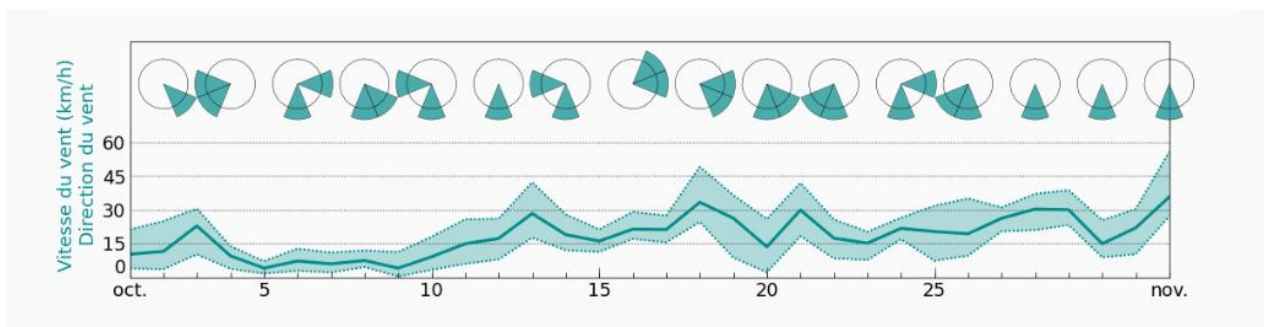


Figure 24 : Représentation des vitesses et directions des vents sur la station A durant le mois d'octobre 2023.

Les deux spectrogrammes visibles en **Figure 21** et **Figure 23** illustrent l'élévation du niveau sonore en condition de vents forts.

En **Figure 23** les données enregistrées à la station A le 21/10/2023 montrent une augmentation du bruit principalement dans la plage de fréquences de 1000 à 2500 Hz, mais dans certains cas, cette augmentation peut s'étendre jusqu'à 5000 Hz.

En **Figure 24** où la vitesse du vent dépasse les 80 km/h, le niveau sonore augmente sur l'ensemble de la plage de fréquences jusqu'à 30 kHz. Cependant, malgré cette augmentation, le niveau sonore ne dépasse pas les 80 dB re μ Pa dans chaque bande de couleur correspondant à chaque fréquence.

Il est important de noter que même si le niveau sonore reste sous les 80 dB re μ Pa dans chaque bande de fréquences, l'indicateur global du niveau sonore (SPL-RMS total) atteint 130 dB re μ Pa au total pour cette journée. Cela met en évidence l'effet des vents forts sur le niveau sonore ambiant, même si les valeurs moyennes restent dans des limites inférieures à 80 dB re μ Pa individuellement dans chaque plage de fréquences.

4.6.3 Sources de bruit d'origines biologiques

La **Figure 25** représente sous forme de spectrogrammes des clics issus de l'activité bioacoustique de cétacés. La **Figure 26** représente sous forme de spectrogramme des sifflements issus de l'activité bioacoustique de cétacés.

Les spectrogrammes représentent l'axe temporel (T) en abscisses avec une échelle de temps de 2 secondes, tandis que les fréquences sont représentées sur l'axe des ordonnées (Fréquence). Les fréquences varient entre 20 et 60 kHz pour les clics et entre 2 kHz et 20 kHz pour les sifflements. Ces valeurs ne sont pas présentées sur les axes, mais ce sont plutôt des dimensions de l'image. La barre de couleur représente l'intensité de l'image normalisée sur elle-même afin de bien visualiser le signal utile. Ces spectrogrammes sont le résultat de « zooms » sur le signal afin d'illustrer de manière plus précise les signatures ciblées. En effet, si l'intégralité du signal était présentée avec le niveau de détail requis, il serait difficilement visible à l'œil nu. Ainsi, ces « zooms » permettent une analyse plus approfondie et détaillée des signaux émis par les cétacés.

Il est à noter que certains signaux sont plus aisément détectables que d'autres, du fait de leur provenance à des distances moins importantes.

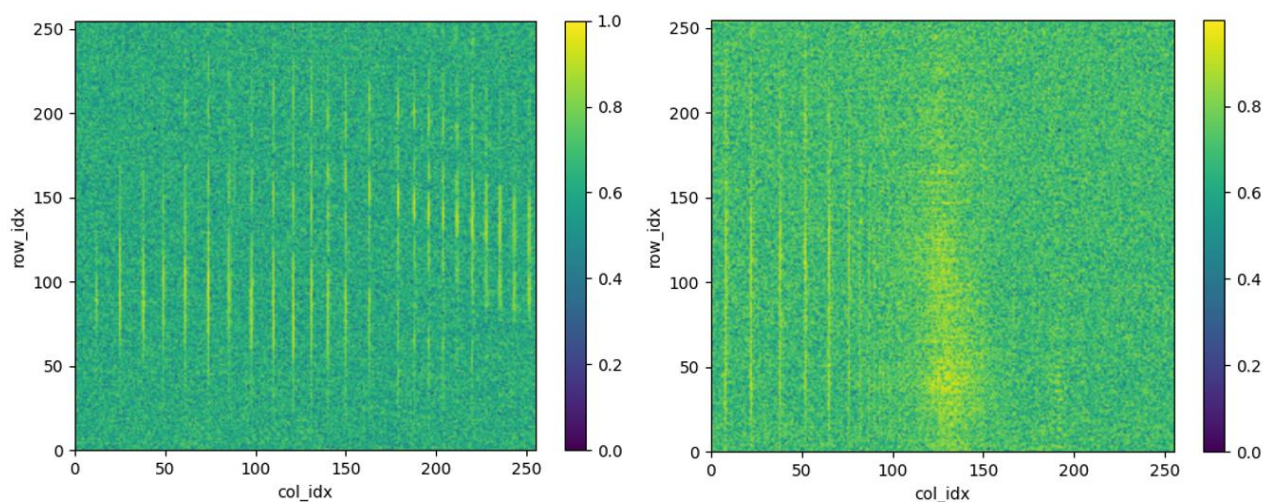


Figure 25 : Spectrogrammes illustrant des clics de cétacés issus des données 2023.

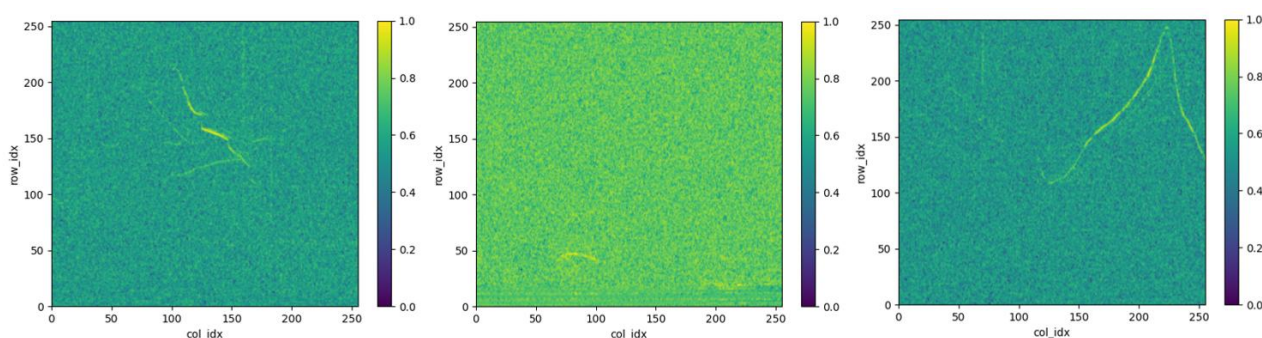


Figure 26 : Spectrogrammes illustrant des sifflements de cétacés issus des données 2023.

Les **Figure 25** et **Figure 26** illustrent les signaux émis par les cétacés pendant les campagnes acquisition du bruit ambiant sur l'année 2023. La **Figure 25** permet de visualiser des exemples de détections de clics, qui varient en fonction de l'activité des individus, que ce soit pour la localisation ou l'activité de chasse. Ces types d'activités peuvent se différencier en fonction de l'intensité des clics ou de leurs intervalles.

La **Figure 26** permet de visualiser des exemples de détections de sifflements. Les sifflements témoignent d'un comportement de communication entre les individus de la même espèce présents dans la zone.

4.7 RESULTATS DE LA MODELISATION

Les **Figure 27** à **Figure 34** représentent la modélisation du bruit de surface pour les aires d'étude rapprochée et éloignée. Les percentiles 95, 50 et 20 ainsi que la moyenne du bruit ambiant y sont exprimés sur la base des données AIS développées précédemment. Les moyennes et percentiles exprimés dans la modélisation du bruit de surface pour les quatre saisons traduisent, pour la zone du parc et l'aire d'étude rapprochée, les mêmes valeurs que celles produites dans les **Tableau 4**, **Tableau 6** et **Tableau 8**.

4.7.1 Printemps

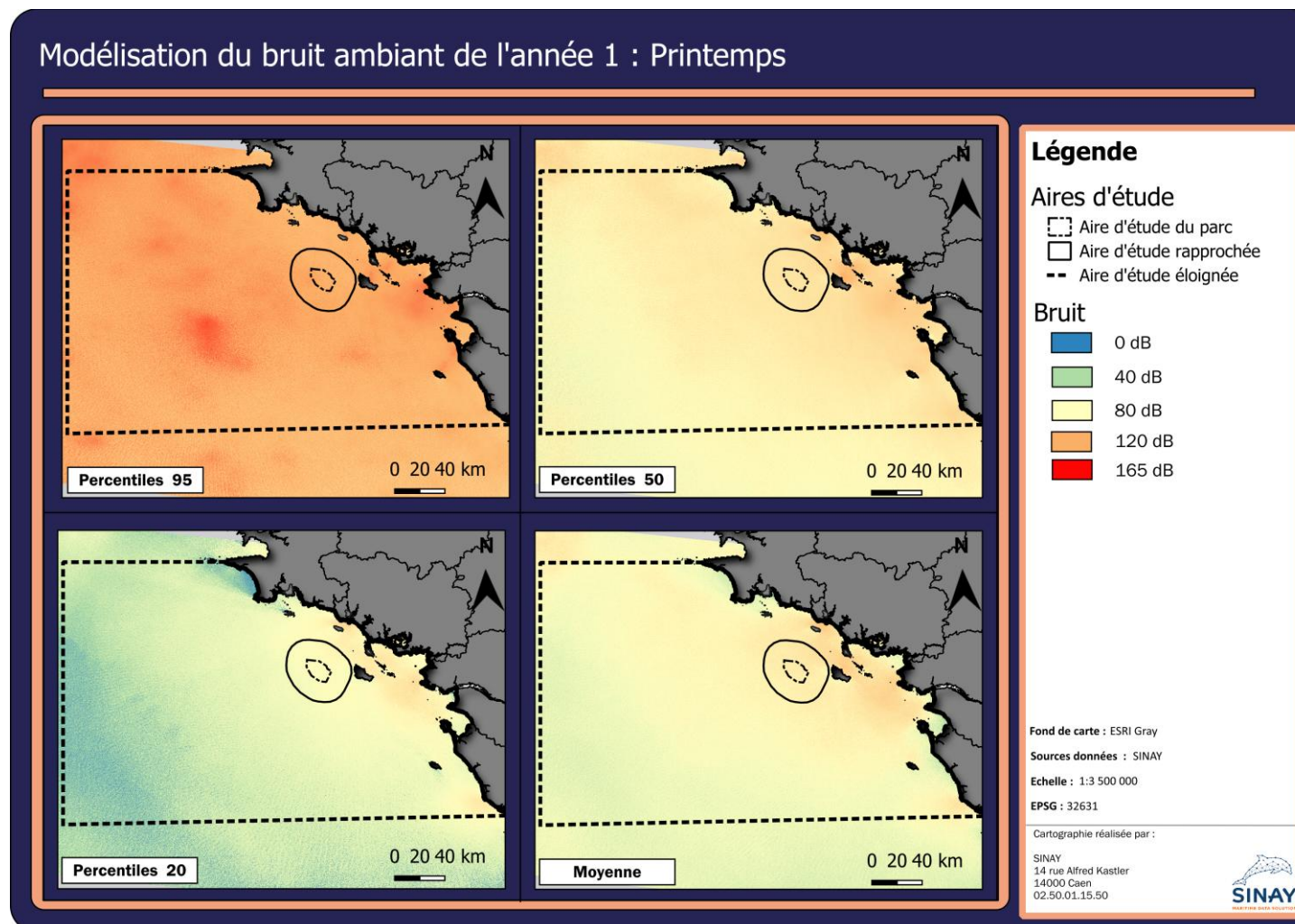


Figure 27 : Modélisation du bruit ambiant de la saison du printemps (année 1) - expression des percentiles.

Modélisation du bruit ambiant de l'année 2 : Printemps

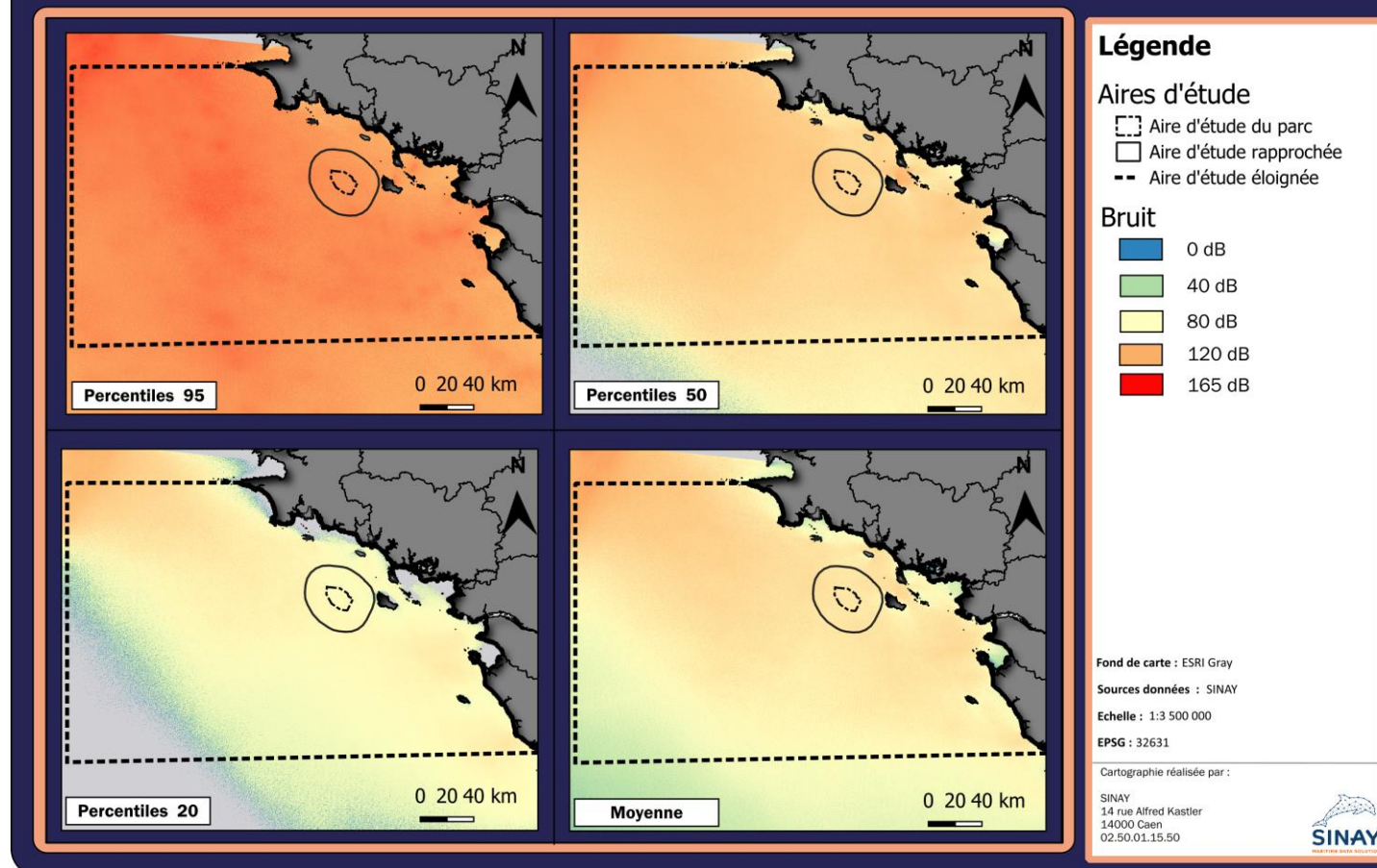


Figure 28 : Modélisation du bruit ambiant de la saison du printemps (année 2) - expression des percentiles.

- **Année 1**

Les représentations cartographiques modélisées de la première année permettent d'identifier que le bruit généré par le trafic maritime est plus important à la côte qu'au large pour les moyennes et les percentiles 50 et 20. Le percentile 95 fait exception avec le bruit du trafic maritime au large dans la Golfe de Gascogne qui apparaît comme élevé pendant 5% de la période étudiée.

- **Année 2**

Les représentations cartographiques modélisées de la deuxième année sont dans la continuité de celles de la première année. En effet, les percentiles 50 et 20 et la moyenne permettent d'identifier que le bruit généré par le trafic maritime est également plus important à la côte qu'au large. Le percentile 95 fait toujours exception avec un bruit du trafic maritime au large qui apparaît comme élevé. De manière générale le bruit est plus élevé pour les modélisations de la deuxième année.

L'homogénéité du bruit ambiant moyen et les faibles variations enregistrées sur les 3 stations de mesures sont également visibles à une échelle plus régionale. La modélisation des percentiles 20 et 50 (Médiane) et de la moyenne traduit cette homogénéité à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée.

4.7.1 Été

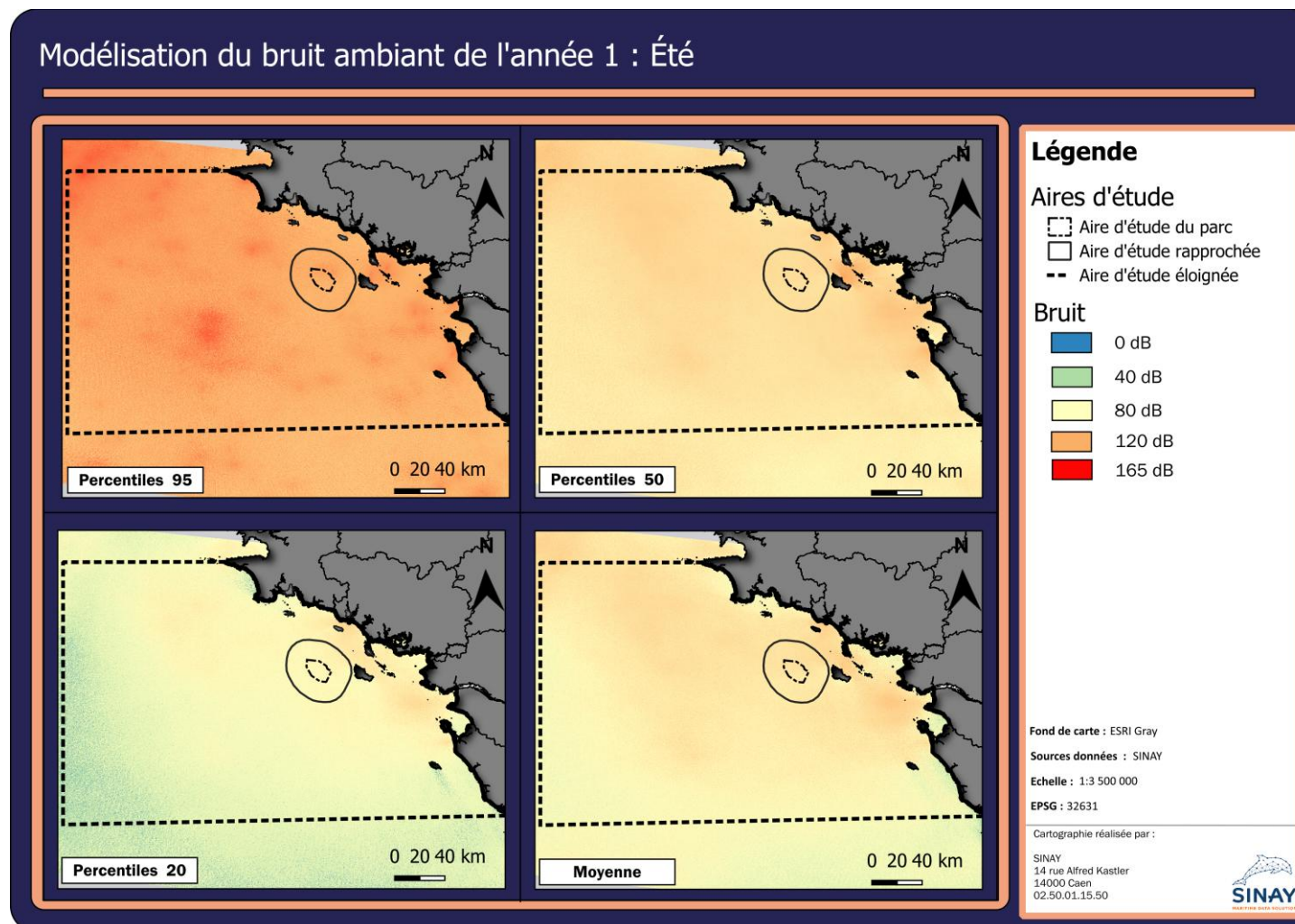


Figure 29 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'été (année 1) - expression des percentiles.

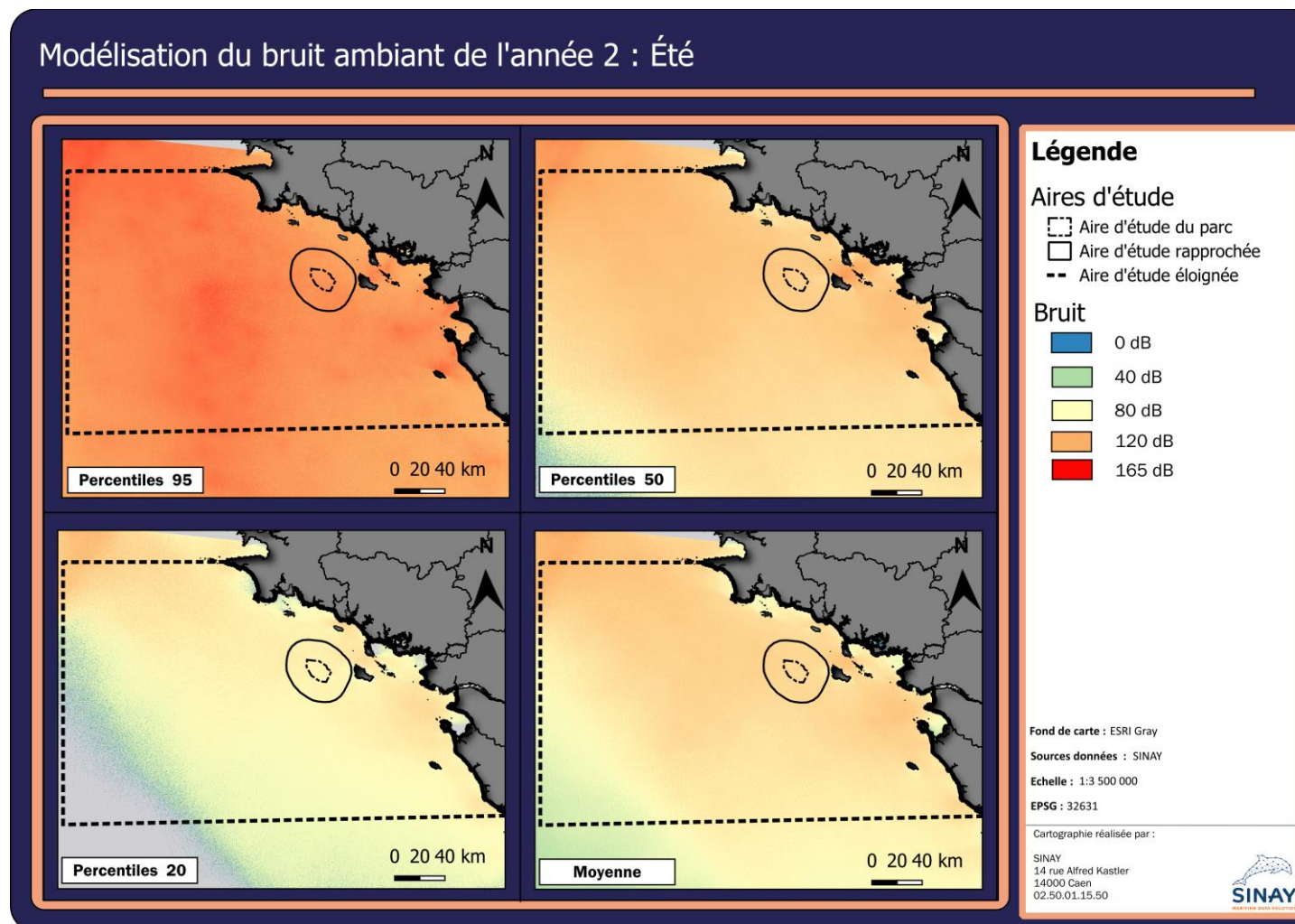


Figure 30 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'été (année 2) - expression des percentiles.

- **Année 1**

Les représentations cartographiques modélisées de la première année permettent d'identifier que le bruit du trafic maritime à une emprise géographique bien que plus importante que pour les autres saisons.

Tout de même, l'homogénéité du bruit ambiant moyen et les faibles variations enregistrées sur les 3 stations de mesures sont également visibles à une échelle plus régionale. Cette homogénéité à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée et éloignée est traduite par la modélisation de la moyenne et des percentiles 20, 50 (Médiane) et 95.

- **Année 2**

Les représentations cartographiques modélisées de la deuxième année sont dans la continuité de celles de la première année. De manière générale, le bruit est plus élevé à la côte qu'au large pour cette deuxième année avec une emprise géographique du trafic maritime plus importante.

La distribution géographique du bruit en été ne marque pas comme pour les autres saisons une différenciation entre un bruit du trafic maritime à la côte plus important qu'au large.

4.7.2 Automne

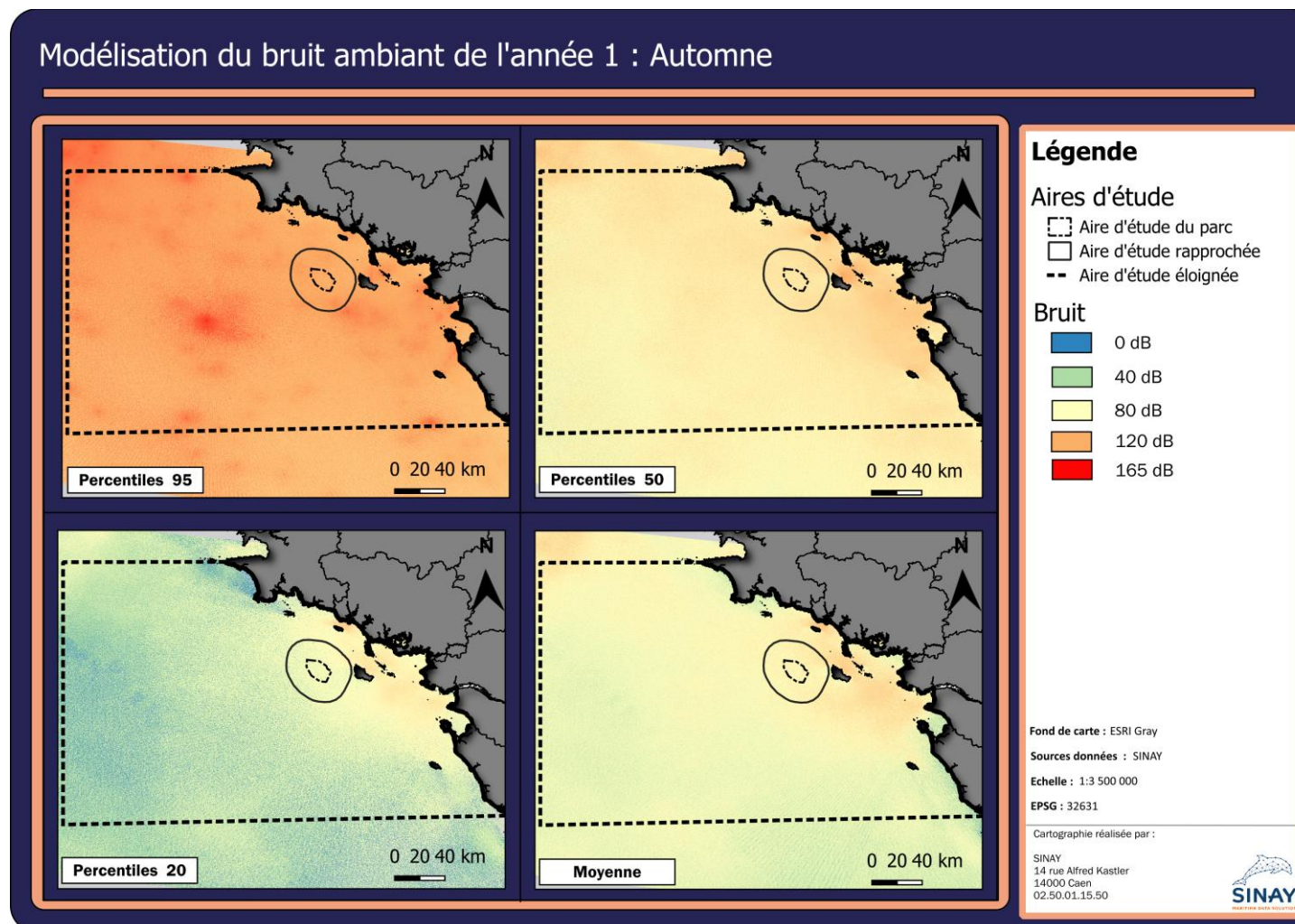


Figure 31 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'automne (année 1) - expression des percentiles.

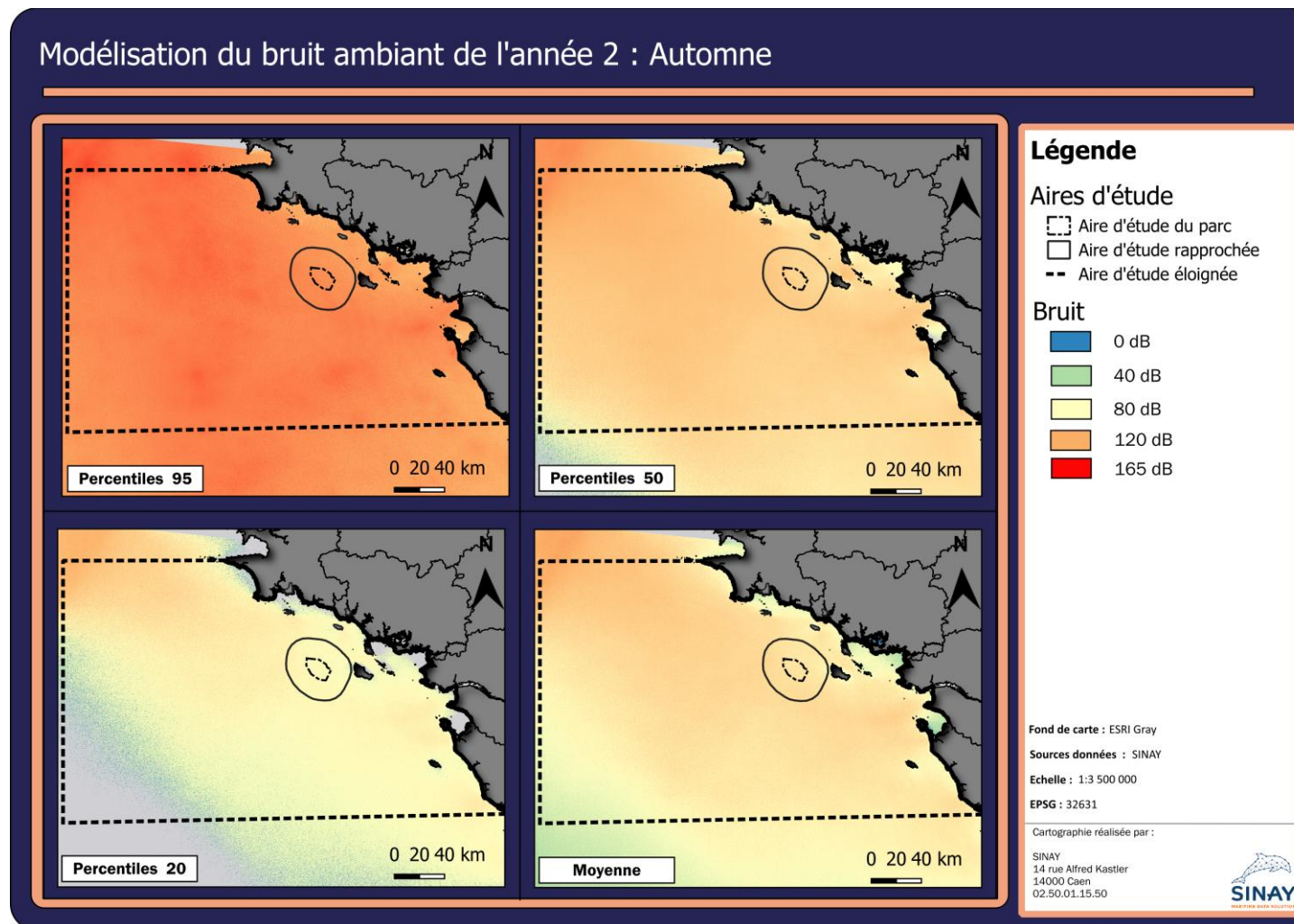


Figure 32 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'automne (année 2) - expression des percentiles

- **Année 1**

Les représentations cartographiques modélisées de la première année permettent d'identifier que le bruit généré par le trafic maritime est plus important à la côte qu'au large pour les moyenne et les percentiles 50 et 20. Le percentile 95 fait exception avec le bruit du trafic maritime au large dans la Golfe de Gascogne qui apparaît comme élevé pendant 5% de la période étudiée.

- **Année 2**

Les représentations cartographiques modélisées de la deuxième année sont dans la continuité de celles de la première année. En effet les percentiles 50 et 20 et la moyenne permettent d'identifier que le bruit généré par le trafic maritime est également plus important à la côte qu'au large.

Le percentile 95 fait toujours exception avec un bruit du trafic maritime au large qui apparaît comme élevé. De manière générale, le bruit est plus élevé pour les modélisations de la deuxième année.

L'homogénéité du bruit ambiant moyen et les faibles variations enregistrées sur les 3 stations de mesures sont également visibles à une échelle plus régionale. La modélisation des percentiles 20 et 50 (Médiane) et de la moyenne traduit cette homogénéité à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée.

4.7.3 Hiver

Modélisation du bruit ambiant de l'année 1 : Hiver

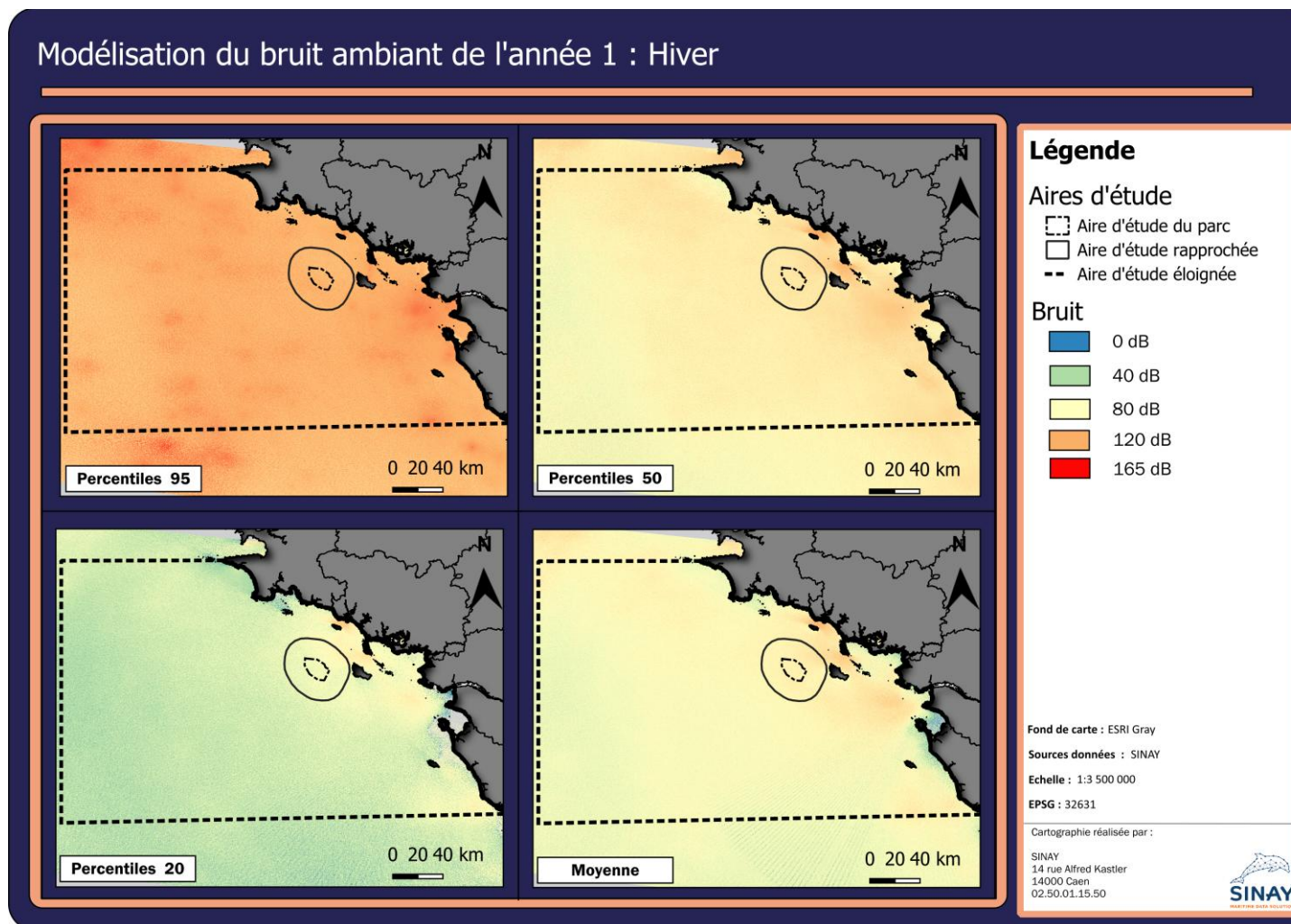


Figure 33 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'hiver (année 1) - expression des percentiles

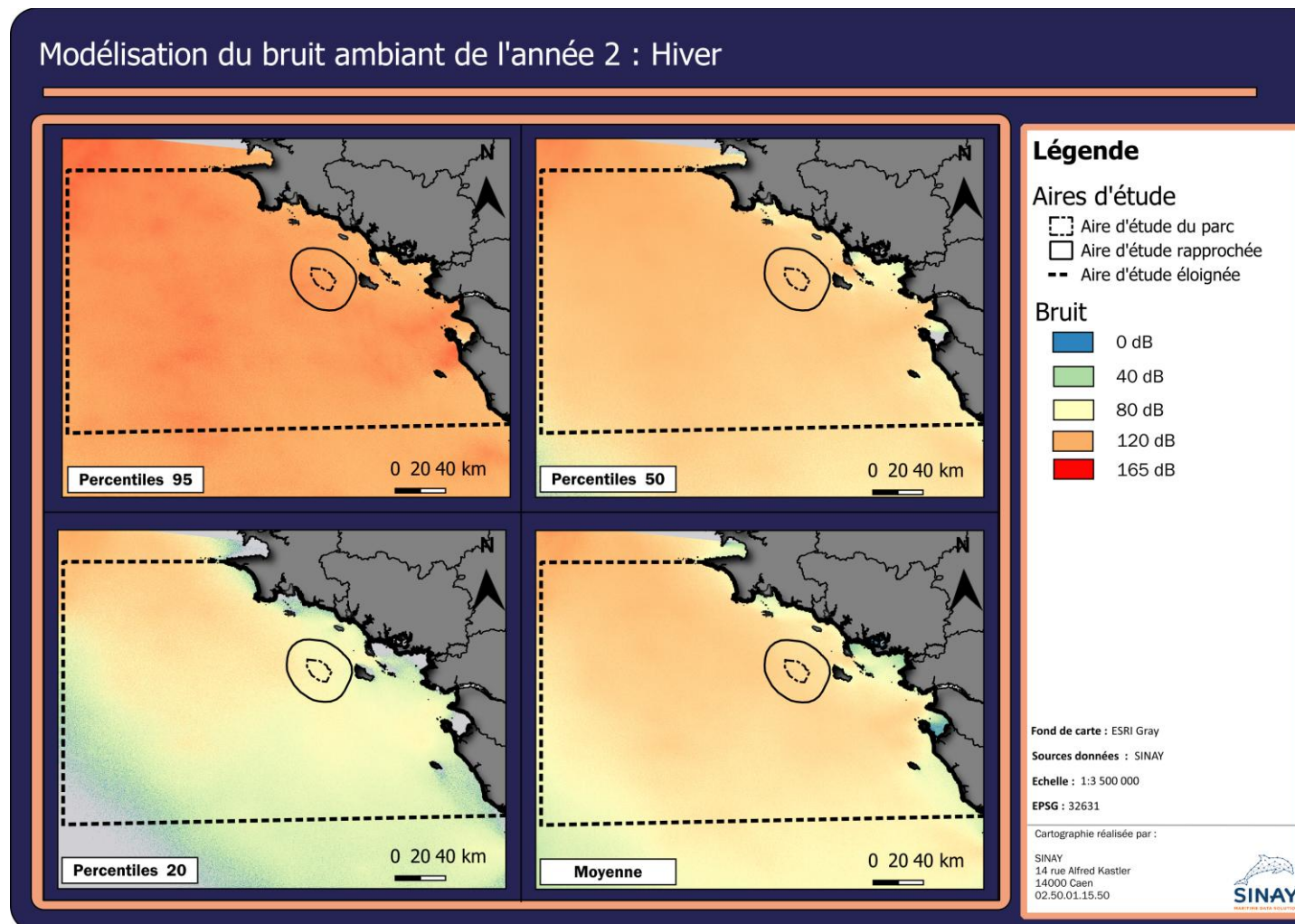


Figure 34 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'hiver (année 2) - expression des percentiles.

- **Année 1**

Les représentations cartographiques modélisées de la première année permettent d'identifier que le bruit généré par le trafic maritime est plus important à la côte qu'au large pour la moyenne et les percentiles 50 et 20. Le percentile 95 fait exception avec le bruit du trafic maritime au large dans la Golfe de Gascogne qui apparaît comme élevé pendant 5% de la période étudiée.

- **Année 2**

Les représentations cartographiques modélisées de la deuxième année sont dans la continuité de celles de la première année. En effet les percentiles 50 et 20 et la moyenne permettent d'identifier que le bruit généré par le trafic maritime est également plus important à la côte qu'au large.

Le percentile 95 fait toujours exception avec un bruit du trafic maritime au large qui apparaît comme élevé. De manière générale le bruit est plus élevé pour les modélisations de la deuxième année.

L'homogénéité du bruit ambiant moyen et les faibles variations enregistrées sur les 3 stations de mesures sont également visibles à une échelle plus régionale. La modélisation des percentiles 20 et 50 (Médiane) et de la moyenne traduit cette homogénéité à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée.

Chacune des représentations cartographiques modélisées permet d'identifier que le bruit généré par le trafic maritime est plus important à la côte qu'au large. Les niveaux de bruit moyen du trafic maritime modélisés donnent des ordres de grandeur similaires aux mesures réalisées sur les 3 stations, à l'échelle de l'aire rapprochée.

4.8 CONCLUSION DE LA MODELISATION

Les études réalisées avec ces modèles de simulation donnent une idée globale sur le niveau du bruit généré par le trafic maritime pendant la période sélectionnée. Cependant, il est important de considérer que les niveaux de bruit calculés avec les modèles de simulation ne sont pas strictement comparables avec les résultats de mesures pendant un enregistrement complet, pour plusieurs raisons :

- Pour comparer les résultats de mesures avec les modèles il faut reprendre un scénario à un instant précis et le comparer aux mesures in situ pour chaque seconde.
- Ces études statistiques sont basées sur des échantillons moyennés des scénarios et non pas sur toute la période.
- Pour chaque point de la carte, la contribution de bruit des navires sur la zone est uniquement prise en compte. Les moments de silence où il y a contribution du bruit naturel n'ont pas été retenus.

La modélisation du bruit moyen du trafic maritime pour chaque saison met en évidence le caractère homogène et stable du bruit ambiant avec une variabilité intersaison limitée. Cette tendance vient confirmer les résultats enregistrés in situ sur les 3 stations de mesures.

Cependant il est possible de remarquer les effets de la variation de la bathymétrie sur la propagation des ondes acoustiques ainsi que les routes maritimes. L'intensité du bruit est proportionnelle à la profondeur.

La distribution géographique du bruit en été ne marque pas, comme pour les autres saisons, une différenciation entre un bruit du trafic maritime à la côte plus important qu'au large.

Cette différence peut s'expliquer par :

- L'augmentation de l'activité du trafic maritime en été.
- L'effet d'une thermocline (variation rapide de la température de surface) plus marquée en été et permettant également d'expliquer que les mesures in situ étant réalisées sous la thermocline ne traduisent pas cette tendance.

Les résultats des modélisations montrent que, pour toutes les saisons, le bruit dans l'aire d'étude éloignée dépasse les 120 dB re μ Pa pendant 5% du temps. Ces résultats s'expliquent par la faible représentativité des navires ou comportements les plus bruyants.

Cette analyse statistique sur l'aire d'étude éloignée permet de conclure que le bruit généré par le trafic maritime est plus élevé à la côte, avec environ 15/20 dB re μ Pa de plus pour les percentiles 20 et 50 (médiane comparée à la zone du large).

Les variations du bruit ambiant constatées dans la zone du parc et dans la zone Témoin lors des enregistrements in situ ne sont pas visibles à l'échelle de la modélisation (aire d'étude rapprochée et éloignée).

5. EVOLUTION DES DETECTIONS DES CETACES DANS LA ZONE D'ETUDE DURANT LA PERIODE D'ENREGISTREMENT (2022-2024)

Les données permettant l'étude des cétacés étant acquises par deux types d'instruments (Enregistreur et POD), l'évolution des détections est présentée selon chaque moyen d'acquisition. En effet, chaque dispositif (enregistreur et POD) présente des limites propres ne permettant pas une agrégation des données à des fins exploitables.

5.1 INDICATEURS D'ACTIVITE BIOACOUSTIQUE EXTRAITS DES DONNEES DES ENREGISTREURS

Ce chapitre présente les résultats des détections acoustiques de clics de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*) et de Delphinidés acquises par les enregistreurs (stations A, B et T) sur la période 10/11/2022 au 03/12/2024. Les périodes d'enregistrement ont permis d'obtenir une couverture de **88,2 %** d'échantillonnage.

5.1.1 Présence et taux de rencontre des espèces

La **Figure 35** illustre les moyennes journalières du nombre de clics par heure pour les Marsouins communs et les Delphinidés entre novembre 2022 et novembre 2024, toutes stations confondues. La période de faible disponibilité des données résulte d'un problème technique qui a affecté les enregistreurs. Les périodes d'acquisition de données sont illustrées par la **Figure 90 (Annexe 10.7)** pour chaque enregistreur.

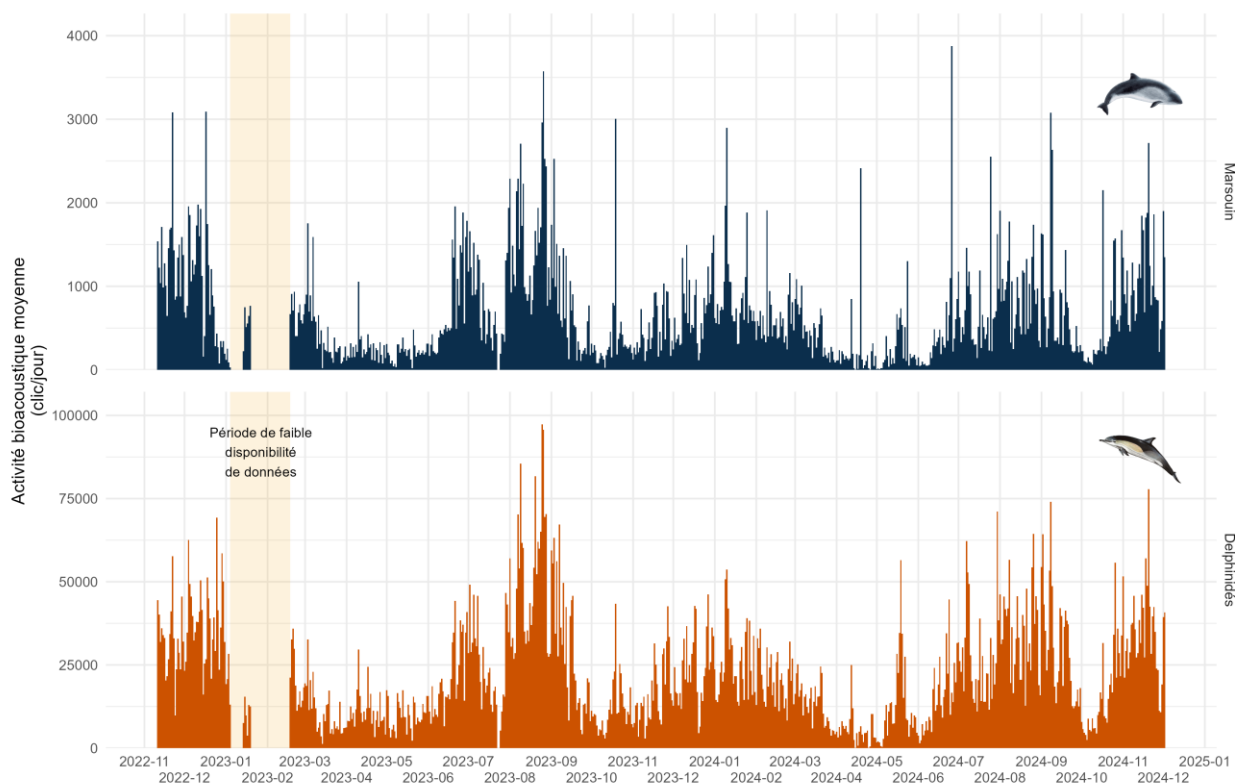


Figure 35 : Répartition temporelle des clics (moyenne journalière) des Marsouins communs (en haut) et des Delphinidés (en bas) sur l'ensemble des campagnes enregistreurs, toutes stations confondues (A, B et Témoin).

D'après ces données, il apparaît que les Marsouins communs et les Delphinidés sont présents dans la zone d'étude tout au long de la période de suivi. Ce suivi bioacoustique a permis d'enregistrer un total de 45 668 220 clics toutes espèces confondues. Le nombre de clics émis par les Delphinidés représente 97 % des clics enregistrés (44 340 390 clics), contre 3 % pour les Marsouins (1 327 830 clics). La dynamique temporelle des clics journaliers moyens met en évidence des variations saisonnières marquées pour les Delphinidés et les Marsouins, soulignant des périodes d'activités communes pour ces deux groupes.

Pour les Delphinidés, l'été se distingue comme la saison la plus importante, avec une moyenne saisonnière de 36 013 clics/jour. Les pics moyens journaliers les plus élevés ont été enregistrés les 25 et 26 août 2023 avec respectivement 97 365 et 95 650 clics/jour. L'automne et l'hiver constituent également des périodes d'activités notables avec des moyennes respectives de 22 514 clics/jour et 21 340 clics/jour, confirmant une présence soutenue en fin d'année. L'activité bioacoustique printanière diminuent fortement avec une moyenne de 10 143 clics/jour.

L'activité acoustique des Marsouins, bien que globalement moins intense que celle des Delphinidés, suit une dynamique temporelle similaire. Elle atteint son pic en été, avec une moyenne de 1 034 clics/jour. Des pics moyens d'activité ont été relevés, notamment 3 877 clics le 26 juin 2024 et 3 575 clics le 26 août 2023. L'automne et l'hiver sont également représentatifs des périodes d'activité soutenue, avec des moyennes respectives de 706 et 683 clics/jour, traduisant une présence régulière en fin d'année. En revanche, l'activité bioacoustique au printemps diminue, avec une moyenne de 258 clics/jour.

Le **Tableau 18** présente des données sur le taux de rencontre des espèces de Delphinidés et de Marsouins communs pour chaque station, mesurées en nombre d'heures contenant des détections (DPH) et en nombre de jours de détection par rapport au nombre total de jours de mesures. Cette mesure offre une vision qualitative des tendances générales de fréquentation des Delphinidés et des Marsouins communs dans chaque station, apportant ainsi un aperçu de la variabilité de présence entre les sites d'observation.

Tableau 18 : Taux de rencontre : proportion d'heures avec détection d'au moins un clic et un sifflement par rapport au nombre d'heures enregistrées, par station (A, B et Témoin) sur l'ensemble des campagnes enregistrées).

Espèces	Delphinidés		Marsouins communs	
Stations	Taux de rencontre (nombre de DPH / nombre d'heures enregistrés)	Nombre de jours de présence / Nombre de jours total	Taux de rencontre (nombre de DPH / nombre d'heures enregistrés)	Nombre de jours de présence / Nombre de jours total
Station A	100 %	100 %	31,4 %	96,3 %
	Temps de présence (11 658 h / 11 658 h)	676 jours de détections / 676 jours de mesures	Temps de présence (5 064 h / 16 112 h)	657 jours de détections / 682 jours de mesures
Station B	100 %	100 %	25,7 %	94,4 %
	Temps de présence (10 470 h / 10 470 h)	633 jours de détections / 633 jours de mesures	Temps de présence (4 205 h / 16 379 h)	608 jours de détections / 644 jours de mesures
Station T	100 %	100 %	22,6 %	95,6 %
	Temps de présence (9 030 h / 9 030 h)	666 jours de détections / 666 jours de mesures	Temps de présence (3 541 h / 15 674 h)	637 jours de détections / 666 jours de mesures

Ces résultats montrent une présence quotidienne des Delphinidés sur toutes les stations avec des taux de rencontre et un temps de présence égal à 100 %. Les Marsouins communs sont également détectés régulièrement (entre 94,4 % et 93,3% de jours de présence), mais avec un taux de rencontre plus faible compris entre 22,6 % et 31,4 %. La station A enregistre le plus grand taux de rencontre avec 31,4 %.

✓ **Occurrence**

Les Marsouins communs et les Delphinidés sont présents dans la zone d'étude tout au long de la période de suivi, avec une dominance marquée des clics des Delphinidés représentant **97 %** des clics enregistrés.

✓ **Activité bioacoustique saisonnière**

Les deux groupes présentent la même dynamique saisonnière avec une activité particulièrement prononcée en été et soutenue en automne et en hiver. Elle diminue fortement au printemps.

✓ **Taux de rencontre par station**

Leur **présence est quasi-permanente** sur l'ensemble des stations avec un temps de présence de **100 %** pour les Delphinidés et supérieur à **94,4 %** pour les Marsouins.

Les Delphinidés ont un taux de rencontre compris de 100 % sur l'ensemble des stations, tandis que le taux de rencontre des Marsouins est nettement plus faible (**22,6 à 31,4 %**).

5.1.2 Variabilité temporelle de la fréquentation

Les variabilités temporelles évaluées à partir des données des enregistreurs concernent 3 niveaux : la variabilité saisonnière, diurne et horaire, chacune apportant une information à une échelle temporelle différente et complémentaire sur la fréquentation de la zone d'étude. Cette variabilité est également mise en relation avec la station d'enregistrement. Les graphiques de la variabilité saisonnière (**Figure 92**) et mensuelle (**Figure 93**) sont également présentés en **Annexe 10.8**.

5.1.2.1 Variabilité saisonnière

Les **Figure 36** et **Figure 37** illustrent les activités moyennes saisonnières des clics enregistrés pour les Delphinidés et les Marsouins sur les différentes stations (A, B et T), en regroupant les deux années de suivi.

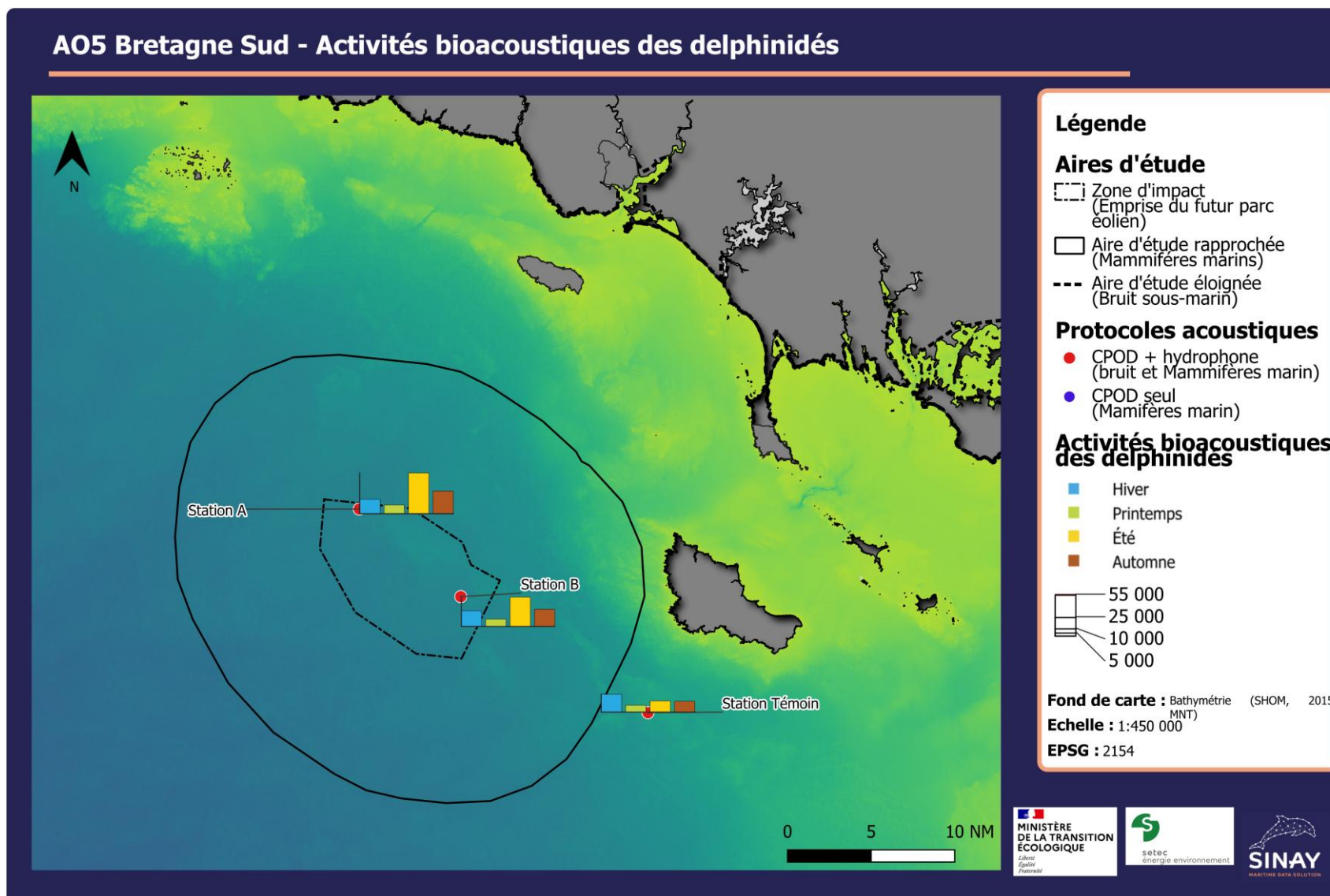


Figure 36 : Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés dans les stations A, B et Témoin (données enregistreurs campagnes 1 à 23).

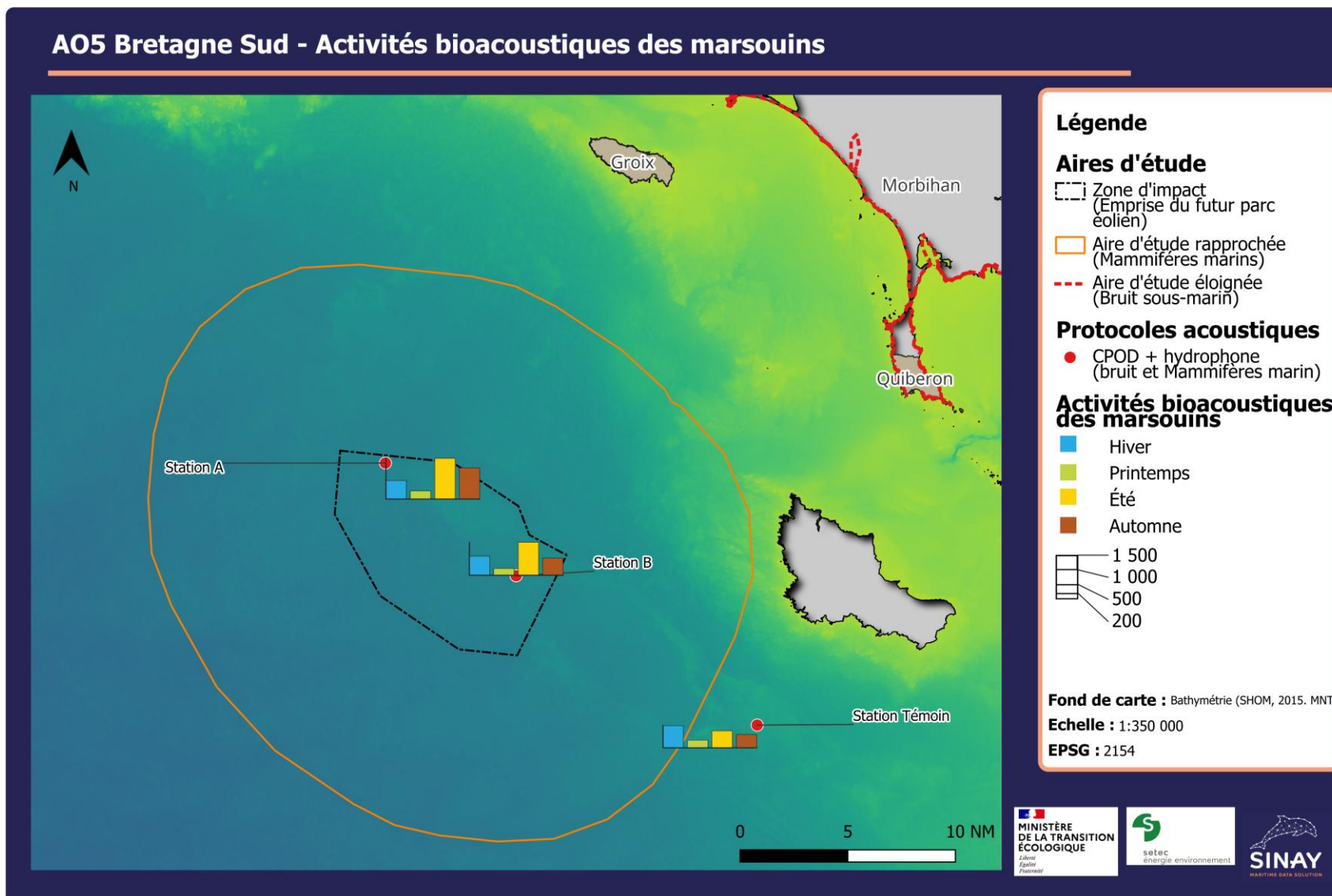


Figure 37 : Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Marsouins dans les stations A, B et Témoin (données enregistreurs campagnes 1 à 23).

L'activité bioacoustique des Delphinidés (**Figure 36**) varie fortement selon les saisons et les stations étudiées. L'été se distingue comme la période d'activité la plus intense sur l'ensemble des stations, en particulier à la station A, où une moyenne de 54 151 clics/jour est enregistrée, suivie de la station B avec 39 006 clics/jour. En comparaison, la station T présente une activité estivale plus modérée (14 881 clics/jour). À l'automne, l'activité diminue, notamment dans les stations A (30 137 clics/jour) et B (22 941 clics/jour) et reste stable dans la station T (14 465 clics/jour). De même pour l'activité hivernale avec cette fois-ci une moyenne journalière plus élevée dans la station T (23 672 clics/jour). Le printemps marque la période d'activité la plus basse pour les Delphinidés, avec une diminution marquée sur toutes les stations. La moyenne la plus élevée est enregistrée à la station A (11 575 clics/jour).

Les Marsouins présentent également une forte variabilité saisonnière (**Figure 37**), avec une activité globale inférieure à celle des Delphinidés. L'été se démarque comme la période où leur activité est la plus marquée, en particulier à la station A (1 394 clics/jour), suivie de la station B (1 129 clics/jour). La station T affiche une activité estivale plus faible (580 clics/jour). L'automne est également une saison où l'activité reste importante, notamment à la station A (1 070 clics/jour), alors que les stations B et T enregistrent des niveaux plus bas, respectivement 591 et 456 clics/jour. En hiver, l'activité des Marsouins demeure relativement élevée, atteignant 760 clics/jour à la station T, 654 clics/jour à la station B, et 635 clics/jour à la station A. Le printemps marque une nette diminution de l'activité bioacoustique des Marsouins sur l'ensemble des stations. La moyenne la plus élevée est enregistrée à la station A (277 clics/jour).

Les résultats du test de Mann-Whitney, appliqué pour identifier les différences significatives dans la distribution des Delphinidés (**Figure 38**) et des Marsouins (**Figure 39**) entre différentes stations et saisons, sont présentés ci-dessous. Les valeurs de $p < 0,05$ (en orange) indiquent des différences significatives, soulignant des variations dans la répartition spatio-temporelle des individus.

Saison	Automne - A	Automne - B	Automne - T	Été - A	Été - B	Été - T	Hiver - A	Hiver - B	Hiver - T	Printemps - A	Printemps - B
Automne - B	0,052										
Automne - T	0,001	0,001									
Été - A	0,001	0,001	0,001								
Été - B	0,005	0,001	0,001	0,001							
Été - T	0,001	0,001	0,889	0,001	0,001						
Hiver - A	0,008	1	0,001	0,001	0,001	0,001					
Hiver - B	0,166	1	0,001	0,001	0,001	0,001	1				
Hiver - T	0,501	1	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1			
Printemps - A	0,001	0,001	0,073	0,001	0,001	1	0,001	0,001	0,001		
Printemps - B	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,408	0,001	0,001	0,001	0,889	
Printemps - T	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,184	0,001	0,001	0,001	0,768	1

Figure 38 : Résultats du test pour comparaisons des moyennes par paires de Mann-Whitney pour les Delphinidés (données enregistreurs, stations A, B et Témoin).

L'analyse des variations spatio-temporelles des Delphinidés a mis en évidence des différences significatives entre les saisons et les stations ($p < 0,05$), confirmant une activité bioacoustique plus marquée en été et une baisse notable au printemps. Les stations A, B et T présentent une activité similaire en hiver ($p = 1$), suggérant une occupation stable à cette période. En revanche, l'été montre des contrastes marqués,

notamment entre la station T et les stations A et B, traduisant une faible fréquentation des Delphinidés dans la zone témoin durant cette saison. Ces résultats soulignent une forte variabilité saisonnière et spatiale, avec des périodes de fréquentation intenses et des zones privilégiées selon la saison.

Saison	Automne - A	Automne - B	Automne - T	Été - A	Été - B	Été - T	Hiver - A	Hiver - B	Hiver - T	Printemps - A	Printemps - B
Automne - B	0,006										
Automne - T	0,001	0,282									
Été - A	0,001	0,001	0,001								
Été - B	0,227	0,001	0,001	0,1							
Été - T	0,001	0,141	1	0,001	0,001						
Hiver - A	1	0,087	0,001	0,001	0,001	0,001					
Hiver - B	1	0,148	0,001	0,001	0,003	0,001	1				
Hiver - T	1	0,296	0,001	0,001	0,003	0,001	1	1			
Printemps - A	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,006	0,001	0,001	0,001		
Printemps - B	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,36	
Printemps - T	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,041	0,001	0,001	0,001	1	0,105

Figure 39 : Résultats du test pour comparaisons des moyennes par paires de Mann-Whitney pour les Marsouins communs (données enregistreurs, stations A, B et Témoin).

Le test appliqué aux données des Marsouins met en évidence des différences significatives entre les saisons et les stations ($p < 0,05$), traduisant une variabilité marquée de leur répartition bioacoustique. L'été et le printemps se distinguent des autres saisons par des différences significatives dans toutes les stations, confirmant une forte augmentation de l'activité estivale. Cependant, certaines comparaisons ne révèlent pas de différences significatives, suggérant une stabilité relative de la fréquentation des Marsouins. En hiver, les stations A, B et T présentent une occupation homogène ($p = 1$), indiquant une répartition stable à cette période. De même, les différences entre l'automne et l'hiver en station B ($p = 0,148$) et en station T ($p = 0,296$) ne sont pas significatives, suggérant une continuité saisonnière entre ces périodes dans ces zones. Enfin, au printemps, les stations A et B affichent des niveaux d'activité comparables ($p = 0,36$), tout comme les stations B et T ($p = 0,105$), indiquant une homogénéité spatiale à cette saison.

✓ Variabilité saisonnière inter et intra-stations

Les résultats des 24 mois d'enregistrements révèlent des variations saisonnières significatives inter et intra station dans l'activité acoustique des Delphinidés et des Marsouins, confirmant les tendances observées dès la première année.

✓ Activité bioacoustique saisonnière par station

Delphinidés :

- **Période estivale** : saison la plus importante avec une activité maximale dans la station A (54 151 clics/jour), suivie de la stations B (39 006 clics/jour).

- **Période automnale** : l'activité diminue mais reste soutenue, en particulier dans les stations A (30 137 clics/jour) et B (22 941 clics/jour).
- **Période hivernale** : baisse progressive de l'activité, avec une présence encore significative dans les trois stations, notamment dans la station T (23 672 clics/jour), traduisant une occupation hivernale stable.
- **Période printanière** : réduction marquée de l'activité, avec des valeurs plus faibles enregistrées dans toutes les stations.

Marsouins :

- **Période estivale** : saison la plus importante avec une activité maximale en station A (1 394 clics/jour), suivie par la station B (1 129 clics/jour).
- **Période automnale** : activité soutenue en station A (1 070 clics/jour).
- **Période hivernale** : activité modérée est homogène entre les trois stations.
- **Période printanière** : forte baisse de l'activité bioacoustique sur l'ensemble des stations.

✓ **La station Témoin (T)** est celle qui présente la plus faible activité acoustique pour les deux espèces. Les Marsouins y montrent une présence stable, surtout en hiver et en automne. Les Delphinidés y sont très peu actifs en été, mais leur fréquentation augmente en hiver. Ces résultats suggèrent que la station T est un habitat plus constant pour les Marsouins, tandis que les Delphinidés privilégient les stations du parc éolien en été et en automne, probablement en lien avec la disponibilité des ressources alimentaires ainsi que des facteurs environnementaux et anthropiques influençant leur répartition.

5.1.2.2 Variabilité diurne

La **Figure 40** montre la répartition jour/nuit des clics enregistrés des Delphinidés et Marsouins communs sur les stations A, B et Témoin.

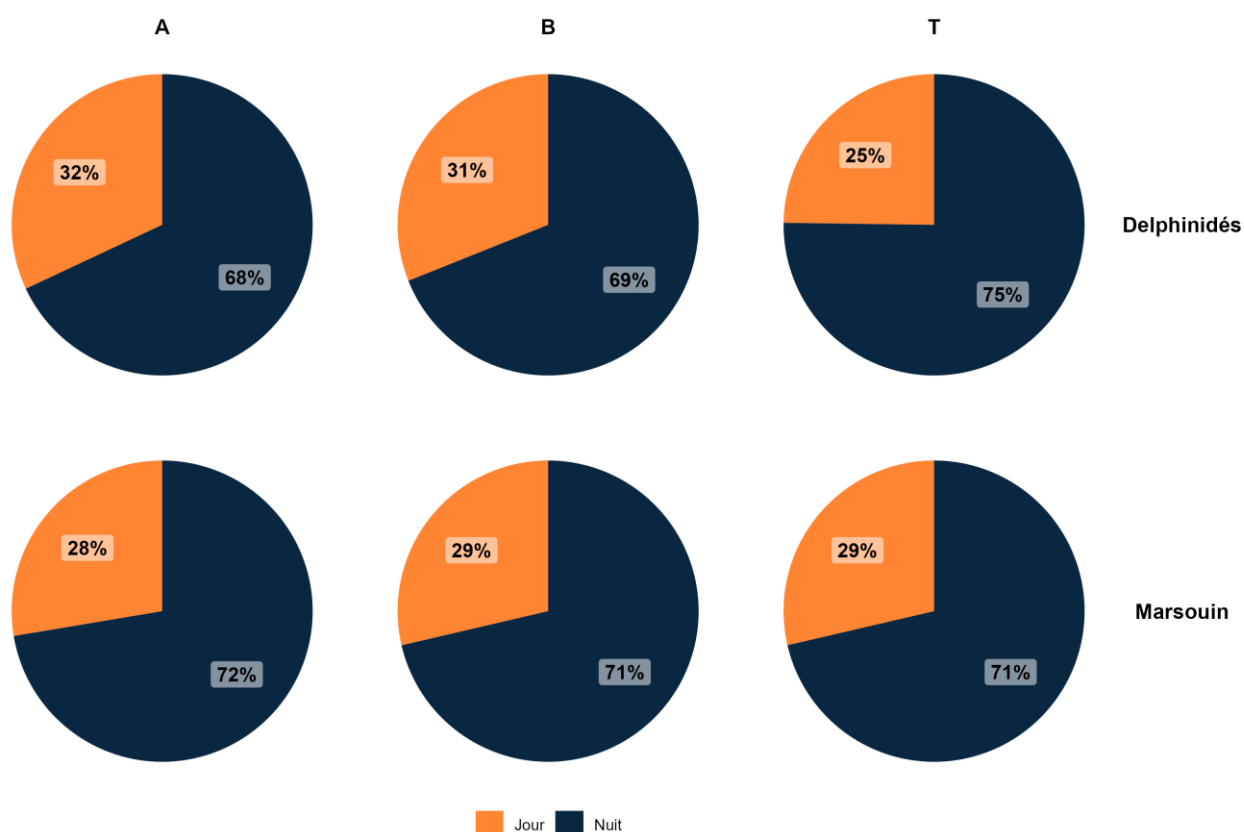


Figure 40 : Répartition jour/nuit des clics des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B et Témoin.

Des clics de Delphinidés et de Marsouin sont détectés de jour et de nuit sur toutes les stations. Leur activité bioacoustique est plus élevée pendant la nuit que pendant les heures de clarté. La répartition des taux de détection entre jour et nuit est plutôt stable entre stations notamment pour les Marsouins (~29 % de clics enregistrés en journée). Une légère variabilité est observée pour les détections diurnes des Delphinidés qui varient entre 25% et 32 %.

La **Figure 41** illustre l'activité diurne des Delphinidés sur l'ensemble des stations (A, B et Témoin) au cours des deux années de suivi. Le Marsouin commun présente une trop forte dispersion des données sur l'année pour pouvoir représenter son schéma d'activité diurne.

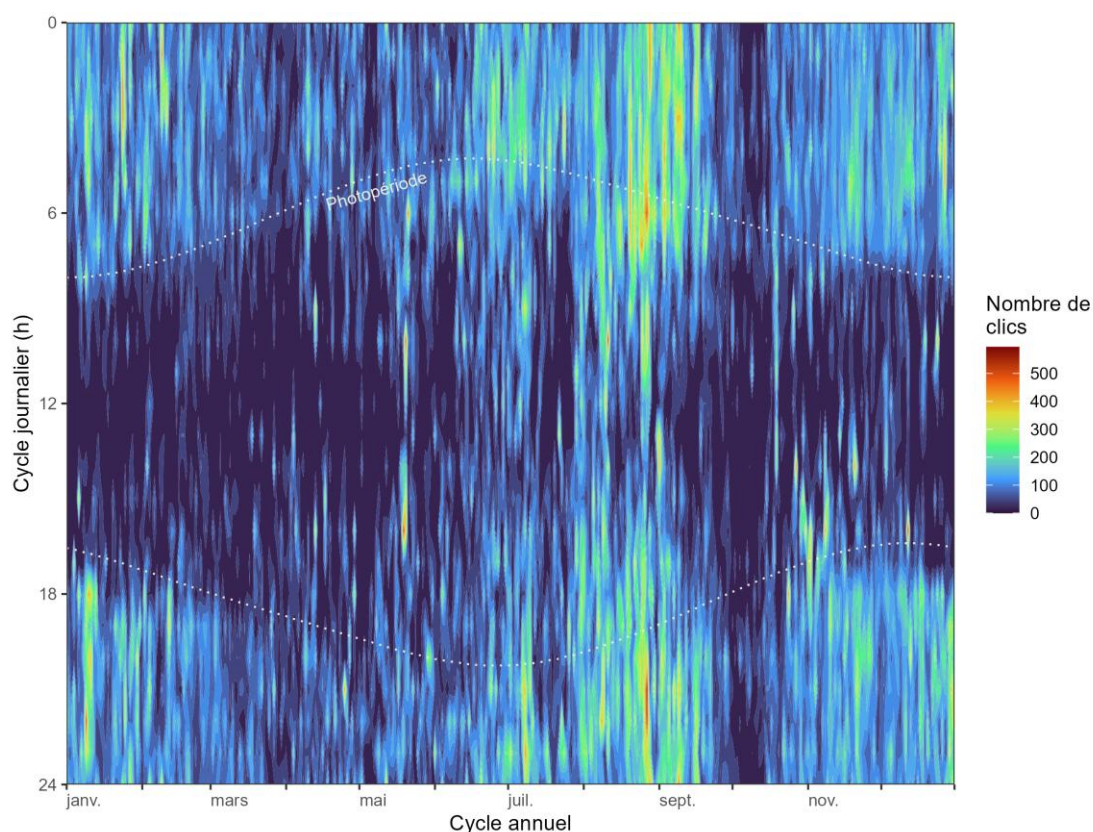


Figure 41 : Nombre moyen de clics des Delphinidés par minute sur une heure, en fonction de la date (X) et de l'heure du jour (Y), toutes stations confondues (A, B et Témoin). Le taux de détection moyen par minute est visualisé par des contours sur deux axes temporels : l'axe horizontale représente l'année solaire, l'axe vertical représente les heures du jour. Les intensités élevées sont rouges et les intensités faibles sont bleu foncé. Les lignes blanches discontinues indiquent les heures de lever et de coucher du soleil. Les formes géométriques à gauche correspondent à la période de faible disponibilité des données.

L'évolution de la répartition jour/nuit au cours des deux années a été analysée à partir des données regroupées de tous les enregistreurs (stations A, B et T). Pour les Delphinidés, la répartition des détections de clics entre jour et nuit n'est pas constante au cours de l'année. Pendant l'activité bioacoustique la plus élevée, qui ait été observée de juillet à septembre, les émissions sont plutôt homogènes entre le jour et la nuit. Le reste de l'année il est possible d'apprécier une différence nette entre détections de jour et de nuit. Aussi, en dehors de la période juillet-août-septembre, l'activité de clic des Delphinidés a progressivement augmenté à mesure que la disponibilité de la lumière diminuait au cours des mois d'automne et d'hiver, puis a progressivement diminué après le solstice d'hiver et jusqu'au mois de mai.

5.1.2.3 Variabilité horaire

La variabilité horaire de l'activité bioacoustique des cétacés ainsi que la moyenne du nombre de clics par heure ont été calculées pour chaque heure d'un cycle journalier. Ces statistiques sont présentées séparément pour les 4 saisons dans la **Figure 42** pour les Delphinidés (à gauche) et des Marsouins (à droite).

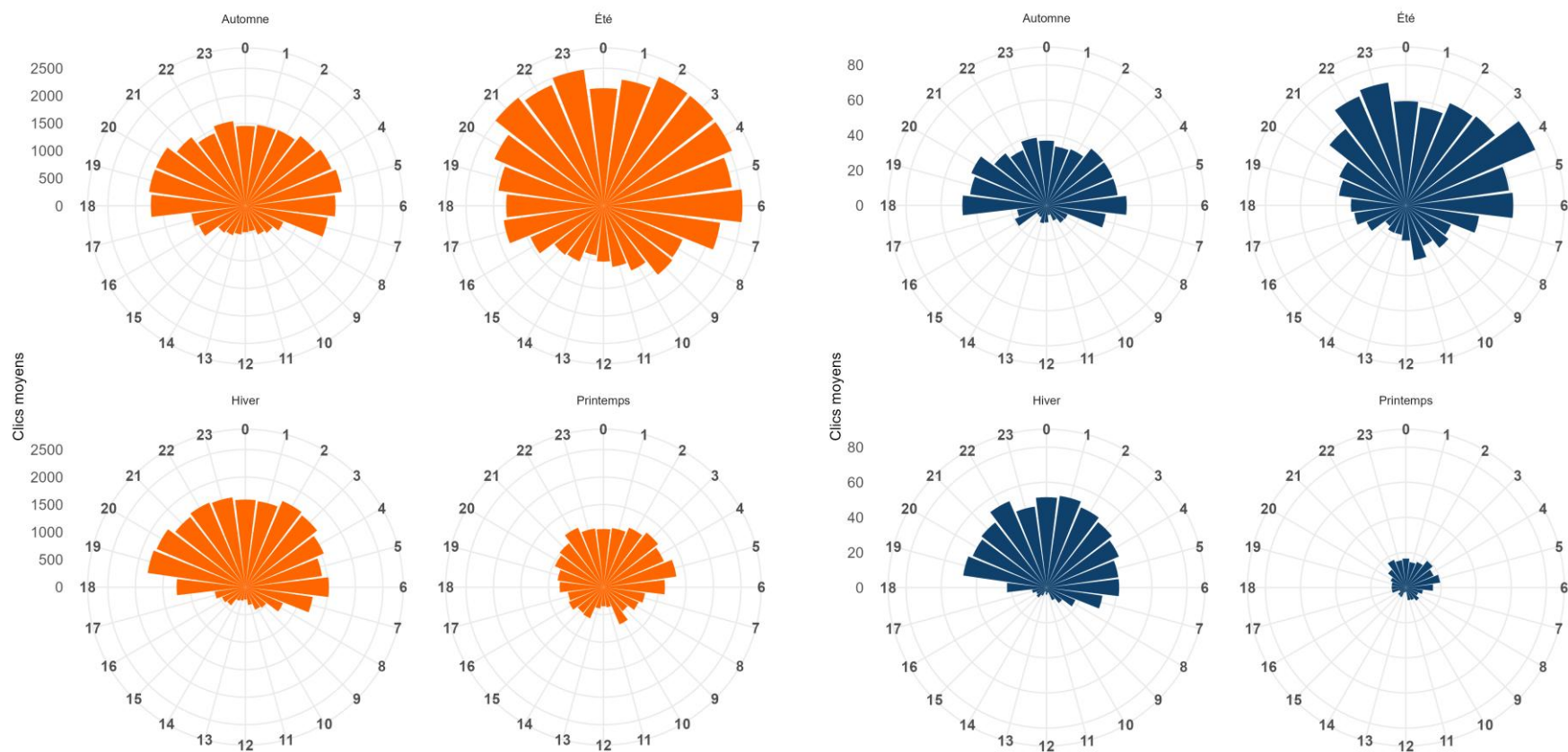


Figure 42 : Activité bioacoustique des Delphinidés (à gauche) et des Marsouins (à droite) sur le cycle journalier, par saison, sur l'ensemble des campagnes et toutes stations confondues. La longueur des barres indique les clics moyens/heure et l'angle de la barre représente l'heure du jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure).

Comme vu précédemment, l'activité bioacoustique est plus élevée pendant la nuit que pendant les heures de clarté tout au long de l'année pour les deux taxa. Les deux groupes présentent un schéma d'activité comparable avec une activité plus importante chez les Delphinidés. Les niveaux d'activité varient en fonction des heures et des saisons.

- **Automne** : l'activité est faible en période de clarté (~500 clics moyens pour les Delphinidés et inférieure à 20 clics moyens pour les Marsouins). L'activité est au plus fort entre 18h et 7h du matin (entre 1 500 et 2 000 clics moyens pour les Delphinidés et ~40 clics moyens pour les Marsouins).
- **Été** : enregistre la plus forte activité sur l'ensemble des tranches horaires, les périodes de fortes activités se situent entre 19h et 7h (2 000 à 2 500 clics moyens) pour les Delphinidés et entre 22h et 6h du matin (> 60 clics avec un pic de 80 clics moyens observé à 4h).
- **Hiver** : schéma d'activité similaire à l'automne. Une hausse notable de l'activité bioacoustique est observée à partir de 19h jusqu'à 6h (> 1 500 clics moyens pour les Delphinidés et 40 à 50 clics moyens pour les Marsouins). L'activité en journée est très faible (> 500 clics moyens).
- **Printemps** : présente une baisse importante du nombre de détections la nuit et une légère augmentation le jour. Les plus fortes activités sont enregistrées entre 22h et 5h du matin (> 1 000 clics moyens pour les Delphinidés et ~20 clics moyens pour les Marsouins)

Des intervalles de faibles détections de clics sont observés tout au long de l'année, suggérant des périodes potentielles de faible activité ou de repos chez les cétacés étudiés. Ces périodes semblent se concentrer principalement entre le lever et le coucher du soleil, avec des variations de durée plus ou moins importantes en fonction des saisons.

Pour étudier la variabilité spatiale les **Figure 43** et **Figure 44** illustrent respectivement l'activité moyenne de clic par heure des Delphinidés et des Marsouins.

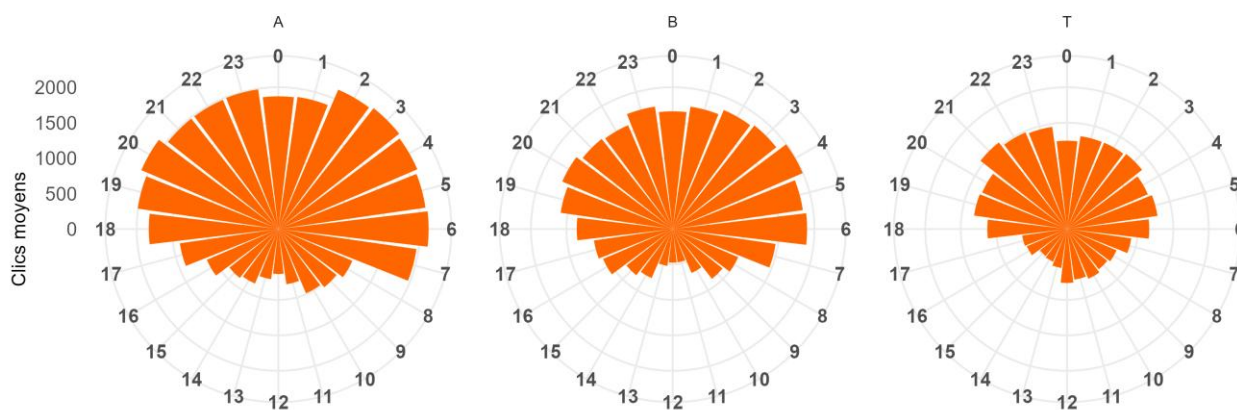


Figure 43 : Clics moyens des Delphinidés (sur le cycle journalier, par station (A, B et Témoin), toutes saisons confondues. La longueur des barres indique les clics moyens/heure et l'angle de la barre représente l'heure jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure).

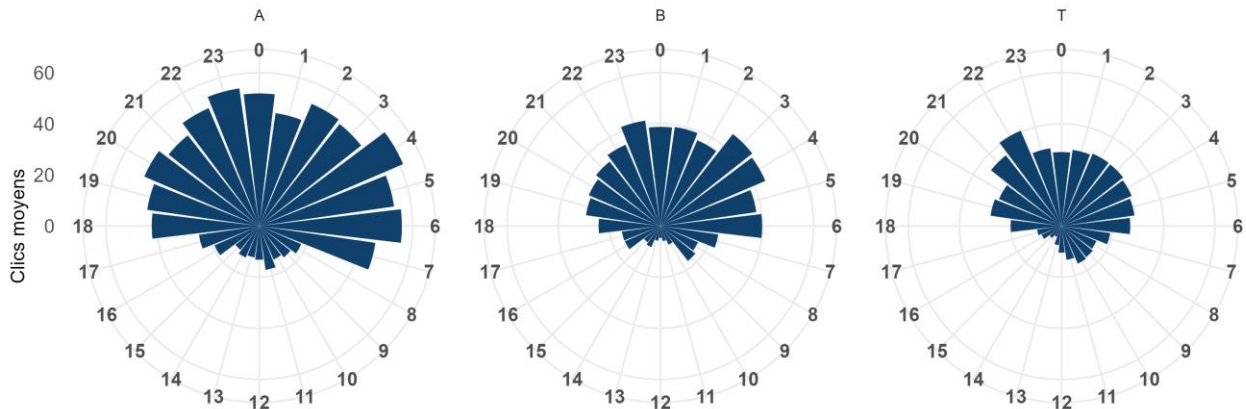


Figure 44 : Clics moyens des Marsouins (sur le cycle journalier, par station (A, B et Témoin), toutes saisons confondues. La longueur des barres indique les clics moyens/heure et l'angle de la barre représente l'heure jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure).

Tout comme l'activité horaire saisonnière, l'activité bioacoustique est plus intense la nuit que pendant les heures de clarté dans les stations. Les Delphinidés et les Marsouins manifestent l'activité nocturne la plus élevée dans la station A.

✓ Variabilité diurne

L'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins est principalement nocturne (68 % à 75 %).

✓ Variabilité horaire et saisonnière

Delphinidés :

- **Automne / hiver** : suivent les mêmes schémas et avec une activité nocturne modérée (entre 1 500 et 2 000 clics moyens) et très faible en journée (> 500 clics moyens).
- **Été** : activité nocturne maximale en été (entre 2 000 et 2 500 clics moyens) et augmentation en période de clarté (1 000 à 1 500 clics moyens).
- **Printemps** : période présentant la plus faible activité nocturne (> 1 000 clics moyens).

Marsouins :

- **Automne / hiver** : présentent une activité nocturne modérée (entre 40 et 60 clics moyens) et très faible en journée (< 20 clics moyens).
- **Été** : activité nocturne maximale en été (entre 60 et 80 clics moyens) et augmentation en période de clarté (20 à 40 clics moyens).
- **Printemps** : période présentant la plus faible activité nocturne (> 20 clics moyens).

- ✓ **La station Témoin (T)** présente l'activité bioacoustique nocturne la plus faible sur l'ensemble de l'année. Elle comprise entre 1 000 et 1 500 clics moyens pour les Delphinidés et entre 20 et 40 clics moyens pour les Marsouins.

5.1.1 Analyse comparative des différents sites échantillonnés (*BAC*)

5.1.1.1 Comparaison zone du parc / zone Témoin

La distribution du taux de détection journalier (nombre de clic par jour) des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) a été comparée entre la zone du parc et la zone Témoin (**Figure 45**).

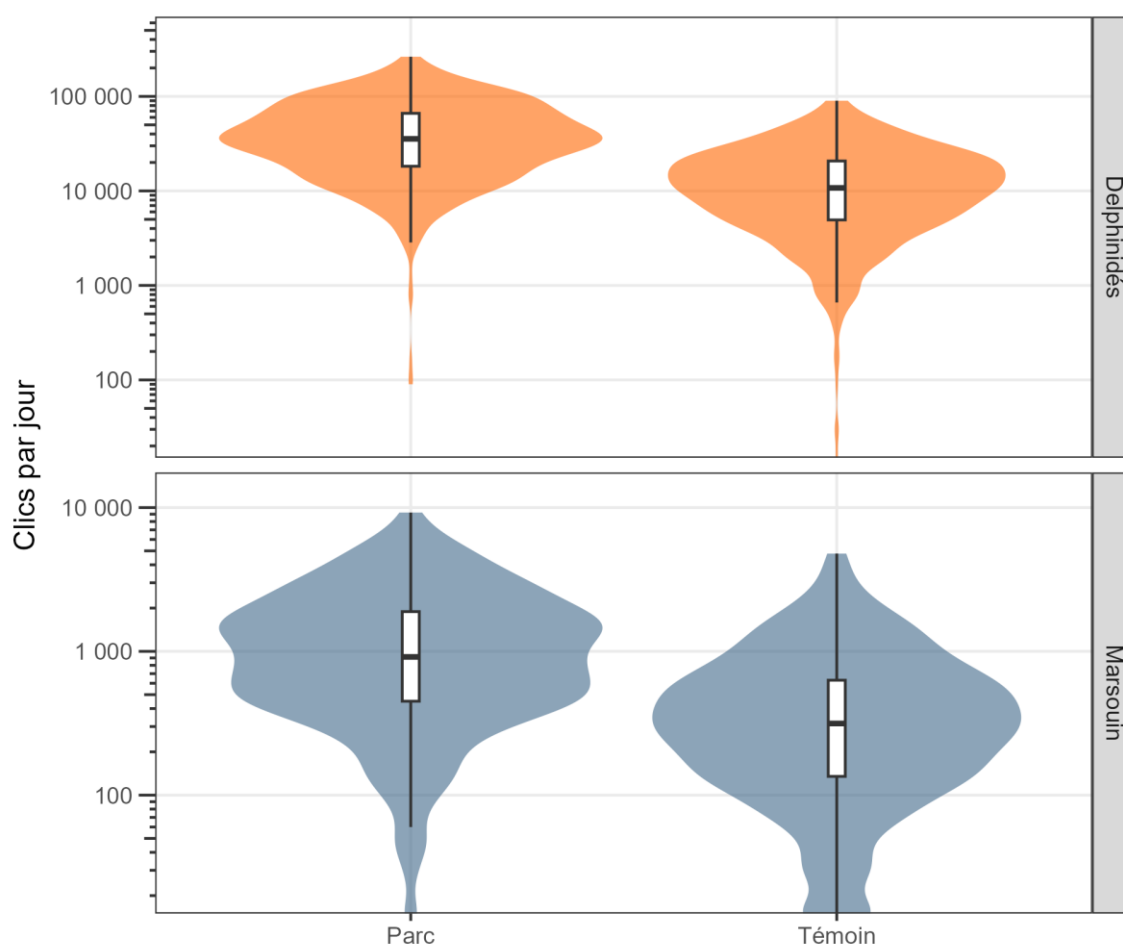


Figure 45 : Distribution des sommes des clics par jour des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) entre la zone du parc (stations A et B) et la zone éloignée (station Témoin), pour les campagnes 1 à 23. Echelle verticale logarithmique (log10).

Des similarités dans les distributions des données sont observées pour les Delphinidés et les Marsouins en fonction des zones étudiées. Tous les graphiques à violon montrent que le taux de détection journalier le plus fréquent (mode) se situe autour de la médiane (sauf pour les Marsouins dans la zone du parc où l'on voit deux modes). Le niveau d'activité acoustique le plus élevé est constaté dans la zone du parc, avec une médiane de 35 550 clics/jour pour les Delphinidés et 915 clics/jour pour les Marsouins.

La station Témoin affiche une activité bioacoustique moins élevée pour les Delphinidés et les Marsouins, avec des médianes respectives de 10 762,48 clics/jour et 315 clics/jour. La distribution des clics des Marsouins est plus étendue que pour les Delphinidés sur les deux zones, ce qui signifie que les données sont réparties de façon plus hétérogènes et que le niveau d'activité bioacoustique quotidien est plus variable que celui des Delphinidés.

D'après le test de Mann-Whitney, l'activité bioacoustique des Marsouins, considérant toute la période d'étude, est significativement plus intense dans la zone du parc que dans la zone Témoin ($W = 356653$, $p < 10^{-16}$). Ce constat est également valable pour les Delphinidés ($W = 380254$, $p < 10^{-16}$).

5.1.1.2 Comparaison par station

La distribution du taux de détection journalier (nombre de clic par jour) des Delphinidés et des Marsouins a été comparée également entre stations en suivant une droite parallèle à la côte (station A / station B / station Témoin). La **Figure 46** présente cette comparaison avec un échelle verticale logarithmique ($\log_{10}$).

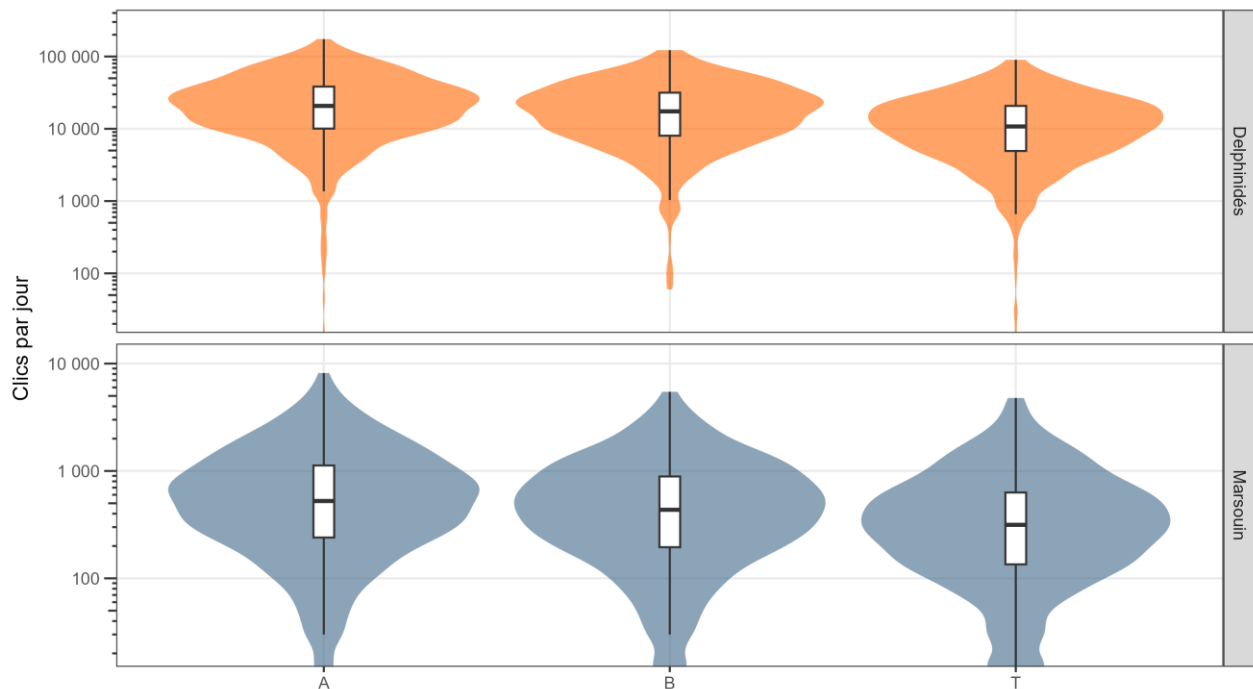


Figure 46 : Distribution des taux de détection horaire agrégés par jour des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) entre Stations A, B et Témoin, pour les campagnes 1 à 23. Echelle verticale logarithmique ($\log_{10}$).

Les Delphinidés présentent une activité bioacoustique plus importante que les Marsouins sur l'ensemble des stations. La distribution des données sur la partie la plus large des violons, montre que le taux d'activité le plus fréquent des Delphinidés se situe autour de la médiane (Station A : 20 715 clics/jour, Station B : 17 414,89 clics/jour et station Témoin : 10 762,48 clics/jour).

Les Marsouins présentent une distribution des données plus étendue notamment sur la station A où le taux d'activité acoustique le plus fréquent est supérieur à la médiane (525 clics/jour). Les taux d'activités des stations B et T se situent autour de la médiane avec respectivement 435 et 315 clics/jour.

Les tests de Mann-Whitney, indiquent des différences significatives entre les trois stations en particulier entre la station A et Témoin pour les Delphinidés ($p = 4,7 \cdot 10^{-28}$). La différence entre les stations A et B (l'intérieur du parc) et B et T reste significative mais moins marquée ($p < 0,0001$ pour les deux cas). Pour les Marsouins, les différences sont fortement significatives entre les stations A et T ($p = 2 \cdot 10^{-16}$) et B et T ($p = 6,5 \cdot 10^{-15}$), la différence est significativement plus faible entre la station A et B ($p = 0,00073$).

✓ **Différence zone du parc / zone témoin :**

- La **station Témoin (T)** présente une activité bioacoustique plus faible que les stations situées dans la zone du parc éolien, aussi bien pour les Delphinidés que pour les Marsouins
- Les niveaux d'activité bioacoustique les plus élevés sont observés dans la **station A**.

✓ **Gradient spatial :**

Un gradient d'activité bioacoustique décroissant est observé entre stations A, B et Témoin pour les Delphinidés et les Marsouins. Ce résultat suggère que **la zone du parc est plus favorable** à la fréquentation des cétacés, possiblement en raison de conditions environnementales ou trophiques plus favorables.

5.2 INDICATEURS D'ACTIVITE BIOACOUSTIQUE EXTRAITS DES DONNEES DES POD

Ce chapitre présente les résultats des détections acoustiques des clics de Marsouin commun et de Delphinidés acquises par les POD sur la période du 10/11/2022 au 03/12/2024. Les périodes d'enregistrement des POD ont permis d'obtenir une couverture de **95,4 %** d'échantillonnage (représentant un volume total de 4 317 jours sur les 6 stations, soit une moyenne de 719,5 jours par station) sur l'ensemble de la période d'étude. Ces périodes sont illustrées par la **Figure 91** en **Annexe 10.7**.

5.2.1 Présence et taux de rencontre

La **Figure 47** illustre les moyennes journalières du nombre de clics par heure pour les Marsouins communs et les Delphinidés entre novembre 2022 et novembre 2024, toutes stations confondues.

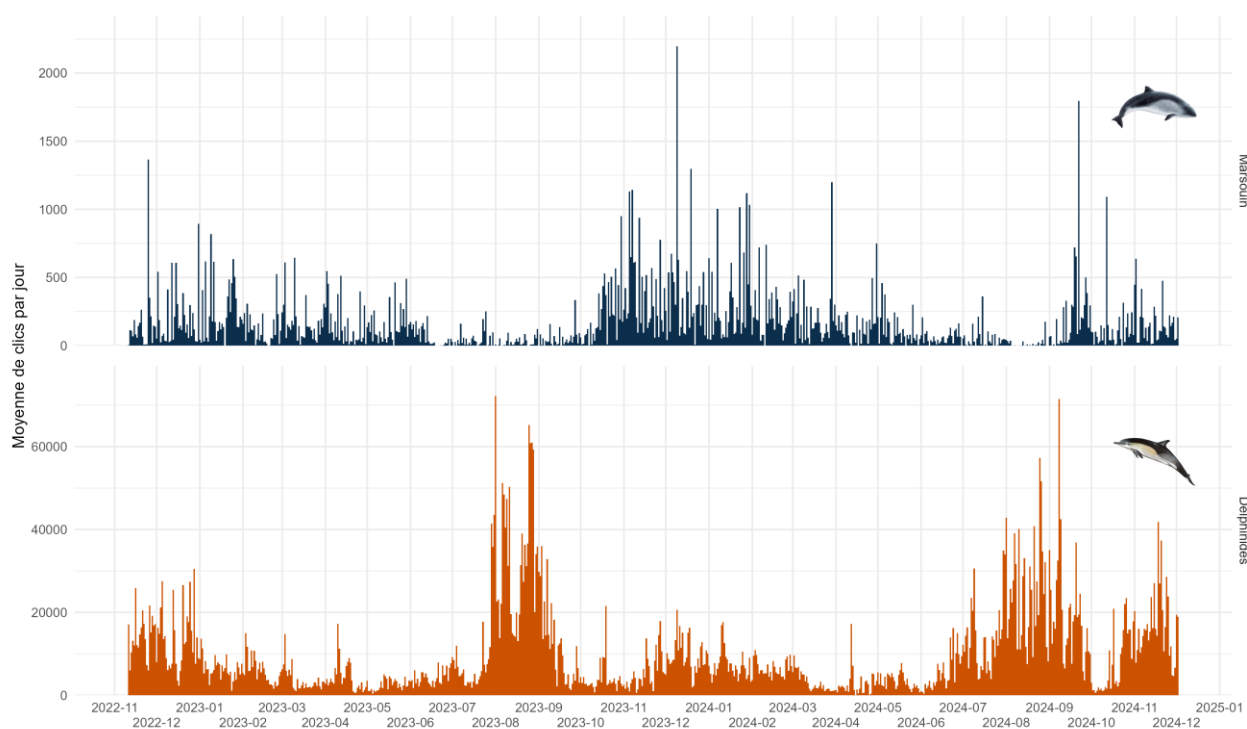


Figure 47 : Répartition temporelle des clics (moyenne journalière) des Marsouins communs (en haut) et des Delphinidés (en bas) sur l'ensemble des campagnes POD, toutes stations confondues (A, B, C, O, L et Témoin).

D'après ces données, il apparaît que les Marsouins communs et les Delphinidés sont présents dans la zone d'étude tout au long de la période de suivi. Ce suivi bioacoustique a permis d'enregistrer un total de 43 135 921 clics toutes espèces confondues. Le nombre de clics émis par les Delphinidés est nettement plus prononcé, avec un total de 42 442 793 clics (représentant 98% des clics enregistrés), comparée à 693 128 clics pour les Marsouins. La dynamique temporelle des clics journaliers moyens met en évidence des variations saisonnières marquées pour les Delphinidés et les Marsouins, soulignant des périodes d'activités clés pour ces deux groupes.

Pour les Delphinidés, l'été se distingue comme la saison la plus importante, avec une moyenne saisonnière de 18 882 clics/jour. Des pics moyens journaliers de 72 259 clics et de 71 469 ont été enregistrés le 01/08/2023 et le 08/09/2024. L'automne constitue également une période d'activité notable, avec une

moyenne de 9 761 clics/jour, confirmant une présence soutenue en fin d'année. L'activité bioacoustique hivernale et printanière diminuent fortement avec des moyennes respectives de 6 791 clics/jour et 3 068 clics/jour.

Pour les Marsouins, l'activité acoustique, bien que globalement moins intense que celle des Delphinidés, atteint son maximum en automne et en hiver, avec des moyennes respectives de 244 clics/jour et 227 clics/jour. Des pics d'activité notables ont été enregistrés, avec 1 365 clics le 25 novembre 2022, 2 195 clics le 9 décembre 2023, et 1 795 clics le 22 septembre 2024. L'activité bioacoustique printanière et estivale diminue fortement avec des moyennes respectives de 127 clics/jour et 50 clics/jour.

Le **Tableau 19** présente des données sur le taux de rencontre des espèces de Delphinidés et de Marsouins communs pour chaque station, mesurées en nombre d'heures contenant des détections (DPH) et en nombre de jours de détection par rapport au nombre total de jours de mesures. Cette mesure offre une vision qualitative des tendances générales de fréquentation des Delphinidés et des Marsouins communs dans chaque station, apportant ainsi un aperçu de la variabilité de présence entre les sites d'observation.

Tableau 19 : Taux de rencontre : proportion d'heures avec détection d'au moins un clic par rapport au nombre d'heures enregistrées, par station (A, B, Témoin, C, O et L), sur l'ensemble des campagnes POD.

Espèces	Delphinidés		Marsouins communs	
	Taux de rencontre (nombre de DPH / nombre d'heures enregistrés)	Nombre de jours de présence / Nombre de jours total	Taux de rencontre (nombre de DPH / nombre d'heures enregistrés)	Nombre de jours de présence / Nombre de jours total
Station A	36,4 % Temps de présence (7 945 h / 21 840 h)	94,7 % 698 jours de détections / 737 jours de mesures	2,6 % Temps de présence (462 h / 17 585 h)	37,2 % 274 jours de détections / 737 jours de mesures
Station B	40,2 % Temps de présence (7 008 h / 17 413 h)	88,3 % 619 jours de détections / 701 jours de mesures	3,3 % Temps de présence (581 h / 17 413 h)	41,9 % 294 jours de détections / 701 jours de mesures
Station T	30,6 % Temps de présence (5 323 h / 17 393 h)	95,4 % 669 jours de détections / 701 jours de mesures	4,7 % Temps de présence (816 h / 17 393 h)	54,1 % 379 jours de détections / 701 jours de mesures
Station C	21,3 % Temps de présence (4 109 h / 19 283 h)	88,2 % 626 jours de détections / 710 jours de mesures	4,9 % Temps de présence (947 h / 19 283 h)	55,6 % 395 jours de détections / 710 jours de mesures
Station O	41,7 % Temps de présence (8 456 h / 20 257 h)	95,2 % 714 jours de détections / 750 jours de mesures	3,2 % Temps de présence (648 h / 20 257 h)	45,3 % 340 jours de détections / 750 jours de mesures
Station L	40,3 % Temps de présence (7 869 h / 19 513 h)	98,7 % 709 jours de détections / 718 jours de mesures	3,4 % Temps de présence (658 h / 19 515 h)	43,7 % 314 jours de détections / 718 jours de mesures

La présence des Delphinidés est quasi-permanente dans l'ensemble des stations étudiées, avec des taux de rencontre élevés (**21,3 % à 41,7 %**) et un temps de présence dépassant **88 %** dans toutes les stations, atteignant **98,7 %** en station L. Comme lors de la première année de suivi, les **stations O et L** se distinguent comme des zones importantes pour les Delphinidés, avec des taux de rencontre de **41,7 %** et **40,3 %**

respectivement, suivies de près par la **station B à 40,2 %**. Les autres stations témoignent également d'une présence régulière, bien qu'inférieure à celle des stations B, O et L.

En comparaison, les Marsouins montrent une fréquentation plus localisée et moins intense, avec des taux de rencontre plus faibles (**2,6 % à 4,9 %**) et un temps de présence plus restreint (**37,2 % à 55,6 %**). Les **stations T et C** émergent désormais comme les principales, avec des taux de rencontre respectifs de **4,7 % et 4,9 %**. Lors de la première année de suivi, les stations C, L et O étaient les plus privilégiées, avec des taux de 4,7 %, 4,1 % et 3,5 %. Les stations C et T sont les plus actives, traduisant une préférence pour les zones côtières peu profondes.

✓ **Occurrence**

Les Marsouins communs et les Delphinidés sont présents dans la zone d'étude tout au long de la période de suivi, avec une dominance marquée des clics des Delphinidés représentant 98 % des clics enregistrés.

✓ **Activité bioacoustique saisonnière**

- **Delphinidés** : leur activité est particulièrement prononcée en été (18 882 clics/jour) et en automne (9 761 clics/jour).
- **Marsouins** : leur activité est plus modérée, avec des périodes clés en automne (244 clics/jour) et en hiver (227 clics/jour).

✓ **Taux de rencontre par station**

- **Delphinidés** : affichent une présence quasi-quotidienne dans l'ensemble des stations. Ils présentent des taux de rencontre globalement plus élevés que ceux des Marsouins, se concentrant principalement dans les stations B, O et L, situées au Sud-Est du parc.
- **Marsouins** : les taux les plus élevés se situent dans les stations T et C, qui sont plus côtières et moins profondes.

5.2.2 Variabilité temporelle de la fréquentation

Comme pour les données des enregistreurs, les variabilités temporelles évaluées à partir des données des POD concernent 3 niveaux : la variabilité saisonnière, diurne et horaire, chacune apportant une information à une échelle temporelle différente et complémentaire sur la fréquentation de la zone d'étude. Cette variabilité est également mise en relation avec la station d'enregistrement. Les graphiques de la variabilité saisonnière (**Figure 94**) et mensuelle (**Figure 95**) sont également présentés en **Annexes 10.8**.

5.2.2.1 Variabilité saisonnière

Les **Figure 48** et **Figure 49** illustrent les activités moyennes saisonnières des clics enregistrés pour les Delphinidés et les Marsouins sur les différentes stations (A, B, C, L, O, T), en regroupant les deux années de suivi.

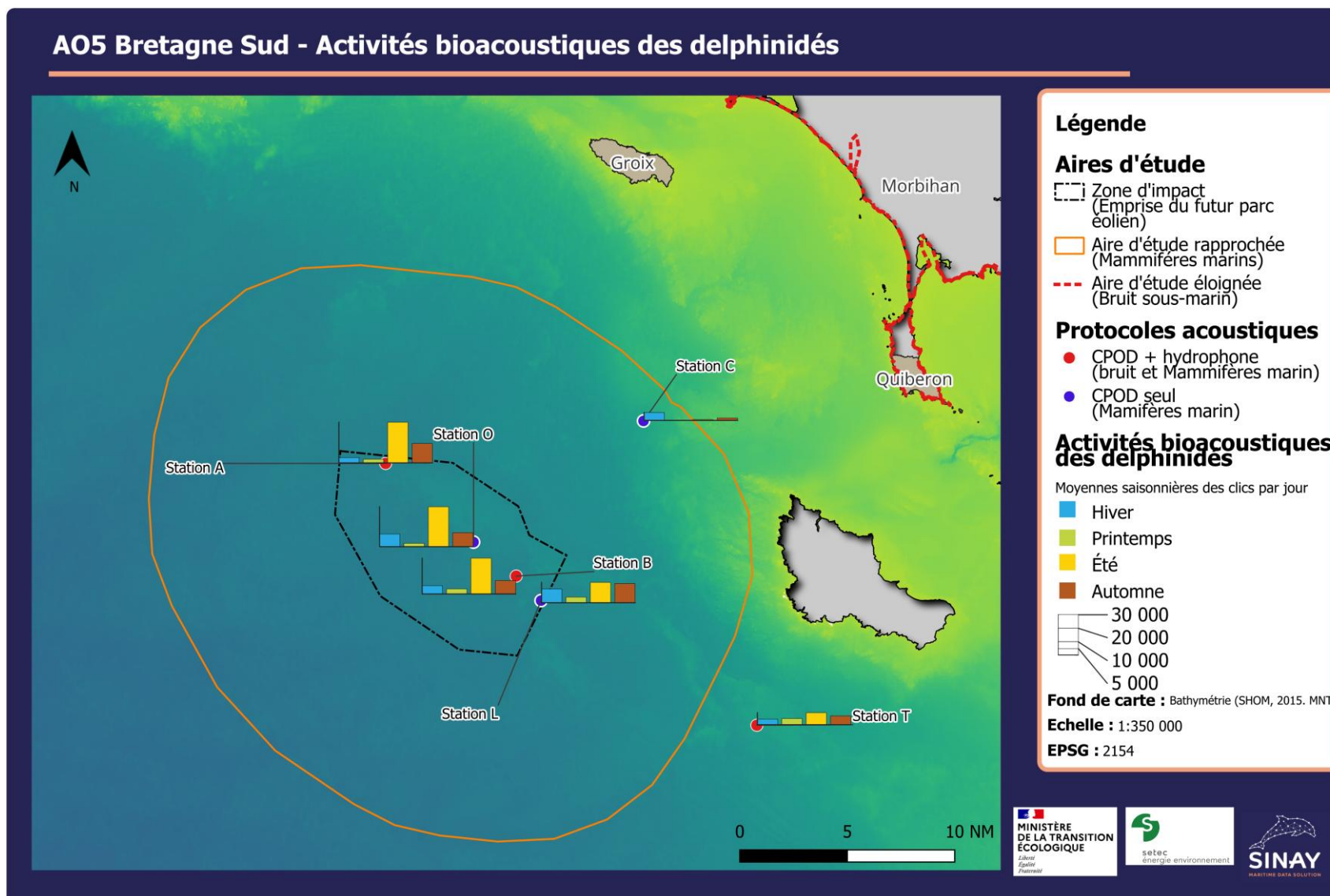


Figure 48 : Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés dans les stations A, B, C, O, L et Témoin (données POD, campagnes 1 à 23).

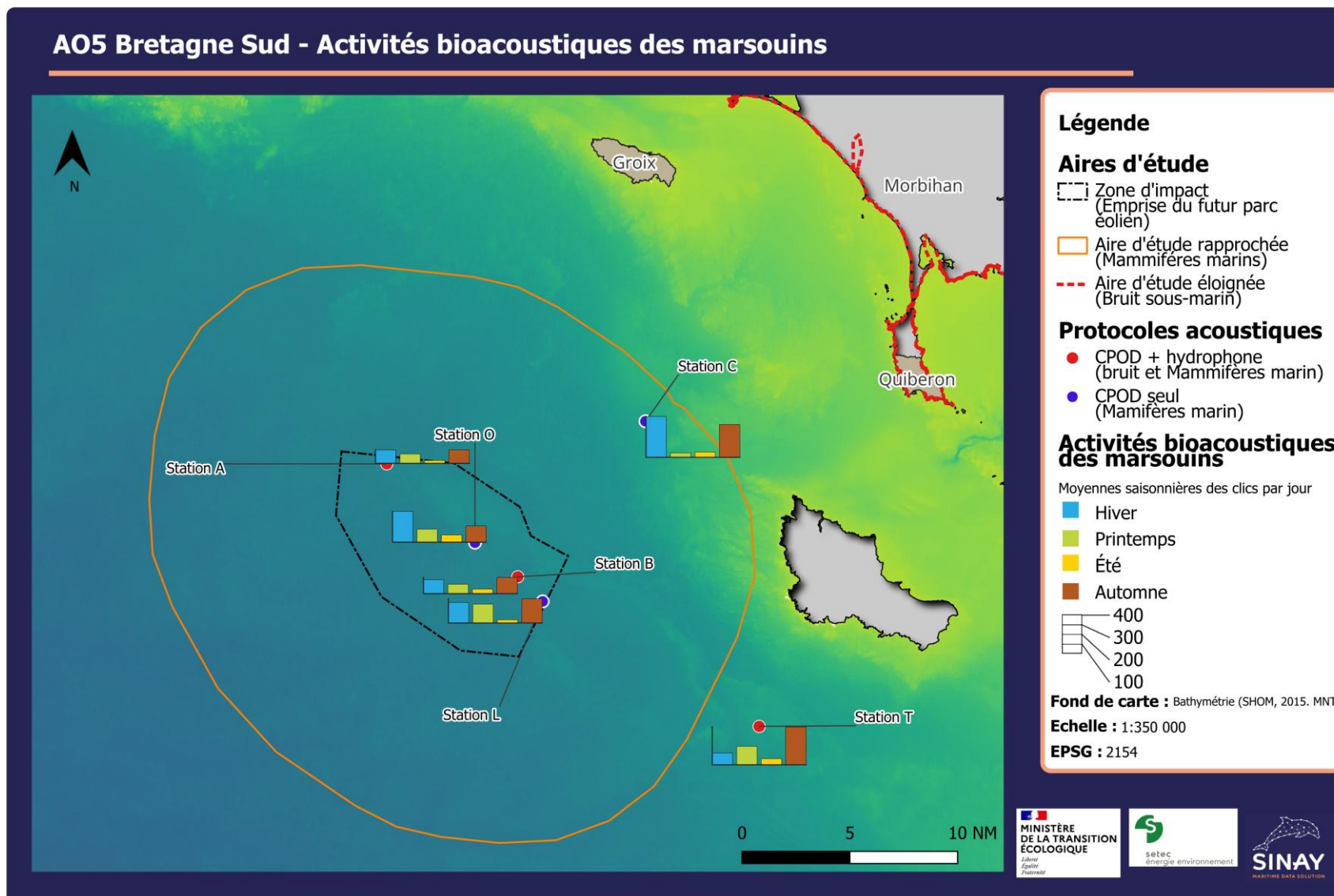


Figure 49: Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Marsouins dans les stations A, B, C, O, L et Témoin (données POD, campagnes 1 à 23).

Les Delphinidés (**Figure 48**) montrent une activité bioacoustique importante en été sur l'ensemble des stations (hors station C), notamment dans les stations A et O où des pics d'activités dépassent 30 000 clics/jour, suivi par la station B avec une moyenne de 27 116 clics/jour. Bien qu'elle soit généralement inférieure à l'été, l'activité automnale est importante dans les stations A et L (> 14 500 clics/ jour) et modérée dans les stations B et O (> 10 000 clics/jour). En hiver, l'activité des Delphinidés connaît une baisse, mais les stations les plus dynamiques restent L et O, avec des moyennes respectives de 10 446 clics/jour et 9 662 clics/jour. L'activité printanière est significativement réduite avec des moyennes maximales de 4 687 clics/ jour dans la station T et 4 292 clics/jour dans la station L. La station C se distingue par des niveaux d'activité très faibles tout au long de l'année, mais présente une activité plus marquée en hiver par rapport aux autres saisons.

Les Marsouins (**Figure 49**) affichent également une variabilité saisonnière, bien que leur activité bioacoustique demeure inférieure à celle des Delphinidés tout au long de l'année. L'automne se distingue par une activité importante, notamment dans les stations T (393 clics/jour) et C (341 clics/jour). La saison hivernale est également importante, les niveaux maximaux sont atteints avec 423 clics/jour à la station C et 319 clics/jour à la station L. À partir du printemps, une forte baisse de l'activité bioacoustique est constatée, bien que la station L enregistre encore 196 clics/jour et la station T 191 clics/jour. L'été est marqué par une réduction significative, avec des moyennes maximales de 75 clics/jour à la station O et de 463 clics/jour à la station T. Enfin, les stations A et B se distinguent par des niveaux d'activité parmi les plus faibles sur toutes les saisons.

Les résultats du test de Mann-Whitney, appliqué pour identifier les différences significatives dans la distribution des Delphinidés (**Figure 50**) et des Marsouins (**Figure 51**) entre différentes stations et saisons, sont présentés ci-dessous. Les valeurs de $p < 0,05$ (en orange) indiquent des différences significatives, soulignant des variations dans la répartition spatio-temporelle des individus.

Saison	Automne - A	Automne - B	Automne - C	Automne - L	Automne - O	Automne - T	Été - A	Été - B	Été - C	Été - L	Été - O	Été - T	Hiver - A	Hiver - B	Hiver - C	Hiver - L	Hiver - O	Hiver - T	Printemps - A	Printemps - B	Printemps - C	Printemps - L	Printemps - O
Automne - B	1																						
Automne - C	0,001	0,001																					
Automne - L	1	0,87	0,001																				
Automne - O	0,001	0,028	1	0,001																			
Automne - T	1	1	0,001	0,086	0,001																		
Été - A	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001																	
Été - B	0,015	0,001	0,001	0,243	0,001	0,001	1																
Été - C	0,001	0,001	0,057	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001															
Été - L	1	1	0,001	1	0,001	1	0,001	0,05	0,001														
Été - O	0,077	0,001	0,001	0,624	0,001	0,001	1	1	0,001	0,324													
Été - T	0,007	0,528	0,001	0,001	0,091	0,725	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001												
Hiver - A	0,001	0,004	1	0,001	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,45											
Hiver - B	0,336	1	0,001	0,004	0,38	1	0,001	0,001	0,001	0,133	0,001	1	0,141										
Hiver - C	0,001	0,787	0,005	0,001	1	0,877	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	0,461	1									
Hiver - L	1	1	0,001	0,315	0,057	1	0,001	0,001	0,001	1	0,001	1	0,001	1	0,315								
Hiver - O	0,286	1	0,001	0,006	1	1	0,001	0,001	0,001	0,036	0,001	1	0,003	1	1	1							
Hiver - T	0,001	0,01	0,297	0,001	1	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	0,787	1	0,002	0,156						
Printemps - A	0,001	0,001	0,007	0,001	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,489	1	0,003	1	0,001	0,121	1					
Printemps - B	0,001	0,001	0,001	0,001	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	0,297	1	0,007	1	1	1				
Printemps - C	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001			
Printemps - L	0,046	0,042	0,001	0,001	0,001	0,775	0,001	0,001	0,001	0,036	0,001	1	0,235	1	1	1	1	0,121	0,001	0,11	0,001		
Printemps - O	0,001	0,001	1	0,001	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	1	0,001	0,04	0,001	0,001	1	1	0,691	0,001	0,001	
Printemps - T	0,001	0,013	0,001	0,001	0,269	0,034	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	1	1	0,348	1	1	0,624	1	0,001	1	0,014

Figure 50 : Résultats du test pour comparaisons des moyennes par paires de Mann-Whitney pour les Delphinidés (données POD, stations A, B, C, L, O et Témoin).

Saison	Automne - A	Automne - B	Automne - C	Automne - L	Automne - O	Automne - T	Été - A	Été - B	Été - C	Été - L	Été - O	Été - T	Hiver - A	Hiver - B	Hiver - C	Hiver - L	Hiver - O	Hiver - T	Printemps - A	Printemps - B	Printemps - C	Printemps - L	Printemps - O
Automne - B	0,279																						
Automne - C	0,001	0,013																					
Automne - L	0,115	1	0,21																				
Automne - O	1	1	0,001	1																			
Automne - T	0,001	0,011	1	0,152	0,001																		
Été - A	0,008	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001																	
Été - B	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1																
Été - C	1	0,102	0,001	0,041	1	0,001	0,019	0,003															
Été - L	0,008	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	0,025														
Été - O	1	0,001	0,001	0,001	0,035	0,001	1	1	1	1													
Été - T	1	0,01	0,001	0,004	1	0,001	0,115	0,024	1	0,13	1												
Hiver - A	1	1	0,001	1	1	0,001	0,001	0,001	1	0,001	0,001	0,362											
Hiver - B	1	1	0,014	1	1	0,011	0,001	0,001	0,83	0,001	0,001	0,198	1										
Hiver - C	0,001	0,044	1	0,398	0,001	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,04									
Hiver - L	0,025	1	0,879	1	0,369	0,539	0,001	0,001	0,01	0,001	0,001	0,001	1	1									
Hiver - O	0,001	0,334	1	1	0,001	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,018	0,253	1	1								
Hiver - T	0,546	1	0,004	1	1	0,003	0,001	0,001	0,226	0,001	0,001	0,031	1	1	0,014	1	0,148						
Printemps - A	1	1	0,001	1	1	0,001	0,001	0,001	1	0,001	0,003	0,693	1	1	0,001	1	0,01	1					
Printemps - B	1	1	0,001	1	1	0,001	0,001	0,001	0,854	0,001	0,001	0,18	1	1	0,001	1	0,018	1	1				
Printemps - C	1	0,15	0,001	0,075	1	0,001	0,001	0,001	1	0,001	0,38	1	1	1	0,001	0,011	0,001	0,319	1	1			
Printemps - L	0,745	1	0,011	1	1	0,01	0,001	0,001	0,288	0,001	0,001	0,039	1	1	0,034	1	0,288	1	1	1	0,539		
Printemps - O	1	1	0,001	1	1	0,001	0,001	0,001	1	0,001	0,001	0,328	1	1	0,001	1	0,017	1	1	1	1	1	
Printemps - T	0,001	1	1	1	0,002	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,194	1	1	1	1	0,139	0,217	0,001	1	0,22	

Figure 51 : Résultats du test pour comparaisons des moyennes par paires de Mann-Whitney pour les Marsouins communs (données POD, stations A, B, C, L, O et Témoin).

Les résultats des tests confirment des dynamiques temporelles et spatiales distinctes entre les Delphinidés et les Marsouins, avec des différences significatives entre les stations et les saisons. Chez les Delphinidés, l'activité est nettement plus élevée en été, notamment dans les stations A, B et O, probablement en raison d'une disponibilité des proies et de conditions environnementales favorables. Leur activité diminue en automne et en hiver, suggérant soit une redistribution vers d'autres zones d'alimentation, soit une modification de leurs comportements acoustiques. Les différences saisonnières sont marquées, avec une activité plus intense en été et en automne qu'au printemps.

Chez les Marsouins, les variations saisonnières sont également observées, avec une activité plus importante en automne et en hiver, suivie d'une diminution notable au printemps et en été. Leur répartition spatiale est plus stable que celle des Delphinidés, avec une concentration plus importante dans la station C, proche de la côte, durant l'automne et l'hiver. Ces différences dans les dynamiques d'occupation soulignent des stratégies écologiques différenciées entre les deux groupes, influencées à la fois par la saisonnalité et la localisation des habitats préférentiels.

Une analyse approfondie des facteurs environnementaux, biologiques et anthropiques, développée dans le **chapitre 0**, permettra de déterminer si certains de ces paramètres sont à l'origine des variations observées.

✓ **Variabilité saisonnière:**

Les résultats des 24 mois d'enregistrements révèlent des variations saisonnières significatives inter et intra station dans l'activité acoustique des Delphinidés et des Marsouins, confirmant les tendances observées dès la première année.

✓ **Activité bioacoustique saisonnière par station**

Delphinidés :

- **Période estivale** : saison la plus importante avec activité très élevée dans les stations A et O (> 30 000 clics/jour), B (> 25 000 clics/jour) et plus modérée dans la station L (> 15 000 clics/jour).
- **Période automnale** : activité modérée, particulièrement dans les stations A, B, L et O ($\geq 10\,000$ clics/jour).
- **Station spécifique** : la station C, située en zone côtière, affiche une activité minimale toutes saisons confondues.

Marsouins :

- **Constance saisonnière** : activité acoustique plus faible que les Delphinidés mais régulière sur l'ensemble des saisons et des stations.
- **Période automnale** : activité très élevée dans les stations C et T (> 300 clics/jour), et plus modérée dans la station L (> 250 clics/jour).
- **Période hivernale** : activité importante dans les stations C (> 400 clics/jour) et O (> 300 clics/jour) et modérée dans la station L (> 200 clics/jour).

✓ Les stations hors du parc :

- **La station Témoin (T)** : présente une activité bioacoustique minimale pour les deux groupes. Elle est fréquentée principalement en hiver par les Delphinidés et de façon stable en automne/hiver par les Marsouins.
- **La station côtière (C)** : est très peu fréquentée par les Delphinidés sur l'ensemble de l'année. Cependant les Marsouins ont une préférence marquée pour cette zone côtière avec une activité importante en automne et hiver.

5.2.2.2 Variabilité diurne

La **Figure 52** montre la répartition jour/nuit des clics enregistrés des Delphinidés et Marsouins communs sur les stations A, B, C, L, O et Témoin.

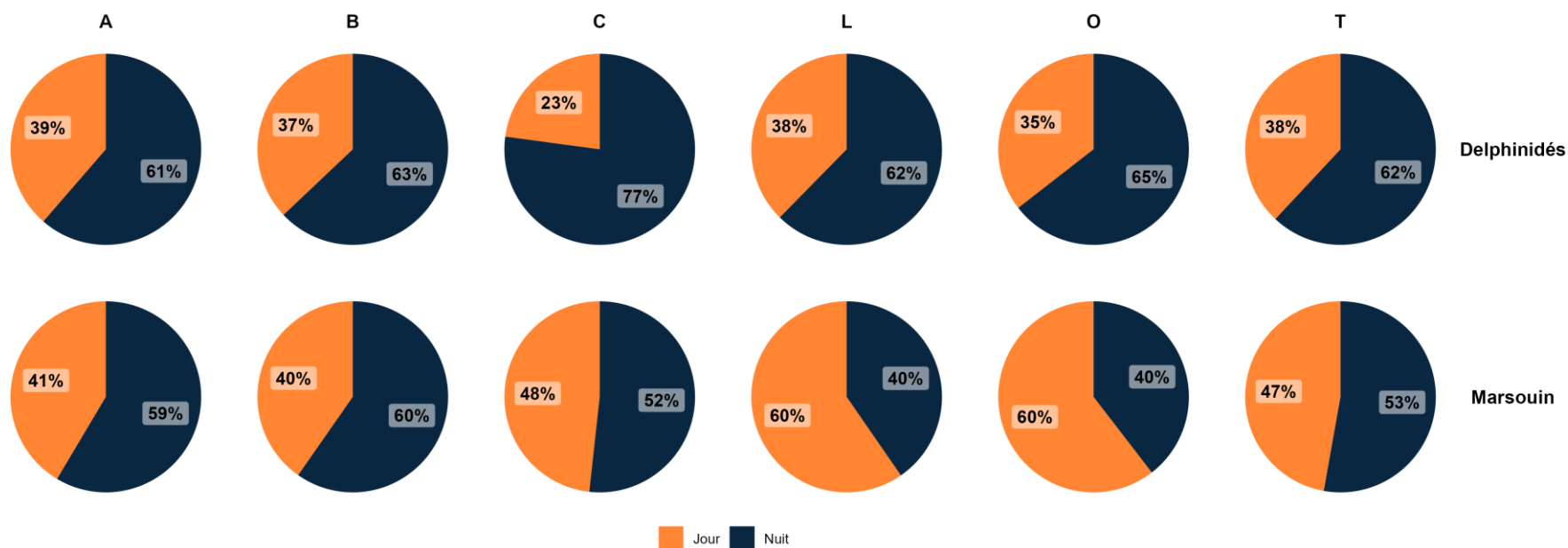


Figure 52 : Répartition jour/nuit des clics des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B, C, L, O et Témoin.

Les deux groupes d'espèces émettent des clics tant de jour que de nuit sur toutes les stations. Les proportions jour/nuit varient en fonction des espèces et des stations. Les Delphinidés présentent une activité bioacoustique plus importante la nuit avec une moyenne supérieure à 60 % et homogène sur l'ensemble des stations. Les plus fortes activités nocturnes sont observées dans la station C avec 77 %. Contrairement à l'activité bioacoustique des Marsouins qui varie entre le jour et la nuit selon les stations. Les stations A et B présentent une activité majoritairement nocturne (60 %), tandis que les stations L et O présentent une activité principalement diurne (60 %).

La **Figure 53** illustre l'activité diurne annuelle des Delphinidés sur l'ensemble des stations (A, B, C, O, L et Témoin). Le Marsouin commun présente une trop forte dispersion des données sur l'année pour pouvoir représenter son schéma d'activité diurne.

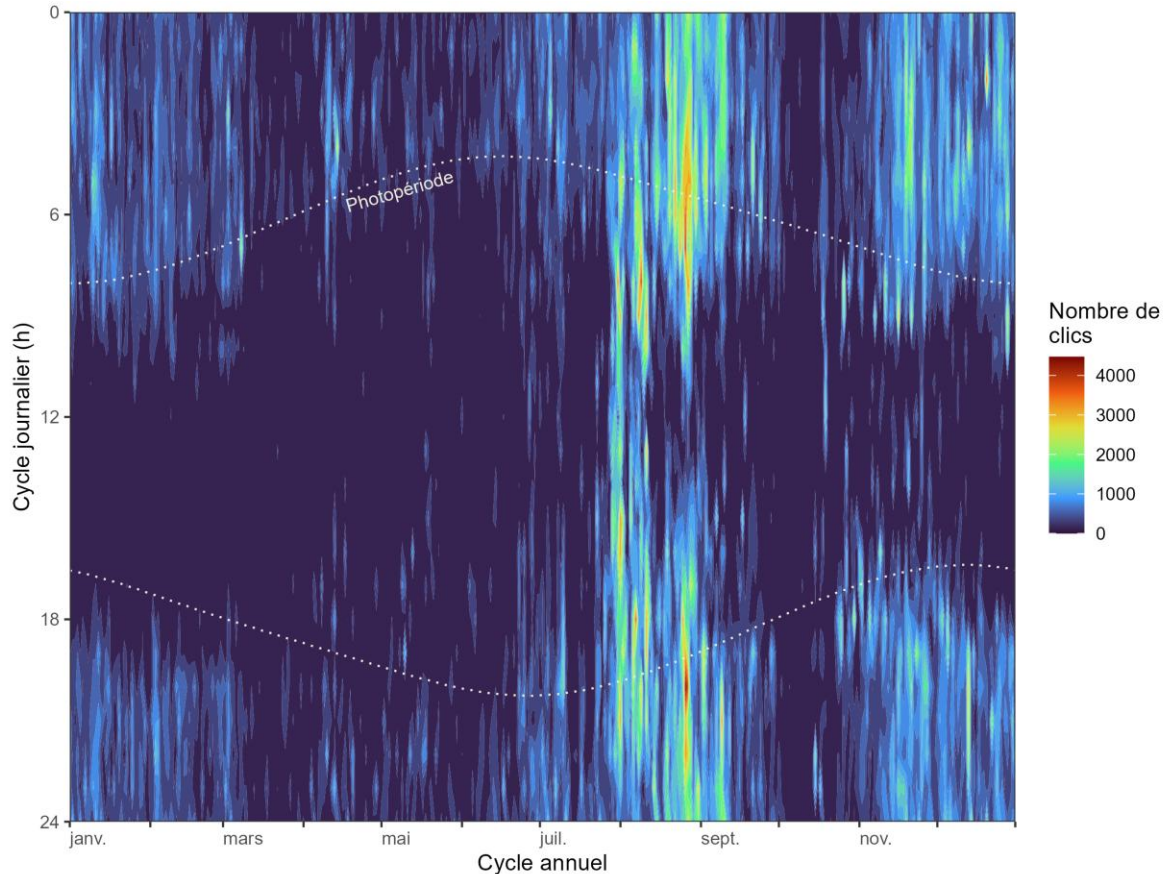


Figure 53 : Nombre moyen de clics des Delphinidés par minute sur une heure, en fonction de la date (X) et de l'heure du jour (Y), toutes stations confondues (A, B, C, O, L et Témoin). Le taux de détection moyen par minute est visualisé par des contours sur deux axes temporels : l'axe horizontal représente l'année solaire, l'axe vertical représente les heures du jour. Les intensités élevées sont rouges et les intensités faibles sont bleu foncé. Les lignes blanches discontinues indiquent les heures de lever et de coucher du soleil.

Sur l'ensemble de l'année, le plus grand nombre de clics est détecté pendant la nuit, alors que les heures de clarté sont relativement calmes. L'activité bioacoustique la plus élevée a été enregistrée entre le mois d'août et septembre, de jour comme de nuit, avec des pics particulièrement marqués aux heures proches du lever et du coucher du soleil. Par ailleurs, l'activité de clic des delphinidés a progressivement augmenté à mesure que la lumière naturelle diminuait au fil des mois d'automne et d'hiver.

5.2.2.3 Variabilité horaire

La variabilité horaire de l'activité bioacoustique des cétacés ainsi que la moyenne du nombre de clics par heure ont été calculées pour chaque heure d'un cycle journalier. Ces statistiques sont présentées séparément pour les 4 saisons dans la **Figure 54** pour les Delphinidés (à gauche) et des Marsouins (à droite).

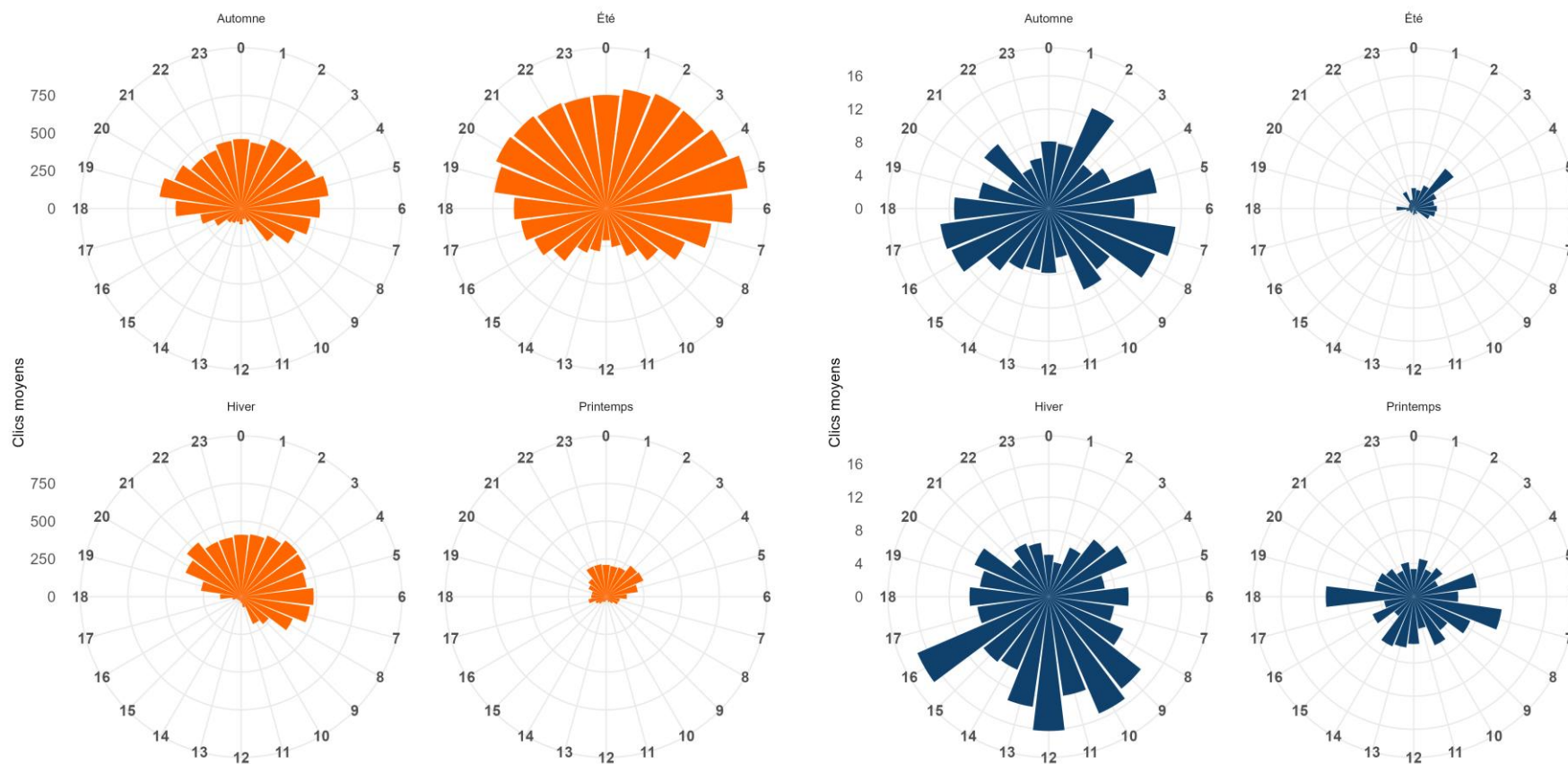


Figure 54 : Clics moyens des Delphinidés (à gauche) et des Marsouins (à droite) sur le cycle journalier, par saison, sur l'ensemble des campagnes et toutes stations confondues (A, B, C, O, L et Témoin). La longueur des barres indique les clics moyens/heure et l'angle de la barre représente l'heure jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure).

Les Delphinidés et les Marsouins présentent des schémas d'activité diurne distincts tout au long de l'année sur l'ensemble des stations.

Les Delphinidés montrent une activité de clics moyens nettement plus élevée la nuit que pendant les heures de clarté, avec des niveaux d'activité variant en fonction des heures et des saisons.

- **Automne** : L'activité est modérée et principalement nocturne. Les heures les plus actives sont réparties entre 18h et 8h avec une moyenne comprise entre 375 et 500 clics moyens. L'activité bioacoustique est réduite entre 10h et 16h tombant en dessous des 125 clics moyens.
- **Été** : La saison la plus active. L'activité bioacoustique est concentrée entre 19h et 06h avec une moyenne supérieure à 750 clics moyens. Elle diminue progressivement à partir du lever du jour et passe en dessous des 250 clics moyens entre 09h et 15h.
- **Hiver** : L'activité est également modérée comme à l'automne. La période d'activité est enregistrée entre 20h et 07h, comprise entre 375 et 500 clics moyens. L'activité diminue très fortement ou est quasi nulle entre 11h et 18h.
- **Printemps** : L'activité est nettement plus faible par rapport aux autres saisons, concentrée entre 22h et 5h, avec des valeurs proches des 250 clics moyens. En dehors de ces heures, l'activité est très réduite ce qui en fait la saison la moins active pour les Delphinidés.

Les Marsouins montrent une fluctuation dans leur activité entre le jour et la nuit, cette variation évolue également selon les saisons.

- **Automne** : Cette saison révèle des niveaux d'activité les plus élevés de l'année, avec une forte variabilité sur 24 heures. En effet l'activité varie entre 8 et 16 clics moyens. Les principaux pics d'activité sont détectés entre 7h et 8h (lever du jour) ainsi qu'entre 16h et 17h.
- **Hiver** : L'activité diurne est plus marquée sur cette saison, notamment entre 9h et 16h (à partir du lever du soleil et une heure avant le coucher du soleil), des pics sont observés à 12h et 16h (≥ 16 clics moyens).
- **Été** : L'activité bioacoustique est très faible sur l'ensemble des 24 heures avec cependant une activité un peu plus marquée à 3h du matin (6 clics moyens).
- **Printemps** : les niveaux d'activité sont variables sur 24 heures avec une tendance plutôt diurne. Les périodes les plus actives sont observées à 7h du matin lors du lever du jour puis à 18h (environ 2 heures avant le coucher du soleil) avec environ 10 clics moyens.

Pour étudier la variabilité spatiale les **Figure 55** et **Figure 56** illustrent respectivement l'activité moyenne de clic par heure des Delphinidés et des Marsouins.

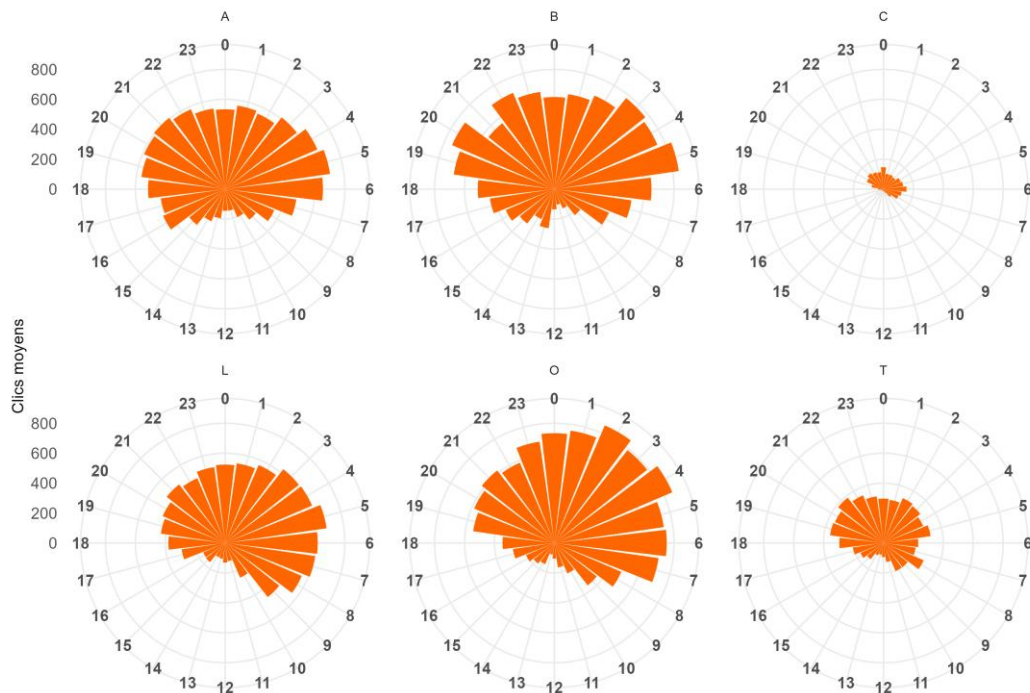


Figure 55 : Clics moyens des Delphinidés (sur le cycle journalier, par station (A, B, C, O, L et Témoin), toutes saisons confondues. La longueur des barres indique les clics moyens/heure et l'angle de la barre représente l'heure jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure).

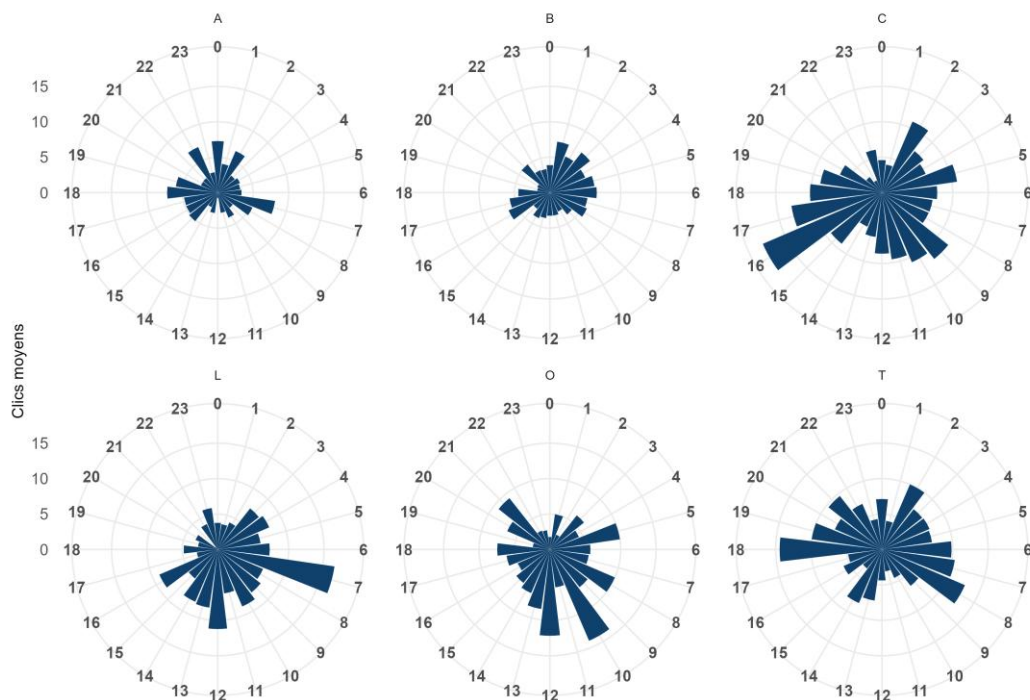


Figure 56 : Clics moyens des Marsouins sur le cycle journalier, par station (A, B, C, O, L et Témoin), toutes saisons confondues. La longueur des barres indique les clics moyens/heure et l'angle de la barre représente l'heure jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure).

De manière similaire à l'activité horaire saisonnière, l'activité bioacoustique des Delphinidés est plus prononcée la nuit que pendant les heures de jour dans toutes les stations. Les Delphinidés montrent une activité particulièrement élevée dans la station O (avec des pics supérieurs à 800 clics moyens à 2h et 4h du matin) suivie par les stations B, A et L. La station Témoin suit un schéma similaire, avec une activité bioacoustique nettement plus réduite, principalement concentrée entre le lever et le coucher du soleil. En revanche, la station C se distingue par une activité très limitée, suggérant une faible fréquentation de cette zone (< 200 clics moyens).

L'activité bioacoustique des Marsouins varie selon les stations et les heures de la journée. Les stations C et T présentent une activité mixte, alternant entre les périodes diurnes et nocturnes. Un pic notable de plus de 15 clics moyens est enregistré à 16h à la station C, et à 18h à la station T (15 clics moyens). Les stations L et O affichent une activité principalement diurne. À la station L, l'activité est plus intense entre 3h et 16h, avec un pic significatif à 7h dépassant 15 clics moyens, tandis que la nuit est marquée par une activité plus faible. La station O, en revanche, montre des niveaux d'activité plus variables, avec une diminution notable entre 22h et 4h. Enfin, les stations A et B présentent une activité globalement modérée sur 24 heures, dominée par des phases nocturnes.

✓ **Variabilité diurne :**

Les Delphinidés présentent une activité bioacoustique plus importante la nuit avec une moyenne supérieure à 60 %. Contrairement à l'activité bioacoustique des Marsouins qui varie entre le jour et la nuit selon les stations.

✓ **Variabilité horaire et saisonnière**

Delphinidés :

- **Automne- Hiver :** activité bioacoustique globalement modérée la nuit avec une activité maximale entre 2h et 7h (atteignant ~250 clics moyens). Elle présente une forte diminution entre 11h et 17h.
- **Été :** saison la plus active avec une forte augmentation de l'activité bioacoustique la nuit entre 19h et 6h du matin (> 750 clics moyens). En période de clarté l'activité varie entre 50 et ~250 clics moyens.
- **Printemps :** activité la plus faible de l'année, des augmentations jusqu'à 50 clics moyens sont observées à 3h et 4h du matin.

Marsouins :

- **Automne :** période la plus active, avec des pics au lever et au coucher du soleil (entre 12 et 16 clics moyens).
- **Hiver :** activité diurne marquée à des heures spécifiques (pics > 16 clics moyens à 12h et 16h).
- **Été :** faible activité globale, avec un pic à 3h (~6 clics moyens).
- **Printemps :** activité diurne modérée avec des pics à 7h et 18h (~10 clics moyens).

✓ **Stations les plus actives dans le parc**

- **Stations B et O :** fortes activités nocturnes pour les Delphinidés pouvant atteindre des pics de 800 clics/jour.
- **Stations O et L :** activité principalement diurne avec des pics en journée.

✓ **Stations hors du parc**

- **Station Témoin (T) :** Activité nocturne faible (< 400 clics moyens) pour les Delphinidés, mais présence marquée en hiver. Les Marsouins montrent une activité mixte significative, avec des pics à 8h et 18h.
- **Station Côtière (C) :** Activité quasi inexistante pour les Delphinidés. Les Marsouins, en revanche, affichent une forte activité diurne avec un pic à 16h.

5.2.3 Analyse comparative des différents sites échantillonnés (*BACI* et *BAG*)

5.2.3.1 Comparaison côte – large (*BACI*)

La **Figure 57** présente la distribution de clics journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) pour la zone au large (station A, B, O, L et Témoin) et la zone près de la côte (station C).

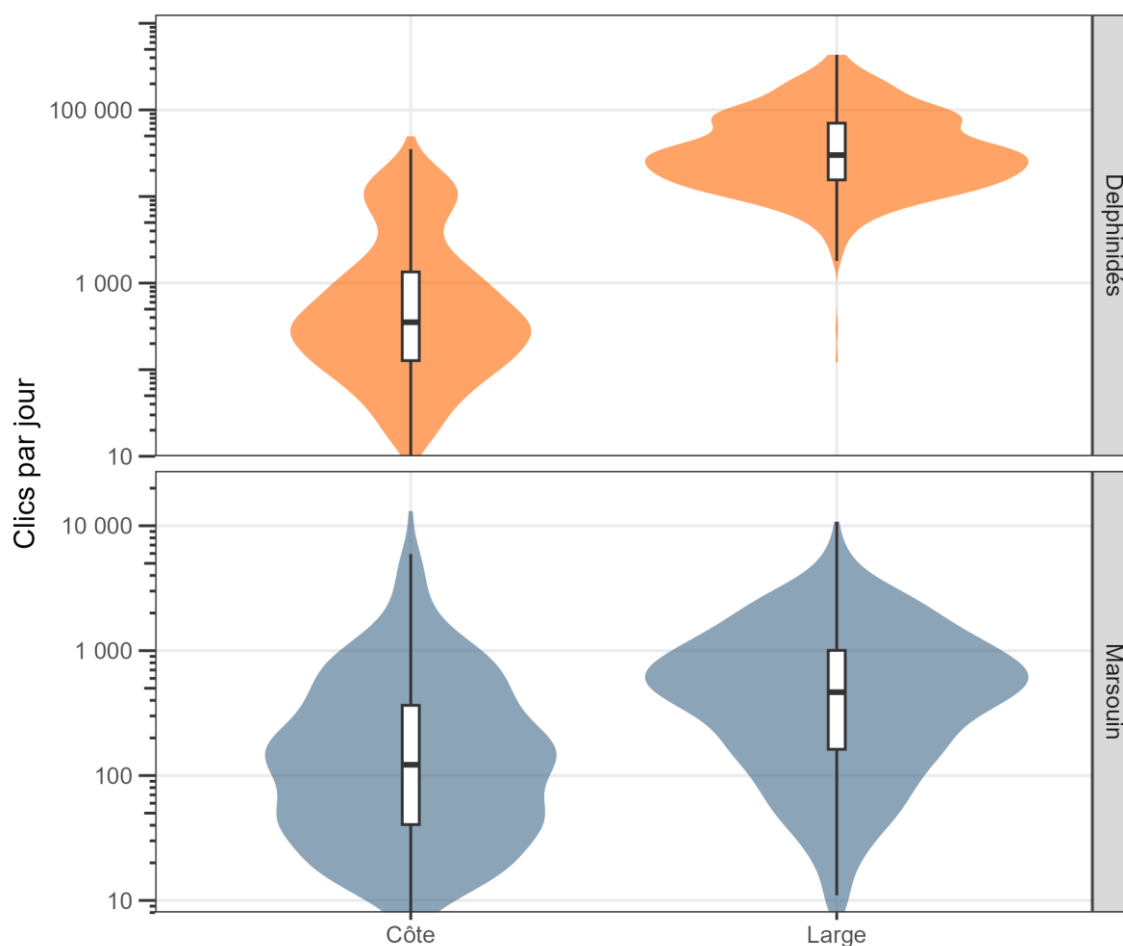


Figure 57 : Distribution des sommes des clics par jour des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) entre la côte (station C) et le large (stations A, B, O, L et Témoin) sur l'ensemble de la période d'étude.

Des similitudes dans les distributions des données sont remarquées pour les Delphinidés et les Marsouins selon les deux zones étudiées. Les graphiques en violon pour chaque station et groupe d'espèces révèlent que le taux d'activité acoustique le plus fréquent se situe autour de la médiane. Les niveaux d'activité acoustique les plus élevés sont observés dans la zone au large, avec des médianes de 30 063 clics/jour

pour les Delphinidés et 465 clics/jour pour les Marsouins. En revanche, la zone proche de la côte affiche une activité bioacoustique moins élevée pour les Delphinidés et les Marsouins, avec des médianes respectives de 353 clics par jour et 122 clics par jour.

L'activité bioacoustique des Marsouins, considérant toute la période d'étude, est significativement plus forte dans les stations au large que plus proche de la côte (test MWW, $W = 121\,144$, $p < 10^{-16}$), il en est de même pour les Delphinidés (test MWW, $W = 13\,914$, $p < 10^{-16}$).

5.2.3.2 Comparaison par station (BAG)

La **Figure 58** présente la distribution de clics journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) en suivant un gradient parallèle à la côte (station A / station O / station B / station L / station Témoin). Le suivi sur un gradient de distances permettra de comparer l'activité des cétacés et d'évaluer les potentiels impacts lors de la phase construction du parc.

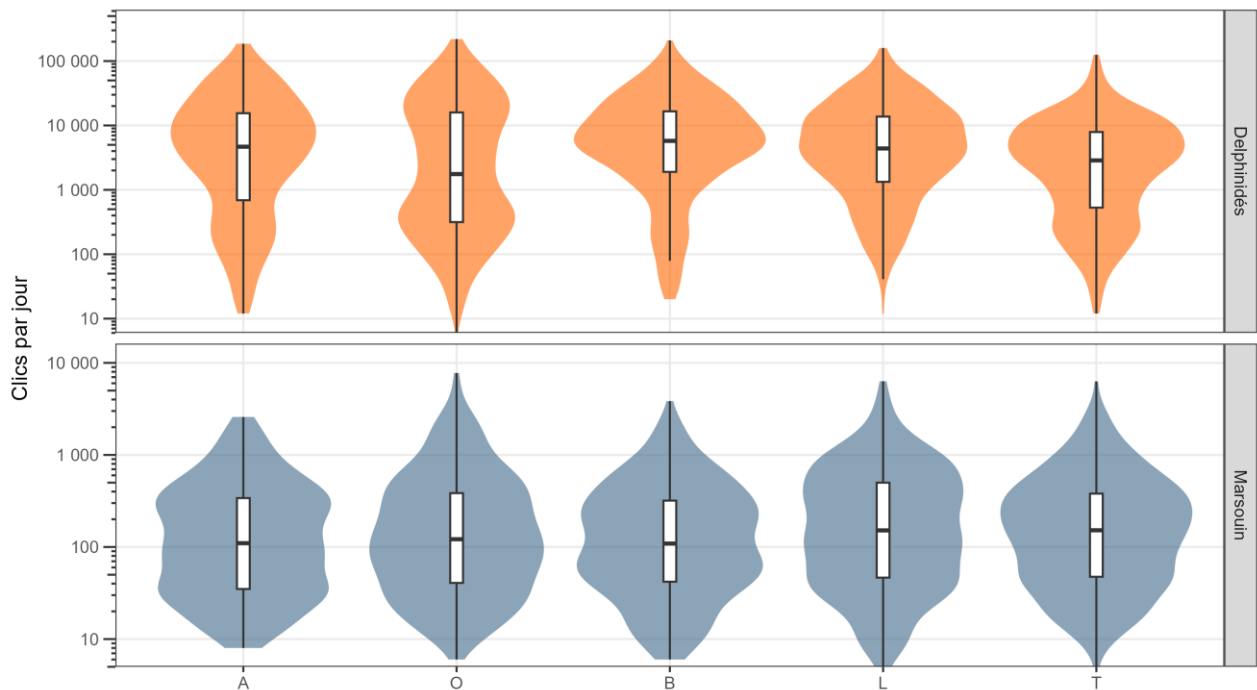


Figure 58 : Distribution des sommes des clics par jour des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) en suivant le gradient des distances du parc parallèles à la côte (Stations A, O, B, L et Témoin) sur l'ensemble de la période d'étude.

Les distributions des clics journaliers mettent en évidence des différences notables entre les Delphinidés et les Marsouins, ainsi qu'entre les différentes stations.

Chez les Delphinidés, les distributions des clics varient selon les stations. Les stations A et O affichent des distributions plus étendues, reflétant une forte variabilité de l'activité bioacoustique dans ces zones. En revanche, les stations B, L et T présentent des distributions plus denses autour de leurs médianes, traduisant une activité bioacoustique plus homogène. Les médianes les plus élevées sont enregistrées aux stations B (5 761 clics/jour), A (4 676 clics/jour) et L (4 394 clics/jour), témoignant d'une activité soutenue. À l'inverse, la station T affiche une activité modérée avec une médiane de 2 865 clics/jour, tandis que la station O, bien que très variable, présente la médiane la plus faible (1 758 clics/jour).

Chez les Marsouins, les distributions des clics sont plus symétriques, indiquant une variabilité plus faible de leur activité bioacoustique. Les stations L et T présentent les médianes les plus élevées (avec respectivement 151 clics/jour et 152 clics/jour), reflétant une activité légèrement plus importante que les stations A (110 clics/jour), B (109 clics/jour) et O (121 clics/jour). Ces distributions mettent en évidence une activité plus homogène entre les stations.

Les résultats des tests MWW montrent que l'activité bioacoustique des Delphinidés dans la station O présente une activité significativement différente par rapport à la station A ($p = 0,0108$) et la station B ($p = 0,0089$). La station T montre des différences très significatives par rapport aux autres stations, notamment avec la station A ($p = 8,3 \cdot 10^{-5}$) et la station B ($p = 3,4 \cdot 10^{-6}$). Cela souligne une plus faible utilisation acoustique de cette station par les Delphinidés. En revanche, il n'y a pas de différence significative entre les stations A et B ($p = 1,000$) ou entre B et L ($p = 0,7967$), suggérant une activité comparable dans ces stations.

Concernant les Marsouins, la station T montre des différences très significatives avec toutes les autres stations, notamment A ($p = 2,4 \cdot 10^{-10}$) et B ($p = 7,6 \cdot 10^{-6}$), confirmant sa spécificité pour les Marsouins. La station A présente une activité acoustique significativement différente de celle de la station O ($p = 0,0058$) et de la station L ($p = 0,0098$), montrant une variabilité spatiale entre ces stations. Les comparaisons entre les stations O, B, et L ne révèlent pas de différences significatives ($p > 0,05$), suggérant une activité acoustique similaire des Marsouins dans ces zones.

La synthèse des combinaisons testées est présentée dans le **Tableau 20**.

Tableau 20 : Résultats du Test non-paramétrique pour comparaisons des moyennes par paires de Mann-Whitney pour les Marsouins et les Delphinidés (données POD des campagnes 1 à 23 ; stations A, O, B, L et Témoin).

Marsouins					Delphinidés				
	A	O	B	L		A	O	B	L
O	0,0058				O	0,0108			
B	0,3023	0,3920			B	1,000	0,0089		
L	0,0098	0,9127	0,3920		L	0,2153	$3,0 \cdot 10^{-8}$	0,7967	
T	$2,4 \cdot 10^{-10}$	0,0043	$7,6 \cdot 10^{-6}$	0,0046	T	$8,3 \cdot 10^{-5}$	1,000	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-11}$

Ainsi, la présence de Delphinidés sur la station A est +1,2 % par rapport à la moyenne de l'aire d'étude, la présence sur la station B est +5 % par rapport à la moyenne, la présence sur la station L est +5,1 %, la station C -13,9 %, la station O +6,5 %, le taux détection de la station T est -4,6 % par rapport à la moyenne.

Les différences en % par rapport à la moyenne pour le Marsouin varient de -1,1% à +1,2 %.

✓ **Différence côte / large :**

Les **niveaux** d'activité bioacoustique les plus élevés sont observés **au large**. La dispersion des valeurs révèle d'importantes variations d'activité journalière, suggérant des phases d'intense vocalisation probablement associées à la recherche de proies et aux déplacements. Pour les Marsouins, la station C semble être une zone privilégiée, possiblement pour des déplacements ou des activités nécessitant une émission réduite de clics.

✓ **Gradient spatial :**

- Les **Delphinidés** : montrent un niveau d'activité bioacoustique bien plus élevée et variable que les Marsouins, avec des niveaux d'activité particulièrement marqués dans les **stations A, B et L**.

- Les **Marsouins** : montrent un niveau d'activité bioacoustique plus modéré et homogène, mais les stations C et T se distinguent comme des zones d'intérêt, confirmée par des différences significatives avec les autres stations.

5.3 DEPENDANCES AUX CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES ET ANTHROPIQUES

5.3.1 Conditions météo-océaniques

Les conditions environnementales et biogéochimiques de la zone qui ont été considérées sont présentées sur la **Figure 59** :

- Les vecteurs des courants de surface, la température de surface et au fond, la production primaire, la biomasse de zooplancton, la concentration d'oxygène dissous et la salinité ont été obtenus de la base de données Copernicus ;
- La vitesse de courant a été calculée à partir des composantes Nord-Sud et Est-Ouest (v et u) à travers de la formule pour la combinaison euclidienne des vecteurs : $s = \sqrt{v^2 + u^2}$;
- La production primaire est exprimée en milligrammes de carbone par mètres cubiques d'eau marine par jour et elle a été obtenue en moyennant les valeurs de toute la colonne d'eau ;
- La biomasse de zooplancton est exprimée en millimoles de carbone par mètres cubiques d'eau marine et elle a été obtenue en moyennant les valeurs de toute la colonne d'eau.

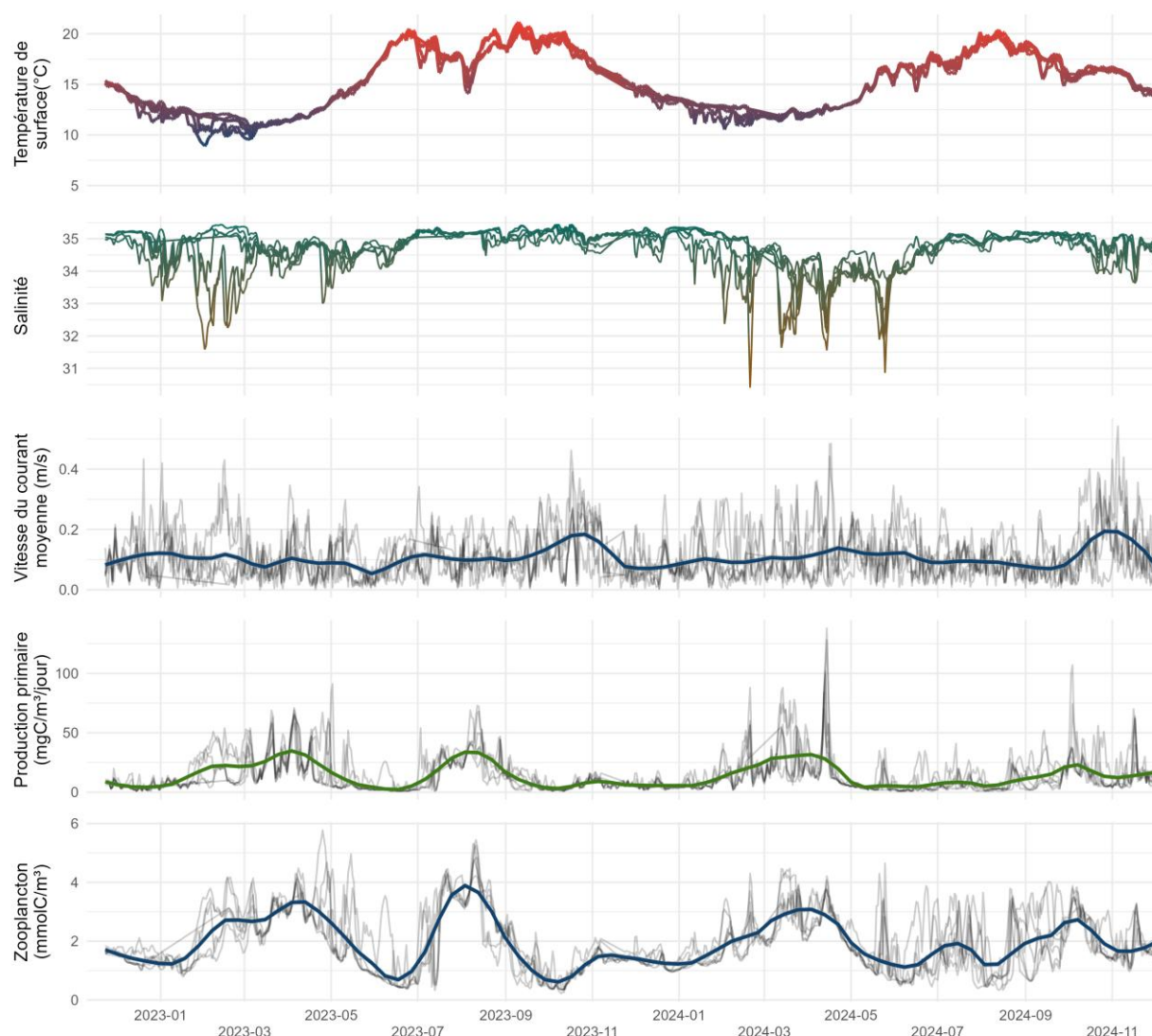


Figure 59 : Conditions environnementales (température de surface, salinité, vitesse moyenne du courant, production primaire et biomasse de zooplancton) dans la zone d'étude entre novembre 2022 et novembre 2024. La tendance de certaines variables est représentée par le biais d'une courbe de lissage moyennant les différentes stations.

- La température de surface moyenne mensuelle** : diminue graduellement sur les mois de février jusqu'à atteindre un minimum de 8,94 °C (2023). Par la suite, une augmentation printanière est constatée jusqu'à atteindre 20,4 °C en fin juin 2023. Des fluctuations de températures sont observées entre les mois d'août et octobre avec une chute de la température de surface en août 2023 (15,3 °C). Ces variations peuvent être expliquées par une forte pluviométrie enregistrée sur les mois de juillet (98,8 mm) et août (64,6 mm) à Lorient (www.meteo.bzh). Ensuite, la température de surface diminue de façon progressive jusqu'à la fin de l'hiver. La seconde année, les températures remontent progressivement au printemps-été pour atteindre leur maximum au mois d'août 2024 (20 °C).
- La salinité** : est en moyenne à $34,7 \pm 0,6$ dans la zone d'étude. De fortes variations sont observées en hiver jusqu'au début du printemps 2023 avec un minimum de 31,6 en février. Cette chute de la salinité peut s'expliquer par de fortes précipitations enregistrées sur l'île de Groix pendant les mois de janvier et mars avec des cumuls respectifs compris entre 120,6 et 109 mm (www.meteo.bzh) ainsi que par les apports d'eau douce du Blavet et de la ria d'Étel. La salinité a ensuite progressivement augmenté à partir de juin, atteignant 35,1 en été, avant de se stabiliser jusqu'en

décembre 2023. Sur la deuxième année, des fluctuations plus marquées ont été relevées entre février et juin 2024, avec des valeurs comprises entre 30,4 et 35,1. Ces variations coïncident également avec des précipitations importantes atteignant 126,3 mm en février, 100 mm en mars et 63 mm en mai, sur l'Île de Groix.

- Les vitesses du courant** : enregistrées sur la zone d'étude sont très variables d'une station à l'autre. Les vitesses du courant, prenant en compte un lissage sur toute la zone, sont comprises entre 0,04 m/s et 0,20 m/s.
- La production primaire** : la moyenne annuelle dans la zone d'étude oscille entre 0 et 30 mgC/m²/jour, présentant des variations saisonnières prononcées. Des pics journaliers sont observés au printemps (~100 mgC/m²/jour en 2023 et > 125 mgC/m²/jour en 2024), favorisé par l'augmentation de la lumière et des nutriments, avant de diminuer progressivement en été en raison de leur épuisement. Une reprise modérée en automne accompagne la dé-stratification thermique et l'apport de nouveaux nutriments en surface, tandis qu'en hiver, la production reste faible (~30 mgC/m²/jour), limitée par la faible intensité lumineuse bien que les eaux soient riches en nutriments. Ces variations sont cohérentes avec les cycles saisonniers du phytoplancton observés dans le Golfe de Gascogne, où l'alternance entre production "nouvelle" au printemps et en automne et production "régénérée" en été influence fortement la dynamique biologique des écosystèmes côtiers (Blaya M. et al., 2023).
- Le zooplancton** : Au printemps, la biomasse zooplanctonique augmente, atteignant des pics moyens d'environ 3 mmolC/m³ en avril 2023 et 2024, principalement dominée par les copépodes (90 % du zooplancton), notamment *Oithona similis*, en réponse aux blooms phytoplanctoniques saisonniers. Après une forte diminution, l'été 2023 enregistre le pic de biomasse le plus élevé des deux années, atteignant près de 4 mmolC/m³ en août, soit le double de la valeur observée en août 2024. Durant cette période, la diversité zooplanctonique augmente également, avec une réduction des copépodes (49 % du total) au profit des appendiculaires (20,8 %), des larves de lamellibranches (16,4 %) et des Cyclopoida (10 %). En automne, la biomasse zooplanctonique retrouve une dominance des copépodes (67 %), notamment *Acartia clausi* et *Oncaea* spp., accompagnés de Cyclopoida (14 %) et de larves de mollusques (9 %). L'hiver et l'automne présentent des niveaux de biomasse plus faibles à modérés, témoignant d'une forte dépendance du zooplancton aux cycles phytoplanctoniques saisonniers. Cette structuration saisonnière, marquée par des pics au printemps et en été, suivis d'une diminution progressive en automne et en hiver, est en accord avec les observations effectuées dans le Golfe de Gascogne, où les copépodes restent les principaux contributeurs à la biomasse zooplanctonique tout au long de l'année (Blaya M. et al., 2023).

5.3.2 Identification des variables significatives

Le modèle GAM ajusté pour l'activité bioacoustique des Delphinidés (avec les données des enregistreurs) a identifié la profondeur, les températures en surface et au fond, la biomasse de zooplancton et la salinité comme variables exerçant une influence significative sur la variabilité observée dans l'activité bioacoustique de Dauphins ($p < 0,0001$ pour l'ensemble de ces variables). La variance expliquée par ce modèle est 19,9 %.

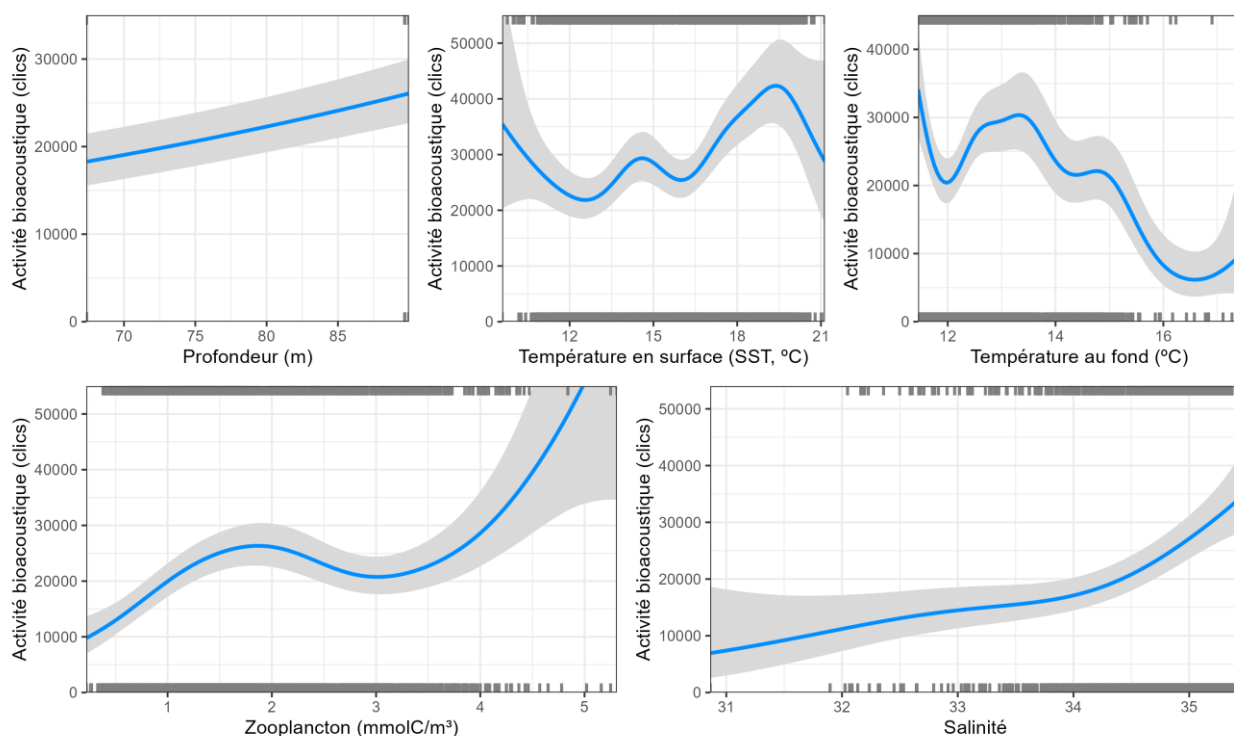


Figure 60 : : Effets partiels du modèle additif généralisé (GAM) sur l'activité bioacoustique des Delphinidés (données enregistreurs).

Le modèle GAM ajusté pour l'activité bioacoustique des Delphinidés (avec les données POD, **Figure 61**) a identifié la profondeur, les températures en surface et au fond ($p = 10^{-16}$), la biomasse de zooplancton et la salinité comme variables exerçant une influence significative sur l'activité bioacoustique enregistrée ($p < 0,001$ pour l'ensemble de ces variables). Ces variables sont les mêmes que celles identifiées avec les données d'enregistreurs. La variance expliquée par ce modèle est 13,1 %.

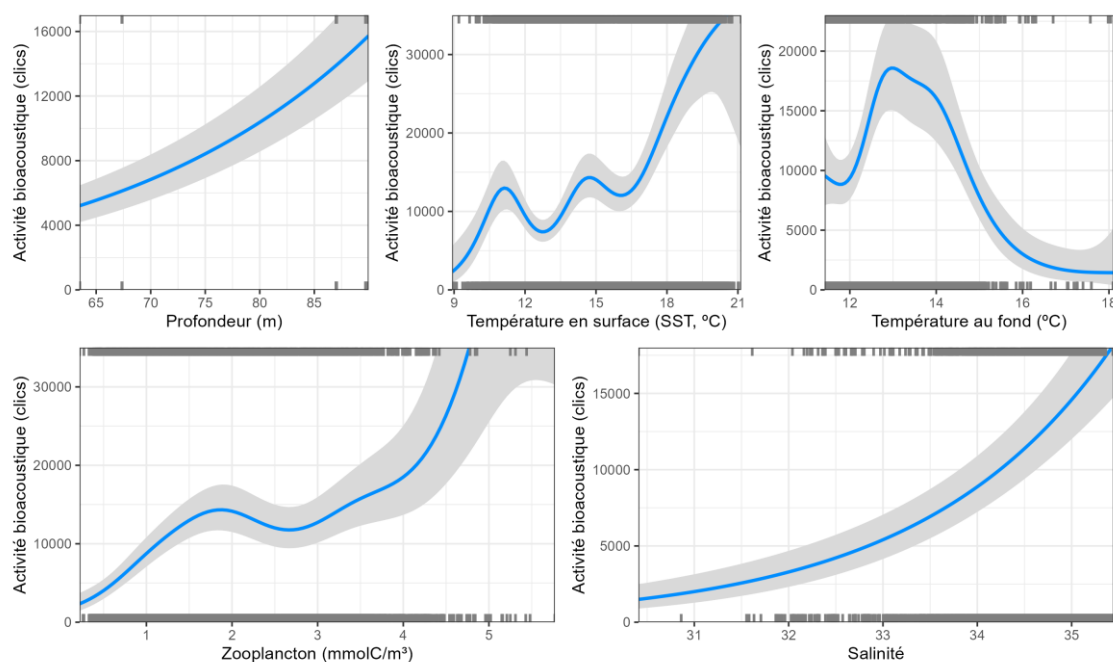


Figure 61 : Effets partiels du modèle additif généralisé (GAM) sur l'activité bioacoustique des Delphinidés (données POD).

L'analyse révèle que les Delphinidés favorisent des habitats plus profonds, autour de 90 m et au-delà, et que leur activité est corrélée à des variables dynamiques. Une température de surface supérieure à 18 °C semble favoriser leur présence, tandis que des baisses de salinité (< 33) sont associées à une diminution de leur activité. La température du fond (13-14 °C) apparaît également comme un facteur significatif, bien que les raisons de cette préférence restent à déterminer. La concentration de zooplancton (> 3 mmolC/m³) a un effet positif sur leur activité, suggérant une influence directe de la biomasse planctonique sur la répartition des individus. En revanche, la pente du fond marin n'a pas été identifiée comme un facteur explicatif dans cette zone relativement homogène.

Le modèle GAM ajusté pour l'activité bioacoustique des Marsouins (avec les données enregistreur, **Figure 62**) a identifié les températures en surface et au fond, la biomasse de zooplancton et la salinité comme variables significatives ($p < 0,001$ pour l'ensemble de ces variables). La variance expliquée par ce modèle est 13,0 %.

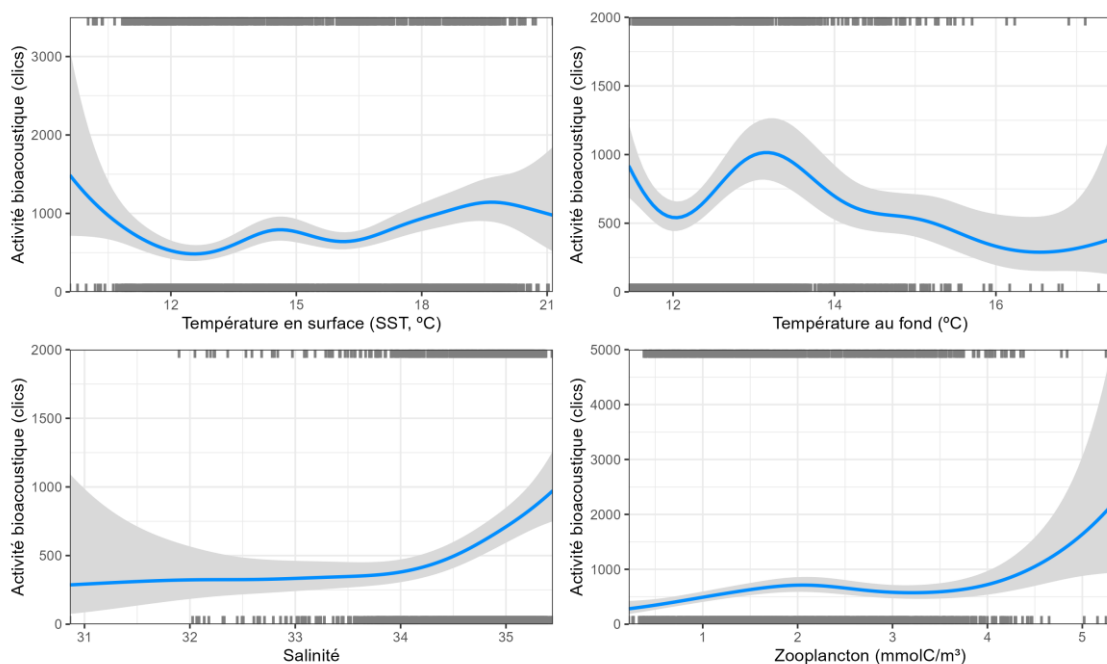


Figure 62 : Effets partiels du modèle additif généralisé (GAM) sur l'activité bioacoustique des Marsouins (données enregistreur).

Contrairement au modèle ajusté avec les données des enregistreurs, le modèle GAM ajusté pour l'activité bioacoustique des Marsouins avec les données POD (**Figure 63**) n'a pas identifié la salinité ($p > 0,05$) et a en revanche identifié la profondeur comme variable significative ($p = 0,008$). Les températures en surface et au fond ainsi que la biomasse de zooplancton sont identifiés comme significatives ($p < 0,001$ pour les variables de température et $p = 0,0051$ pour la biomasse de zooplancton, indiquant un pouvoir explicatif plutôt faible toutefois). La variance expliquée par ce modèle est 5,8 %.

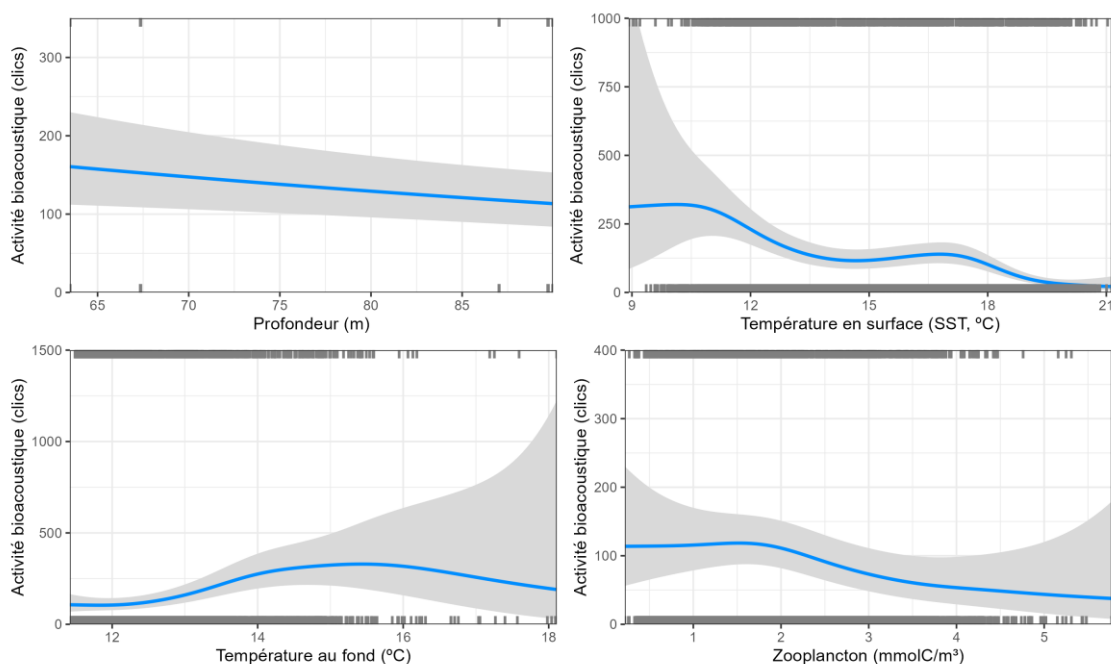


Figure 63 : Effets partiels du modèle additif généralisé (GAM) sur l'activité bioacoustique des Marsouins (données POD).

Les modèles indiquent que les Marsouins privilégient les zones de plus faible profondeur, avec une présence accrue dans les stations côtières. Contrairement aux Delphinidés, ils semblent préférer des températures de surface inférieures à 13 °C et une température du fond avoisinant 13-14 °C. La salinité (> 33) est apparue comme un facteur influençant leur présence, mais son impact est plus visible à grande échelle qu'à l'échelle locale. L'effet du zooplancton est plus complexe à interpréter : les enregistreurs montrent une relation positive à des concentrations élevées ($> 4 \text{ mmolC/m}^3$), tandis que les POD révèlent une forte incertitude pour ces valeurs.

Les résultats obtenus avec les enregistreurs et les POD présentent certaines divergences, notamment sur l'effet des températures et de la concentration en zooplancton, suggérant des biais méthodologiques à approfondir. Les modèles semblent plus robustes pour les Delphinidés, dont la présence et l'activité sont plus prévisibles que celles des Marsouins. Trois variables, parmi celles prises en compte, n'ont été évaluées comme significatives par aucun modèle : la vitesse du courant, la production primaire et l'oxygène dissous.

Enfin, bien que cette étude ait permis d'identifier des tendances claires, d'autres variables non prises en compte, telles que les pressions anthropiques (trafic maritime, bruit sous-marin, pêche), pourraient également influencer la répartition des cétacés.

5.3.3 Bruits d'origines anthropiques

En ce qui concerne les variables anthropiques, des tests ont été menés à l'échelle d'évènements sonores spécifiques. Un événement sonore a été défini comme une augmentation des niveaux sonores au-dessus de 110 dB re 1μPa (un niveau compris entre P95 et P100 sur la plupart des campagnes d'enregistrement, toutes stations confondues) pendant une durée d'au moins 10 minutes. Ces tests ont été menés pour déterminer s'il y avait un effet sur le taux de détection des Marsouins et Delphinidés jusqu'à 12 h après l'événement sonore.

Les résultats sont montrés ci-après en format dans le **Tableau 21** et la **Figure 64**.

Tableau 21 : Evolution du nombre de clics moyens et écart type des Delphinidés et Marsouins dans les deux types de fenêtres : « pendant ou après événement » et « sans événement » dans chaque station.

Espèce	Station	Évènement	Nombre heures	Nombre clics
Delphinidés	A	Pendant ou après événement	2 154	1 679,7 ± 2133,7
	A	Sans événement	9 504	1 665,4 ± 2324,4
	B	Pendant ou après événement	1 874	1 416,6 ± 1882,1
	B	Sans événement	8 596	1 415,7 ± 1974,5
	T	Pendant ou après événement	1 524	1 193,4 ± 1866,3
	T	Sans événement	7 506	1 099,3 ± 1655,3
Marsouin	A	Pendant ou après événement	2 856	41,6 ± 133,6
	A	Sans événement	13 256	34,7 ± 105,8
	B	Pendant ou après événement	2 601	29,3 ± 88,1
	B	Sans événement	12 939	26,1 ± 78,3
	T	Pendant ou après événement	2 632	24,7 ± 92,7
	T	Sans événement	13 042	20,8 ± 71

L'analyse de l'effet du bruit ambiant sur la présence des cétacés révèle des résultats contrastés entre Delphinidés et Marsouins. Aucun impact significatif des périodes d'élévation du bruit n'a été observé sur les Delphinidés. En revanche, un effet significatif ($p < 0,05$) a été identifié pour les Marsouins dans deux stations, et une troisième station présente une tendance proche du seuil de significativité ($p = 0,0765$). Ces résultats, cohérents avec ceux de l'année précédente, suggèrent que les Marsouins sont plus sensibles aux élévations de bruit à court terme, contrairement aux Delphinidés. Toutefois, l'augmentation des taux de clics ne peut être interprétée comme une attraction au bruit, car la position des individus et des sources sonores reste inconnue. Il est possible que ces élévations ponctuelles, comme le passage de navires, induisent des mouvements de fuite chez les Marsouins.

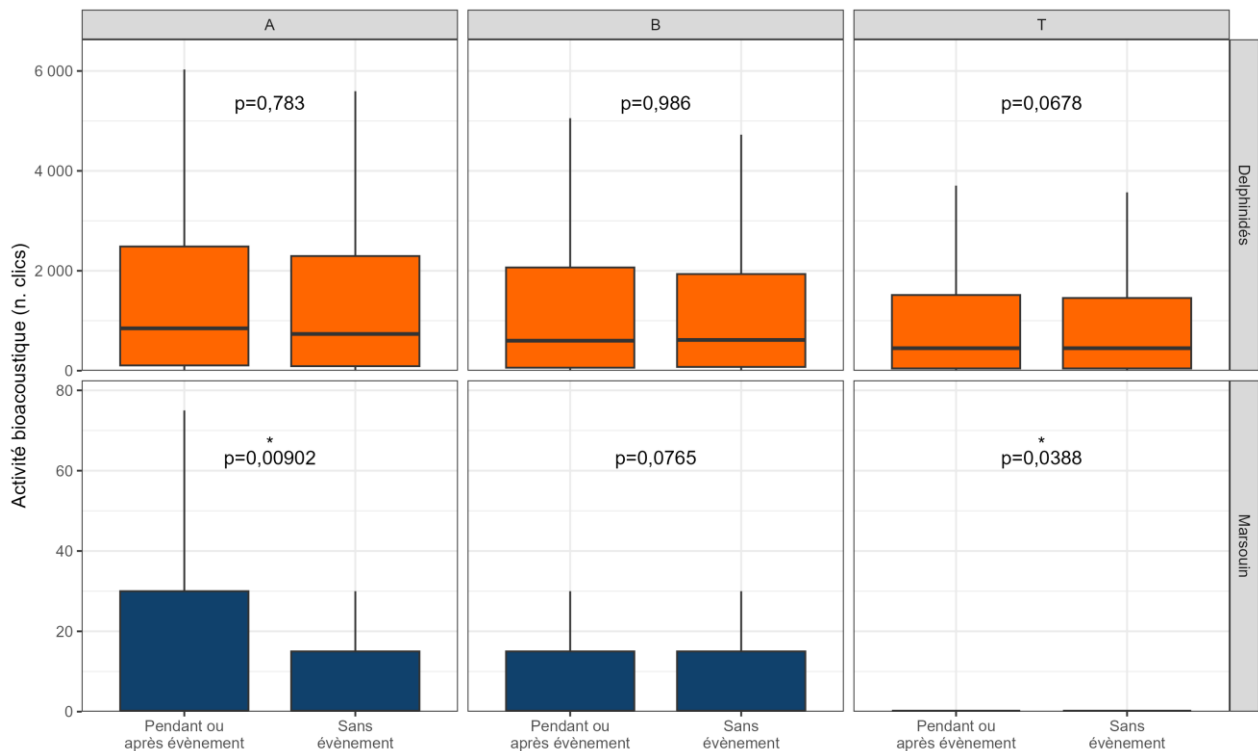


Figure 64 : Comparaison de l'activité bioacoustique des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) pendant des pics de bruit et des périodes sans événements constatés, entre novembre 2022 et novembre 2024. Les résultats des tests T pour la comparaison des moyennes sont affichés (* = différence significative).

5.4 ÉTUDE COMPORTEMENTALE DES CETACES

5.4.1 Nature des signaux et possibles significations

Les sons émis par les Delphinidés sont divisés en trois catégories principales. Tous les sons peuvent être utilisés socialement, tandis que l'écholocation serait principalement destinée à la navigation et à la chasse. Les types de sons spectralement distincts comprennent (Herzing, 2014) :

- **Les sifflements** : principalement pour la communication sociale, ils peuvent être modulés en fréquence et en amplitude.
- **Les clics** : pour la navigation et l'orientation, comprenant les trains de clics et buzz.
- **Les sons pulsés** : principalement les sons sociaux, y compris des cris et d'autres sons pulsés.

À l'inverse, les Marsouins communs (*Phocoena phocoena*), qui sont moins sociaux et acoustiquement cryptiques, émettent exclusivement des clics à haute fréquence à bande étroite (NBHF) dont les caractéristiques semblent peu adaptées à la communication mais adaptés à l'écholocation. Cependant, ces petits odontocètes sont probablement impliqués dans des interactions sociales telles que le choix du partenaire et le contact mère-petit grâce à l'utilisation du son (Sørensen et al., 2018).

Ces distinctions acoustiques permettent d'établir un lien entre les types de sons produits et les comportements observés, offrant ainsi une compréhension plus approfondie des modes de vie et des adaptations des Delphinidés et des Marsouins dans leur environnement.

5.4.2 Évolution du comportement des cétacés (données POD)

À partir des données des POD, une analyse de l'Intervalle Inter-Clic (ICI) décrivant le temps et la fréquence des clics des Delphinidés et des Marsouins, a permis de distinguer trois catégories de comportement :

- **La chasse et l'écholocation** : Caractérisée par des bourdonnements (buzz) et des trains de clics rapprochés, cette catégorie reflète les phases actives de recherche de proies et d'orientation précise ;
- **Les déplacements** : Identifiables par des trains de clics plus espacés, ces comportements traduisent une navigation ou un déplacement non focalisé ;
- **Les interactions sociales** : Plus rares chez les Marsouins mais fréquentes chez les Delphinidés, ces comportements sont liés à l'échange d'informations entre individus, souvent accompagnés de sifflements et de sons pulsés.

5.4.2.1 Nature des activités par station

Les figures ci-après représentent la répartition des activités comportementales (chasse/écholocation, déplacement et interactions sociales) des Delphinidés (**Figure 65**) et des Marsouins (**Figure 66**) à partir des clics enregistrés au moyen des POD à l'échelle des 6 stations, permettant d'illustrer les variations d'activité selon les sites.

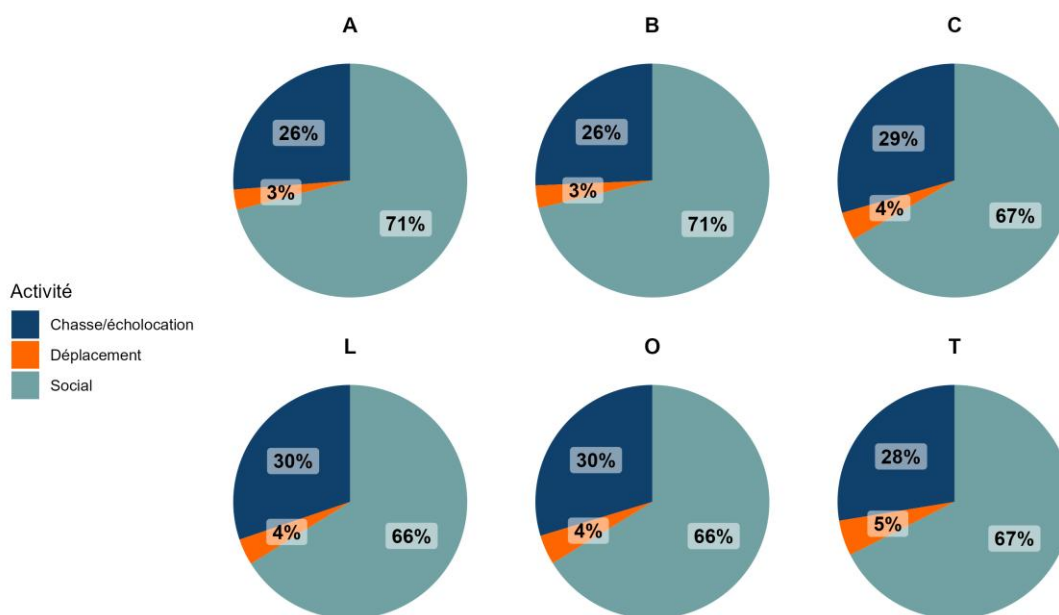


Figure 65 : Activités des Delphinidés par station (données POD, campagnes 1 à 23).

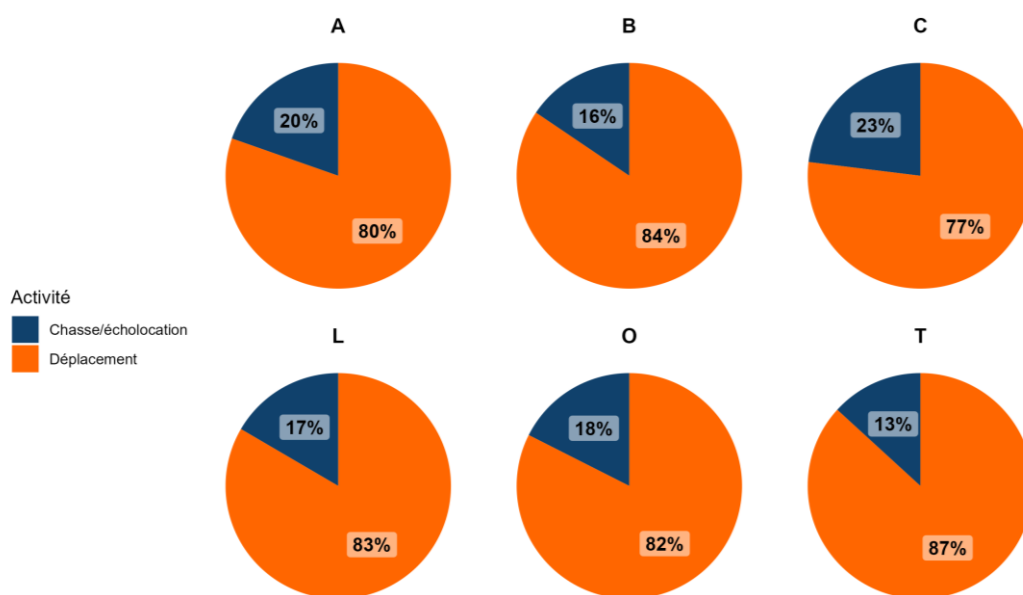


Figure 66 : Activités des Marsouins par station (données POD, campagnes 1 à 23).

Les résultats montrent des différences marquées entre les Delphinidés et les Marsouins dans la répartition de leurs activités. Chez les Delphinidés, le comportement social domine largement, représentant 66 % (stations L et O) à 71 % (stations A et B) des activités détectées. La chasse/écholocation varie de 26 % (stations A et B) à 30 % (stations L et O), tandis que le déplacement reste minoritaire, entre 3 % et 5 % selon les stations.

A l'inverse, chez les Marsouins, le déplacement occupe une part plus importante, allant de 77 % à 87 %, avec des valeurs particulièrement élevées dans les stations T (87 %) et B (84 %). La chasse/écholocation est proportionnellement plus réduite, variant de 13 % à 23 %, avec des pourcentages plus élevés dans les stations C (23 %) et A (20 %).

Malgré les incertitudes existantes au niveau scientifique quant à la classification des comportements, ces résultats montrent des proportions de comportement de chasse comparables entre les deux groupes : 25-30% du temps pour les dauphins et autour de 20% du temps pour les marsouin, le reste du temps (70-80 %) consacré à d'autres fonctions.

5.4.2.2 Évolutions saisonnière et annuelle du comportement

Les figures ci-après présentent l'évolution saisonnière des activités des Delphinidés (**Figure 67**) et des Marsouins (**Figure 68**), toutes stations confondues pendant deux années consécutives (2022-2023 et 2023-2024). Ce suivi met en évidence les variations dans la répartition de leurs activités au cours des saisons. Il permet de comparer les comportements entre ces deux groupes de cétacés, tout en fournissant des informations relatives aux éventuelles influences saisonnières et interannuelles sur leurs activités.

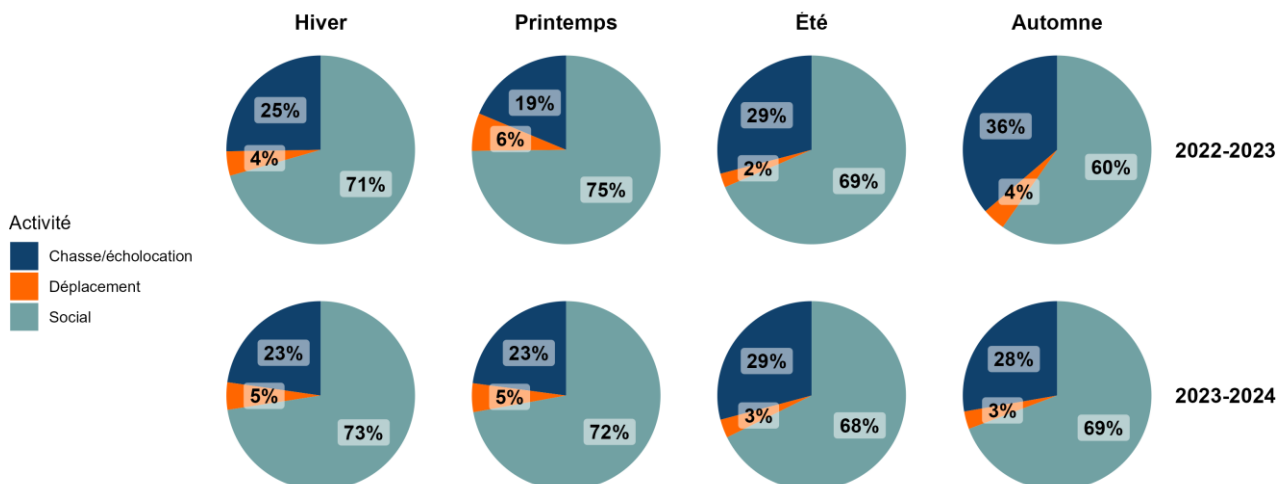


Figure 67 : Évolution des activités saisonnières et annuelles des Delphinidés, toutes stations confondues, issue des données POD (année 2022-2023 : campagnes 1 à 11 et année 2023-2024 : campagne 12 à 23)

Le suivi comportemental des Delphinidés au cours des saisons et des années (2022-2023 et 2023-2024) montre une nette dominance des interactions sociales, représentant entre 60 % et 75 % de leur activité selon les saisons. Cette activité est un peu plus marquée au printemps pour les deux années, tandis qu'elle atteint son niveau le plus bas en automne (60 % en 2022-2023 et 69 % en 2023-2024). La chasse/écholocation, la seconde activité, varie davantage selon les saisons, avec un pic notable en automne (36 % en 2022-2023) et une baisse relative en 2023-2024 (28 %). Enfin, le déplacement reste minime tout au long des deux années de suivi à l'échelle de la zone d'étude, variant entre 2 % et 6 %, sans variation constatée entre les saisons ou les années.

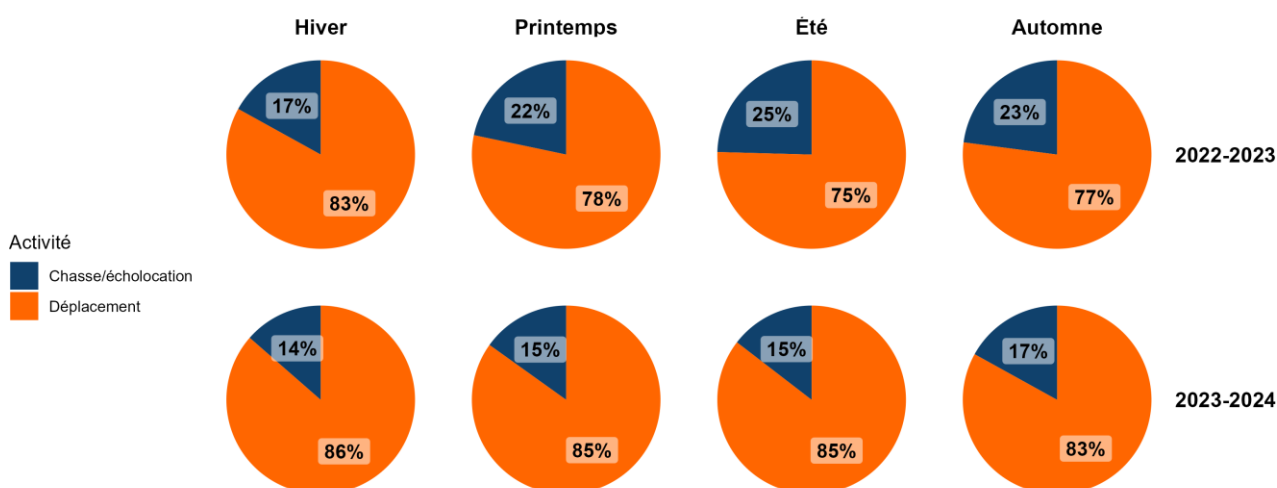


Figure 68 : Evolution des activités saisonnières et annuelles des Marsouins, toutes stations confondues, issue des données POD (année 2022-2023 : campagnes 1 à 11 et année 2023-2024 : campagne 12 à 23)

L'analyse des activités des Marsouins met en évidence le déplacement comme activité principale. En 2022-2023, il représente de 75 % (été) à 83 % (hiver) du temps, tandis que la chasse/écholocation varie entre 17 % en hiver et 25 % en été. En 2023-2024, le déplacement devient encore plus marqué avec une hausse de 7 %, oscillant entre 83 % (automne) et 86 % (hiver), au détriment de la chasse/écholocation, qui diminue notamment en été (15 %, contre 25 % l'année précédente).

Ces résultats indiquent une diminution de l'activité de chasse/écholocation des Marsouins lors de la seconde année, notamment en été (- 10 %) au profit des déplacements. Ces variations pourraient être influencées par des changements environnementaux (naturels et anthropiques) ou une modification de la disponibilité des proies. Par ailleurs, les Delphinidés montrent une faible variation de leurs activités en fonction des saisons, traduisant une stabilité comportementale entre les deux années étudiées.

5.4.2.3 Évolutions horaire et saisonnière du comportement

Les figures ci-dessous présentent la répartition des trains de clics moyens des Delphinidés (**Figure 69**) et des Marsouins (**Figure 70**) pendant un cycle journalier, en fonction des saisons, toutes stations confondues à l'échelle de l'ensemble des campagnes. Elles mettent en évidence les variations horaires et saisonnières des activités principales (déplacement, chasse/écholocation et interactions sociales). Cette analyse permet d'identifier les périodes de la journée où les comportements sont les plus marqués, ainsi que leurs éventuelles fluctuations selon les saisons. Ces informations sont essentielles pour mieux comprendre les rythmes d'activité des Delphinidés et leur adaptation aux changements environnementaux et aux ressources disponibles.

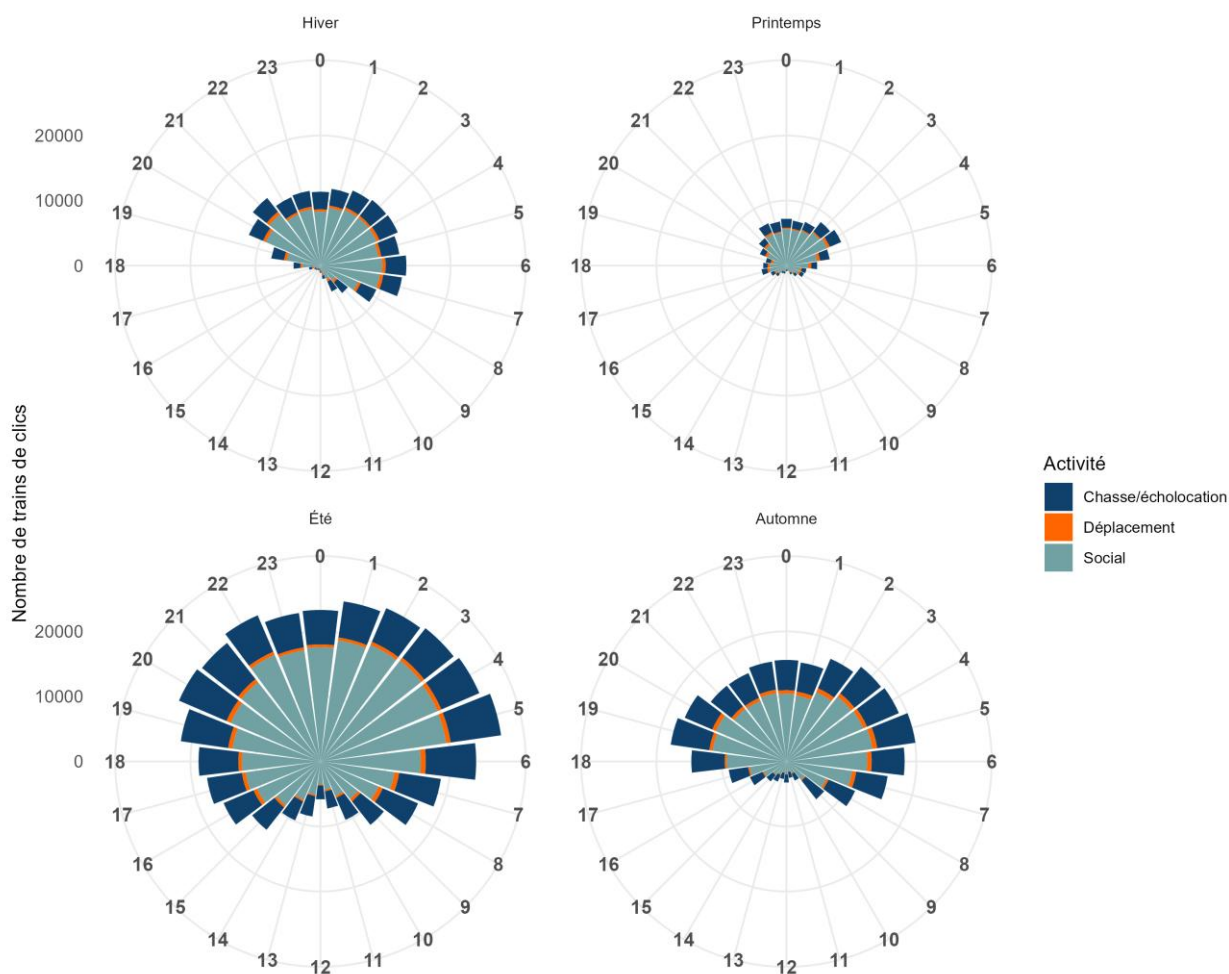


Figure 69 : Activité des Delphinidés pendant les cycles journalier et saisonnier, à l'échelle de l'ensemble des campagnes et toutes stations confondues. La longueur des barres indique le nombre des trains de clics, l'angle de la barre représente l'heure du jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure) et le code couleur représente le type d'activité.

Ces graphiques complètent et enrichissent les observations présentées dans les chapitres **5.1.2.3 Variabilité horaire**, en apportant une dimension comportementale horaire plus détaillée. La **Figure 54** avait déjà mis en évidence une nette prédominance des trains de clics nocturnes chez les Delphinidés, avec une activité particulièrement intense en été et en automne, ainsi qu'une activité plus mixte entre le jour et la nuit chez les Marsouins, marquée par des niveaux d'activité plus élevés en automne et en hiver, sans toutefois différencier les types d'activités. Ces graphiques confirment les mêmes patrons d'activités journalières.

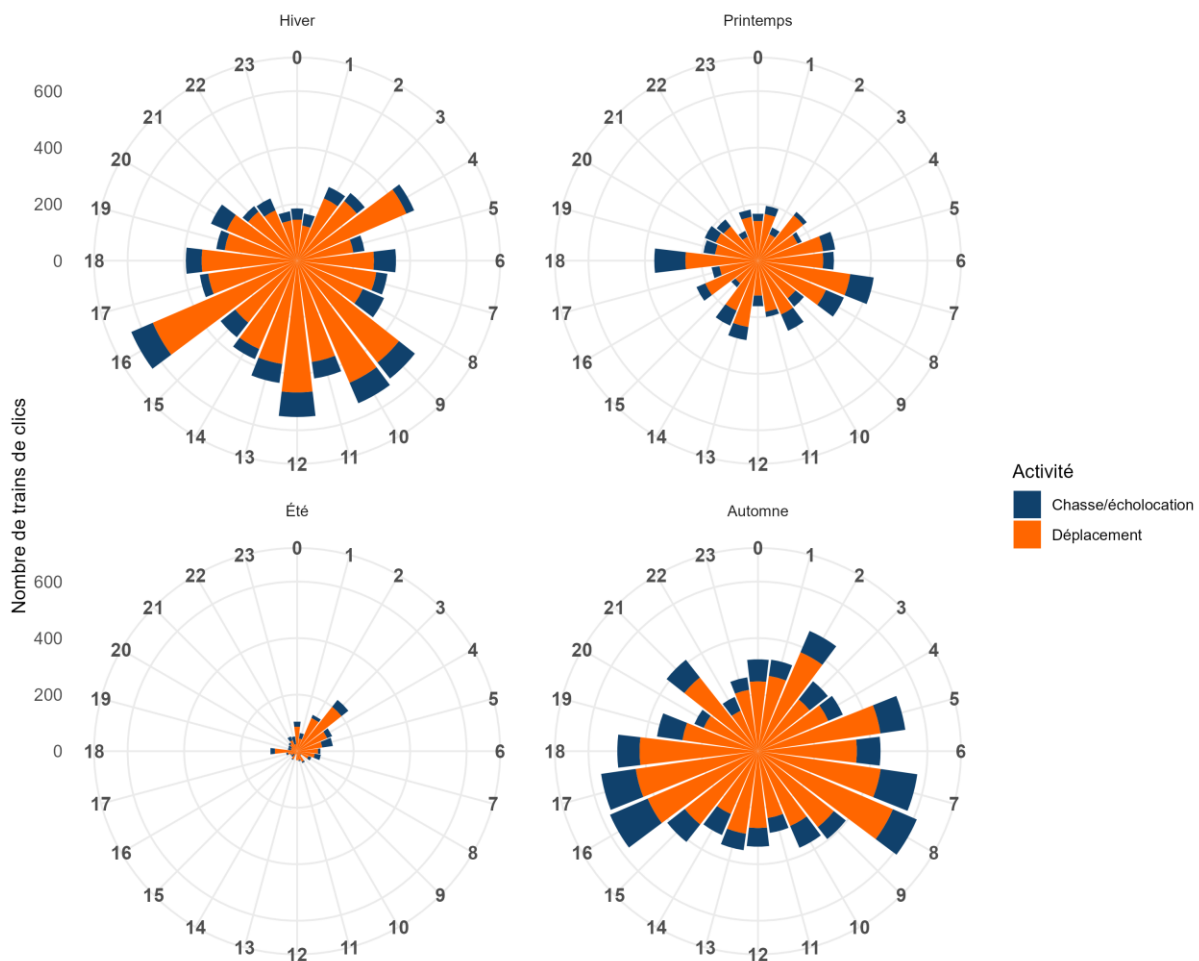


Figure 70 : Activité des Marsouins pendant un cycle journalier et saisonnier, à l'échelle de l'ensemble des campagnes et toutes stations confondues. La longueur des barres indique le nombre des trains de clics, l'angle de la barre représente l'heure du jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure) et le code couleur représente le type d'activité.

La Figure 69 montre que les activités journalières des Delphinidés sont principalement associées aux interactions sociales et à la chasse/écholocation. Tandis que les Marsouins, privilégient l'activité de déplacement (Figure 70). Ces figures complètent la Figure 54 qui décrit la répartition saisonnière de l'activité, en précisant les plages horaires spécifiques pour chaque type d'activité.

Chez les Delphinidés, les interactions sociales dominent l'ensemble des plages horaires et le comportement de chasse/écholocation est également bien présent. Cependant, en proportion sur le total des clics enregistrés, le comportement de chasse/écholocation peut être plus intense en journée. En d'autres termes, en journée on enregistre moins de clic en nombre absolu, mais la plupart peut correspondre à de la chasse/écholocation.

Chez les Marsouins, le déplacement reste dominant tout au long des saisons, avec une répartition des types d'activités qui demeure stable entre les différentes périodes.

✓ **Répartition des activités par station**

Delphinidés :

- Les interactions sociales représentent **66 % à 71 %** des activités (avec les plus fortes proportions dans les **stations A et B**).
- La chasse/écholocation varie de **26 % à 30 %**, avec une intensité plus marquée dans les **stations L et O**.
- Les déplacements restent marginaux (**3 % à 5 %**).

Marsouins :

- Le déplacement est dominant (**77 % à 87 %**), atteignant des niveaux élevés en **stations T (87 %) et B (84 %)**.
- La chasse/écholocation est plus faible (**13 % à 23 %**), avec des valeurs plus élevées en **stations C (23 %) et A (20 %)**.

✓ **Évolution saisonnière et annuelle des comportements**

Delphinidés :

- Interactions sociales stables (60 % à 75 % selon les saisons), avec une intensité plus marquée au printemps et une baisse en automne.
- Chasse/écholocation plus marquée en automne (36 % en 2022-2023, 28 % en 2023-2024) et stable en été (~29 %).

Marsouins :

- Déplacement en hausse en 2023-2024 (83 % à 86 %).
- Chasse/écholocation **en baisse**, surtout en **été 2023-2024** (15 %, contre 25 % l'année précédente).

✓ **Évolution des comportements horaires et saisonniers**

Activité nocturne dominante chez les Delphinidés, avec une intensification de la chasse en été et en automne. Les Marsouins alternent leurs activités **entre le jour et la nuit** (notamment en automne et hiver)

5.4.3 Évolution du comportement des Delphinidés (données enregistreurs)

L'analyse comportementale des Delphinidés repose sur l'étude des sifflements et des clics, deux types de signaux acoustiques caractérisant leurs interactions sociales et leur activité chasse/d'écholocation. Afin de déterminer l'activité dominante, un rapport entre le nombre de clics et de sifflements a été utilisé selon les critères suivants :

- **Chasse/écholocation** : l'activité est classée comme chasse/écholocation lorsque le rapport entre le nombre de clics et de sifflements atteint 75 % ou plus, indiquant une dominance des clics et suggérant une activité de recherche ou de capture de proies.
- **Mixte** : lorsque le rapport se situe entre 25 % et 75 %, l'activité est qualifiée de mixte, indiquant une alternance entre clics et sifflement.
- **Social** : l'activité est considérée comme sociale lorsque ce rapport est de 25 % ou moins, traduisant une prédominance des sifflements, caractéristique des interactions entre individus.

L'analyse de ces comportements est réalisée selon différents axes temporels (annuelle, saisonnière et horaire) et par station (A, B et Témoin), afin d'évaluer les variations spatio-temporelles des activités bioacoustiques des Delphinidés.

5.4.3.1 Nature des activités par station et année

La **Figure 71** représente la répartition des activités comportementales (chasse/écholocation, interactions sociales et mixte) des Delphinidés issues des données des enregistreurs des 3 stations, permettant d'illustrer les activités dominantes selon les sites.

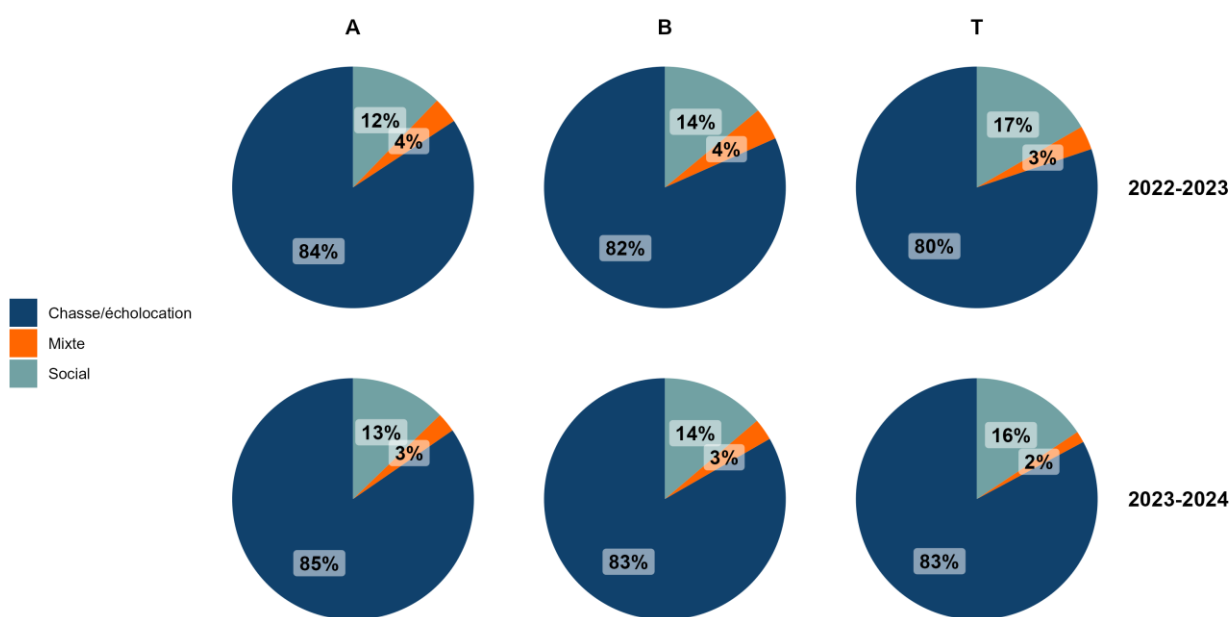


Figure 71 : Activités dominantes des Delphinidés par station et comparaison entre l'année 2022-2023 et 2023-2024 (données enregistreurs, campagnes 1 à 23).

À l'échelle de l'ensemble des stations, la chasse/écholocation constitue l'activité bioacoustique dominante des Delphinidés, représentant entre 80 % et 84 % en 2022-2023 et présente peu de variations en 2023-2024. La part des interactions sociales et mixtes restent restreintes sur chaque station, avec respectivement

être 12 et 17% pour la part sociale et 2 à 4% pour la part mixte. Ces valeurs sont relativement stables entre les stations au cours des deux années.

5.4.3.2 Évolution saisonnière du comportement par station

La **Figure 72** présente la répartition saisonnière des trois catégories d'activités bioacoustiques des Delphinidés dans les stations A, B et T. Les diagrammes circulaires permettent de visualiser les variations de comportement entre stations et leur évolution au cours des saisons.

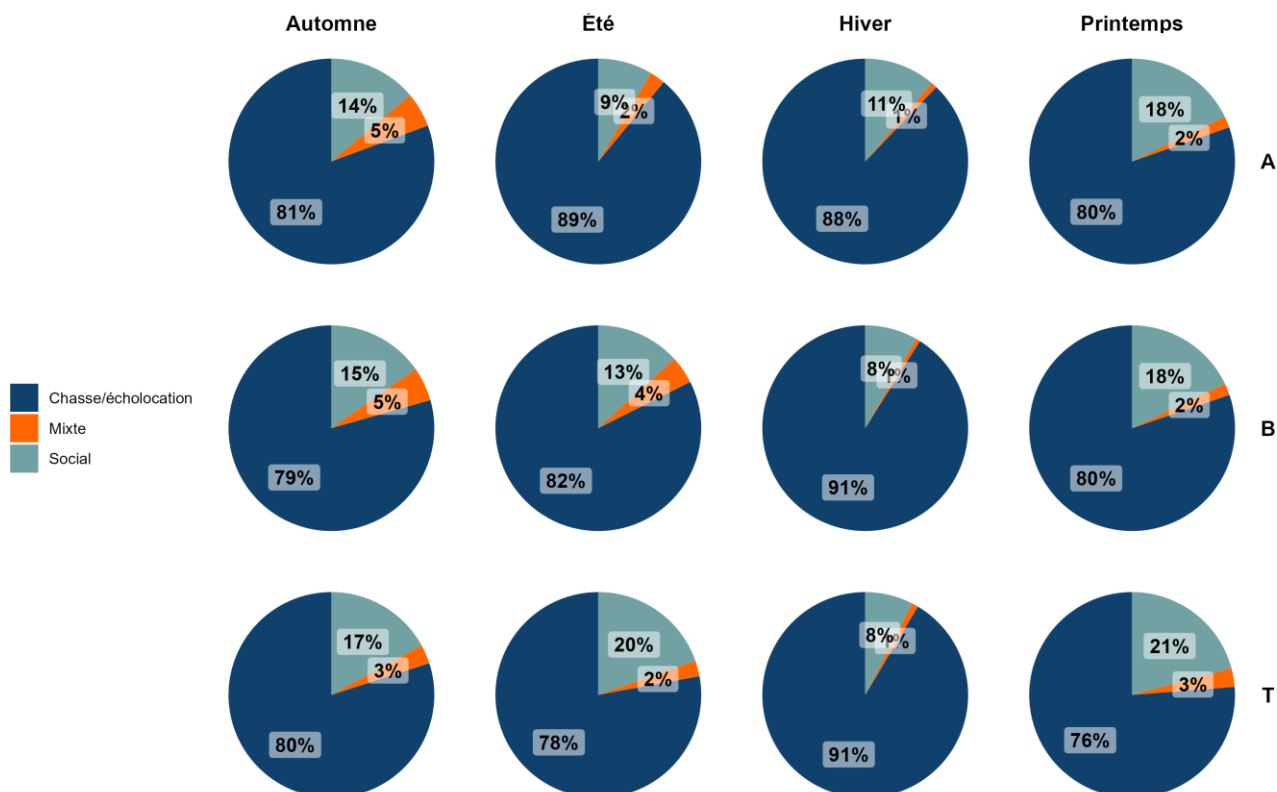


Figure 72 : Evolution des activités saisonnières des Delphinidés par stations, issue des données enregistreurs (campagnes 1 à 23).

L'analyse saisonnière de l'activité bioacoustique des Delphinidés dans les stations A, B et T met en évidence une dominance très marquée de la chasse/écholocation tout au long de l'année, avec quelques variations selon les saisons.

En automne, une part plus importante des comportements mixtes et sociaux est observée, elle représente environ 20% des activités et ceux sur l'ensemble des stations. C'est en été que les différences inter station sont les plus importantes : sur la station A, les activités sociales et mixtes sont les plus réduites (9% de social et 2% de mixte, alors que sur la station T, les activités sociales représentent 20%. En hiver, l'activité de chasse et écholocation atteint son pic (88 % à 91 %), traduisant une intensification des comportements de recherche alimentaire et une réduction forte des interactions sociales et mixtes.

Enfin, le printemps se distingue par une activité de chasse/écholocation encore prépondérante (76 % à 80 %), mais avec une augmentation de la proportion d'interactions sociales (18 % à 21 %). Ces tendances suggèrent une variation saisonnière de l'utilisation de l'habitat et des stratégies alimentaires des Delphinidés, influencée par la disponibilité des proies et des besoins sociaux des individus.

5.4.3.3 Évolution des comportements horaires et saisonniers

La **Figure 73** présente la répartition moyenne des clics par heure des Delphinidés pendant un cycle journalier, en fonction des saisons, toutes stations confondues pour l'ensemble des campagnes. Elle met en évidence les variations horaires et saisonnières des activités dominantes (chasse/écholocation, interactions sociales et activités mixtes). Cette analyse permet d'identifier les périodes de la journée où les comportements sont les plus marqués, ainsi que leurs éventuelles fluctuations selon les saisons.

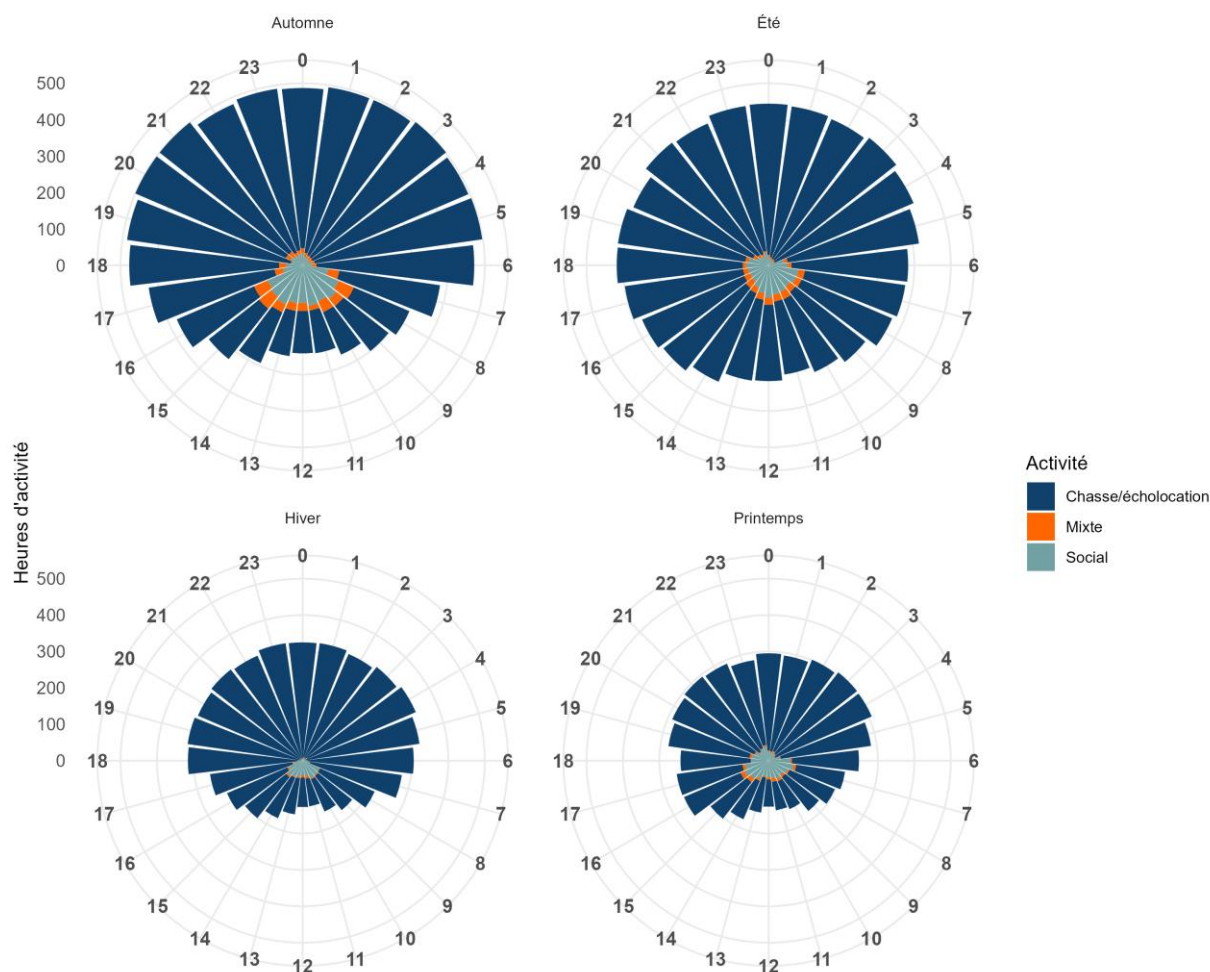


Figure 73 : Activité des Delphinidés au cours des cycle journalier par saison à l'échelle de l'ensemble des campagnes et toutes stations confondues. La longueur des barres indique le nombre d'heures enregistrées assignées à chaque type d'activité, et l'angle de la barre représente l'heure de la journée concernée (indiquée par les chiffres sur la circonférence extérieure).

Les Delphinidés montrent une activité de chasse/écholocation nettement plus élevée la nuit que pendant les heures de clarté, avec des niveaux d'activité variant en fonction des saisons.

En été et automne, cette activité s'intensifie (jusqu'à 400 heures d'activité en automne et 350 heures en été). Ces saisons présentent une répartition moins focalisée sur les activités de chasse et d'écholocation, mais les activités mixtes et sociales sont concentrées en période de clarté. En hiver, l'activité est quasi-exclusivement orientée vers la chasse/écholocation, avec une réduction drastique des interactions sociales et mixtes. Pendant cette saison, leurs activités sont quasiment uniquement consacrées à la recherche

alimentaire. Une légère différence est observée au printemps, avec une activité encore très majoritairement tournée vers la chasse, mais une légère augmentation de la proportion de comportements sociaux.

Ces résultats confirment que les Delphinidés ajustent leur activité bioacoustique en fonction des saisons et du cycle journalier, suggérant une forte influence des rythmes environnementaux et trophiques sur leurs comportements.

✓ **Répartition des activités par station**

- **Chasse/écholocation** : activité dominante, représentant **80 % à 85 %** des comportements, avec une intensité plus marquée en station A où elle atteint son niveau maximal en 2023-2024 (85 %).
- **Activité mixte** : sont faibles et représente **2 % à 4 %** des comportements selon les stations, sans grande différences annuelles entre les stations
- **Interactions sociales** : comprises entre **13 % et 17 %**, avec une présence plus marquée en automne et printemps. Sur la station T, les interactions sociales semblent plus importantes.

✓ **Évolution saisonnière**

- **Chasse/écholocation** : Activité de prédilection en **hiver (80 % à 85 %)** et stables entre les deux années de suivi.
- **Activité mixte et sociale** : réduites fortement notamment en hiver, suggérant une importance accrue des comportements de recherche alimentaire sur cette saison.

✓ **Évolution des comportements horaires et saisonniers**

- **Cycle journalier** : l'activité de chasse/écholocation est **principalement nocturne**, tandis que les comportements sociaux et mixtes sont plus présents en journée, notamment en été et en automne.
- **Cycle saisonnier** : une intensification de la chasse/écholocation en hiver et printemps, tandis que l'automne et l'été voient une légère reprise des interactions sociales et mixtes.

5.5 COMPARAISON INTERANNUELLE DE LA FREQUENTATION DES CETACES

5.5.1 Variabilité interannuelle issue des données des enregistreurs

La **Figure 74** compare les activités annuelles des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas), exprimées en nombre de clics moyens journaliers acquises par les enregistreurs sur deux périodes d'étude (2022-2023 et 2023-2024), pour l'ensemble des stations (A, B et Témoin). Cette représentation permet d'analyser la variabilité interannuelle et de mettre en évidence les différences d'activités entre les deux groupes et entre les stations.

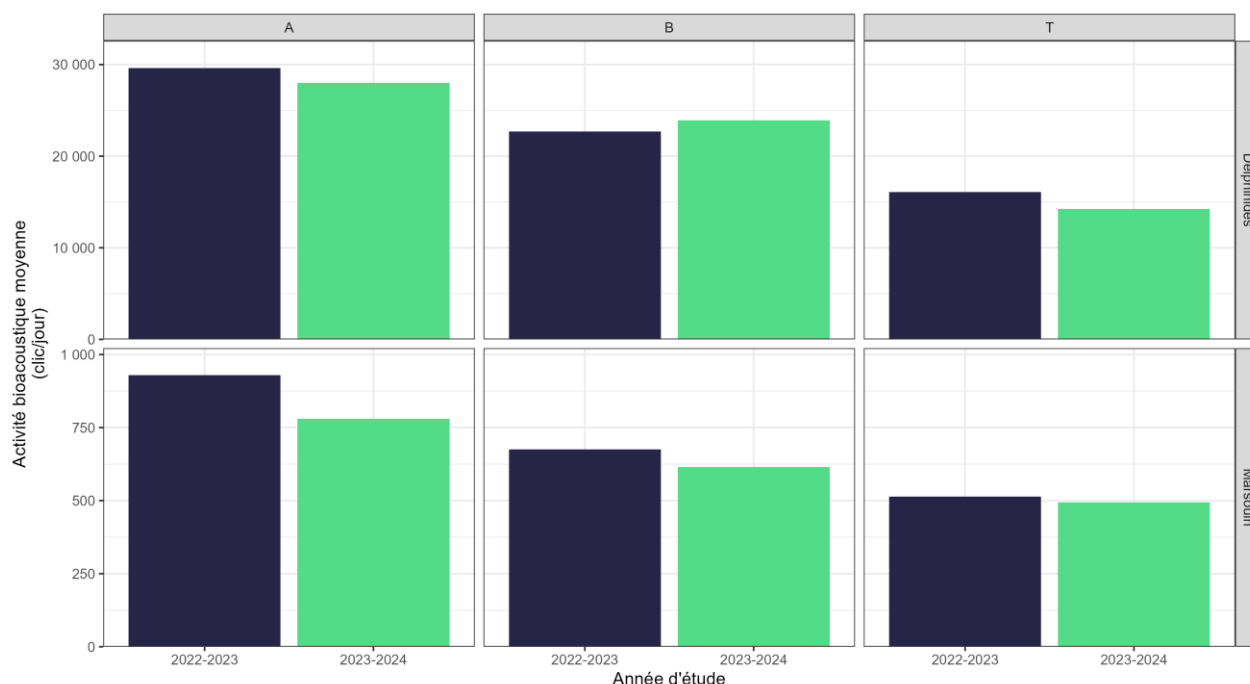


Figure 74 : Comparaison des activités annuelles (2022-2023 et 2023-2024) en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) acquises par les enregistreurs, toutes stations confondues (A, B et Témoin).

L'activité bioacoustique des Delphinidés reste globalement stable entre 2022-2023 et 2023-2024, malgré une diminution constatée la deuxième année dans les stations A (-1 643 clics/jour) et la station T (-1 840 clics /jour). La station B montre une légère augmentation de 1198 clics/jour.

Concernant les Marsouins, l'activité bioacoustique suit une tendance générale à la baisse dans toutes les stations. La station A présente la plus forte diminution avec -148 clics/jour. Suivie par les stations B (-60 clics/jour) et la station T (-20 clics/jour).

Le **Tableau 22** présente les résultats de l'ANOVA à deux voies, analysant l'effet des facteurs « stations » et « année étudiée » sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins, ainsi que l'interaction entre ces deux facteurs, afin d'identifier les variations spatiales, temporelles et leurs combinaisons dans les données enregistrées.

Tableau 22 : Résultats des tests ANOVA à deux voies : Effet des stations et des années d'étude sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins entre l'année 2022-2023 et l'année 2023-2024 (ddl : degré de liberté)

Espèces	Effet	ddl	F	p	p < 0,05
Delphinidés	Station	2	68,48	$1,77 \cdot 10^{-29}$	*
	Année étudiée	1	0,682	0,409	NS
	Station / année étudiée	2	0,995	0,37	NS
Marsouin	Station	2	29,2	$3,17 \cdot 10^{-13}$	*
	Année étudiée	1	4,198	0,041	*
	Station / année étudiée	2	1,046	0,351	NS

Les résultats obtenus indiquent des différences significatives pour certains facteurs analysés :

- **Effet des stations** : les variations entre les stations sont significatives pour les Delphinidés et les Marsouins. La variabilité de l'activité bioacoustique entre stations reste modérée pour les Delphinidés et plus faible pour les Marsouins.
- **Effet des années étudiées** : Pour les Delphinidés, il n'y a aucune différence significative de leur activité bioacoustique entre 2022-2023 et 2023-2024, elle est restée relativement stable d'une année sur l'autre selon les enregistreurs. En revanche, pour les Marsouins, il existe une différence significative entre les deux années ($p = 0,041$), mais qui reste relativement faible.
- **Interaction stations/années** : l'interaction entre les stations et les années est non significative pour les Delphinidés et les Marsouins. Cela signifie que l'interaction entre l'année et les stations mesurées n'explique donc pas significativement les variations observées.

Des tests par paire (test t de Student) ont été réalisés pour identifier les différences significatives dans l'activité bioacoustique des cétacés (Delphinidés et Marsouins) entre les différentes stations et années d'étude. Ces tests statistiques permettent de comparer les niveaux de clics moyens journaliers entre paires de stations, ainsi qu'entre les périodes 2022-2023 et 2023-2024, afin de mettre en évidence les variations spatiales et temporelles dans leur fréquentation. Les résultats sont présentés dans les **Tableau 27** et **Tableau 28 (Annexe 10.9)**

Les tests statistiques par paire confirment des différences très significatives de l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins entre les différentes stations étudiées. Ces variations spatiales sont particulièrement marquées entre la station A et les autres stations (B et T), sur les deux périodes étudiées (2022-2023 et 2023-2024). Chez les Marsouins, bien que moins prononcées, ces différences spatiales restent significatives. Ces résultats confirment que les stations influencent notablement la répartition et l'activité bioacoustique des deux groupes étudiés au fil du temps.

5.5.2 Variabilité saisonnière issues des données des enregistreurs

La **Figure 75** illustre la comparaison des activités bioacoustiques moyennes journalières des Delphinidés et des Marsouins pour les années 2022-2023 et 2023-2024, en fonction des saisons (hiver, printemps, été, automne) et des stations (A, B et T). Ce graphique permet de visualiser la variabilité saisonnière et interannuelle des comportements des deux groupes dans la zone d'étude.

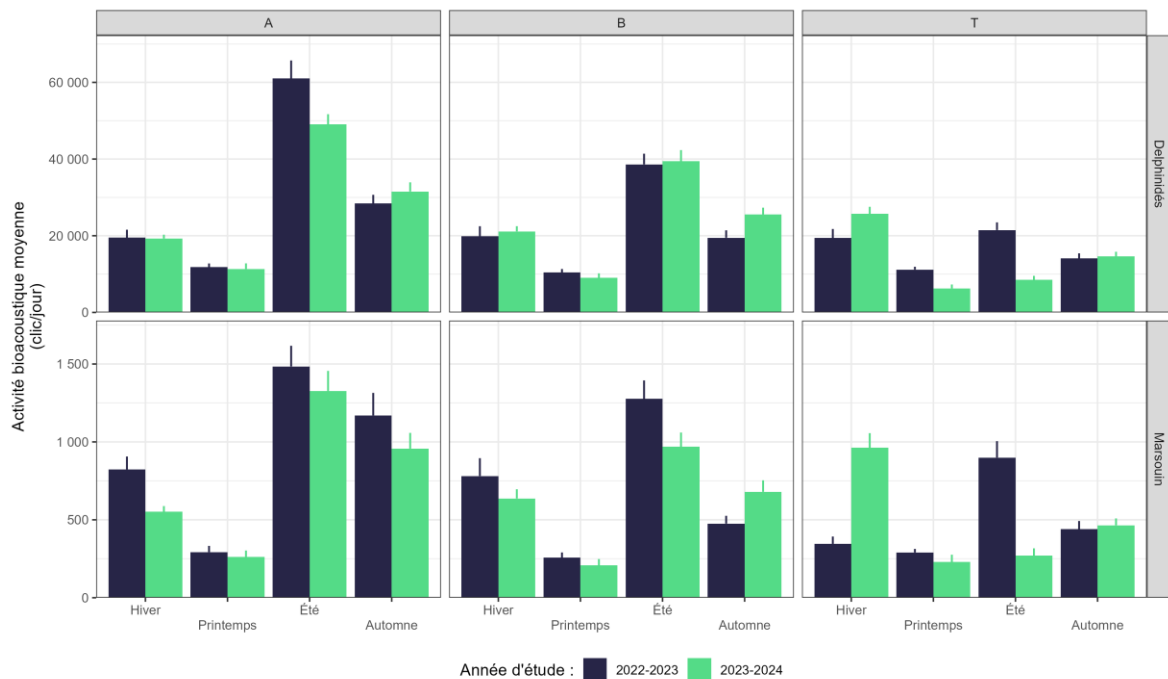


Figure 75 : Comparaison des activités saisonnières entre l'année 2022-2023 et 2023-2024, en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) acquises par les enregistreurs, pour les stations A, B et Témoin.

L'analyse des variations interannuelles des données issues des enregistreurs révèle une stabilité de l'activité bioacoustique des Delphinidés, sans variations significatives, tandis qu'une diminution de l'activité des Marsouins est observée entre 2022-2023 et 2023-2024, malgré quelques hausses ponctuelles. Chez les Delphinidés, les baisses les plus marquées sont relevées en été, notamment en station A (-11 971 clics/jour en été) et station T (-12 975 clics/jour). Dans une moindre mesure, l'activité diminue également au printemps dans l'ensemble des stations (entre -485 et -4 916 clics/jour) et en hiver dans la station A (-230 clics/jour). En revanche, quelques hausses sont notables en automne, notamment en stations A (+3 118 clics/jour) et B (+6 089 clics/jour), ainsi qu'en hiver en stations T (+6 299 clics/jour) et B (+1 260 clics/jour), suggérant une fréquentation plus soutenue en fin d'année dans certaines zones.

Chez les Marsouins, la tendance est encore plus marquée avec des diminutions enregistrées dans la majorité des stations et des saisons. La baisse est particulièrement forte en été, notamment en station T (-630 clics/jour) et station B (-308 clics/jour), indiquant une moindre présence estivale dans ces zones. Des réductions sont également observées en hiver en station A (-272 clics/jour) et station B (-144 clics/jour), ainsi qu'au printemps en station T (-62 clics/jour). Cependant, quelques hausses ponctuelles sont relevées, notamment en hiver en station T (+617 clics/jour) et en automne dans la station B (+204 clics/jour), traduisant une présence plus marquée durant ces périodes.

Ces résultats indiquent une tendance à la diminution de l'activité bioacoustique à l'échelle de la majorité des stations et saisons, plus marquée chez les Marsouins que chez les Delphinidés. Les quelques hausses observées en hiver et automne dans certaines stations pourraient refléter des ajustements dans la distribution spatiale des individus, possiblement en réponse à des facteurs environnementaux ou à des modifications dans la disponibilité des proies.

5.5.3 Variabilité interannuelle issue des données POD

La Figure 76 compare les activités annuelles des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas), exprimées en nombre de clics moyens journaliers enregistrés par les POD sur deux périodes d'étude (2022-

2023 et 2023-2024), pour l'ensemble des stations (A, B, C, O, L et Témoin). Cette représentation permet d'analyser la variabilité interannuelle et de mettre en évidence les différences d'activités entre les deux groupes et entre les stations.

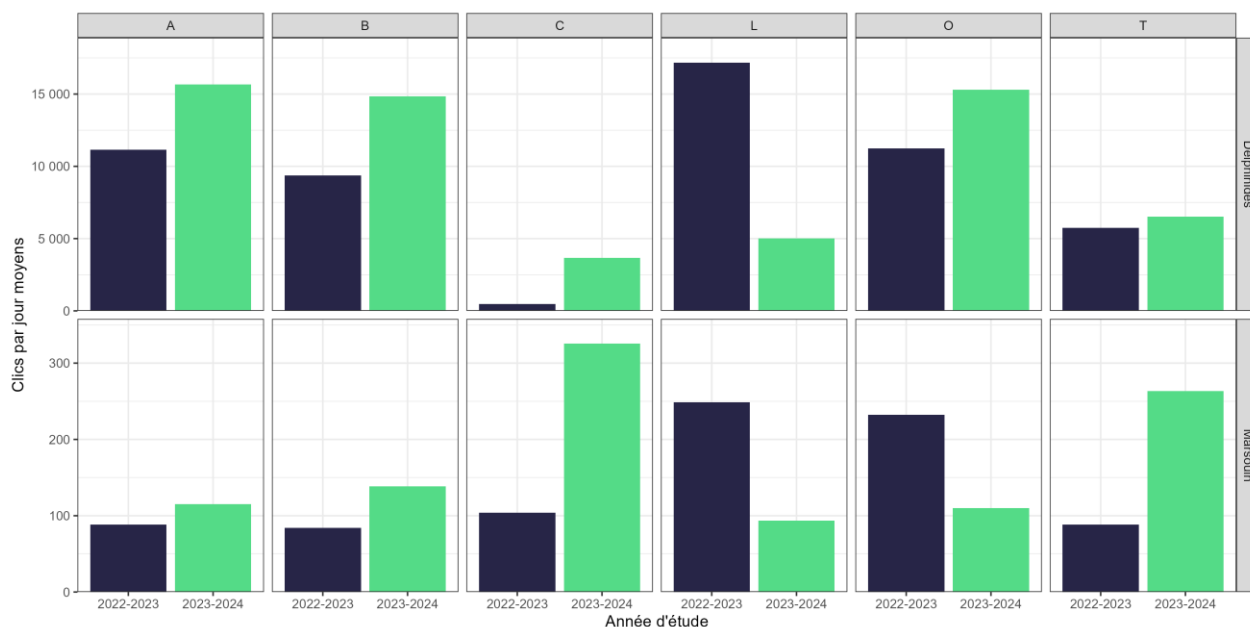


Figure 76 : Comparaison des activités annuelles (2022-2023 et 2023-2024) en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) enregistrée par les POD, toutes stations confondues (A, B, C, O, L et Témoin).

Les clics moyens journaliers des Delphinidés montrent une augmentation du nombre de clics entre les deux années pour toutes les stations hormis la station L, suggérant une augmentation de leur activité bioacoustique sur l'année 2023-2024. La station T affiche une activité modérée, constante entre les deux années. Une très forte diminution de l'activité bioacoustique est observée à la station L en 2023-2024.

L'activité bioacoustique des Marsouins augmente dans les stations A, B, C et T entre 2022-2023 et 2023-2024. Cette hausse est particulièrement marquée pour les stations C et T, où le nombre moyen de clics par jour a triplé. Tandis que les stations A et B présentent des augmentations plus modérées. Les stations L et O sont présentes une forte diminution sur la seconde année.

Le **Tableau 23** présente les résultats de l'ANOVA à deux voies, analysant l'effet des facteurs « stations » et « années étudiées » sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins, ainsi que l'interaction entre ces deux facteurs, afin d'identifier les variations spatiales, temporelles et leurs combinaisons dans les données enregistrées.

Tableau 23 : Résultats des tests ANOVA à deux voies : Effet des stations et des années d'étude sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins entre l'année 2022-2023 et l'année 2023-2024 (ddl : degré de liberté).

Espèces	Effet	ddl	F	p	p<0,05
Delphinidés	Station	5	42,82	$3,34 \cdot 10^{-43}$	*
	Année étudiée	1	2,952	0,086	NS
	Station / année étudiée	5	22,38	$3,23 \cdot 10^{-22}$	*
Marsouin	Station	5	6,032	$1,46 \cdot 10^{-5}$	*

Espèces	Effet	ddl	F	p	p<0,05
	Année étudiée	1	4,268	0,039	*
	Station / année étudiée	5	17,31	$5,38 \cdot 10^{-17}$	*

Les résultats obtenus indiquent de différences hautement significatives des trois facteurs analysés :

- **Effet des stations** : les variations entre les stations sont hautement significatives montrant une forte variabilité entre les stations pour les deux groupes d'espèces.
- **Effet des années étudiées** : les Delphinidés ne présentent pas de différence significative, tandis que les Marsouins indiquent une différence significative de leur activité bioacoustique entre les deux années ($p = 0,039$).
- **Interaction stations/années** : l'interaction entre les stations et les années est très significative, montrant que les changements d'activité bioacoustique varient selon les stations en fonction des années pour les Delphinidés et les Marsouins.

Des tests par paire (test t de Student) ont été réalisés pour identifier les différences significatives dans l'activité bioacoustique des cétacés (Delphinidés et Marsouins) entre les différentes stations et années d'étude. Ces tests statistiques permettent de comparer les niveaux de clics moyens journaliers entre paires de stations, ainsi qu'entre les périodes 2022-2023 et 2023-2024, afin de mettre en évidence les variations spatiales et temporelles de leur fréquentation. Les résultats sont présentés dans les **Tableau 29** et **Tableau 30 (Annexe 10.9)**

Pour les Delphinidés, en 2022-2023, une différence non significative est observée entre les stations A et B ($p = 0,0522$). Toutes les autres comparaisons entre stations révèlent des différences hautement significatives. En 2023-2024, l'ensemble des comparaisons entre stations sont significatives, indiquant une forte variabilité spatiale.

Concernant les Marsouins, l'analyse met en évidence des différences beaucoup plus limitées. Pour l'année 2022-2023, de nombreuses différences non significatives sont observées entre plusieurs stations. Hormis les stations L et O diffèrent significativement de plusieurs autres stations. Pour l'année 2023-2024, une tendance similaire est observée, avec très peu de différences significatives entre les stations, à l'exception des comparaisons impliquant C et T, confirmant une préférence saisonnière localisée pour certaines zones. Ces analyses révèlent des dynamiques contrastées entre les Delphinidés et les Marsouins. Alors que les Delphinidés montrent une forte variabilité spatio-temporelle, suggérant des mouvements saisonniers et une adaptation aux conditions locales, les Marsouins présentent une distribution plus stable et homogène, avec des zones d'activité préférentielles bien définies.

L'analyse des tests entre années, met en évidence une évolution interannuelle contrastée de l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins entre 2022-2023 et 2023-2024. Chez les Delphinidés, une augmentation significative de l'activité est enregistrée dans les stations B, C et L, suggérant une fréquentation plus importante en 2023-2024, tandis que les stations A et T restent stables, indiquant une occupation régulière de ces sites. Chez les Marsouins, une hausse significative de l'activité bioacoustique est détectée dans plusieurs stations, notamment C, L, O et T, traduisant une présence également plus marquée en 2023-2024, alors que la station A ne présente pas d'évolution notable. Ces résultats soulignent des dynamiques spatio-temporelles distinctes entre les deux groupes, avec une variabilité interannuelle un peu plus marquée pour les Marsouins, suggérant des ajustements potentiels dans l'utilisation des habitats en réponse aux conditions environnementales.

5.5.4 Variabilité saisonnière issues des données POD

La **Figure 77** illustre la comparaison des activités bioacoustiques moyennes journalières des Delphinidés et des Marsouins pour les années 2022-2023 et 2023-2024, en fonction des saisons (hiver, printemps, été, automne) et des stations (A, B, C, L, O, T). Ce graphique permet de visualiser la variabilité saisonnière et interannuelle des comportements des deux groupes dans la zone d'étude.

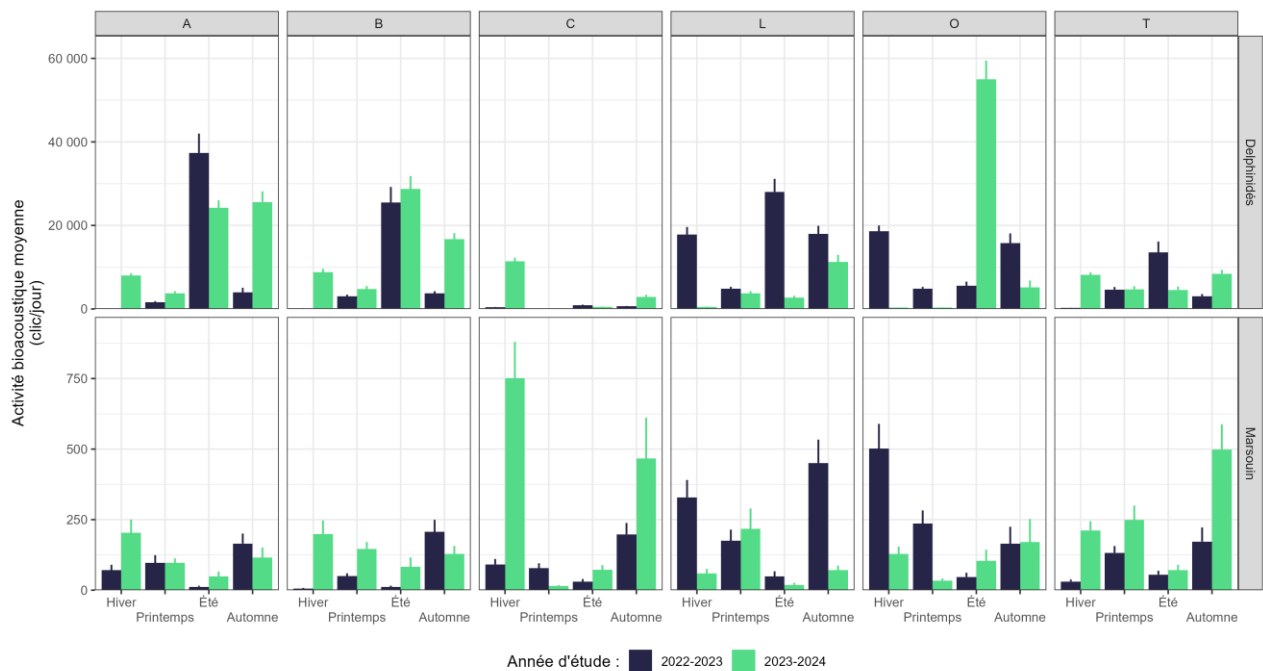


Figure 77 : Comparaison des activités saisonnières entre l'année 2022-2023 et 2023-2024, en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) enregistrée par les POD, pour les stations A, B, C, O, L et Témoir.

L'activité bioacoustique des Delphinidés présente des variations marquées selon les saisons et les années, avec une augmentation significative en 2023-2024 dans plusieurs stations. En hiver, une hausse est observée dans les stations A, B, C et T, avec une augmentation particulièrement marquée en station A, où l'activité passe de 143 clics/jour en 2022-2023 à 8 005 clics/jour en 2023-2024. Cette tendance se poursuit au printemps, notamment en station A où l'activité double presque, tandis que les stations B, C et T enregistrent des hausses plus modérées. L'été est caractérisé par une forte augmentation en station O, où les clics moyens journaliers passent de 5 577 en 2022-2023 à 54 963 en 2023-2024. En automne, une augmentation significative est également notée en stations A, B et T.

L'activité bioacoustique des Marsouins, bien que plus stable que celle des Delphinidés, présente également des variations saisonnières et interannuelles. En 2023-2024, une progression est enregistrée en hiver, particulièrement en station C, où l'activité passe de 91 clics/jour en 2022-2023 à 750 clics/jour. Une forte hausse est également enregistrée en station B (5 à 198 clics/jour) et en station T (30 à 212 clics/jour). Au printemps, une augmentation est notée en stations B et T, où l'activité bioacoustique double presque. En été, une augmentation générale est enregistrée dans la plupart des stations, notamment en stations B et O, traduisant une présence plus marquée durant cette saison en 2023-2024. En automne, la station T connaît une augmentation marquée, l'activité passant de 172 clics/jour en 2022-2023 à 498 clics/jour en 2023-2024, ainsi qu'en station C (178 à 467 clics/jour).

✓ **Variabilité interannuelle**

Delphinidés :

- Les enregistreurs montrent une activité relativement stable entre 2022-2023 et 2023-2024.
- Les POD révèlent une augmentation significative dans plusieurs stations (B, C et O), tandis que la station L enregistre une forte baisse.

Marsouins :

- Les enregistreurs indiquent une baisse généralisée de l'activité bioacoustique dans toutes les stations, avec une diminution marquée en station A.
- Les POD montrent une forte augmentation de l'activité en stations C et T en 2023-2024.

✓ **Variabilité saisonnière**

Delphinidés :

- Activité maximale en été selon les deux sources de données, bien que les enregistreurs indiquent une baisse en 2023-2024 alors que les POD enregistrent une hausse notable en station O.
- En automne et en hiver, l'activité reste soutenue mais varie selon les stations, avec une stabilité observée via les enregistreurs et des fluctuations relevées via les POD.

Marsouins :

- Activité plus homogène tout au long de l'année selon les enregistreurs, avec une baisse générale sur la deuxième année.
- Les POD montrent une augmentation hivernale et automnale en stations C et T, indiquant une fréquentation accrue de ces habitats à ces périodes.

✓ **Conclusions générales**

- Forte variabilité spatiale pour les deux groupes, confirmée par les tests statistiques, avec des différences marquées entre les stations.
- Évolution interannuelle plus marquée chez les Marsouins (données POD), suggérant une adaptation plus dynamique aux conditions environnementales.
- Occupation des habitats stables chez les Delphinidés, bien que certaines zones présentent des fluctuations d'activité entre les deux années.

6. SYNTHÈSE DES RESULTATS

6.1 SYNTHÈSE DES RESULTATS DE MESURES DU BRUIT

Cette section présente les résultats relatifs à la variabilité saisonnière des niveaux de bruit, la répartition fréquentielle du bruit sous-marin et la modélisation des niveaux sonores à partir des données collectées entre novembre 2022 et novembre 2024.

✓ Variabilité saisonnière des niveaux de bruit

- Le bruit ambiant est **plus élevé en hiver** (novembre-janvier) et **plus faible en été**, en lien avec la température de l'eau, les vents et les vagues.
- Analyse large bande : une **homogénéité sonore** est observée entre la zone du parc et la zone témoin, avec une **légère baisse des niveaux dans la zone témoin** (-0,5 dB en large bande).
- Analyses des bandes filtrées : confirme cette homogénéité, l'écart moyen entre les deux zones est respectivement de **1,75 dB et 1,5 dB**.

✓ Répartition fréquentielle du bruit sous-marin

- La Densité Spectrale de Puissance (DSP) indique que l'essentiel de l'énergie du bruit ambiant est situé entre 20 Hz et 1 kHz.
- Les niveaux mesurés sont jugés faibles par rapport aux indices de trafic maritime et semblent davantage influencés par les conditions environnementales que par les navires.

✓ Modélisation des niveaux de bruit

- Les simulations estiment le bruit généré par le **trafic maritime**, mais ne sont **pas directement comparables aux mesures in situ**, car elles n'incluent pas les bruits naturels.
- **Stabilité générale** du bruit ambiant à l'échelle annuelle, avec des niveaux plus élevés en **eaux profondes** en raison de la bathymétrie et de la proximité des routes maritimes.
- En **été**, la distinction entre les niveaux sonores côtiers et ceux du large est **moins marquée**, probablement en raison :
 - D'une intensification du trafic maritime.
 - D'une thermocline plus marquée, influençant la propagation du son.
 - Les mesures in situ ne reflètent pas cette tendance car elles sont effectuées sous cette limite thermique.
- Dans l'aire d'étude éloignée, les modèles montrent que le bruit dépasse **120 dB re μ Pa pendant 5 % du temps**, indépendamment de la saison.
- **Les modélisations confirment une intensité plus forte près des côtes**, mais ne permettent pas d'observer les variations enregistrées dans la zone du parc et la zone témoin

6.2 FREQUENTATION DES CETACES

Les tableaux ci-dessous présentent une vue comparative des activités bioacoustiques des Delphinidés et des Marsouins pour l'ensemble des stations en se basant sur les données des enregistreurs (**Tableau 24**) et POD (**Tableau 25**) collectées entre novembre 2022 et décembre 2024. Il met en évidence les taux de rencontre, les saisons et périodes horaires préférentielles. Les taux d'activité par station sont déterminés à partir des moyennes saisonnières de clics par jour. Les proportions des comportements dominants (chasse/écholocation, interactions mixtes et sociales) sont calculées sur la base des moyennes des deux années de suivi.

*Tableau 24 : Synthèse de la fréquentation des stations A, B et T par les Delphinidés et Marsouins lors de l'état initial (données enregistreurs du 10 novembre 2022 au 03 décembre 2024). * Moyennes des données comportementales, toutes campagnes confondues.*

		A		B		T	
		Delphinidés	Marsouins	Delphinidés	Marsouins	Delphinidés	Marsouins
Etat initial (2022-2024)	Taux de rencontre	100 %	31,4 %	100 %	25,7 %	100 %	22,6 %
	Saison préférentielle /	Été	Été	Été	Été	Hiver	Hiver
	Préférence d'activité jour / nuit	Nuit	Nuit	Nuit	Nuit	Nuit	Nuit
	Chasse / Echolocation (%)	84,5 %		82,5 %		81,5 %	
	Interactions mixtes	3,5 %		3,5 %		2,5 %	
	Interactions sociales	12,5 %		14 %		16,5 %	

Tableau 25 : Synthèse de la fréquentation des stations A, O, B, L, T et C des Delphinidés et des Marsouins lors de l'état initial (données POD du 10 novembre 2022 au 03 décembre 2024).

		A		O		B		L		T		C	
		Delphinidés	Marsouins	Delphinidés	Marsouins	Delphinidés	Marsouins	Delphinidés	Marsouins	Delphinidés	Marsouins	Delphinidés	Marsouins
Etat initial (2022-2024)	Taux de rencontre	36,4 %	2,6 %	41,7 %	3,2 %	40,2 %	3,3 %	40,3 %	3,4 %	30,6 %	4,7 %	21,3 %	4,9 %
	Saison préférentielle	Été	Automne / Hiver	Été	Hiver	Été	Automne	Été	Automne	Été	Automne	Hiver	Hiver
	Préférence d'activité jour / nuit	Nuit	Nuit	Nuit	Jour	Nuit	Nuit	Nuit	Jour	Nuit	Mixte	Nuit	Mixte
	Interactions sociales (%)	71 %		66 %		71 %		66 %		67 %		67 %	
	Déplacement (%)	3 %	80 %	4 %	82 %	3 %	84 %	4 %	83 %	5 %	87 %	4 %	77 %
	Chasse / Echolocation (%)	26 %	20 %	30 %	18 %	26 %	16 %	30 %	17 %	28 %	13 %	29 %	23 %

✓ Variabilité saisonnière

Les dynamiques saisonnières des Delphinidés et des Marsouins présentent des similitudes générales entre les données POD et enregistreurs, bien que certaines différences d'intensité et de répartition temporelle de l'activité bioacoustique soient observées.

Les Delphinidés : dominance estivale confirmée mais variations d'intensité entre les méthodes.

- L'été se démarque comme la saison d'activité la plus intense pour les Delphinidés dans les deux jeux de données.
- L'automne et l'hiver sont également des périodes d'activités notables, traduisant une présence encore soutenue des Delphinidés en fin d'année.
- Le printemps est la période où l'activité est la plus faible dans les deux jeux de données.

Marsouins : divergence saisonnière entre POD et enregistreurs.

Contrairement aux Delphinidés, les données acoustiques des Marsouins présentent des variations entre les deux modes d'acquisition. Selon les enregistreurs, leur activité suit une dynamique similaire aux Delphinidés, avec un pic en été et une présence soutenue en automne et hiver. En revanche, les POD montrent une tendance différente, avec une activité maximale en automne et en hiver, tandis que l'activité estivale est faible. Cette divergence peut s'expliquer par des différences techniques entre les dispositifs : Les enregistreurs ont une portée plus étendue et moins influencée par les conditions locales. En revanche, les POD, plus directionnels et limités en portée, dépendent fortement de l'orientation des clics et des conditions environnementales, ce qui peut limiter la détection et accentuer les écarts saisonniers observés. Leur sensibilité accrue aux interférences acoustiques augmente également le risque de fausses détections.

✓ Analyse comparative des différents sites échantillonnés (BACI et BAG)

Les résultats de l'analyse mettent en évidence des niveaux d'activité bioacoustique plus élevés au large qu'à la côte, pour les Delphinidés et les Marsouins. La dispersion des valeurs révèle d'importantes variations d'activité journalière, suggérant des phases d'intenses vocalisations probablement associées à la recherche de proies et aux déplacements. Pour les Marsouins, la station C semble tout de même être une zone privilégiée (taux de rencontre supérieur aux autres stations), possiblement pour des déplacements ou des activités nécessitant une émission réduite de clics.

La station Témoin (T) présente une activité bioacoustique plus faible que les stations situées dans la zone du parc éolien, aussi bien pour les Delphinidés que pour les Marsouins. Un gradient d'activité bioacoustique décroissant est observé entre stations A, B et Témoin pour les Delphinidés et les Marsouins. Ce résultat suggère que la zone du parc est plus favorable à la fréquentation des cétacés.

✓ Dépendances aux conditions météo-océaniques et anthropiques

Les modèles statistiques indiquent que la répartition et l'intensité de l'activité bioacoustique des cétacés dans la zone d'étude sont influencées par plusieurs paramètres environnementaux et anthropiques. Chez les Delphinidés, l'activité est plus marquée en été et au début de l'automne, notamment dans les stations A et B, avec une préférence pour les eaux plus profondes (> 90 m), des températures de surface supérieures à 18°C et une concentration élevée en zooplancton ($> 3 \text{ mmolC/m}^3$). En revanche, les Marsouins privilégient des zones moins profondes et des températures de surface plus fraîches ($< 13^{\circ}\text{C}$), avec une activité accrue en hiver et en automne dans les stations côtières (C et T). Les variations de salinité (> 33) et la concentration en zooplancton influencent également leur présence, bien que leur impact semble plus marqué à grande échelle qu'à l'échelle locale. Concernant les facteurs anthropiques, les périodes d'élévation du bruit ambiant n'ont pas d'effet significatif sur les Delphinidés, tandis qu'un impact est observé pour les Marsouins dans certaines stations, suggérant une sensibilité plus importante au bruit sous-marin. Ces résultats mettent en

évidence une interaction complexe entre conditions environnementales et pressions anthropiques, influençant différemment les deux groupes d'espèces.

✓ Variabilité comportementale

Sur la base des critères de classification comportementale définis dans le cadre de cette étude, les interactions sociales sont dominantes pour les Delphinidés, représentent jusqu'à 71 % de leur activité, alors que la proportion de temps classifiée comme 'déplacement' est réduite, oscillant entre 3 et 5 %. En revanche, le déplacement apparaît comme l'activité principale des Marsouins. Elle varie de 77 % (station C) à 87 % (station T). Finalement, les résultats montrent des proportions comparables de comportement de chasse pour les deux groupes (environ 20 à 30% du temps, respectivement).

D'un point de vue saisonnier, les Delphinidés accentuent leurs interactions sociales au printemps, tandis que leur activité de chasse est plus marquée en automne. De leur côté, les Marsouins se déplacent davantage en hiver, avec une activité de chasse plus soutenue en été. Les Marsouins montrent également une hausse des déplacements en 2023-2024 par rapport à 2022-2023, accompagnée d'une baisse de l'activité de chasse, particulièrement notable en été.

D'un point de vue horaire, les Delphinidés privilégient globalement les activités nocturnes. Cependant, en proportion la chasse peut être dominante en journée en particulier en automne et en hiver. En revanche, les Marsouins affichent une répartition mixte de leur activité, avec des variations saisonnières et une activité plus importante en automne et hiver.

✓ Comparaison interannuelle

Les enregistreurs révèlent une activité stable des Delphinidés entre 2022-2023 et 2023-2024 tandis que les POD indiquent une augmentation significative de l'activité dans toutes les stations, à l'exception de la station L, où une diminution notable est observée. Chez les Marsouins, les enregistreurs révèlent une baisse généralisée de l'activité en 2023-2024, particulièrement marquée en station A. En revanche, les données des POD présentent des variations plus contrastées, avec une augmentation notable en stations C et T, tandis que les stations L et O enregistrent une forte diminution de l'activité bioacoustique.

Les données POD montrent des augmentations d'activité bioacoustique communes chez les Delphinidés et les Marsouins en hiver dans les stations A, B, C et T, indiquant une fréquentation plus accrue en 2023-2024. Au printemps, une hausse conjointe est observée en station B, tandis que les Marsouins présentent des augmentations spécifiques en stations L et T. En été, l'activité des Delphinidés s'intensifie dans les stations B et O, avec un pic notable en station O, tandis que les Marsouins enregistrent une augmentation plus étendue, touchant les stations A, C et T. Enfin, en automne, les deux groupes présentent des augmentations en stations C et T, mais les Delphinidés montrent également des hausses en stations A et B, traduisant des stratégies d'occupation différenciées selon les saisons.

Les données des enregistreurs révèlent des augmentations d'activité bioacoustique plus limitées que celles observées avec les POD. En hiver, les Delphinidés et les Marsouins présentent une augmentation commune uniquement en station T, suggérant une fréquentation hivernale accrue de cette zone. En automne, les Delphinidés enregistrent des hausses d'activité dans les stations A, B et T, tandis que les Marsouins montrent une augmentation plus restreinte, en stations B et T. Ces résultats mettent en évidence une dynamique spatiale plus marquée chez les Delphinidés à l'automne, alors que les Marsouins affichent des variations plus localisées.

7. DISCUSSION ET CONTEXTUALISATION

7.1 CARACTERISATION DU NIVEAU DE BRUIT

L'analyse du paysage sonore sous-marin repose sur l'évaluation des niveaux de bruit en large bande [25 Hz – 180 kHz], couvrant l'ensemble des sources acoustiques marines, et en bandes de fréquences spécifiques [63 Hz et 125 Hz], conformément aux recommandations du descripteur 11 de la DCSMM. Cette approche permet de caractériser l'environnement acoustique global tout en se référant aux indicateurs utilisés pour évaluer l'impact du trafic maritime.

Chaque niveau de bruit est calculé par une analyse fréquentielle des données enregistrées, permettant de visualiser la répartition de l'énergie en fonction de la fréquence, et ainsi de discriminer les différentes sources sonores du paysage acoustique sous-marin. Le modèle de Wenz est utilisé comme référentiel pour quantifier l'influence du trafic maritime sur le bruit ambiant, à l'aide de sept indices acoustiques permettant d'évaluer la prédominance de cette source sonore dans le paysage acoustique étudié.

La modélisation apporte une information complémentaire sur la répartition spatiale du bruit ambiant pour chaque saison.

L'étude repose sur une acquisition continue durant 2 années à l'échelle de 3 stations (2 stations dans la zone d'étude rapprochée et une station en zone témoin). Ces données ont permis d'identifier une large variété de sources sonores d'origines naturelles, biologiques et anthropiques.

✓ Analyse en large bande [25 Hz – 180 kHz]

Les niveaux de bruit enregistrés ainsi que les analyses statistiques associées, montrent une variabilité saisonnière similaire au cours des 2 années de suivi, ainsi qu'une grande homogénéité dans la zone du parc et la zone témoin. Toutefois, une tendance légèrement à la baisse des niveaux de bruit d'environ 0,5 dB est observée dans la station B et la zone témoin par rapport à la station A.

Pendant ces 2 années de suivi, le niveau sonore est généralement plus élevé en novembre et janvier et atteint les valeurs les plus basses pendant l'été avant d'augmenter de nouveau à l'automne.

Dans ces zones, le bruit ambiant est dominé par des facteurs naturels, en particulier :

- La propagation des ondes acoustiques influencée par la thermocline estivale qui modifie l'atténuation du son sous l'eau ;
- Le bruit généré par les vagues et le vent (marqué par une saisonnalité).

✓ Analyses dans les bandes de fréquence de 63 Hz et 125 Hz

Les enregistrements réalisés dans les bandes de fréquences ciblées par la DCSMM montrent également une grande homogénéité entre la zone du parc et la zone témoin, confirmant une relative stabilité du bruit de fond maritime. Globalement, les trois stations présentent des niveaux semblables avec une différence moyenne pour toutes les saisons confondues d'environ 1,75 dB re μPa à 63 Hz et d'environ 1,5 dB re μPa à 125 Hz.

✓ Analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle des niveaux sonores au moyen de la Densité Spectrale de Puissance (DSP) permet de visualiser la répartition de l'énergie en fonction des fréquences et ainsi de pouvoir discriminer l'implication de différentes sources sonores (naturelles ou anthropiques) pendant la période d'étude.

Afin de qualifier la représentation fréquentielle du bruit enregistré, le spectre moyen est déterminé à partir d'échantillons de signaux enregistrés pendant une journée représentative de la zone d'étude à l'échelle de l'année.

L'analyse fréquentielle révèle que l'énergie moyenne du bruit ambiant est principalement concentrée dans les basses et moyennes fréquences (20 Hz - 1 kHz) sur l'ensemble des stations. Comparée aux indices du trafic maritime du modèle de Wenz, cette énergie demeure faible. La distribution de l'énergie selon la fréquence semble davantage influencée par les caractéristiques environnementales que par le trafic maritime. En effet, sur les deux années de suivi, des événements météorologiques marquants tels que des vents forts, des précipitations et des conditions océaniques agitées ont été observés, contribuant à cette répartition du bruit ambiant.

✓ Modélisation

Les modèles de simulation permettent d'estimer le niveau de bruit généré par le trafic maritime pendant une période donnée. Toutefois, ces simulations ne sont pas directement comparables aux mesures acoustiques *in situ*, car elles reposent sur des moyennes d'échantillons et ne prennent en compte que le bruit des navires, excluant les périodes de silence dues aux bruits naturels.

L'analyse saisonnière montre un bruit ambiant relativement stable, avec une faible variabilité entre les saisons, ce qui corrobore les observations réalisées à l'échelle des stations de mesure. Néanmoins, la bathymétrie et les routes maritimes influencent la propagation acoustique, l'intensité du bruit étant généralement plus forte en eaux profondes.

En été, la répartition spatiale du bruit ambiant diffère des autres saisons, ne présentant pas de contraste marqué entre des niveaux sonores plus élevés près des côtes et plus faibles au large. Cette différence s'explique par une intensification du trafic maritime en été, ainsi que par la présence d'une thermocline plus marquée qui influence la propagation du son. Comme les mesures *in situ* sont effectuées en-dessous de la profondeur de cette limite thermique, elles ne reflètent pas cette tendance.

Les résultats des modélisations révèlent que, quelle que soit la saison, le bruit dépasse 120 dB re μ Pa pendant 5 % du temps dans l'aire d'étude éloignée, en raison de la faible représentativité des sources les plus bruyantes. Ils confirment également que le bruit du trafic maritime est plus intense près des côtes, par rapport au large. Toutefois, les variations de bruit observées *in situ* dans la zone du parc et la zone Témoin ne sont pas perceptibles à l'échelle des modélisations.

Pour conclure, les résultats montrent que le bruit sous-marin dans la zone d'étude de futur parc éolien de Belle Île et Groix, est principalement influencé par des facteurs environnementaux, tels que la houle, les précipitations et le vent, avec une influence modérée du bruit anthropique. L'analyse fréquentielle révèle une concentration de l'énergie acoustique dans les basses et moyennes fréquences (20 Hz – 1 kHz), associée à un paysage sonore dominé par les phénomènes météorologiques plutôt que par le trafic maritime. La stabilité des niveaux de bruit entre les différentes stations et saisons suggère une faible variabilité interannuelle, bien que de légères augmentations aient été observées à proximité des routes maritimes.

Ces tendances sont en accord avec celles observées dans d'autres parcs éoliens du Golfe de Gascogne avant la phase de construction. Des relevés réalisés dans les parcs des îles d'Yeu et de Noirmoutier et du Banc de Guérande ont mis en évidence une homogénéité des niveaux de bruit ambiant, avec une légère augmentation aux abords des voies de navigation, notamment aux abords des ports de Saint-Nazaire et de Lorient, où l'intensité du trafic est plus marquée (Bellanger J. et al., 2024). L'impact des conditions océanographiques sur la propagation du son est également discuté dans d'autres études, mettant en évidence le rôle des courants et de la bathymétrie dans la diffusion du bruit sous-marin (Chompret J., 2019).

L'effet de la thermocline estivale, qui modifie la propagation des ondes acoustiques et masque certaines sources sonores, a été mis en évidence dans plusieurs environnements côtiers, influençant la perception du bruit selon la profondeur d'enregistrement (Clorennec D., 2014).

7.2 ÉVOLUTION DE LA FREQUENTATION DES CETACES

Cette discussion présente les résultats de l'évaluation de la fréquentation des cétacés dans la zone prévue pour le futur parc éolien en mer au large de la Bretagne Sud. L'étude repose sur des analyses approfondies des données recueillies à la fois au moyen des enregistreurs et des POD. À partir de l'analyse d'indicateurs spécifiques (tels que le *DPH* et le nombre de clics) dérivés des détections de signaux bioacoustiques et appliqués selon les différentes approches *BACI* et *BAG*, il a été possible d'évaluer la variabilité spatiale et temporelle de la présence des espèces identifiées.

✓ Occurrence et taux de rencontre

Les enregistrements acquis confirment la **présence continue des Delphinidés et des Marsouins communs** à l'échelle de l'ensemble des stations étudiées au cours des deux années de suivi (2022-2023 et 2023-2024). Toutefois, le nombre de clics enregistrés diffère selon le mode d'acquisition, avec une nette prédominance des Delphinidés dans les détections. Grâce à leur plus grande portée, les trois enregistreurs ont capté un total de **45 668 220 clics**, dont **97 % attribués aux Delphinidés**. De leur côté, les six POD ont enregistré **43 135 921 clics**, avec une proportion similaire de **98 %** provenant des Delphinidés.

Les pourcentages élevés de clics attribués aux Delphinidés sont en accord avec les études antérieures, soulignant une émission de clics plus fréquente chez les Delphinidés que chez les Marsouins. Selon une étude précédente, les Delphinidés produisent des clics de large bande (23-134 kHz) avec une forte intensité, facilitant leur détection, même à distance (Kameyama et al., 2014). Par ailleurs, les Delphinidés utilisent leurs clics non seulement pour l'écholocalisation, mais aussi pour la communication intra-groupe, ce qui augmente la fréquence d'émission et contribue à leur prédominance acoustique dans les enregistrements. Cette utilisation plus polyvalente des signaux acoustiques accentue encore la différence de détection entre les deux groupes étudiés (Soldevilla et al., 2008). À l'inverse, les Marsouins communs, moins sociaux et acoustiquement cryptiques, ne produisent que des clics à haute fréquence de bande étroite (NBHF) entre 130 et 145 kHz, qui sont plus directionnels (Sørensen et al., 2018). Les clics mesurés chez des Marsouins en captivité présentent des caractéristiques spécifiques : une durée d'environ 100 µs, une fréquence de crête autour de 130 kHz, un intervalle entre clics d'environ 60 ms et un niveau source maximal de 172 dB re 1 µPa pp à 1 m (Akamatsu et al., 1994; Dubrovskii A. et al., 1971; Mølh & Andersen, 1973; Teilmann, Miller, Kirketerp, et al., 2002). Ce niveau est inférieur de plus de 40 dB à celui mesuré chez d'autres cétacés odontocètes, tels que le Grand dauphin (Au et al., 1974). En conséquence, le biosonar des Marsouins communs aurait une portée de détection nettement plus courte que celle des odontocètes de plus grande taille, comme le Grand dauphin (Villadsgaard et al., 2007). Cette particularité acoustique est interprétée comme une adaptation évolutive visant à réduire leur détection par les prédateurs (Madsen et al., 2005). Ces résultats mettent en évidence une activité bioacoustique plus intense et constante des Delphinidés par rapport à celle des Marsouins. La différence dans le nombre de clics enregistrés entre les deux groupes ainsi que les méthodes d'enregistrement utilisées, pourraient également s'expliquer par des facteurs tels que l'abondance relative des espèces dans la zone d'étude, leur comportement social (les Marsouins étant généralement plus solitaires, bien que des groupes de 2 ou 3 individus ont été observés (Sørensen et al., 2018b) ou encore des variations de sensibilité et de portée entre les POD et enregistreurs.

Les résultats confirment une présence permanente des Delphinidés et soutenue des Marsouins communs à l'échelle de l'ensemble des stations étudiées, bien que les taux de rencontre (rapport entre les heures contenant des clics et les heures totales enregistrées) varient selon le mode d'acquisition.

- Les enregistreurs indiquent une **présence quotidienne**, avec un temps de présence **de 100 % pour les Delphinidés** et à plus de **94 % du temps pour les Marsouins**. Le taux de rencontre par station des Delphinidés est égal à 100% dans l'ensemble des stations, tandis que celui des Marsouins est plus faible, variant entre **22,6 %** (Station T) et **31,4 %** (Station A).
- Les POD confirment également une forte présence des Delphinidés, avec des taux de rencontre élevés dans toutes les stations. Les taux de rencontre varient selon les stations, les plus importants

atteignent **85,6 %** en station B, **87,2 %** en station O et **88,9 %** en station L, ces zones situées au Sud-Est du parc étant les plus fréquentées. Les Marsouins, quant à eux, présentent des taux plus élevés dans les stations T (**42,3 %**) et C (**38,7 %**), situées plus près des côtes et moins profondes, suggérant une préférence pour ces habitats.

Une répartition variable des Delphinidés et des Marsouins est observée selon les secteurs étudiés dans le parc éolien de l'Île d'Yeu/Noirmoutier. Si dans certaines zones, les deux groupes sont détectés en proportions similaires, d'autres révèlent une dominance des Delphinidés, représentant jusqu'à 80 % des détections (Bellanger J. et al., 2024).

L'analyse des taux de rencontre met en évidence une présence nettement plus marquée des Delphinidés dans la zone d'étude. Il est essentiel de rappeler que ces taux ne constituent pas un indicateur direct d'abondance, mais reflètent une mesure qualitative de leur fréquentation d'une zone. Toutefois, cette dominance des Delphinidés est en accord avec les analyses des campagnes SAMM-2 réalisées dans le Golfe de Gascogne durant l'hiver 2021, qui estiment une abondance totale des petits Delphinidés à 195 600 individus (IC : 138 900 - 277 200) en hiver 2021, contre 16 100 individus (IC : 11 900 - 22 200) pour les Marsouins (Laran S et al., 2022). Cette estimation d'abondance est également appuyée par un recensement aérien visuel effectué entre 2021 et 2022 dans le Finistère Sud, révélant une dominance des petits Delphinidés, représentant 86 % des cétacés observés, probablement des Dauphins communs, contre 13 % de Delphinidés non identifiés et seulement 0,3 % de Marsouins communs (Pettex E. & Hamani V., 2023). Ces résultats confirment la forte présence des Delphinidés dans la région, aussi bien par leur activité acoustique que par les observations directes, soulignant leur rôle majeur au sein de la mégafaune marine locale. Ces tendances rejoignent les conclusions de la synthèse de l'état actuel de l'environnement (AO5), qui rapporte les résultats de l'étude de la ferme pilote de Groix et Belle-Île-en-Mer entre 2014 et 2016 (Blaya M. et al., 2023; Callard B. et al., 2021). Cette étude a permis de caractériser la présence et la densité des espèces marines dans une partie de la zone d'étude rapprochée, révélant que le Dauphin commun est l'espèce dominante avec une présence régulière tout au long de l'année. D'autres Delphinidés ont également été détectés, bien que non identifiés avec précision. En revanche, aucun individu n'a été observé visuellement dans cette zone rapprochée, ce qui concorde avec l'analyse bibliographique indiquant que cette espèce est rarement détectée à proximité des côtes, indépendamment des saisons (Callard B. et al., 2021). Ces conclusions doivent être nuancées, car les données combinées des enregistreurs et des POD confirment la présence permanente des Marsouins communs dans la zone d'étude. De plus des données opportunistes issues de la plateforme OBSenMer⁸, suggèrent que des individus isolés ou en petits groupes pourraient ponctuellement fréquenter ces eaux côtières. Cette divergence entre les études ciblées et les observations opportunistes met en évidence l'importance d'un croisement des sources de données pour affiner la compréhension des dynamiques spatio-temporelles des cétacés dans la région. Globalement, l'activité acoustique des cétacés dans la zone d'étude reflète des dynamiques comparables à celles des autres parcs éoliens du Golfe de Gascogne.

✓ Variabilité saisonnière

L'analyse des dynamiques saisonnières des Delphinidés et des Marsouins dans le futur parc éolien de Bretagne Sud (AO5) met en évidence une dynamique spatio-temporelle spécifiques à chaque groupe.

L'été se distingue comme la période d'activité bioacoustique la plus intense pour les Delphinidés, avec **36 013 clics/jour** selon les enregistreurs et **18 882 clics/jour** selon les POD, potentiellement en lien avec une disponibilité alimentaire plus élevée à cette période. L'automne et l'hiver maintiennent une présence soutenue où l'activité oscille entre **6 791** et **9 761 clics/jour** (POD) et entre **21 340** et **22 514 clics/jour** (enregistreurs). L'activité printanière diminue fortement, elle est comprise entre **3 068 clics/jour** (POD) et **10 143 clics/jour** (enregistreur). Les Delphinidés affichent une activité renforcée en été dans les stations situées à l'intérieur du parc, tout en maintenant une présence notable en automne et en hiver.

⁸ <https://www.obsenmer.org/maps>

Pourtant, la distribution saisonnière des petits Delphinidés (Dauphins communs et Dauphins bleus et blancs) évaluée par les campagnes SAMM (cycle I) dans le Golfe de Gascogne indique une concentration hivernale sur le talus continental et à l'ouest de la Bretagne, tandis qu'en été, leur répartition s'élargit vers la zone océanique, le talus et la frange externe du plateau continental (Laran et al., 2017; Pettex et al., 2014).

Des changements récents de distribution ont été observés, suggérant une augmentation des densités à l'intérieur du plateau continental par rapport aux années précédentes, en lien avec les variations saisonnières observées dans la zone d'étude (Van Canneyt et al., 2020). Cette évolution est confirmée par les campagnes SCANS (cycle IV) et SAMM (cycle II), qui révèlent un déplacement du centre de gravité de la distribution estivale vers le nord (Mer Celtique et Manche Ouest) ainsi qu'un renforcement de la présence sur le plateau continental (Van Canneyt et al., 2024). Ces tendances observées dans la zone de l'AO5 sont également cohérentes avec les observations faites dans d'autres parcs éoliens du Golfe de Gascogne, notamment ceux du Banc de Guérande et des Îles d'Yeu et Noirmoutier (Bellanger J. et al., 2024; Chompret J., 2019).

Une hypothèse possible repose sur l'existence de deux écotypes distincts chez les Delphinidés : une population côtière, évoluant préférentiellement sur le plateau continental toute l'année et une population pélagique, effectuant des déplacements saisonniers entre le large et les zones côtières en fonction de la disponibilité des ressources (Pusineri et al., 2007a). Dans ce contexte, la forte activité bioacoustique estivale enregistrée dans la zone AO5 pourrait être liée au rapprochement de la population pélagique vers le plateau continental, où elle bénéficierait de zones de concentration alimentaire favorables. Des enregistrements de vocalisations de Grands dauphins (*Tursiops truncatus*), ont été détectés dans l'ensemble des stations du parc des Îles d'Yeu et Noirmoutier entre l'été 2022 et l'hiver 2023, confirmant une occupation continue de certaines zones (Bellanger J. et al., 2024). Par ailleurs, les Dauphins communs, espèce très mobile, sont capables de se rassembler massivement pendant de courtes périodes à l'intérieur du plateau continental en hiver, illustrant une forte dynamique de déplacement saisonnier (Van Canneyt et al., 2020). La dynamique saisonnière des Delphinidés dans la zone d'étude semble donc fortement corrélée à la disponibilité des ressources alimentaires. Les Dauphins communs ajustent leur régime alimentaire en fonction des saisons, consommant des Sardines toute l'année, privilégiant les Sprats au printemps, notamment près des estuaires de la Loire et de la Gironde, et se nourrissant principalement de Maquereaux de grande taille en été (Meynier et al., 2008).

Les enregistreurs indiquent une dynamique saisonnière des Marsouins communs similaire à celle des Delphinidés, avec une activité maximale en été avec **1 034 clics/jour**, une présence stable en automne et hiver (entre **683** et **706 clics/jour**) et une diminution au printemps (**258 clics/jour**). En revanche, les données issues des POD révèlent une tendance différente, avec une activité importante en automne (244 clics/jour) et en hiver (**227 clics/jour**), tandis que l'été affiche des niveaux bien plus faibles (**51 clics/jour**). Les Marsouins sont davantage présents sur les stations proches de la côte (stations C et T) et montrent une stabilité inter-saisonnière plus marquée. Cette divergence peut s'expliquer par la portée plus étendue des enregistreurs, qui captent les clics des Marsouins sur une zone plus large, offrant ainsi une vision plus globale de leur présence. À l'inverse, les POD, avec leur portée plus restreinte, sont plus sensibles aux variations locales et aux conditions environnementales, ce qui peut accentuer les écarts saisonniers observés. De plus, ces dispositifs présentent un risque de fausses détections en raison d'interférences acoustiques (l'hydrodynamisme du sable par exemple) ou de la confusion avec d'autres sources sonores proches en fréquence. Les Marsouins peuvent également passer inaperçus si leurs clics ne sont pas émis dans la direction des POD, ce qui peut entraîner une sous-estimation de leur activité réelle dans la zone étudiée.

Des études ont mis en évidence une migration hivernale des Marsouins vers les zones côtières peu profondes, où les marées interagissent avec la topographie du fond marin, avant un retour vers la mer Celtique et la Manche en été (Lambert et al., 2017). Les campagnes SCANS et SAMM confirment cette stabilité relative des populations sur le plateau côtier, avec une légère augmentation hivernale (Laran S et al., 2022). Des changements saisonniers marqués de l'abondance et de la distribution des Marsouins communs sont observés dans le Golfe de Gascogne. En hiver, environ 4 600 individus sont recensés, principalement le long des côtes du sud du Golfe, tandis qu'en été, leur nombre atteint près de 20 000 individus, avec une répartition s'étendant principalement au large de la Bretagne (Pettex et al., 2014). Les

densités les plus élevées sont enregistrées sur le plateau continental, suggérant une dynamique saisonnière influencée par la disponibilité des proies et les conditions océanographiques.

Pour approfondir la compréhension des liens entre la fréquentation des cétacés dans la zone d'étude et la disponibilité de leurs proies, l'étude récente et de grande ampleur menée dans le cadre du projet DEFIPEL apporte des éléments clés sur la variabilité spatio-temporelle des petits poissons pélagiques (Sardine, Anchois, Maquereau, Chinchard) dans le Golfe de Gascogne. Les résultats obtenus permettent d'établir des corrélations entre les dynamiques de déplacement des cétacés dans la zone d'étude et les fluctuations saisonnières des stocks de proies, influencées par les migrations, les variations hydrologiques et les tendances climatiques à grande échelle. La variabilité spatio-temporelle des petits poissons pélagiques dans le Golfe de Gascogne est fortement influencée par les changements environnementaux, la structure trophique et les dynamiques migratoires. Les Sardines, Anchois, Maquereaux et Chinchards présentent des schémas de distribution saisonnière distincts, répondant aux variations de température, de stratification de la colonne d'eau et de disponibilité des proies. Au printemps, Anchois et Sardines sont majoritairement côtiers et présents sur le plateau continental, tandis qu'à l'automne, les Anchois migrent vers la zone océanique et les Sardines restent concentrées en zone côtière. Les migrations saisonnières révèlent des schémas distincts selon l'espèce : l'Anchois suit un axe Nord-Sud, avec une présence accrue au Sud au printemps et une migration vers le Nord à l'automne, tandis que la Sardine adopte un déplacement Est-Ouest, se rapprochant des côtes en automne (Huret et al., 2024). La structuration spatiale des populations de petits pélagiques est donc très variable selon plusieurs gradients environnementaux et trophiques. Ainsi, l'analyse de la répartition et de la dynamique des petits poissons pélagiques apporte des éléments essentiels pour comprendre la fréquentation des cétacés.

L'évolution de la fréquentation des cétacés dans la zone d'étude pourrait également être influencée par des facteurs environnementaux plus larges, notamment les effets du changement climatique et des fluctuations océanographiques. L'augmentation des captures accidentelles de Dauphins communs pourrait être liée à une modification de leur distribution en réponse aux variations trophiques et aux interactions avec les pêcheries (Peltier Hélène et al., 2020). Par ailleurs, les fluctuations de l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO) influencent la répartition des proies marines, comme la Sardine et l'Anchois, ce qui pourrait exercer une influence sur la présence saisonnière des Delphinidés et des Marsouins dans la zone d'étude (S. Murphy et al., 2021). Toutefois, ces dynamiques sont difficiles à distinguer des effets globaux du réchauffement climatique, qui modifie la température des eaux et pourrait entraîner une redistribution des espèces consommées par les cétacés. Cette incertitude souligne l'importance d'un suivi bioacoustique à long terme pour mieux comprendre les impacts de ces changements sur la dynamique des populations de cétacés.

✓ Variabilité spatio-temporelle et dépendances aux conditions environnementales et anthropiques

D'après les données des enregistreurs, les Delphinidés et les Marsouins affichent une activité maximale en été, particulièrement dans les stations A et B, tandis que la station T est plus fréquentée en hiver. Les données POD confirment ces tendances pour les Delphinidés avec une activité marquée en été à l'échelle de toutes les stations hormis la station T qui est favorisée en hiver. En revanche, les Marsouins privilégient les stations côtières (C et T) en hiver et en automne.

Pour comprendre les facteurs déterminant cette variabilité, plusieurs modèles statistiques de type GAM - *Generalised Additive Models* - (Wood, 2006) ont été testés. Les études sur la distribution des cétacés réalisées avec des GAM sont communes en littérature scientifique et fournissent des informations précieuses pour comprendre les variables avec une influence significative sur la présence et l'abondance des individus et/ou leur activité bioacoustique (Gilles et al., 2011, 2016; Gilles Anita, 2008; Lacey et al., 2022; Lambert et al., 2017; Redfern et al., 2006; Scheidat et al., 2024).

Les effets des différentes variables identifiées comme significatives montrent des oscillations d'ampleur réduite par rapport aux résultats fournis à la fin de la première année d'étude, ce qui indique un résultat plus fiable.

Les modèles statistiques indiquent que la présence et l'intensité de l'activité bioacoustique des Delphinidés sont influencées par des facteurs environnementaux à la fois statiques et dynamiques. La profondeur

(variable statique) apparaît comme un paramètre significatif : les Delphinidés semblent favoriser des habitats plus profonds, autour de 90 m et au-delà. D'autres variables statiques comme l'inclinaison du fond (pente) sont généralement significatives en particulier lors d'études à grande échelle (SCANS, SAMM, et similaires). Cependant ici, en raison de l'homogénéité de la zone étudiée, l'inclinaison ne joue pas un rôle explicatif de la variabilité observée.

D'autre part, les variables dynamiques montrent des effets significatifs, cohérents avec les observations réalisées sur les données de la période 2022-2023 (présentées dans le rapport produit après un an d'étude).

Ainsi, une température de surface supérieure à 18 °C semble favoriser la présence des Delphinidés, tandis que des baisses de salinité (inférieures à 33) se traduisent par une diminution de leur activité.

La température du fond, moins documentée en littérature, apparaît comme significative : les **Delphinidés semblent préférer des eaux de fond fraîches, notamment entre 13 et 14 °C**, même si la raison de cette préférence reste à identifier.

Un autre facteur déterminant est la concentration de zooplancton. Les modèles révèlent un effet positif lorsque cette concentration dépasse 3 mmolC/m³, suggérant que la disponibilité de biomasse à la base du réseau trophique joue un rôle dans l'attraction des Delphinidés. À l'inverse, des valeurs inférieures à 2 mmolC/m³ ont un effet négatif sur leur présence. Les modèles ne montrent pas de corrélation entre l'activité bioacoustique et le taux de production primaire. Par rapport aux modèles de 2022-2023, qui reposaient sur la variable « concentration de phytoplancton », l'ajout de nouvelles variables, telles que la production primaire et la concentration de zooplancton, dans les modèles de 2023-2024 permet d'évaluer plus précisément l'influence de la biomasse planctonique disponible sur la distribution des individus, plutôt que de se limiter au seul indicateur de productivité primaire.

Ces tendances expliquent globalement l'augmentation de l'activité bioacoustique observée en été et au début de l'automne. Par ailleurs, ces résultats sont en adéquation avec les connaissances disponibles, notamment dans le Golfe de Gascogne (Lacey et al., 2022; Lambert et al., 2017).

En conclusion, les variables dynamiques telles que la température, la salinité et la biomasse planctonique semblent être les principaux facteurs influençant la présence et l'activité bioacoustique des Delphinidés. De plus, les techniques de modélisations employées ont permis de mettre en lumière l'influence complémentaire de la profondeur à l'échelle de l'aire d'étude.

Les données relatives au Marsouin enregistrées par les POD indiquent une préférence pour des zones de plus faible profondeur. Les connaissances disponibles sont confirmées, en particulier quant à l'exploitation par cette espèce des zones internes du plateau continental du golfe de Gascogne et jusqu'au milieu côtier, particulièrement en hiver (Laran et al., 2017; Laran S et al., 2022; Van Canneyt et al., 2020). Cependant, l'effet de la profondeur n'est pas détecté par les enregistreurs à large bande, probablement en raison de leur portée supérieure à celle des POD, ce qui entraîne des détections moins liées aux variations de profondeur. En effet, la variation de profondeur est faible dans la zone d'étude et limite ainsi la possibilité de mise en évidence d'un effet marqué.

Quant à la pente, elle ne constitue pas une variable significative pour les Marsouins (comme pour les Delphinidés). Cette observation était attendue, la pente étant relativement homogène dans la zone d'étude. L'habitude plus côtière des Marsouins semble donc principalement liée à la profondeur, un effet qui n'avait pas été mis en évidence dans les analyses des données 2022-2023. L'amélioration des techniques de modélisation statistique explique vraisemblablement cette avancée.

Les modèles établis à partir des données POD révèlent une préférence des Marsouins pour une température de surface (paramètre dynamique) inférieures à 13°C, résultat cohérent avec les ceux de la période 2022-2023. Cependant, les enregistreurs indiquent que la température de surface reste une variable significative, mais son effet reste moins net, voire contradictoire pour les températures excédant 18°C. Il est intéressant de noter que cette divergence entre les résultats des POD et des enregistreurs est similaire pour les périodes 2022-2023 et 2023-2024, bien que son interprétation nécessite un approfondissement.

La température du fond (paramètre dynamique) apparaît également comme un facteur significatif, les Marsouins semblant privilégier des eaux avoisinant 13-14°C. Cette variable est peu documentée dans la littérature, et les raisons de cette préférence restent à explorer.

La salinité n'a pas été identifiée comme un facteur significatif dans les données POD, alors qu'elle l'était faiblement en 2022-2023. Avec les améliorations apportées aux modèles et l'introduction de nouvelles variables, ce résultat peut être considéré comme cohérent avec les tendances observées précédemment à l'échelle locale. Toutefois, les modèles établis à partir des données des enregistreurs à large bande confirment que la salinité demeure un paramètre significatif comme c'était déjà le cas en 2022-2023. Il est ainsi possible de conclure que la présence des Marsouins dans l'aire d'étude est influencée par des variations de salinité (des valeurs supérieures à 33 correspondant à une présence accrue). Néanmoins, cet effet s'observe davantage à une échelle spatiale plus large, tandis qu'il semble peu expliquer les variations locales. Cette conclusion relative à l'influence de la salinité sur la distribution à grande échelle du Marsouin commun est soutenue par l'analyse des données du programme SCANS III (Lacey et al., 2022).

Une première analyse des résultats suggère un effet positif du zooplancton sur la présence du Marsouin en lien avec une concentration de 2 mmolC/m³, suivi d'un effet neutre ou faiblement négatif jusqu'à 4 mmolC/m³. À des concentrations supérieures à 4 mmolC/m³, les enregistreurs montrent un effet clairement positif. Toutefois, les résultats des POD révèlent une incertitude élevée pour ces valeurs, rendant l'interprétation plus complexe. Ainsi, il semble que la concentration de zooplancton influence davantage la distribution du Marsouin à grande échelle qu'à une échelle plus locale. La comparaison avec les modèles de 2022-2023 est délicate en raison de modifications apportées aux variables utilisées afin d'améliorer la fiabilité et le pouvoir explicatif des modèles. Toutefois, il apparaît que le zooplancton constitue un meilleur indicateur de la variabilité de l'activité bioacoustique du marsouin commun que le phytoplancton.

Comme avec les Dauphins, les techniques de modélisations employées ont permis de mettre en lumière l'influence de la profondeur à l'échelle de l'aire d'étude sur la présence et l'activité bioacoustique du Marsouin. Les variables dynamiques (température, salinité et biomasse planctonique) semblent être les principaux facteurs déterminant la présence du Marsouin et certaines corrélations et tendances ont pu être mises en évidence. Leur interprétation apparaît toutefois complexe en raison de certaines différences entre résultats obtenus avec les données des POD et les données acoustiques en large bande.

En conclusions de l'analyse des dépendances aux conditions météo-océaniques, l'interprétation écologique des modèles semble plus aisée pour les Dauphins que pour le Marsouin. Cette difficulté d'analyse chez le Marsouin pourrait s'expliquer par des habitudes moins prévisibles, cette zone ne constituant pas son habitat principal à l'échelle européenne. En effet, les densités de Marsouins sont nettement plus élevées en mer du Nord (> 1 individu/km²) et dans les mers Celtiques, tandis que dans le Golfe de Gascogne, elles peuvent chuter jusqu'à environ 1 individu pour 40 km² (Gilles Anita et al., 2023; Lacey et al., 2022; Laran et al., 2017).

Par ailleurs, d'autres variables, non prises en compte dans cette étude, pourraient également jouer un rôle non négligeable sur la répartition des cétacés. Parmi elles, les facteurs anthropiques tels que la densité du trafic maritime et le bruit sous-marin associé, la pêche, ou encore d'autres pressions humaines, méritent d'être explorés. En effet, les modifications de répartition des cétacés pourraient résulter d'une interaction complexe entre les pressions anthropiques et les facteurs environnementaux naturels, influençant ainsi leur dynamique spatiale (Peltier Hélène et al., 2020).

Comme première étape dans l'étude des variables anthropiques, une analyse des périodes d'élévation de bruit ambiant a été réalisée pour évaluer son effet potentiel sur la présence des Marsouins et des Delphinidés. Les résultats pour les Delphinidés ne montrent pas d'effet significatif des périodes d'élévation de bruit (tous les tests sont négatifs). En revanche, un effet significatif ($p < 0,05$) est visible à l'échelle de deux stations pour les Marsouins, la troisième station étant juste au-dessus du seuil de significativité ($p = 0,0765$). Ces résultats sont cohérents avec ceux présentés à la fin de la première année d'étude et montrent que des périodes d'élévation de bruit peuvent avoir un effet à court terme sur la distribution et/ou le comportement des Marsouins, mais n'ont pas d'effet notable sur les Delphinidés. Ce résultat peut être mis en relation avec la plus grande sensibilité au bruit du Marsouin par rapport aux Delphinidés. Toutefois, l'augmentation des taux de clics du Marsouin ne doit pas être confondue avec un effet d'attraction. En effet, ne connaissant pas la position des sources de bruit ni la position des individus au moment où l'effet se

produit, il n'est pas possible de tirer cette conclusion. Cependant, il reste possible que les périodes ponctuelles d'élévation de bruit ambiant (par exemple le passage d'un ou plusieurs navires) engendrent des mouvements chez le Marsouin qui pourraient bien être de fuite (Benhemma-Le Gall et al., 2021a).

✓ Évolution des comportements et activité diurne

L'analyse des données bioacoustiques issues des enregistreurs et des POD révèle des variations saisonnières dans l'intensité et la distribution de l'activité acoustique des Delphinidés. Cette activité est principalement nocturne, sauf en période estivale où elle augmente en journée.

Les enregistreurs révèlent une activité majoritairement centrée sur la chasse/écholocation, qui s'intensifie après le coucher du soleil et décroît progressivement au lever du jour. En journée, les activités mixtes ou sociales sont plus fréquemment détectées. Les POD, en revanche, montrent majoritairement des comportements sociaux et une proportion de chasse bien représentée, tandis que le déplacement reste marginal. Les différences entre les deux méthodes s'expliquent en grande partie par les paramètres d'analyse propres à chaque dispositif. Les POD s'appuient exclusivement sur les intervalles entre clics (ICI) pour caractériser les comportements, sans prendre en compte les sifflements. À l'inverse, les enregistreurs permettent d'analyser une plus grande diversité de signaux acoustiques (clics, trains de clics, sifflements), ce qui permet une identification plus fine des différents comportements. Ces différences s'expliquent également par les critères de classification utilisés : avec les données enregistreurs les déplacements sont regroupés dans une catégorie « mixte », tandis que les données issues des POD les considèrent comme une activité distincte. En raison de leur plus grande portée et de la diversité des signaux acoustiques détectés, les enregistreurs offrent une vision plus complète des comportements et produisent des résultats généralement plus cohérents avec les connaissances issues de la littérature.

Par exemple, dans une étude menée dans le sud de la Californie, les comportements des Dauphins communs sont classés en six catégories : alimentation, jeux/sociabilisation, déplacement lent, modéré, rapide et déplacement avec comportement mixte. Le déplacement constitue l'activité principale, mais les vocalisations les plus complexes (clics, sons pulsés, sifflements) sont produites lors des déplacements rapides. La chasse, bien que moins fréquente (7,5 % du temps observé), se produit surtout en matinée. Les sifflements associés à cette phase sont simples, avec peu d'harmoniques (Henderson et al., 2011). Les comportements sociaux ne sont jamais observés seuls. Ils apparaissent comme activité secondaire, accompagnant les phases de déplacement, notamment au sein de groupes dispersés.

Cette structuration comportementale est fortement influencée par les migrations verticales des proies, elles-mêmes modulées par plusieurs facteurs environnementaux comme l'intensité lumineuse, la température et la disponibilité du zooplancton (Giannoulaki et al., 1999; Pusineri, 2005). Durant la journée, les petits poissons pélagiques et céphalopodes se regroupent en profondeur, formant une couche dense, avant de remonter vers les eaux superficielles la nuit pour s'alimenter, les rendant ainsi plus accessibles aux prédateurs (J Roe & Badcock, 1984).

Cette dynamique est particulièrement marquée chez le Dauphin commun. Il se nourrit principalement dans la couche épipélagique, autour de 100 m de profondeur (Pusineri et al., 2007b). Il cible des espèces pélagiques abondantes dans le golfe de Gascogne, comme l'anchois et la sardine. Ces deux espèces représentent environ 40 % de la biomasse consommée sur le plateau continental (Pillet et al., 2023). L'intensité des clics d'écholocation des Delphinidés varie en fonction de la disponibilité et de la nature des proies. Lorsque les ressources alimentaires sont plus dispersées ou difficiles à capturer, les Dauphins augmentent la fréquence et la puissance de leurs clics pour optimiser leur détection et leur capture (Wang et al., 2015). L'écholocation suit un schéma progressif : lors de la recherche de proies, les clics sont espacés (20-50 ms). Lorsqu'une cible est détectée, les clics s'intensifient sous forme de "buzz terminal", suivis d'un "squeal" (cri spécifique) lors de la capture de la proie (Ridgway et al., 2022). Quand les proies sont plus abondantes et accessibles, les Delphinidés réduisent leur fréquence de clics, ce qui suggère une optimisation énergétique de leur effort de chasse (Benoit-Bird et al., 2009). Ces résultats mettent en évidence une adaptation des stratégies acoustiques aux contraintes environnementales, les Delphinidés ajustant

l'intensité et la structure de leurs clics en fonction de la disponibilité des proies et de la complexité de leur capture.

Ils adaptent également leur activité d'écholocalisation aux variations de luminosité. Plusieurs études montrent une corrélation forte entre l'intensité de l'écholocalisation et le cycle lunaire : les détections de clics augmentent significativement pendant la nouvelle lune, ce qui suggère qu'ils s'appuient davantage sur leur biosonar lorsque les repères visuels sont réduits (Wang et al., 2015). Les modèles prédisent un pic d'activité d'écholocalisation après le coucher du soleil, lorsque la lune n'est pas encore visible, correspondant aux migrations nycthémerales des proies vers la surface (Simonis et al., 2017). Ce lien entre l'intensité des clics et la luminosité nocturne met en évidence l'importance de l'écholocalisation dans les stratégies de chasse en conditions de faible visibilité.

L'analyse des activités révèle des variations saisonnières chez les Delphinidés, avec des différences selon les dispositifs utilisés. En été, les POD montrent une activité bioacoustique élevée, dominée par les interactions sociales (~ 68 %) suivi par la chasse/écholocation (29 %). Les enregistreurs révèlent une forte activité de chasse/écholocation (78 % à 89 % selon les stations) et une augmentation des interactions sociales et mixtes en journée. À l'automne, les POD indiquent une activité nocturne encore soutenue, avec une part importante d'interactions sociales (> 60 %) et l'activité de chasse/écholocation qui augmente. L'intensité bioacoustique détectée par les enregistreurs est maximale, avec une forte activité de chasse/écholocation (~ 80 %) et un maintien des interactions sociales et mixtes. En hiver, l'activité bioacoustique nocturne demeure élevée, associée à une intensification de la chasse/écholocation (> 88 % selon les enregistreurs) et une forte proportion d'interactions sociales (72 % selon les POD). Au printemps, une baisse globale de l'activité bioacoustique se reflète, reflétant une fréquentation plus faible de la zone d'étude.

Les interactions sociales et mixtes augmentent légèrement, possiblement en lien avec des changements de structure des groupes et des migrations saisonnières vers le talus continental pendant la période de vélage d'avril à septembre (Murphy, 2013). Ces résultats montrent que les variations bioacoustiques saisonnières des Delphinidés permettent des adaptations aux fluctuations de la disponibilité des proies, aux changements dans la structure des populations halieutiques et aux conditions océaniques. En termes de répartition spatiale, l'activité bioacoustique est plus élevée dans les stations du parc (A et B) que dans la station Témoin (T). Une augmentation de la chasse/écholocation entre 2022-2023 et 2023-2024 (+3 % à +7 %) est observée, tandis que les interactions sociales et mixtes sont en baisse, traduisant une adaptation des comportements en faveur de la recherche alimentaire.

Concernant les Marsouins, l'analyse des POD indique que leur activité principale est le déplacement, bien que son intensité et sa répartition varient selon les heures et les saisons. L'automne se distingue comme la période la plus intense, avec des pics enregistrés entre 16h-17h et 7h-8h, moments coïncidant avec les transitions lumineuses du lever et du coucher du soleil et une augmentation des phases de chasse et d'écholocalisation (Carlstrom, 2005; Osiecka et al., 2020). En hiver, l'activité bioacoustique demeure importante, avec une activité notable en journée, notamment à 9h-10h, 12h et 16h, périodes où les Marsouins semblent intensifier leur activité de chasse et d'écholocalisation. Au printemps, bien que l'activité globale diminue, des pics à 7h et 18h sont observés. L'été, en revanche, se caractérise par une nette diminution de l'activité bioacoustique, avec un pic résiduel enregistré à 3h du matin. Cette baisse pourrait être liée à une migration saisonnière des Marsouins vers la Manche et la Mer Celtique, où la disponibilité des proies et les conditions environnementales sont plus favorables (Lambert et al., 2017). Les enregistreurs acoustiques révèlent quant à eux une activité bioacoustique prédominante la nuit, quelle que soit la saison, soulignant le rôle central de l'écholocalisation dans le comportement nocturne des Marsouins. Une étude sur des individus en captivité a confirmé cette intensification nocturne de l'activité acoustique, avec un pic bioacoustique marqué autour de minuit en été. Cette tendance, enregistrée aussi bien chez les Marsouins captifs que sauvages, suggère que d'autres facteurs que la recherche de nourriture influencent ce comportement. Deux hypothèses sont avancées : un rythme circadien interne, indépendant des proies, ou une compensation de la faible visibilité nocturne par une augmentation de l'écholocalisation (Osiecka et al., 2020). Une corrélation entre l'intensification des clics d'écholocalisation et la remontée des proies des eaux profondes a également été mise en évidence.

(Montgomerie & Stedt, 2015). Cela suggère que l'augmentation de l'activité acoustique nocturne pourrait être directement liée aux migrations verticales des proies, plutôt qu'à un simple rythme endogène.

D'un point de vue spatial, les analyses indiquent que les stations A et C sont les plus actives en matière d'écholocation et de chasse, avec des taux respectifs de 20 % et 23 %, tandis que la station témoin affiche une activité moindre (13 %). Une tendance à la baisse de l'activité de chasse et d'écholocation a été observée entre 2022-2023 et 2023-2024, avec des diminutions notables en été (-10 %), au printemps (-7 %), en automne (-6 %) et en hiver (-3 %). Cette baisse semble compensée par une augmentation des comportements de déplacement, suggérant une adaptation progressive du comportement des Marsouins, possiblement en réponse à des changements environnementaux ou à une modification de la disponibilité des proies. Le régime alimentaire des Marsouins, basé sur un assemblage de petites espèces de poissons vivant en bancs à proximité du fond, pourrait expliquer ces variations d'activité. Quatre espèces dominent largement leur alimentation : le Merlan, le Merlan bleu, le Chinchard et la Sardine. La présence occasionnelle d'espèces océaniques, retrouvées dans certains estomacs, suggère que les Marsouins ne se limitent pas aux zones côtières, mais exploitent également des habitats plus larges en fonction de la disponibilité des proies (Spitz, 2011).

L'analyse de la fréquentation des cétacés dans la zone d'étude met en évidence une présence soutenue des Delphinidés et des Marsouins communs, avec des variations spatio-temporelles influencées par la disponibilité des proies, les conditions environnementales et les dynamiques sociales. L'utilisation combinée des enregistreurs et des POD permet d'affiner la compréhension des comportements acoustiques et de leurs évolutions saisonnières, révélant une activité bioacoustique plus marquée la nuit et une modulation de l'intensité des signaux selon la période de l'année. L'influence des migrations verticales des proies, du cycle lunaire et des variations hydrologiques souligne l'importance d'une approche multidisciplinaire pour interpréter les dynamiques écologiques des populations de cétacés. Enfin, ces résultats confirment la nécessité de poursuivre le suivi acoustique et visuel pour mieux comprendre l'adaptation de ces espèces aux changements environnementaux et anthropiques, et ainsi renforcer les stratégies de conservation dans un contexte de transformation des écosystèmes marins.

Pour conclure, cette étude a permis de **caractériser le paysage sonore** et d'évaluer la **fréquentation du site par les cétacés**, dans un environnement encore exempt de toute perturbation liée au futur parc éolien en mer. Les analyses temporelles et fréquentielles, ainsi que la modélisation du bruit sous-marin, ont été présentées afin de décrire les principales caractéristiques du paysage acoustique.

L'analyse des détections des cétacés sur une période de 24 mois consécutifs a mis en évidence des tendances significatives tant sur le plan spatial que temporel dans la zone d'étude. Cette analyse a permis de mieux comprendre les variations saisonnières et stationnelles de leur présence et de leur activité.

Par ailleurs, l'influence des facteurs météo-océaniques et anthropiques sur l'activité bioacoustique a été étudiée. Cette approche a permis d'identifier les paramètres ayant le plus d'impact sur le comportement acoustique des Delphinidés et des Marsouins, offrant ainsi une meilleure compréhension des dynamiques écologiques et des interactions entre ces espèces et leur environnement.

8. LIMITES ET PERSPECTIVES DE L'ETUDE

8.1 LIMITES

Les techniques d'acoustique passive permettent d'enregistrer le bruit ambiant incluant des sons émis par différentes espèces animales. Cependant, l'exploitation des données acquises tout comme les détections bioacoustiques présentent des limites. Parmi ces dernières figurent notamment celles du milieu dans lesquelles les ondes sonores se propagent ainsi que les cétacés eux même en raison de la diversité des espèces et de leurs comportements. Ces paramètres, présentés ici comme des limites sont bien pris en compte dans cette étude pendant les phases d'analyse et d'interprétation.

- **Portée de détection et représentativité spatiale**

La distance de détection d'un son émis par un Cétacé est influencée par plusieurs facteurs. D'une part la signature acoustique est dépendante de chaque espèce. La fréquence, l'amplitude et le type de son vont influencer sur la distance de détection et vont varier en 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 sont dépendantes du milieu qu'elles traversent et sont influencées par des paramètres définissant le milieu (température, salinité, pression/profondeur, nature des fond, morphologie bathymétrique, etc.). Les détections des signaux bioacoustiques dépendent également du niveau de bruit ambiant (principale influence sur les rayons de détection). Ces paramètres, présentés ici comme des limites sont bien pris en compte dans cette étude pendant les phases d'analyse et d'interprétation.

- **Représentativité des points de mesures**

L'acquisition actuelle est réalisée au moyen d'un hydrophone plus proche du fond que de la surface. Cette localisation présente l'avantage de capter le son de certaines sources sonores à plus grande distance et l'inconvénient de moins bien capter le son des sources émettant des hautes fréquences proches de la surface (les hautes fréquences s'atténuant plus rapidement que les basses fréquences).

Les modèles d'analyse généralisée additive (GAM) ont été élaborés à partir de la base de données Copernicus, couvrant l'ensemble de la zone d'étude. Les données de toutes les stations, étant géographiquement proches, ont été regroupées, permettant ainsi de traiter la zone comme homogène. Afin d'approfondir ces analyses, il serait intéressant de combiner les données recueillies in situ (dans le cadre du projet AO5) afin d'appliquer un GAM spécifique à chaque station, pour déterminer si la fréquentation des cétacés sur certaines stations est corrélée à des paramètres environnementaux à une échelle spatiale plus fine.

- **Plan d'échantillonnage**

En raison de l'activité militaire en mer, le plan d'échantillonnage initial a été ajusté, empêchant ainsi l'enregistrement de toutes les signatures acoustiques des activités navales militaires se déroulant à proximité des zones d'étude. Par conséquent, l'approche *BACI* ne peut être mise en œuvre qu'avec l'utilisation de POD à la station C, située à proximité de la côte.

- **Modélisation**

Les modélisations réalisées permettent de cartographier le bruit ambiant de surface sur la base de données AIS et de modèles de sources de bruit et de modèles de propagation. L'approche de la modélisation réalisée ne permet pas de cartographier en 3 dimensions la dispersion des bruits modélisées. Les informations

présentées dans ces modélisations sont donc pertinentes à l'échelle de la zone de surface et pas dans l'intégralité de la colonne d'eau.

- **Discrimination des espèces**

Le dispositif utilisé permet un enregistrement large bande, couvrant un large spectre fréquentiel (25 Hz à 180 kHz). Cependant, la discrimination spécifique reste limitée pour certains groupes, notamment les Delphinidés, certaines espèces basses fréquences ainsi que les Pinnipèdes (Phoque gris, Phoque veau-marin).

Les outils de traitement comme PAMGuard sont théoriquement adaptés, mais présentent des limites en pratique. Le traitement est chronophage sur de grands volumes de données. Il nécessite des ajustements fréquents, ainsi que des références acoustiques locales pour garantir la fiabilité.

Par ailleurs, échantillonner une partie des données pour rechercher des espèces peu fréquentes n'est pas pertinent méthodologiquement. Cela ne permettrait pas une interprétation robuste à l'échelle du site ou du projet.

8.2 PERSPECTIVES

L'étude de l'état initial du bruit sous-marin ambiant et des cétacés permet de présenter des résultats et des tendances définissant les aires d'études définies. Fort des limites exposées et de contraintes extérieures, cette étude permet de dresser plusieurs perspectives permettant d'approfondir les connaissances scientifiques des aires d'étude. Ces perspectives pourront servir de pistes de réflexions pour cadrer les prochaines études à réaliser lors des différentes phases de vie du projet de parc éolien au large de la Bretagne Sud.

- **Suivi complémentaire par ADNe**

L'échantillonnage d'ADN environnemental (ADNe) représente une approche innovante pour identifier les taxa de mammifères marins présents dans la zone d'étude. En analysant les traces génétiques laissées dans l'eau, cette méthode non invasive permettrait de compléter les observations bioacoustiques en fournissant des informations sur la diversité spécifique et la répartition des cétacés. Associée aux enregistrements acoustiques, elle offrirait une vision plus complète de la fréquentation des populations marines dans la zone d'étude.

- **Spécificité des systèmes de mesures**

Une étude comparative visant à évaluer la robustesse des données des POD a été entreprise, notamment en comparant les enregistrements des POD avec ceux des enregistreurs DORI pendant une campagne. Cela a permis d'identifier les lacunes potentielles dans les détections des POD et de mettre en œuvre des solutions pour les corriger, comme la commande de campagnes supplémentaires sur la deuxième année de suivi avec des enregistreurs.

- **Représentativité des points de mesures**

Comme exposé dans les limites, et afin de pouvoir enregistrer de manière plus représentative (sans subir une forte atténuation) les signaux hautes fréquences émis en surface, des améliorations du mode d'acquisition des données acoustiques semble possibles. De manière intuitive il serait intéressant de pouvoir réaliser des mesures de bruit proche de la surface. Avec des profondeurs d'eau avoisinant les 100 m, l'implantation d'une ligne de mouillage pouvant héberger plusieurs hydrophones sur la colonne d'eau n'est

techniquement pas viable. Il pourrait être intéressant d'étudier les moyens de réaliser des échantillonnages acoustiques ponctuels depuis un navire lors de chaque sortie en mer afin d'augmenter les jeux de données disponibles, mais uniquement en surface. Ces données seraient alors utilisées pour enrichir les données acquises sur les stations fixes (A, B et Témoin) par l'apport d'une composante de surface et possiblement une densification de l'échantillonnage au moins en surface.

- **Modélisation complémentaire**

D'autres modélisations portant sur les niveaux de bruit au milieu et au fond de la colonne d'eau permettraient de réaliser des études plus poussées sur la distribution de l'énergie acoustique en fonction de la profondeur. Ces études de mise en relation entre bruit et profondeur permettraient d'estimer en « 3 dimensions » si en fonction du bruit, un mammifère marin quitterait la surface pour rechercher des zones plus profondes et non simplement s'éloigner d'une source sonore selon un approche « 2 dimensions » (plan). Cette perspective est complexe à mettre en œuvre car impliquerait de pouvoir modéliser des déplacement d'individus, alors que les détections des mammifères marins réalisées ne permettent pas de travailler à l'échelle d'un individu.

- **Discrimination des espèces**

La prise en compte des espèces à basses fréquences (ex. Rorqual commun, baleine de Minke) et des Pinnipèdes (Phoque gris, Phoque veau-marin) doit être ajustée selon les enjeux de la zone d'étude. Si leur présence est avérée ou probable, des adaptations méthodologiques peuvent être mises en place.

Il est recommandé d'utiliser des algorithmes de détection ciblée, calibrés à partir d'enregistrements de référence. Ces outils permettent de mieux reconnaître les vocalisations spécifiques aux groupes visés.

Le déploiement d'un hydrophone en surface peut améliorer la détection des signaux émis près de l'interface air-eau, notamment chez les Pinnipèdes. Une mesure du bruit aérien peut également être envisagée lorsque des émissions émergentes sont attendues. En complément, des observations visuelles ou des approches combinées (photo-identification, marquage) peuvent être mobilisées.

Ces adaptations renforcent la capacité à détecter des espèces spécifiques, tout en assurant une cohérence opérationnelle avec les objectifs du suivi.

9. BIBLIOGRAPHIE

- Aguilar Soto, N., Johnson, M., Madsen, P. T., Tyack, P. L., Bocconcelli, A., & Fabrizio Borsani, J. (2006). Does intense ship noise disrupt foraging in deep-diving cuvier's beaked whales (*Ziphius cavirostris*)? *Marine Mammal Science*, 22(3), 690–699. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2006.00044.x>
- Akamatsu, T., Hatakeyama, Y., Kojima, T., & Soeda, H. (1994). ECHOLOCATION RATES OF TWO HARBOR PORPOISES (*PHOCOENA PHOCOENA*). In *MARINE MAMMAL SCIENCE* (Vol. 10, Issue 4).
- Amundin, M. (1991). *Sound production in odontocetes, with emphasis on the harbour porpoise, Phocoena phocoena* [Stockholm University, Department of Zoology]. <https://pubs.sub.su.se/2205.pdf>
- Au, W. W. L., Floyd, R. W., Penner, R. H., & Murchison, A. E. (1974). *Measurement of echolocation signals of the Atlantic bottlenose dolphin, Tursiops truncatus Montagu, in open waters*. Naval Undersea Center, Hawaii Laboratory, Kailua, Hawaii 96734. <http://asadl.org/terms>
- Bellanger J., Caillat M., & Ringelstein J. (2024). *Suivi par acoustique passive du bruit ambiant et de la fréquentation des mammifères marins dans le cadre du parc éolien en mer des îles d'Yeu et Noirmoutier Etat de référence Rapport final*.
- Benhemma-Le Gall, A., Graham, I. M., Merchant, N. D., & Thompson, P. M. (2021). Broad-Scale Responses of Harbor Porpoises to Pile-Driving and Vessel Activities During Offshore Windfarm Construction. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.664724>
- Benoit-Bird, K. J., Dahood, A. D., & Würsig, B. (2009). Using active acoustics to compare lunar effects on predator-prey behavior in two marine mammal species. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 119–135. <https://doi.org/10.3354/meps07793>
- Bergès, B. J. P., Geelhoed, S., Scheidat, M., & Tougaard, J. (2019). Quantifying harbour porpoise foraging behaviour in CPOD data. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 37(1). <https://doi.org/10.1121/2.0001214>
- Blaya M., Lehmann L., Drira A., Couraud L., Leveque F., Folliot B., & Allain G. (2023). *Parc éolien au large de la Bretagne Sud (AO5) Etat actuel de l'environnement. Synthèse bibliographique 1 REVISIONS*. www.setec.fr
- Borsani, J. F., Clark, C. W., Nani, B., & Scarpiniti, M. (2008). Fin whales avoid loud rhythmic low- frequency sounds in the ligurian sea. *Bioacoustics*, 17(1–3), 161–163. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.9753801>
- Brandt, M. J., Diederichs, A., & Nehls, G. (2009). *Investigations into the effects of pile driving at the offshore wind farm Horns Rev II and the FINO III research platform Report to DONG Energy*. www.bioconsult-sh.de
- Brandt, M. J., Dragon, A. C., Diederichs, A., Bellmann, M. A., Wahl, V., Piper, W., Nabe-Nielsen, J., & Nehls, G. (2018). Disturbance of harbour porpoises during construction of the first seven offshore wind farms in Germany. *Marine Ecology Progress Series*, 596, 213–232. <https://doi.org/10.3354/meps12560>
- Bureau Veritas. (2018). *Underwater Radiated Noise (URN)*. <http://www.veristar.com>
- Burns, R. D. J., Martin, S. B., Wood, M. A., Wilson, C. C., Lumsden, C. E., & Pace F. (2022). *Hywind Scotland Floating Offshore Wind Farm Sound Source Characterisation of Operational Floating Turbines*.
- Callard B., Abolivier L., & Gélinaud G. (2021). *Etude des mammifères marins du Nord Gascogne*.
- Carlstrom, J. (2005). DIEL VARIATION IN ECHOLOCATION BEHAVIOR OF WILD HARBOR PORPOISES. In *MARINE MAMMAL SCIENCE* (Vol. 21, Issue 1).
- Carstensen, J., Henriksen, O. D., & Teilmann, J. (2006). Impacts of offshore wind farm construction on harbour porpoises : acoustic monitoring of echo- location activity using porpoise detectors (T-PODs). *Marine Ecology Progress Series*, 321, 295–308.

- Castellote, M., Clark, C. W., & Lammers, M. O. (2012). Acoustic and behavioural changes by fin whales (*Balaenoptera physalus*) in response to shipping and airgun noise. *Biological Conservation*, 147(1), 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.12.021>
- CBD. (2016). *2016_Gestion des incidences des débris marins et du bruit sous-marin d'origine anthropique sur la diversité biologique marine et côtière _CBD*.
- Chompret J. (2019). *Suivi acoustique passif du bruit ambiant et des mammifères marins dans le cadre du parc éolien en mer de Saint-Nazaire*.
- Clausen, K. T., Tougaard, J., Carstensen, J., Delefosse, M., & Teilmann, J. (2019). Noise affects porpoise click detections—the magnitude of the effect depends on logger type and detection filter settings. *Bioacoustics*, 28(5), 443–458. <https://doi.org/10.1080/09524622.2018.1477071>
- Clorennec D. (2014). *Etude d'Impact Acoustique du Parc Eolien Offshore du Banc de Guérande, Saint-Nazaire, France*. www.bioconsult-sh.de
- Coates. (2008). *OSPAR Guidance on Environmental Considerations for Offshore Wind Farm Development*.
- Collins, M. D. (1993). *A split-step Pad solution for the parabolic equation method*. <http://asadl.org/terms>
- Dähne, M., Gilles, A., Lucke, K., Peschko, V., Adler, S., Krügel, K., Sundermeyer, J., & Siebert, U. (2013). Effects of pile-driving on harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) at the first offshore wind farm in Germany. *Environmental Research Letters*, 8(2). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/025002>
- De Jong, C. A. F., Ainslie, M. A., & Blacquière, G. (2011). *Standard for measurement and monitoring of underwater noise, Part II: procedures for measuring underwater noise in connection with offshore wind farm licensing*. www.tno.nl
- Dekeling, R., Tasker, M., Van der Graaf, A., Ainslie, M., Andersson, M., Andre, M., Borsani, J., Brensing, K., Castellote, M., Cronin, D., Dalen, J., Folegot, T., Leaper, R., Pajala, J., Redman, P., Robinson, S., Sigray, P., Sutton, G., Thomsen, F., ... Young, J. (2014). *Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas, Part II: Monitoring Guidance Specifications*. <https://doi.org/10.2788/27158>
- Deruiter, S. L., Southall, B. L., Calambokidis, J., Zimmer, W. M. X., Sadykova, D., Falcone, E. A., Friedlaender, A. S., Joseph, J. E., Moretti, D., Schorr, G. S., Thomas, L., & Tyack, P. L. (2013). First direct measurements of behavioural responses by Cuvier's beaked whales to mid-frequency active sonar. *Biology Letters*, 9(4). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2013.0223>
- Diederichs A., Brandt M., & Nehls G. (2010). *Does sand extraction near Sylt affect harbour porpoises?* <https://www.researchgate.net/publication/294729638>
- Diederichs, A., Nehls, G., Dähne, M., Adler, S., Koschinski, S., & Verfuß, U. (2008). Methodologies for measuring and assessing potential changes in marine mammal behaviour, abundance or distribution arising from the construction, operation and decommissioning of offshore windfarms. Commissioned by COWRIE Ltd. In *Methods* (Issue May). <https://doi.org/10.1016/B978-0-9557501-2-0>
- Diederichs, A., Nehls, G., Sh, B., & Adler, S. (2008). *EU LIFE+ Baltic Sea Information on the Acoustic Soundscape View project Hearing in penguins View project*. www.offshorewind.co.uk
- Diederichs, A., Nehls, G., Sh, B., Dähne, M., Adler, S., Koschinski, S., & Verfuß, U. (2008). *Methodologies for measuring and assessing potential changes in marine mammal behaviour, abundance or distribution arising from the construction, operation and decommissioning of offshore windfarms*. www.offshorewind.co.uk
- Dorémus, G., Blanchard, A., Sanchez, T., Huon, M., Genu, M., Brétillle, V., Pessato, A., Authier, M., Bousquet, N., Thierry Sanchez, J., Poncet, S., Peltier, H., Williams, G., Amic, J., & Caro, A. (2023). *Suivi de la distribution de la mégafaune marine en Manche, Atlantique et Méditerranée*. www.observatoire-pelagis.cnrs.fr
- Drira A., & Blondeau G. (2022). *Etude d'impact sur l'acoustique sous-marine des Travaux du Terminal du Naye - Saint-Malo*.

- Drira, A., Bouzidi, M., Maglio, A., Pavan, G., & Salivas, M. (2018). Modelling underwater sound fields from noise events contained in the ACCOBAMS impulsive noise register to address cumulative impact and acoustic pollution assessment. *EEA Proceedings EURONOISE2018*, 2819–2824.
- Drira, A., Maglio, A., Couraud, L., Martinez, L., & Gervaise, C. (2021). *Etat de référence - Suivi acoustique passif du bruit ambiant et des mammifères marins - EOHF*.
- Dubrovskii A., Rsnov PS., & Titov AA. (1971). On the emission of echo-location signals by the Azov Sea harbor porpoise. *Akusticheskij Zhurnal*, 16, 5215.
- Ellis, J. I., & Schneider, D. C. (1997). *EVALUATION OF A GRADIENT SAMPLING DESIGN FOR ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT*.
- Erbe, C., Marley, S. A., Schoeman, R. P., Smith, J. N., Trigg, L. E., & Embling, C. B. (2019). The Effects of Ship Noise on Marine Mammals—A Review. In *Frontiers in Marine Science* (Vol. 6). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00606>
- European Commission. (2010). *Guidance document : Wind energy developments and Natura 2000*.
- Farcas, A., Thompson, P. M., & Merchant, N. D. (2016). Underwater noise modelling for environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 57, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.11.012>
- Filadelfo, R., Mintz, J., Michlovich, E., D'Amico, A., Tyack, P. L., & Ketten, D. R. (2009). Correlating military sonar use with beaked whale mass strandings: What do the historical data show? *Aquatic Mammals*, 35(4), 435–444. <https://doi.org/10.1578/AM.35.4.2009.435>
- Giannoulaki, M., Machias, A., & Tsimenides, N. (1999). Ambient luminance and vertical migration of the sardine *Sardina pilchardus*. *Marine Ecology Progress Series*, 178, 29–38. <https://doi.org/10.3354/meps178029>
- Gilles, A., Adler, S., Kaschner, K., Scheidat, M., & Siebert, U. (2011). Modelling harbour porpoise seasonal density as a function of the German Bight environment: Implications for management. *Endangered Species Research*, 14(2), 157–169. <https://doi.org/10.3354/esr00344>
- Gilles, A., Viquerat, S., Becker, E. A., Forney, K. A., Geelhoed, S. C. V., Haelters, J., Nabe-Nielsen, J., Scheidat, M., Siebert, U., Sveegaard, S., Van Beest, F. M., Van Bemmelen, R., & Aarts, G. (2016). Seasonal habitat-based density models for a marine top predator, the harbor porpoise, in a dynamic environment. *Ecosphere*, 7(6). <https://doi.org/10.1002/ecs2.1367>
- Gilles Anita. (2008). *Characterisation of harbour porpoise (Phocoena phocoena) habitat in German waters*.
- Gilles Anita, Araújo Hélder, Ramirez Martinez Nadya, & Carlstrom Julia. (2023). *Estimates of cetacean abundance in European Atlantic waters in summer 2022 from the SCANS-IV aerial and shipboard surveys*.
- Goldbogen, J. A., Southall, B. L., DeRuiter, S. L., Calambokidis, J., Friedlaender, A. S., Hazen, E. L., Falcone, E. A., Schorr, G. S., Douglas, A., Moretti, D. J., Kyburg, C., McKenna, M. F., & Tyack, P. L. (2013). Blue whales respond to simulated mid-frequency military sonar. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1765). <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.0657>
- Graham, I. M., Merchant, N. D., Farcas, A., Barton, T. R., Cheney, B., Bono, S., & Thompson, P. M. (2019). Harbour porpoise responses to pile-driving diminish over time. *Royal Society Open Science*, 6(6). <https://doi.org/10.1098/rsos.190335>
- Green, R. H. (1979). *Green, R. H. (1979). Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists*. John Wiley and sons.
- Henderson, E. E., Hildebrand, J. A., Smith, M. H., & Falcone, E. A. (2011). The behavioral context of common dolphin (*Delphinus* sp.) vocalizations. *Marine Mammal Science*, 28(3), 439–460. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2011.00498.x>

- Herzing, D. L. (2014). Clicks, whistles and pulses: Passive and active signal use in dolphin communication. *Acta Astronautica*, 105(2), 534–537. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2014.07.003>
- Hildebrand, J. A. (2009a). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 5–20. <https://doi.org/10.3354/meps08353>
- Hildebrand, J. A. (2009b). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 5–20. <https://doi.org/10.3354/meps08353>
- Hildebrand, J. A., & Jesus, S. M. (2021). Trends in inputs of anthropogenic noise into the marine environment. *The Second World Ocean Assessment*, 860–883. <https://doi.org/10.18356/9789216040062c049>
- Hildebrand, J. A., Jesus, S. M., & Miller, J. H. (2021). Trends in inputs of anthropogenic noise into the marine environment. *The Second World Ocean Assessment*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:242494410>
- Huret, M., Lehuta, S., Romagnan, J.-B., Doray, M., Alban, F., Bourdaud, P., Cailliau, C., Duhamel, E., Grandremy, N., Hattab, T., Hervé, H., Lebigre, C., Le Grand, C., Leonardi, S., Menu, C., Merzereaud, M., Michelet, N., Olmos, M., Petitgas, P., ... Traoré, A. (2024). *Rapport DEFIPEL Développement d'une approche de gestion intégrée de la filière petits pélagiques française*.
- Isojunno, S., Wensveen, P. J., Lam, F. P. A., Kvadsheim, P. H., Von Benda-Beckmann, A. M., Martín López, L. M., Kleivane, L., Siegal, E. M., & Miller, P. J. O. (2020). When the noise goes on: Received sound energy predicts sperm whale responses to both intermittent and continuous navy sonar. *Journal of Experimental Biology*, 223(7). <https://doi.org/10.1242/jeb.219741>
- J Roe, H. S., & Badcock, J. (1984). *The Diel Migrations and Distributions within a Mesopelagic Community in the North East Atlantic. 5. Vertical Migrations and Feeding of Fish* (Vol. 13).
- Jacobson, E. K., Merkens, K. P., Forney, K. A., & Barlow, J. (2017). *Comparison of harbor porpoise (Phocoena phocoena) echolocation clicks recorded simultaneously on two passive acoustic monitoring instruments*.
- Kameyama, S., Akamatsu, T., Dede, A., Amaha Öztürk, A., & Arai, N. (2014). Acoustic discrimination between harbor porpoises and delphinids by using a simple two-band comparison. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 136(2), 922–929. <https://doi.org/10.1121/1.4884763>
- Kamminga, C., & Wiersma, H. (1981). Investigations on cetacean sonar II. Acoustical similarities and differences in odontocete sonar signals. *Aquatic Mammals*, 8(2), 41–62.
- Lacey, C., Gilles, A., Börjesson, P., Herr, H., Macleod, K., Ridoux, V., Santos, M. B., Scheidat, M., Teilmann, J., Sveegaard, S., Vingada, J., Viquerat, S., Øien, N., & Hammond, P. S. (2022). *Modelled density surfaces of cetaceans in European Atlantic waters in summer 2016 from the SCANS-III aerial and shipboard surveys*.
- Lambert, C., Pettex, E., Dorémus, G., Laran, S., Stéphan, E., Canneyt, O. Van, & Ridoux, V. (2017). How does ocean seasonality drive habitat preferences of highly mobile top predators? Part II: The eastern North-Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 141, 133–154. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.06.011>
- Laran, S., Authier, M., Blanck, A., Doremus, G., Falchetto, H., Monestiez, P., Pettex, E., Stephan, E., Van Canneyt, O., & Ridoux, V. (2017). Seasonal distribution and abundance of cetaceans within French waters- Part II: The Bay of Biscay and the English Channel. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 141, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.12.012>
- Laran S, Genu M, Authier M, Blanchard A, Doremus G, Sanchez T, Spitz J, & Van Canneyt O. (2022). *Distribution et abondance de la mégafaune marine en France métropolitaine - SAMM (cycle II) Atlantique-Manche Hiver 2021*.
- Laran, S., Genu, M., Authier, M., Blanchard, A., Dorémus, G., Sanchez, T., Spitz, J., & Van Canneyt, O. (2022). *Distribution et abondance de la mégafaune marine en France métropolitaine*.

- Lucke, K., Siebert, U., Lepper, P. A., & Blanchet, M.-A. (2009). Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(6), 4060–4070. <https://doi.org/10.1121/1.3117443>
- Madsen, P. T., Carder, D. A., Bedholm, K., & Ridgway, S. H. (2005). Porpoise clicks from a sperm whale nose—convergent evolution of 130 khz pulses in toothed whale sonars? *Bioacoustics*, 15(2), 195–206. <https://doi.org/10.1080/09524622.2005.9753547>
- Madsen P.T., Wahlberg M., Tougaard J., Lucke K., & Tyack P. (2006). Wind turbine underwater noise and marine mammals-implications of current knowledge and data needs. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*, 309.
- Maglio A., Lyne P., & MMOA Association. (2022). *2022_Guidance_underwater_noise_mitigation_measures_ACCOBAMS*.
- Maglio, A., Soares, C., Bouzidi, M., Zabel, F., Souami, Y., & Pavan, G. (2015). Mapping shipping noise in the Pelagos Sanctuary (French part) through acoustic modelling to assess potential impacts on marine mammals. *Scientific Reports of the Port-Cros National Park*, 29, 167–185.
- MEEDDM. (2010). *2010_guide_eolien_etude_impact_MEEDDM*.
- MEEM. (2017). *Guide d'évaluation des impacts sur l'environnement des parcs éoliens en mer*.
- Methratta, E. T. (2021). Distance-Based Sampling Methods for Assessing the Ecological Effects of Offshore Wind Farms: Synthesis and Application to Fisheries Resource Studies. In *Frontiers in Marine Science* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.674594>
- Meynier, L., Pusineri, C., Spitz, J., Santos, M. B., Pierce, G. J., & Ridoux, V. (2008). Intraspecific dietary variation in the short-beaked common dolphin *Delphinus delphis* in the Bay of Biscay: Importance of fat fish. *Marine Ecology Progress Series*, 354, 277–287. <https://doi.org/10.3354/meps07246>
- Møhl, B., & Andersen, S. (1973). *Echolocation: high-frequency component in the click of the Harbour Porpoise (Phocoena ph. L.)*. Marsvinestationen-Strib, Fysiologisk Institut, Odense Universitet, 5000 Odense, Denmark. <http://acousticalsociety.org/content/terms>.
- Montgomerie, E., & Stedt, J. (2015). *TEMPORAL CORRELATION BETWEEN THE ACOUSTIC ACTIVITY OF HARBOR PORPOISE AND THE MOVEMENT ACTIVITY OF THEIR PREY SPECIES AT KULLABERG, SWEDEN*. www.uu.se
- MTES. (2019). *Stratégie Française pour l'énergie et le climat. Programmation Pluriannuelle de l'énergie 2019-2023 / 2024-2028*.
- MTES. (2020). *Guide preconisations pour limiter l'impact des bruits sous-marins sur la faune marine*.
- Murphy, S., Evans, P. G. H., Pinn, E., & Pierce, G. J. (2021). Conservation management of common dolphins: Lessons learned from the North-East Atlantic. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(S1), 137–166. <https://doi.org/10.1002/aqc.3212>
- Murphy, S.; P. E. H.; J. P. D. (2013). The short-beaked common dolphin (*Delphinus delphis*) in the North-East Atlantic: distribution, ecology, management and conservation status. *Oceanography and Marine Biology*, 51.
- Nuutila, H., Austin, R. E., Evans, P. G. H., & Turner, J. R. (2013). Identifying foraging behaviour of wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) and harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) with static acoustic dataloggers. *Aquatic Mammals*, 39(2), 147–161. <https://doi.org/10.1578/AM.39.2.2013>
- Nuutila, H. K., Brundiers, K., Dähne, M., Koblit, J. C., Thomas, L., Courteney-Jones, W., Evans, P. G. H., Turner, J. R., Bennell, J. D., & Hiddink, J. G. (2018). Estimating effective detection area of static passive acoustic data loggers from playback experiments with cetacean vocalisations. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(12), 2362–2371. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13097>

- Osiecka, A. N., Jones, O., & Wahlberg, M. (2020). The diel pattern in harbour porpoise clicking behaviour is not a response to prey activity. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71957-0>
- OSPAR. (2009). *Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment*. OSPAR.
- Pajala, J., Redman, P., Robinson, S. P., Sigray, P., Sutton, G., Thomsen, F., Werner, S., Wittekind, D., Young, J. V., Dekeling, R. P. A., Tasker, M. L., Van der Graaf, A. J., Ainslie, M. A., Andersson, M. H., André, M., Borsani, J. F., Brensing, K., Castellote, M., Cronin, D., ... European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability. (2014). *Monitoring guidance for underwater noise in European seas : a guidance document within the common implementation strategy for the Marine Strategy Framework Directive. Part II, Monitoring guidance specifications*. Publications Office.
- Peltier Hélène, Authier Matthieu, Caurant Florence, Dabin Willy, Daniel Pierre, Dars Cécile, Demaret Fabien, Meheust Eléonore, Ridoux Vincent, Van Canneyt Olivier, & Spitz Jérôme. (2020). *Identifier la co-occurrence spatio-temporelle des captures de dauphins communs et des pêcheries dans le Golfe de Gascogne de 2010 à 2019*.
- Peng, Z., Zhou, F., Fan, J., Wang, B., & Wen, H. (2021). Observation and modelling on the shipping noise in shallow waters with complex Islands and reefs of the East China Sea. *Archives of Acoustics*, 46(2), 301–311. <https://doi.org/10.24425/aoa.2021.136584>
- Persohn, C., Helloco, L., Baudinière, E., & Martinez, L. (2020). *Préconisations pour limiter les impacts des émissions acoustiques en mer d'origine anthropique sur la faune marine*.
- Pettex E., & Hamani V. (2023). *Acquisition de connaissances sur la mégafaune marine dans le Finistère Sud. Rapport intermédiaire - Année 1*. www.pixsea.fr
- Pettex, E., Lambert, C., Laran, S., Ricart, A., Virgili, A., Falchetto, H., Authier, M., Monestie, P., Van Canneyt, O., Dorémus, G., Blanck, A., Toison, V., & Ridoux, V. (2014). *SAMM_rapport_final_13112014*. <https://doi.org/10.13140/2.1.2698.5287>
- Pillet, M., Chouvelon, T., Viricel-pante, A., Doray, M., Authier, M., Huguet, A., Peltier, H., Faillettaz, R., Dubroca, L., Gourguet, S., Ridoux, V., Lehuta, S., Ulrich, C., Petitgas, P., & Spitz, J. (2023). *Delmoges - Rapport intermédiaire*. www.ifremer.fr/
- Pirotta, E., Laesser, B. E., Hardaker, A., Riddoch, N., Marcoux, M., & Lusseau, D. (2013). Dredging displaces bottlenose dolphins from an urbanised foraging patch. *Marine Pollution Bulletin*, 74(1), 396–402. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.06.020>
- Prideaux G. (2017). *TECHNICAL SUPPORT INFORMATION TO THE CMS FAMILY GUIDELINES ON ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT FOR MARINE NOISE-GENERATING ACTIVITIES CMS CONVENTION ON MIGRATORY SPECIES*.
- Pusineri, C. (2005). *Niche alimentaire et partage des ressources : les petits cétacés du golfe de Gascogne*. <https://www.researchgate.net/publication/271196482>
- Pusineri, C., Magnin, V., Meynier, L., Spitz, J., Hassani, S., & Ridoux, V. (2007a). Food and feeding ecology of the common dolphin (*Delphinus delphis*) in the oceanic Northeast Atlantic and comparison with its diet in neritic areas. *Marine Mammal Science*, 23(1), 30–47. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2006.00088.x>
- Pusineri, C., Magnin, V., Meynier, L., Spitz, J., Hassani, S., & Ridoux, V. (2007b). Food and feeding ecology of the common dolphin (*Delphinus delphis*) in the oceanic Northeast Atlantic and comparison with its diet in neritic areas. *Marine Mammal Science*, 23(1), 30–47. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2006.00088.x>
- Redfern, J., Hyrenbach, D., & Barlow, J. (2006). *Techniques for cetacean-habitat modeling Mapping Global Risks of Anthropogenic Impacts on Marine mammals View project Seabirds as ecosystem indicators View project*. www.int-res.com

- Reynaud, M., Le Bourhis, E., Soulard, T., Perignon, Y., Bertholon, A., Blangy, A., Erussard, H., Lambert, S., Le Bihan, G., Le Crom, I., Lugez, H., Rousset, J. M., Sigoigne, L., & Thilleul, O. (2021). *Rapport de suivi environnemental de l'éolienne flottante FLOATGEN, site d'essais SEM-REV Avec la collaboration de*.
- Risch D., Marmo B., Benjamins S., & Van Geel N. (2023). *Characterisation of underwater operational noise of two types of floating offshore wind turbines*. <https://www.researchgate.net/publication/370553517>
- Roberts, B. L., & Read, A. J. (2015). Field assessment of C-POD performance in detecting echolocation click trains of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Marine Mammal Science*, 31(1), 169–190. <https://doi.org/10.1111/mms.12146>
- Robinson, S. (2014). *Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement*.
- Robinson S.P, Lepper P.A, & Hazelwood R.A. (2014). *Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement*.
- Sarnocinska, J., Tougaard, J., Johnson, M., Madsen, P. T., & Wahlberg, M. (2016). Comparing the performance of C-PODs and SoundTrap/PAMGUARD in detecting the acoustic activity of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*). *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 27(1). <https://doi.org/10.1121/2.0000288>
- Savouré-Soubelet A., Aulagnier S., Haffner P., Moutou F., Van Canneyt O., Charassin J-B., & Ridoux V. (2016). *Atlas des mammifères sauvages de France.: Vol. Mammifères marins*.
- Scheidat, M., Vrooman, J., Teilmann, J., Baltzer, J., Bie Thøstesen, C., Diederichs, B., Dietz, R., Geelhoed, S. C. V., Gilles, A., IJsseldijk, L. L., Keijl, G. O., Nabe-Nielsen, J., Ruser, A., Schnitzler, J., Sveegaard, S., & Siebert, U. (2024). Harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in the Wadden Sea World Heritage Site and requirements for trilateral monitoring. *Marine Biodiversity*, 54(3). <https://doi.org/10.1007/s12526-024-01428-6>
- Secor, D. (2018). Designing research and monitoring studies to effectively detect impacts. *Presentationn at the New York State Energy Research and Development Agency (NYSERDA) Workshop: The State of the Science on Wildlife and Offshore Wind Energy Development*,.
- Simonis, A. E., Roch, M. A., Bailey, B., Barlow, J., Clemesha, R. E. S., Iacobellis, S., Hildebrand, J. A., & Baumann-Pickering, S. (2017). Lunar cycles affect common dolphin *Delphinus delphis* foraging in the Southern California Bight. *Marine Ecology Progress Series*, 577, 221–235. <https://doi.org/10.3354/meps12247>
- Soldevilla, M. S., Henderson, E. E., Campbell, G. S., Wiggins, S. M., Hildebrand, J. A., & Roch, M. A. (2008). Classification of Risso's and Pacific white-sided dolphins using spectral properties of echolocation clicks. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(1), 609–624. <https://doi.org/10.1121/1.2932059>
- Sørensen, P. M., Wisniewska, D. M., Jensen, F. H., Johnson, M., Teilmann, J., & Madsen, P. T. (2018a). Click communication in wild harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28022-8>
- Sørensen, P. M., Wisniewska, D. M., Jensen, F. H., Johnson, M., Teilmann, J., & Madsen, P. T. (2018b). Click communication in wild harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28022-8>
- Southall, B. L., Nowacek, D. P., Miller, P. J. O., & Tyack, P. L. (2016). Experimental field studies to measure behavioral responses of cetaceans to sonar. In *Endangered Species Research* (Vol. 31, Issue 1, pp. 293–315). Inter-Research. <https://doi.org/10.3354/esr00764>
- Spitz, J. (2011). *Stratégies alimentaires et énergétiques de la prédation chez les mammifères marins*. <https://theses.hal.science/tel-00565430v1>
- Stone C.J, & Tasker M.L. (2006). *The effects of seismic airguns on cetaceans in UK waters*.
- Teilmann, J., Carstensen, J., & Skov, H. (2002). *Monitoring effects of offshore windfarms on harbour porpoises using PODs (porpoise detectors) Technical report* (Issue February).

- Teilmann, J., Miller, A., Im Kirketerp, T., Kastelein, A., Madsen, P. T., Nielsen, K., & Au, W. W. L. (2002). *Aquatic Mammals* (Vol. 28).
- Teilmann, J., Miller, L. A., Kirketerp, T., Kastelein, R. A., Madsen, P. T., Nielsen, B. K., & Au, W. W. L. (2002). *Aquatic Mammals* (Vol. 28).
- Tellechea, J. S. (2020). Echolocation inter-click interval variation among specific behaviours in free-ranging bottlenose dolphins from the coast of Uruguay. *J. CETACEAN RES. MANAGE*, 21, 141–149.
- Thompson, P. M., Lusseau, D., Barton, T., Simmons, D., Rusin, J., & Bailey, H. (2010). Assessing the responses of coastal cetaceans to the construction of offshore wind turbines. *Marine Pollution Bulletin*, 60(8), 1200–1208. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.03.030>
- Tougaard, J., Carstensen, J., Teilmann, J., Skov, H., & Rasmussen, P. (2009). Pile driving zone of responsiveness extends beyond 20 km for harbor porpoises (*Phocoena phocoena* (L.)) . *The Journal of the Acoustical Society of America*, 126(1), 11–14. <https://doi.org/10.1121/1.3132523>
- Tougaard, J., Carstensen, J., Wisz, M. S., Jespersen, M., Teilmann, J., Bech, N. I., Skov, H., & Water, D. (2006a). *Harbour Porpoises on Horns Reef Effects of the Horns Reef Wind Farm Final Report to Vattenfall A/S*.
- Tougaard, J., Carstensen, J., Wisz, M. S., Jespersen, M., Teilmann, J., Bech, N. I., Skov, H., & Water, D. (2006b). *Harbour Porpoises on Horns Reef Effects of the Horns Reef Wind Farm Final Report to Vattenfall A/S*.
- Tougaard, J., Henriksen, O. D., & Miller, L. A. (2009). Underwater noise from three types of offshore wind turbines: Estimation of impact zones for harbor porpoises and harbor seals. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(6), 3766–3773. <https://doi.org/10.1121/1.3117444>
- Tyack, P. L., Zimmer, W. M. X., Moretti, D., Southall, B. L., Claridge, D. E., Durban, J. W., Clark, C. W., D'Amico, A., DiMarzio, N., Jarvis, S., McCarthy, E., Morrissey, R., Ward, J., & Boyd, I. L. (2011). Beaked whales respond to simulated and actual navy sonar. *PLoS ONE*, 6(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017009>
- Van Canneyt O, Sanchez T, Blanchard A, Doremus G, Genu M, Laran S, Spitz J, Authier M, & Gilles A. (2024). *Distribution de la mégafaune marine en France métropolitaine et résultats des analyses du système digital STORMM*.
- Van Canneyt, O. Van, Blanchard, A., Laran, S., Authier, M., Dorémus, G., Genu, M., Nivière, M., Spitz, J., Caurant, F., & Ridoux, V. (2020). *Comprendre et évaluer les Captures de PETITS CETACÉS dans les engins de pêche (CAPECET) Volet distribution et abondance hivernales par observation aérienne Rapport technique*. <http://www.observatoire-pelagis.cnrs.fr>
- van Geel, N. C. F., Risch, D., Benjamins, S., Brook, T., Culloch, R. M., Edwards, E. W. J., Stevens, C., & Wilson, B. (2022). Monitoring cetacean occurrence and variability in ambient sound in Scottish offshore waters. *Frontiers in Remote Sensing*, 3. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.934681>
- Verboom, W., & Kastelein, R. A. (1997). *Structure of harbour porpoise (Phocoena phocoena) click train signals*.
- Villadsgaard, A., Wahlberg, M., & Tougaard, J. (2007a). Echolocation signals of wild harbour porpoises, *Phocoena phocoena*. *Journal of Experimental Biology*, 210(1), 56–64. <https://doi.org/10.1242/jeb.02618>
- Villadsgaard, A., Wahlberg, M., & Tougaard, J. (2007b). Echolocation signals of wild harbour porpoises, *Phocoena phocoena*. *Journal of Experimental Biology*, 210(1), 56–64. <https://doi.org/10.1242/jeb.02618>
- Virgili, A., Laran, S., Authier, M., Dorémus, G., Van Canneyt, O., & Spitz, J. (2024). Prospective modelling of operational offshore wind farms on the distribution of marine megafauna in the southern North Sea. *Frontiers in Marine Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1344013>

- Wang, Z. T., Nachtigall, P. E., Akamatsu, T., Wang, K. X., Wu, Y. P., Liu, J. C., Duan, G. Q., Cao, H. J., & Wang, D. (2015). Passive acoustic monitoring the diel, lunar, seasonal and tidal patterns in the biosonar activity of the Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) in the Pearl River Estuary, China. *PLoS ONE*, 10(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141807>
- Wartzok, D., Popper, A. N., Gordon, J., & Merrill, J. (2003). Factors affecting the responses of marine mammals to acoustic disturbance. *Marine Technology Society Journal*, 37(4), 6–15. <https://doi.org/10.4031/002533203787537041>
- Weilgart, L. S. (2007). The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. In *Canadian Journal of Zoology* (Vol. 85, Issue 11, pp. 1091–1116). <https://doi.org/10.1139/Z07-101>
- Weir, C. R. (2008). Overt responses of Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*), sperm Whales (*Physeter macrocephalus*), and Atlantic spotted Dolphins (*Stenella frontalis*) to seismic exploration off Angola. *Aquatic Mammals*, 34(1), 71–83. <https://doi.org/10.1578/AM.34.1.2008.71>
- Wood, S. N. (2006). *Generalized Additive Models: an introduction with R*. CRC Press.

10. ANNEXES

10.1 GUIDE ET TEXTES DE REFERENCE POUR LA METHODOLOGIE D'ANALYSE

- CMS « Technical support information family guidelines on environmental impact assessment for marine noise- generating activities » (Prideaux G., 2017) ;
- « Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens » (MEEDDM 2010) ;
- « Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens en mer » (MEEM, 2017) ;
- OSPAR « Guidance on Environmental Considerations for Offshore Wind Farm Development » (Coates, 2008) ;
- Recommandations de l'Organe subsidiaire scientifique, technique et technologique de la Convention sur la diversité biologique : « Gestion des incidences des débris marins et du bruit sous-marin d'origine anthropique sur la diversité biologique marine et côtière » (CBD, 2016) ;
- ACCOBAMS "Methodological guide V3.1: Guidance on underwater noise mitigation measures" (Maglio A et al. 2022).
- « Guide de bonnes pratiques pour la collecte et l'analyse des données acoustiques, avec proposition de standards » (Robinson S.P et al., 2014);
- Proposition de standard par l'institut TNO des Pays-Bas (De Jong et al., 2011) ;
- Note NR614 proposée par Bureau Veritas portant sur une certification pour les émissions de bruit sous-marin (Bureau Veritas, 2018) ;
- Wind Energy Development and NATURA 2000 (European Commission, 2010) ;
- « Methodologies for measuring and assessing potential changes in marine mammal behaviour, abundance or distribution arising from the construction, operation and decommissioning of offshore windfarms » (Diederichs, Nehls, Sh, Dähne, et al., 2008) ;
- Préconisations du Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES) pour limiter les impacts des émissions acoustiques en mer d'origine anthropique sur la faune marine (Persohn et al., 2020).

10.2 DESCRIPTION DU MILIEU DE PROPAGATION POUR L'ANALYSE DU BRUIT

10.2.1 La bathymétrie de la zone d'étude

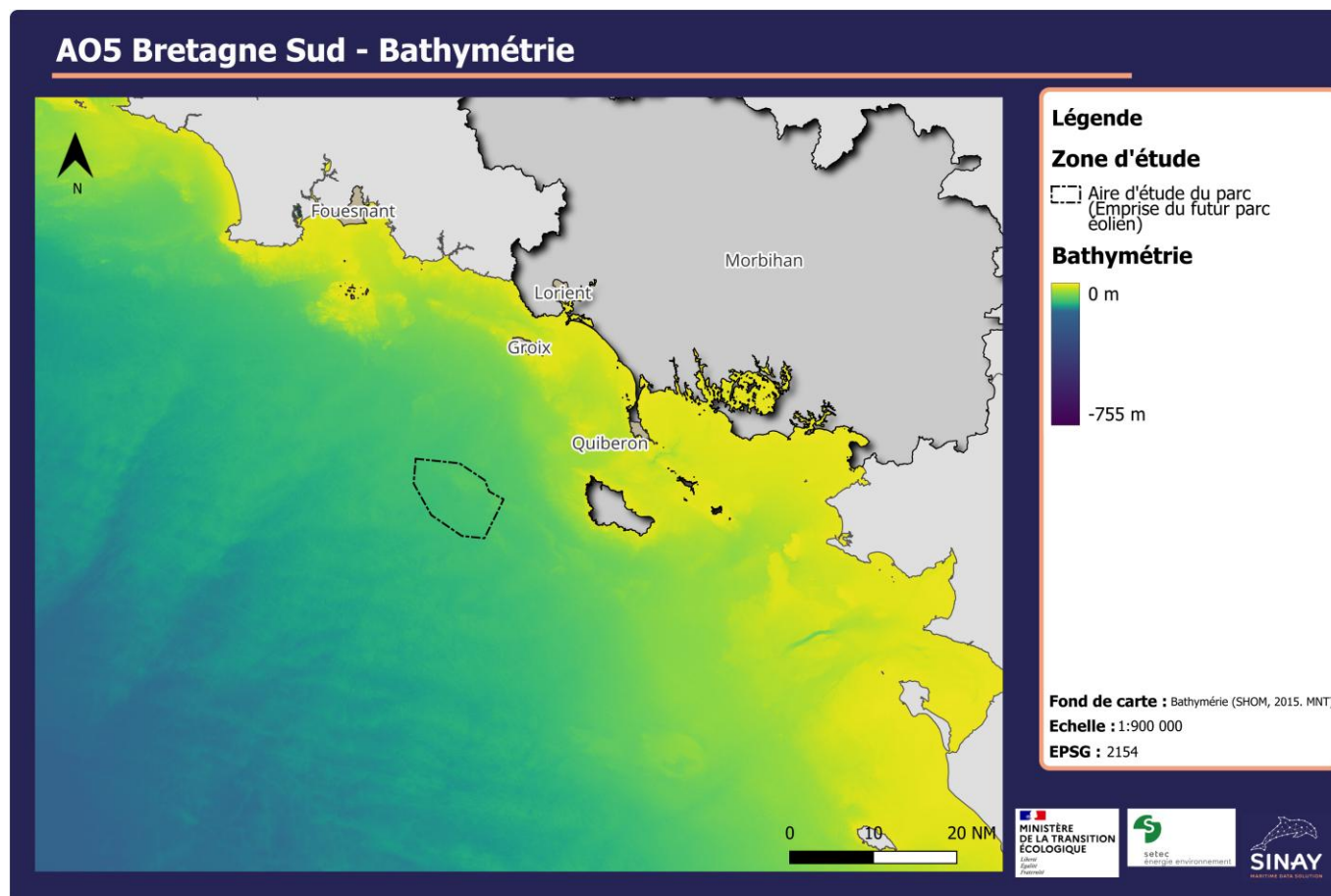


Figure 78 : Bathymétrie de la zone d'étude élargie (Source : SHOM®).

10.2.2 Profils célé-bathymétriques

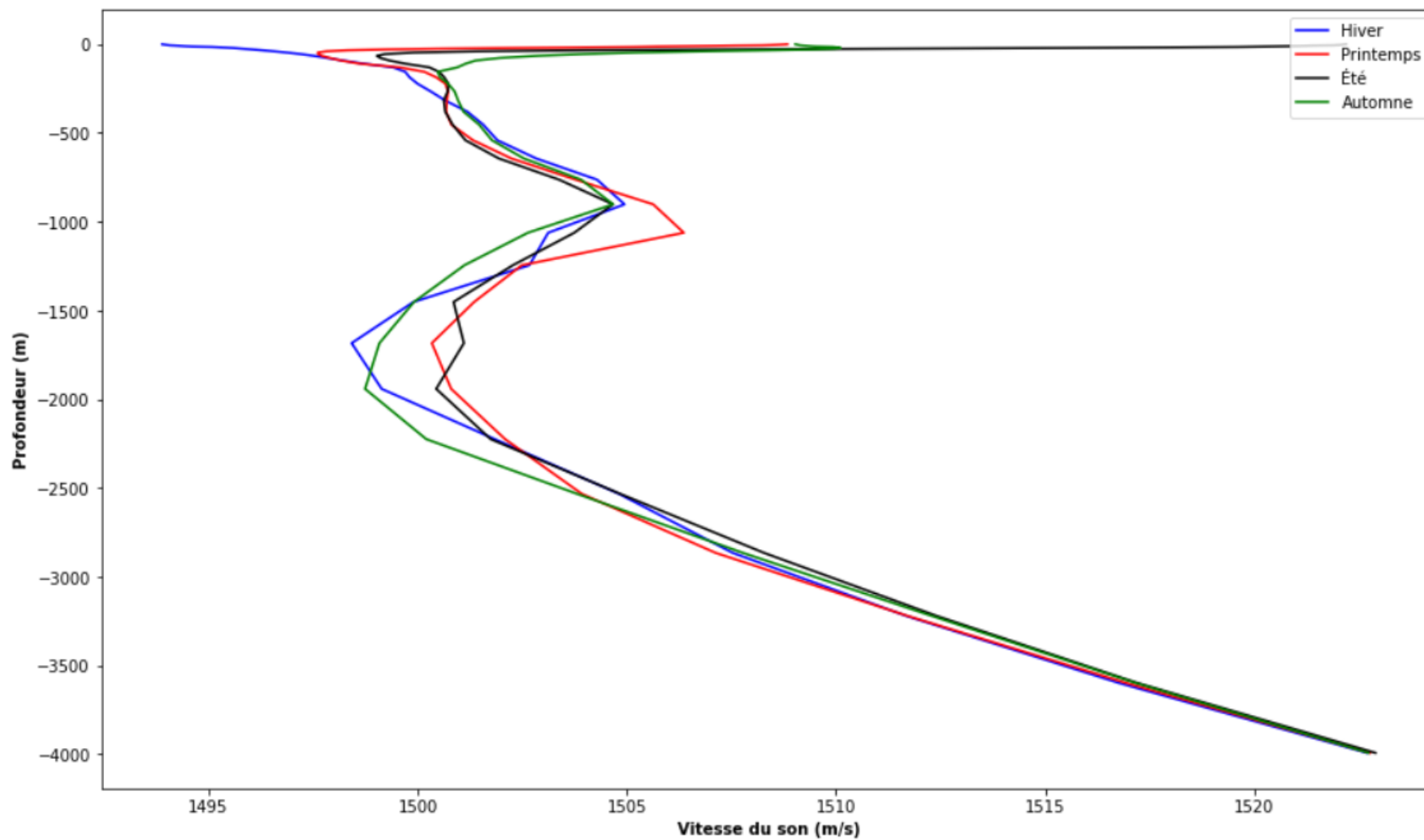


Figure 79 : Vitesse de propagation du son par saison dans la zone d'étude.

10.2.3 Propriétés géo-acoustiques du fond

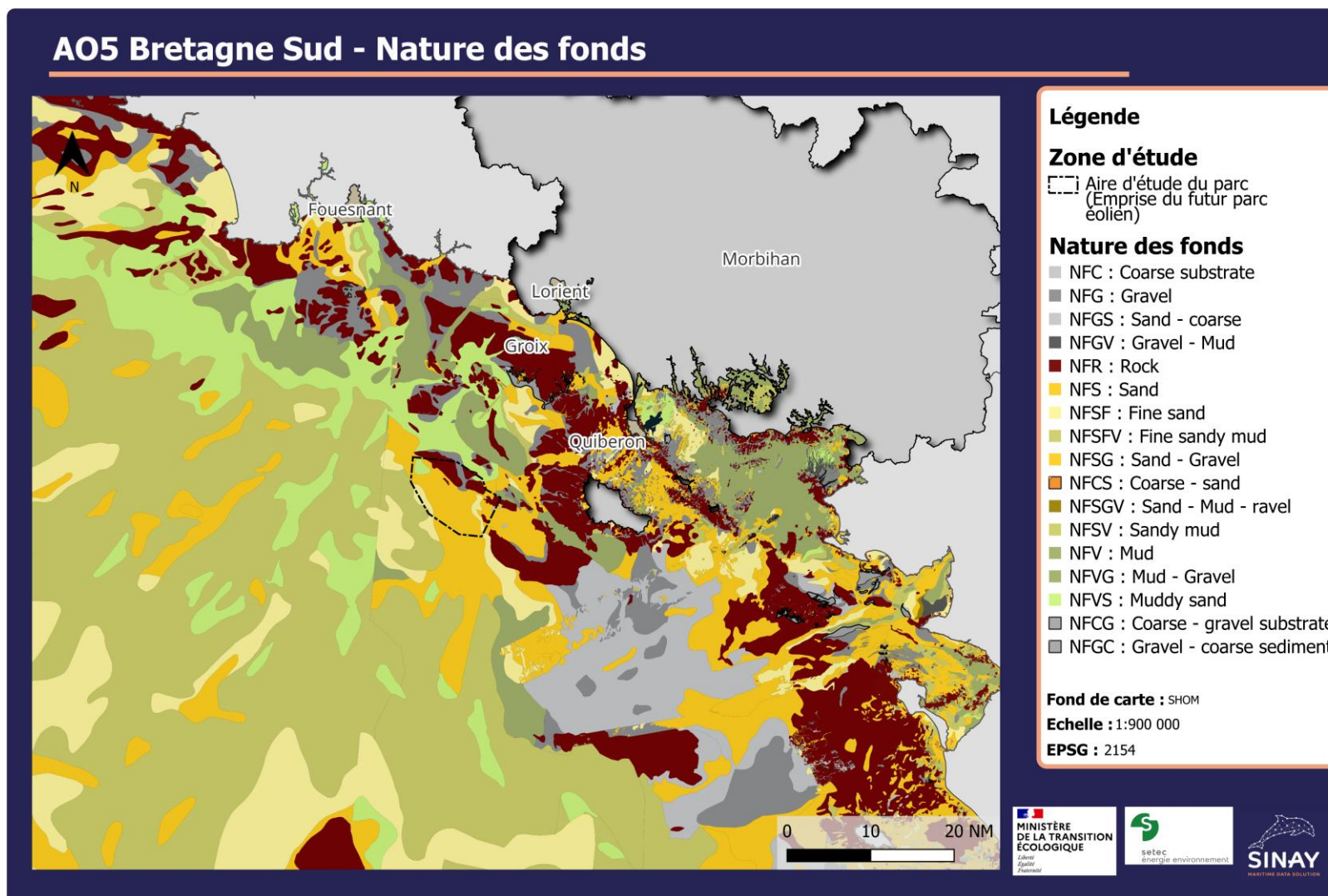


Figure 80 : Nature des fonds de la zone d'étude élargie (Source : SHOM®).

10.2.4 Contours des marées

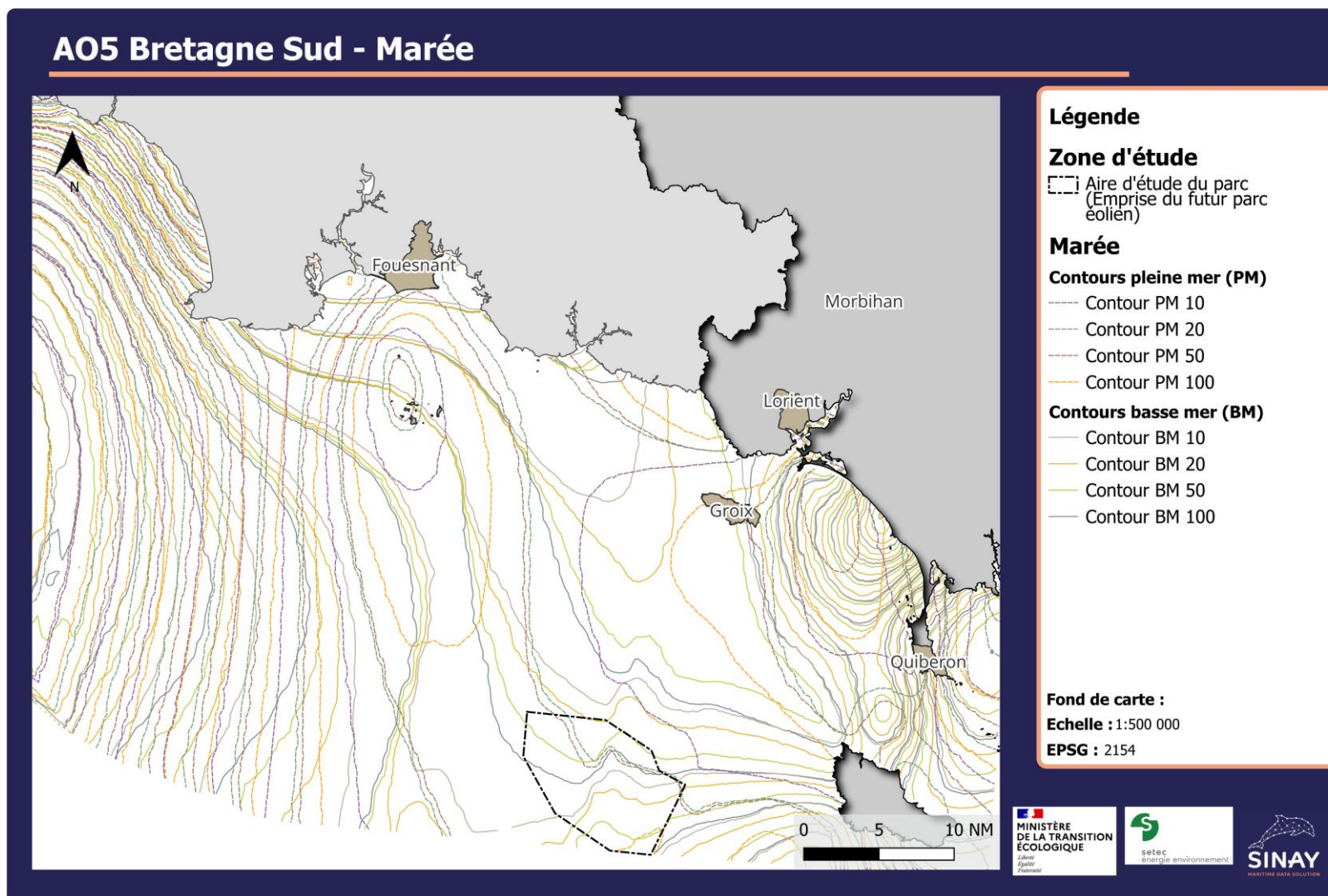
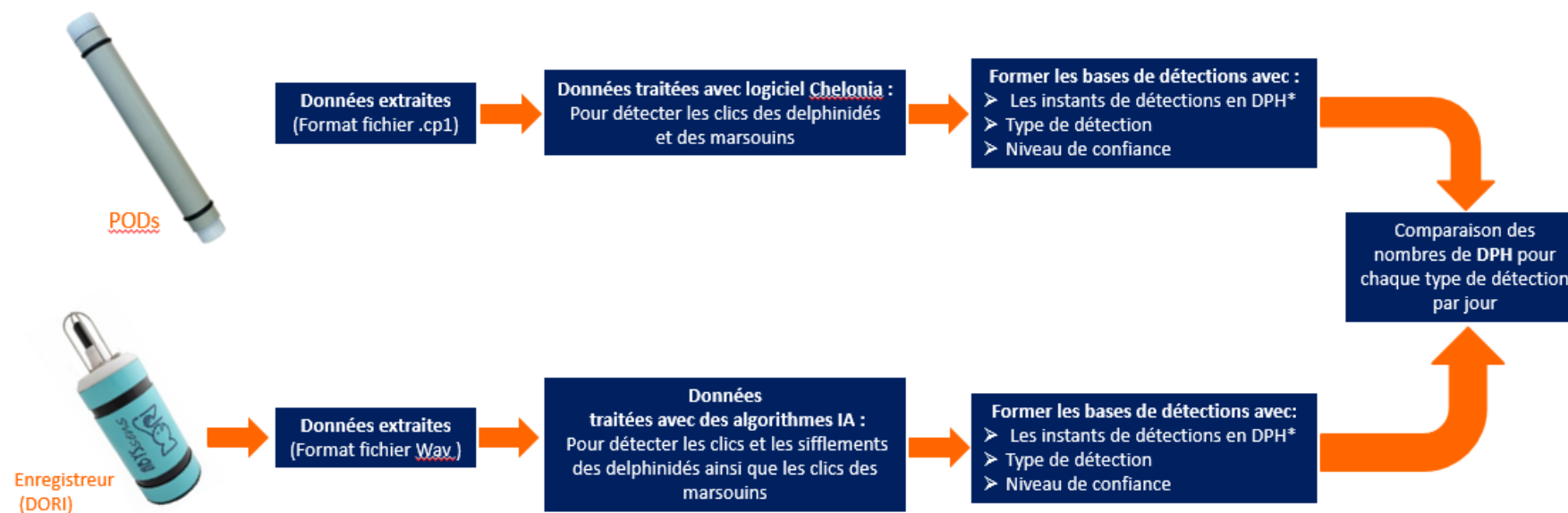


Figure 81 : Contours des basses et pleines mers (Source : SHOM®).

10.3 METHODE COMPARATIVE DE LA ROBUSTESSE DES DONNEES ENTRE L'ACQUISITION PAR ENREGISTREUR ET POD

Méthode de comparaison

Traitements des données sur une campagne

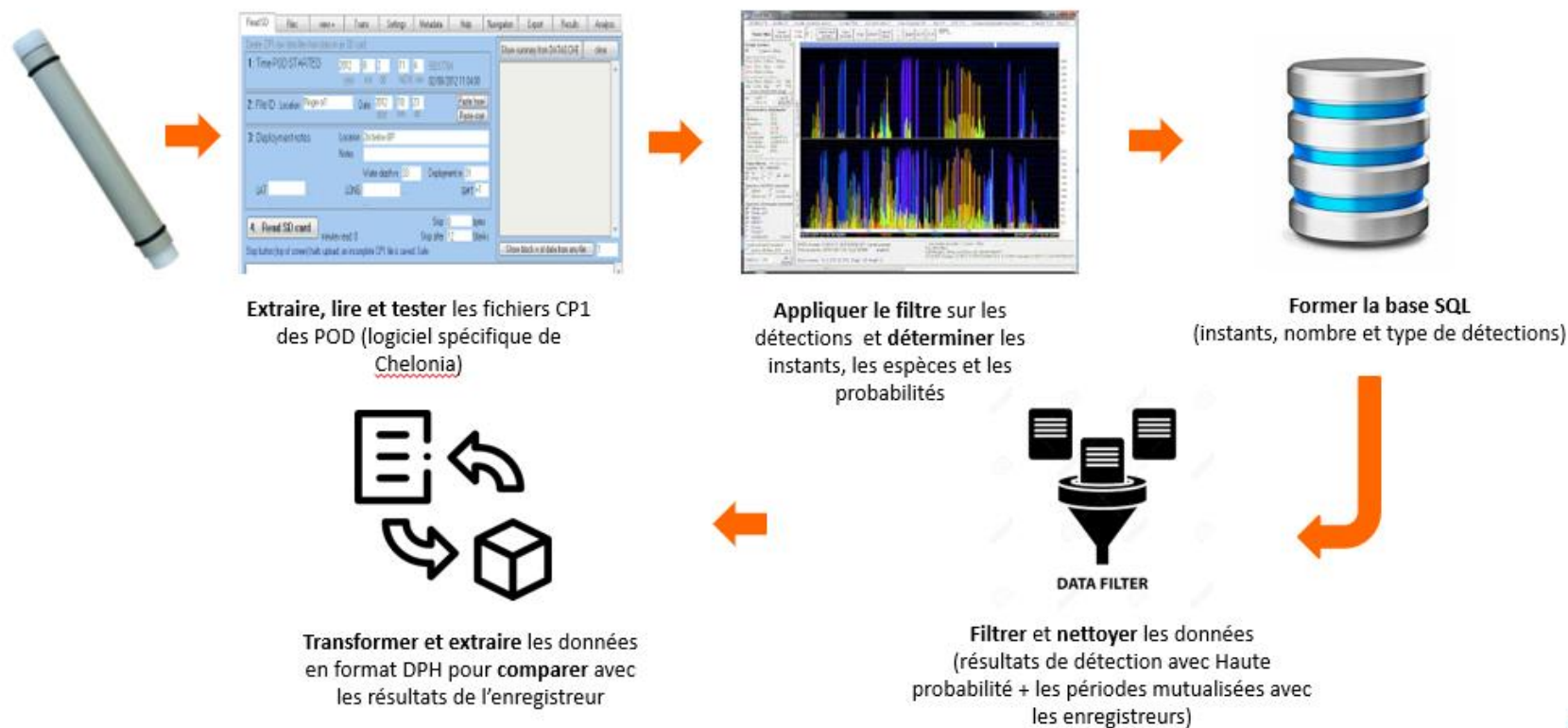


*DPH : nombre de Détections Positif par Heure

SINAY

Figure 82 : Méthode de comparaison des données bioacoustiques, traitements des données.

Méthode de comparaison C-POD et F-POD

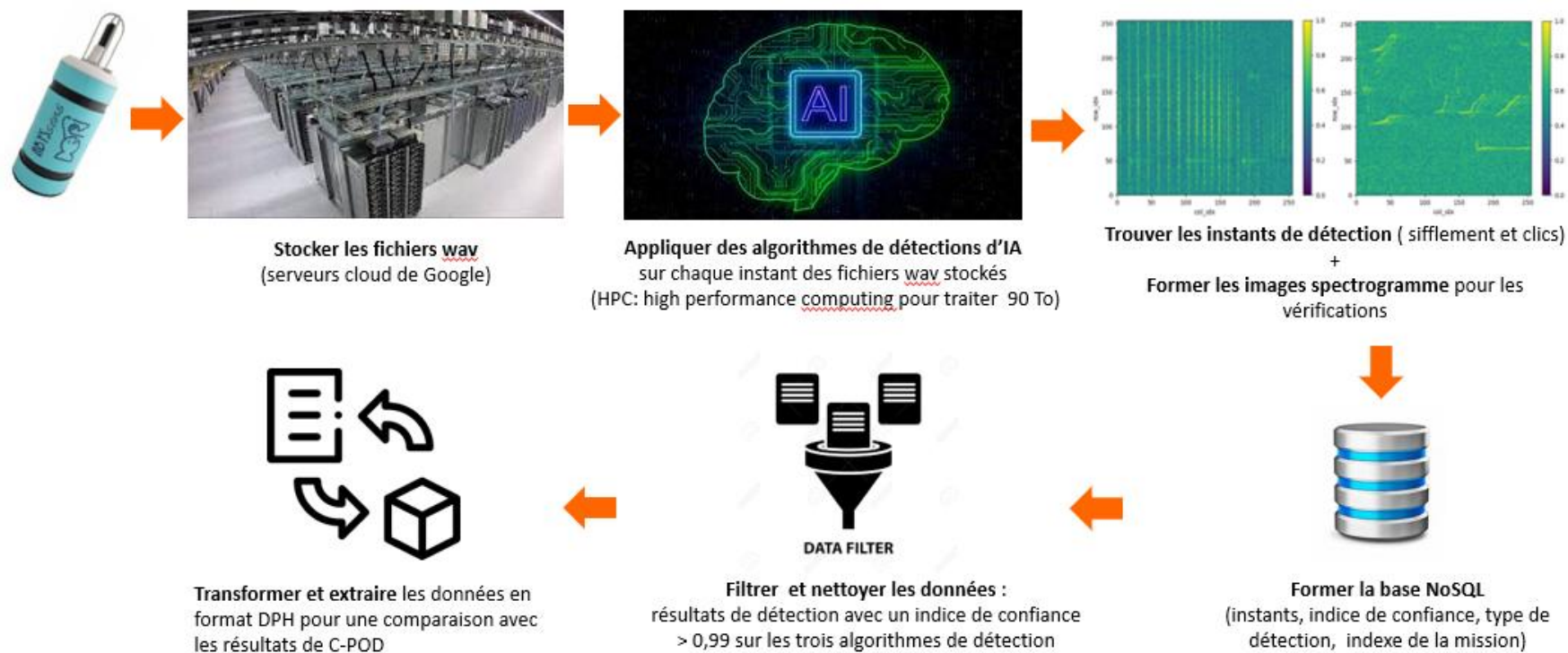


SINAY

Figure 83 : Méthode de comparaison des CPOD et FPOD

Méthode de comparaison

Enregistreur DORI



SINAY

Figure 84 : Méthode de comparaison des données bioacoustiques, enregistreur DORI.

10.4 PARAMETRES DES ENREGISTREURS ACOUSTIQUES

Tableau 26 : Synthèse des caractéristiques et paramètres des enregistreurs déployés,

Caractéristiques et paramétrages des enregistreurs	
	
Marque et modèle	ABYSSens – DORI M
Stations équipées	A, B et Témoin
Paramètres	
Format de l'enregistrement	24 Bits
Stockage	6 cartes µSD
Mode enregistrement	Continu
Format fichier	Audio (Wav,)
Plage de fréquence	180 KHz
Hydrophone	HTI-99-UHF
Amplificateur (gain)	12 dB
Nb batteries alcalines	24
Autonomie d'enregistrement réelle [3 Hz à 150 kHz] / fréquence d'échantillonnage	9 semaines
Dimensions	
Diamètre	145 mm
Longueur	490 mm
Poids	7,1 Kg
Profondeur max	250 m

10.5 VOLUME DE DONNEES COLLECTEES



Figure 85 : Volume en pourcentage des données disponibles et des données manquantes entre novembre 2022 et novembre 2024 pour les enregistreurs modelé DORI (source : Sinay©, 2024).

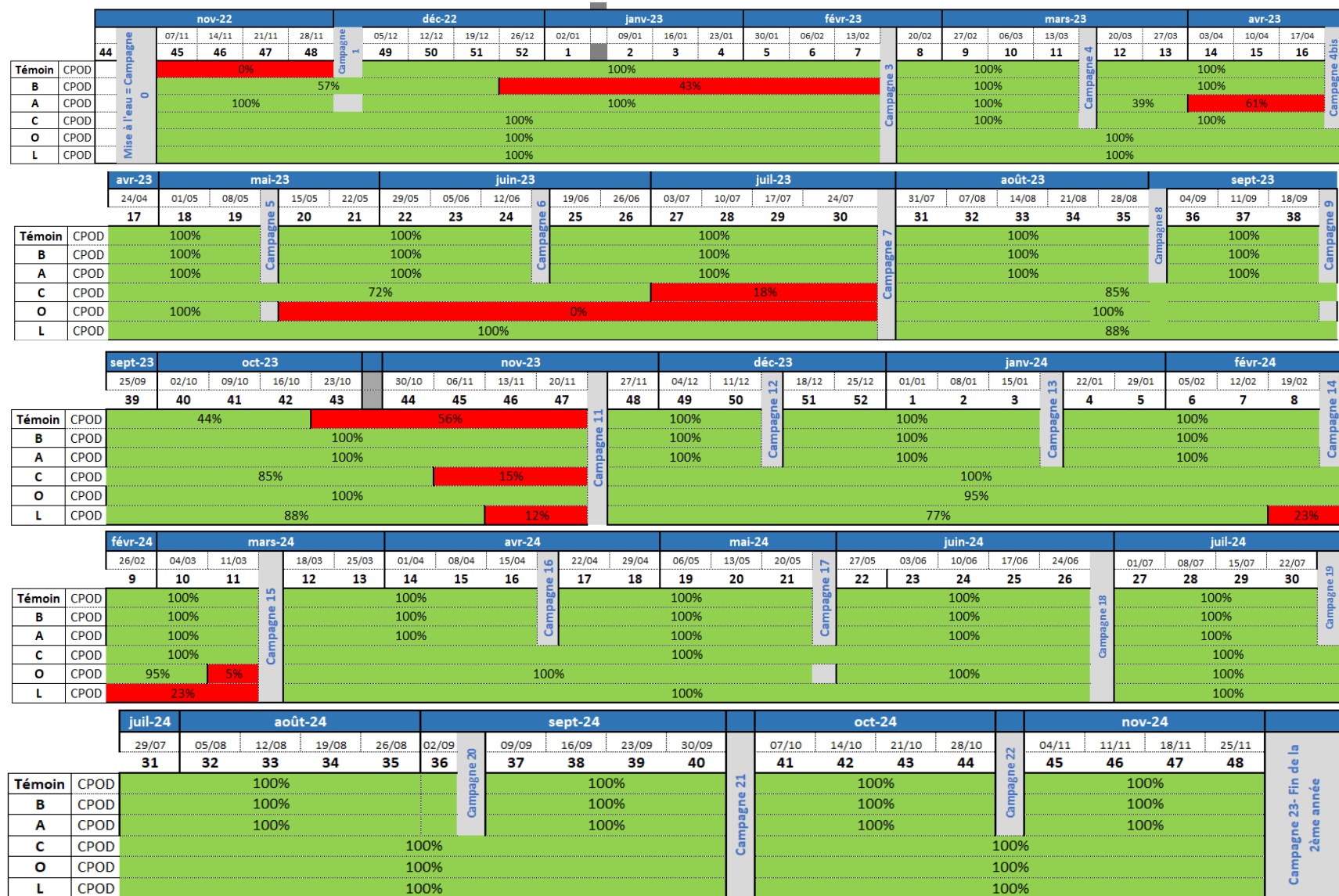


Figure 86 : Volume des données disponibles et des données manquantes entre novembre 2022 et novembre 2024 pour les POD (source : Sinay©, 2024).

10.6 CORRELATION DU BRUIT ET DE LA HAUTEUR D'EAU

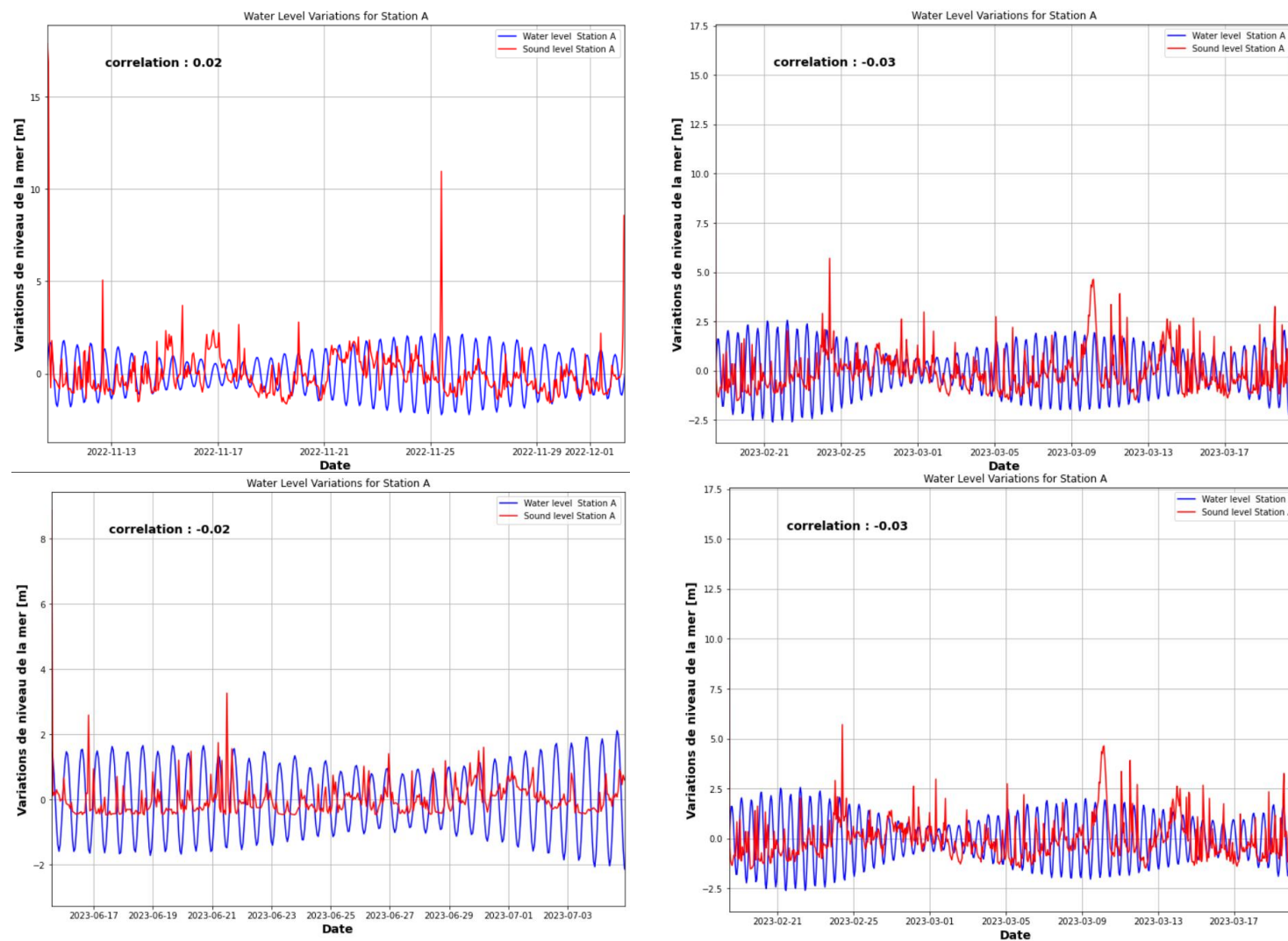


Figure 87 : Evolution du niveau de bruit sous-marin et de la variation du niveau de la mer lors de la première année de suivi dans la station A.

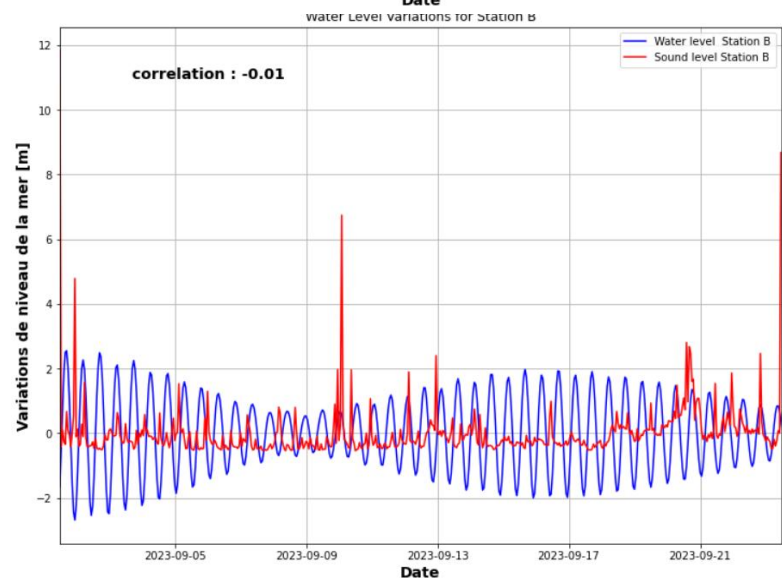
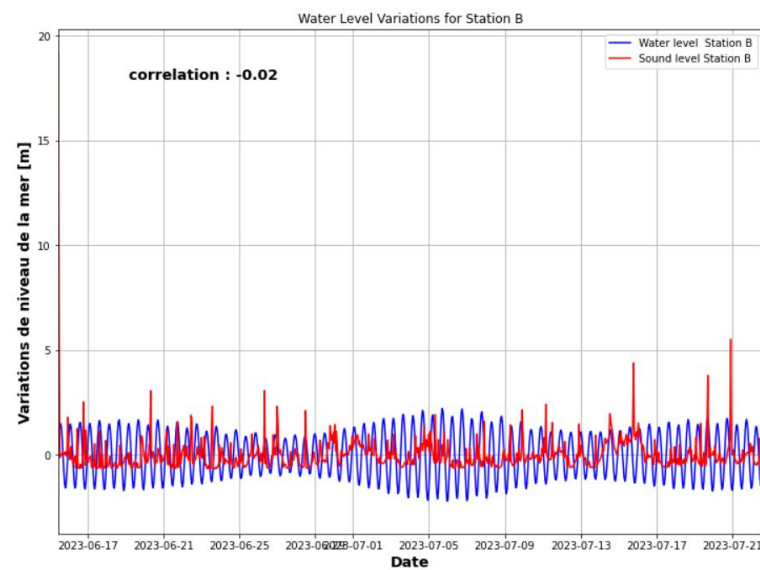
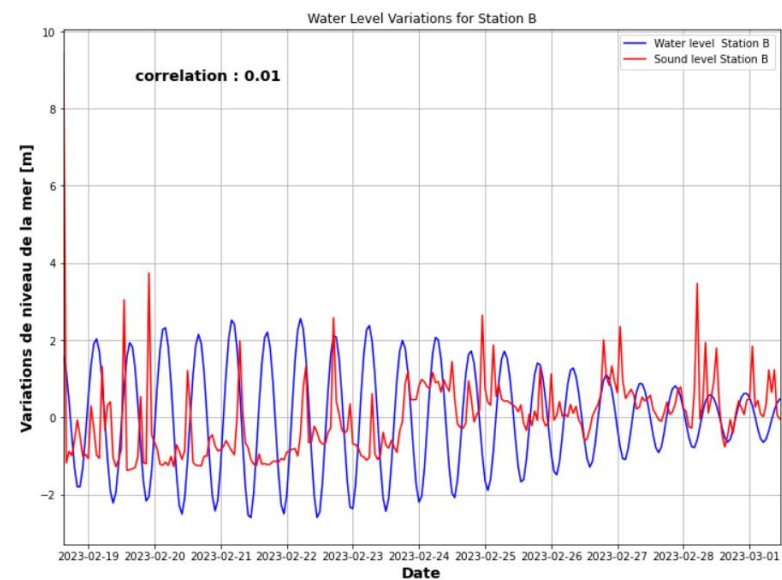
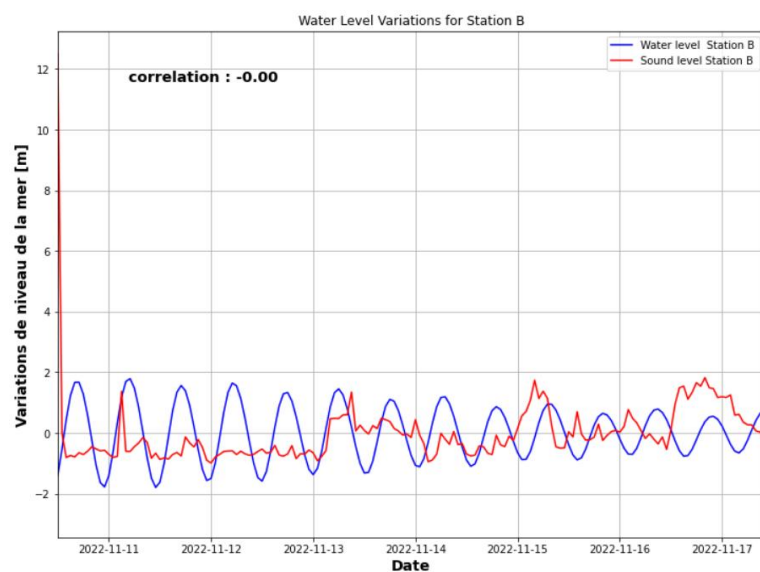


Figure 88 : Evolution du niveau de bruit sous-marin et de la variation du niveau de la mer lors de la première année de suivi dans la station B.

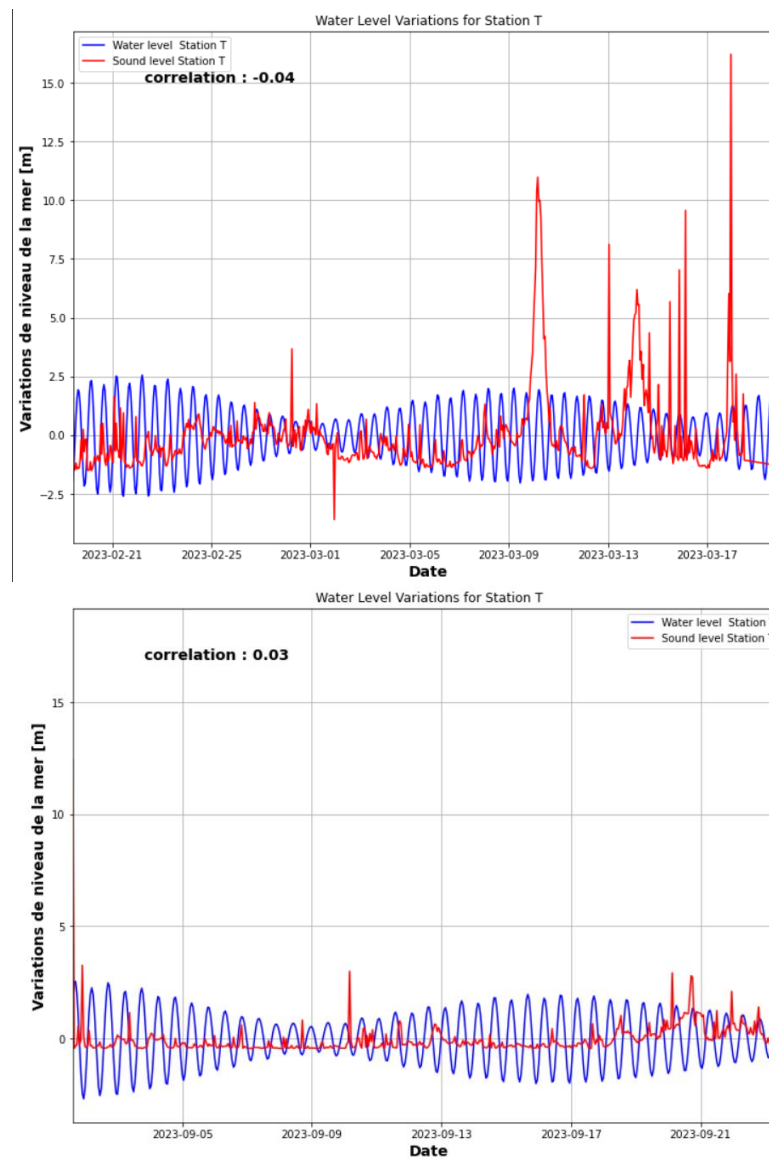
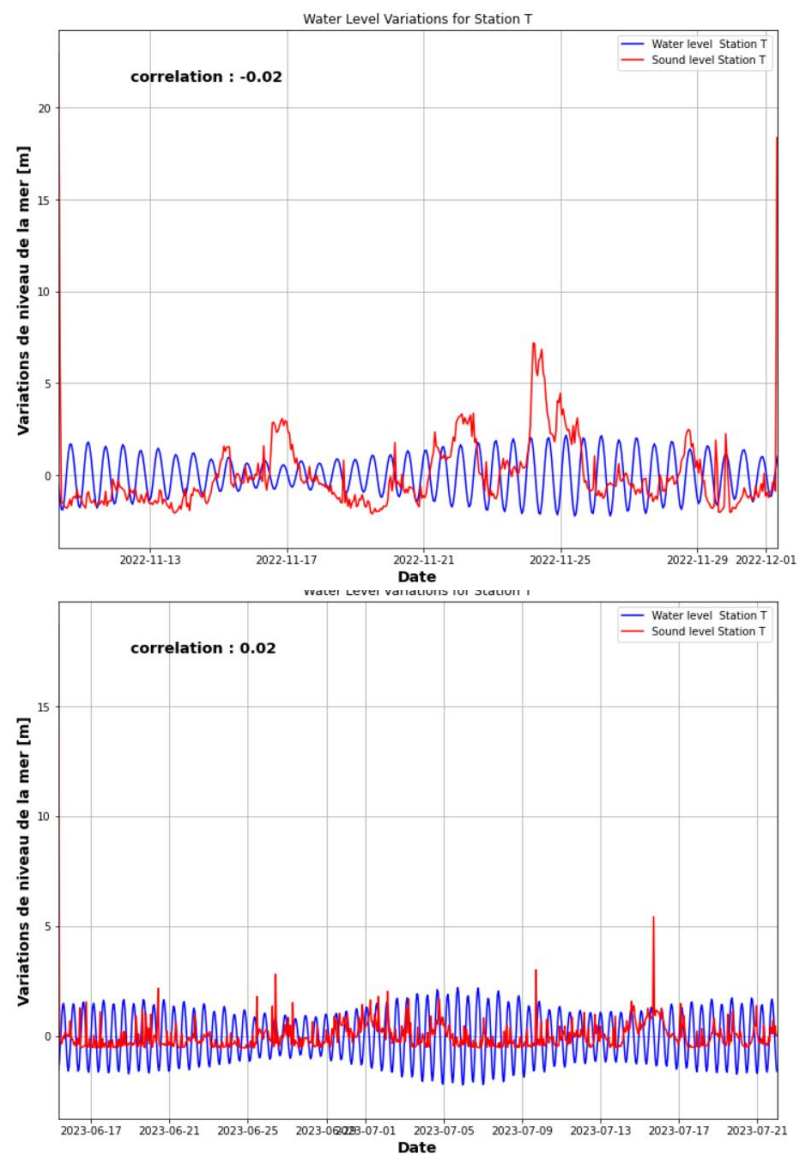


Figure 89 : Evolution du niveau de bruit sous-marin et de la variation du niveau de la mer lors de la première année de suivi dans la station Témoin.

10.7 PERIODES D'ACQUISITION DE DONNEES ET VOLUME DE JOURS COLLECTES

10.7.1 Données acquises par les enregistreurs

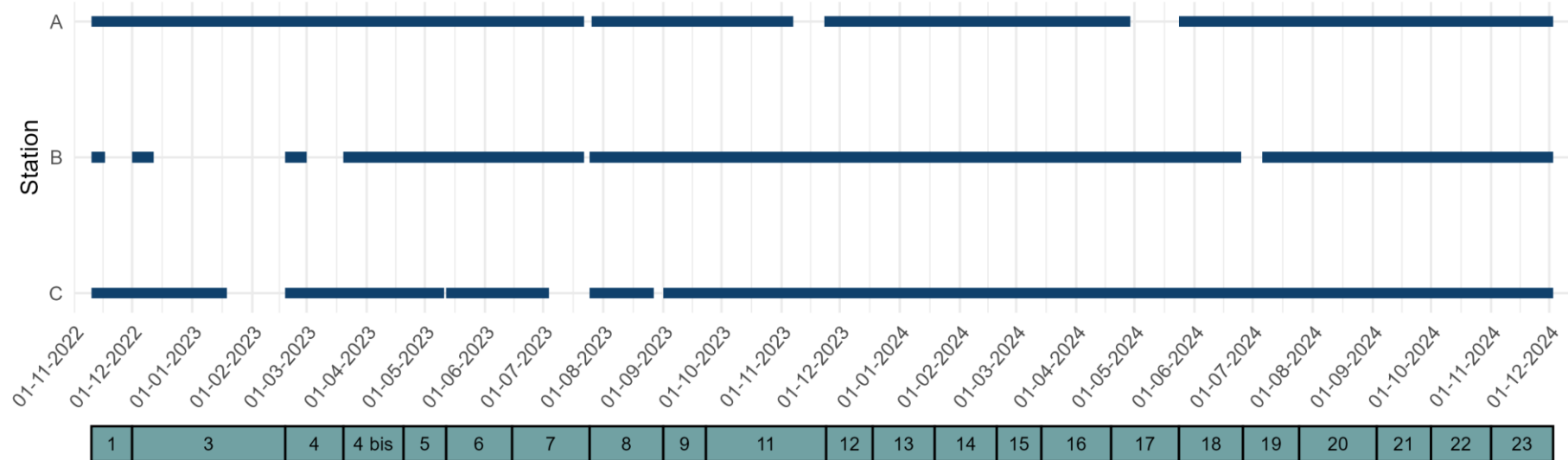


Figure 90 : Périodes d'acquisition des données des enregistreurs (stations A, B et Témoin) du 10/11/2022 au 03/12/2024.

10.7.2 Données acquises par les POD

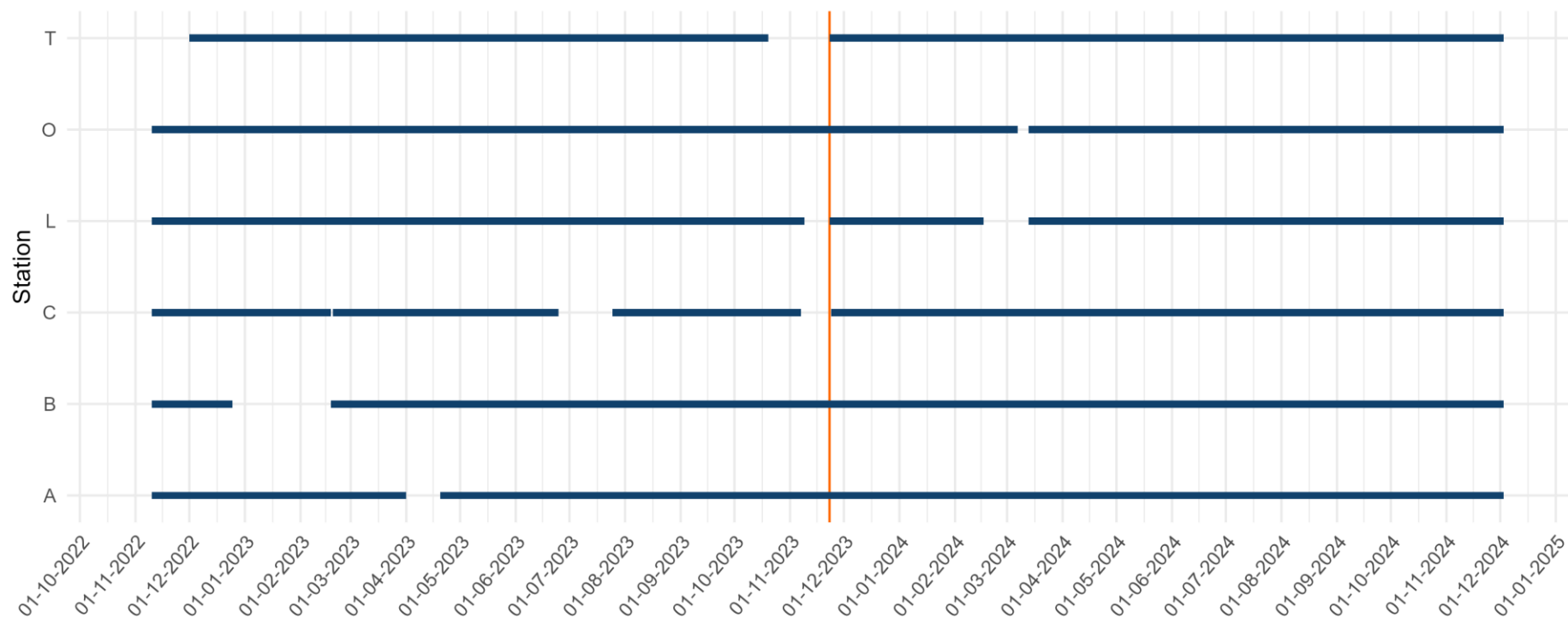


Figure 91 : Périodes d'acquisition de données des POD (stations A, B, C, O, L et Témoin) du 10/11/2022 au 03/12/2024.

10.8 VARIABILITE SAISONNIERE DE LA FREQUENTATION DES CETACES

10.8.1 Variabilité saisonnière (données enregistreurs)

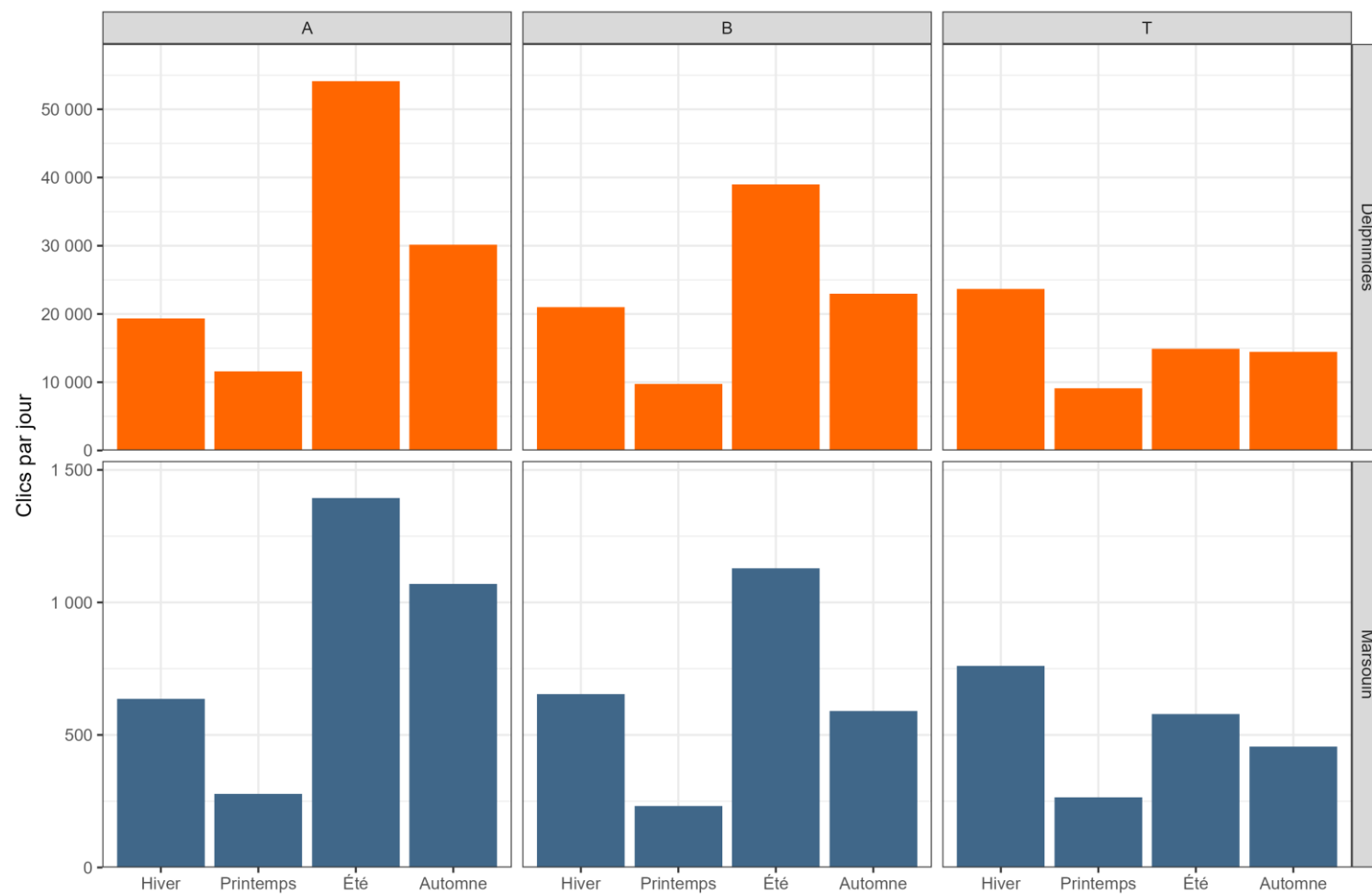


Figure 92 : Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B et Témoin.

10.8.1 Variabilité mensuelle (données enregistreurs)

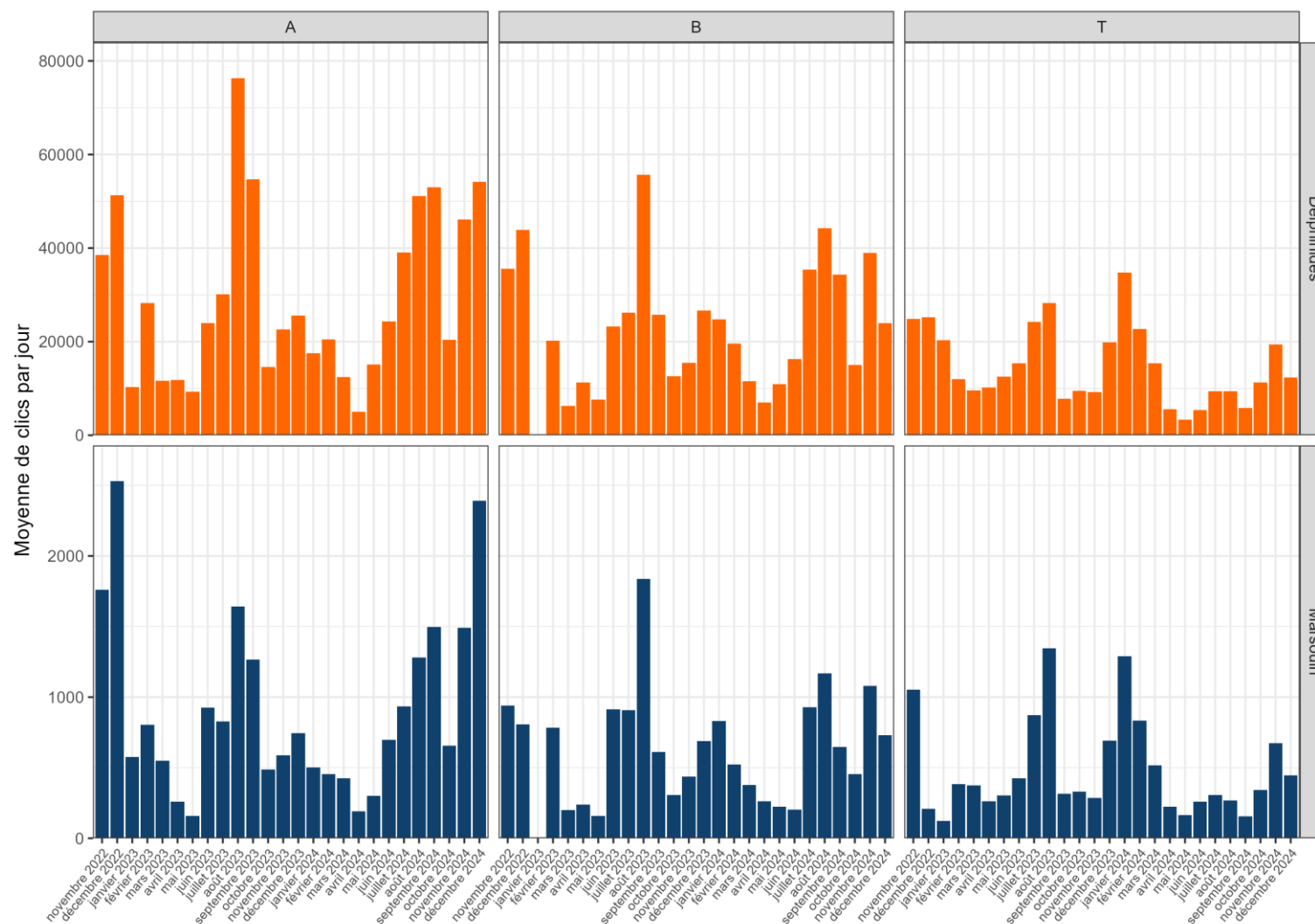


Figure 93 : Activité mensuelle en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B et Témoin.

10.8.2 Variabilité saisonnière (données POD)

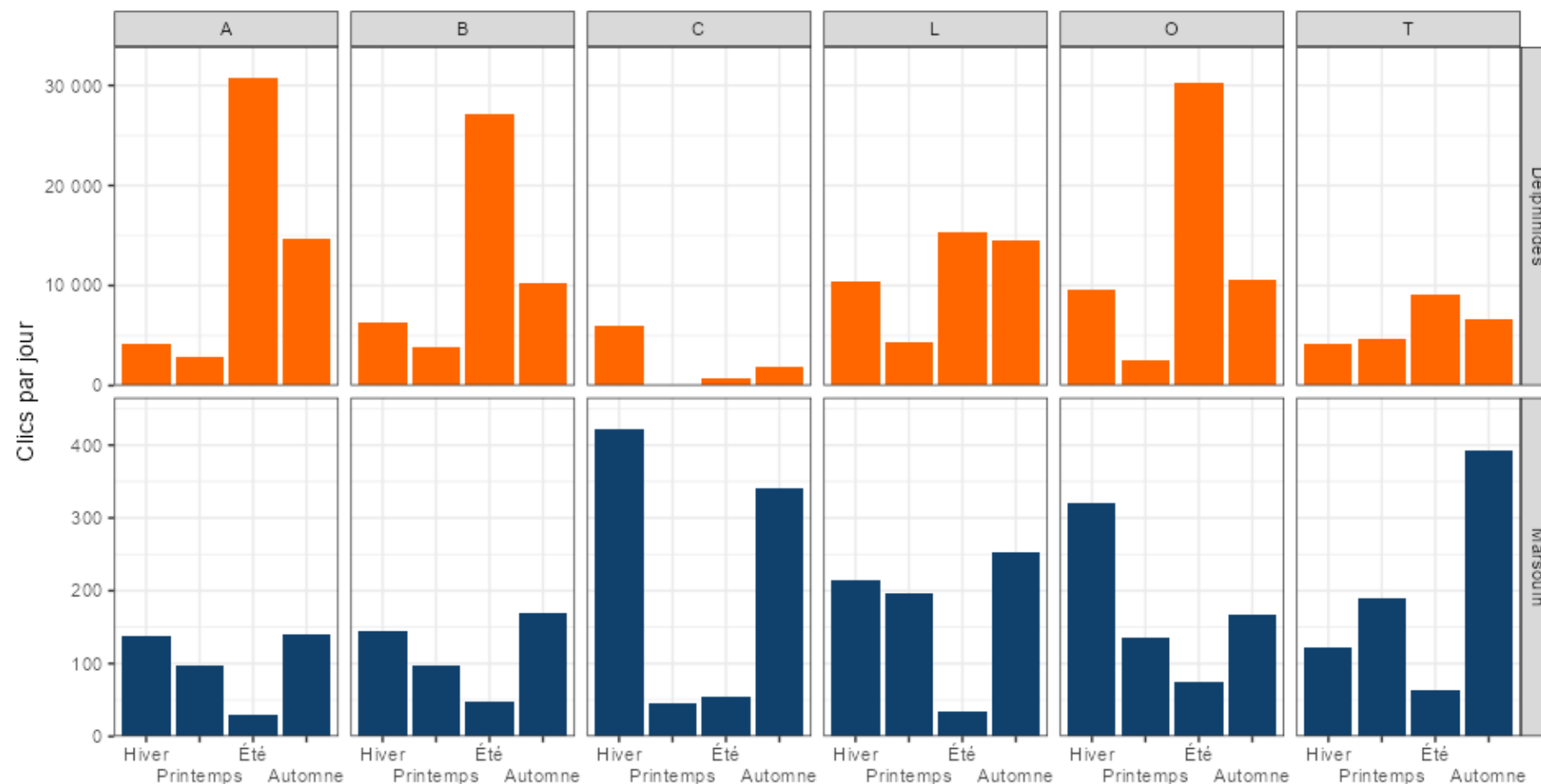


Figure 94 : Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B, C, O, L et Témoin.

10.8.3 Variabilité mensuelle (données POD)

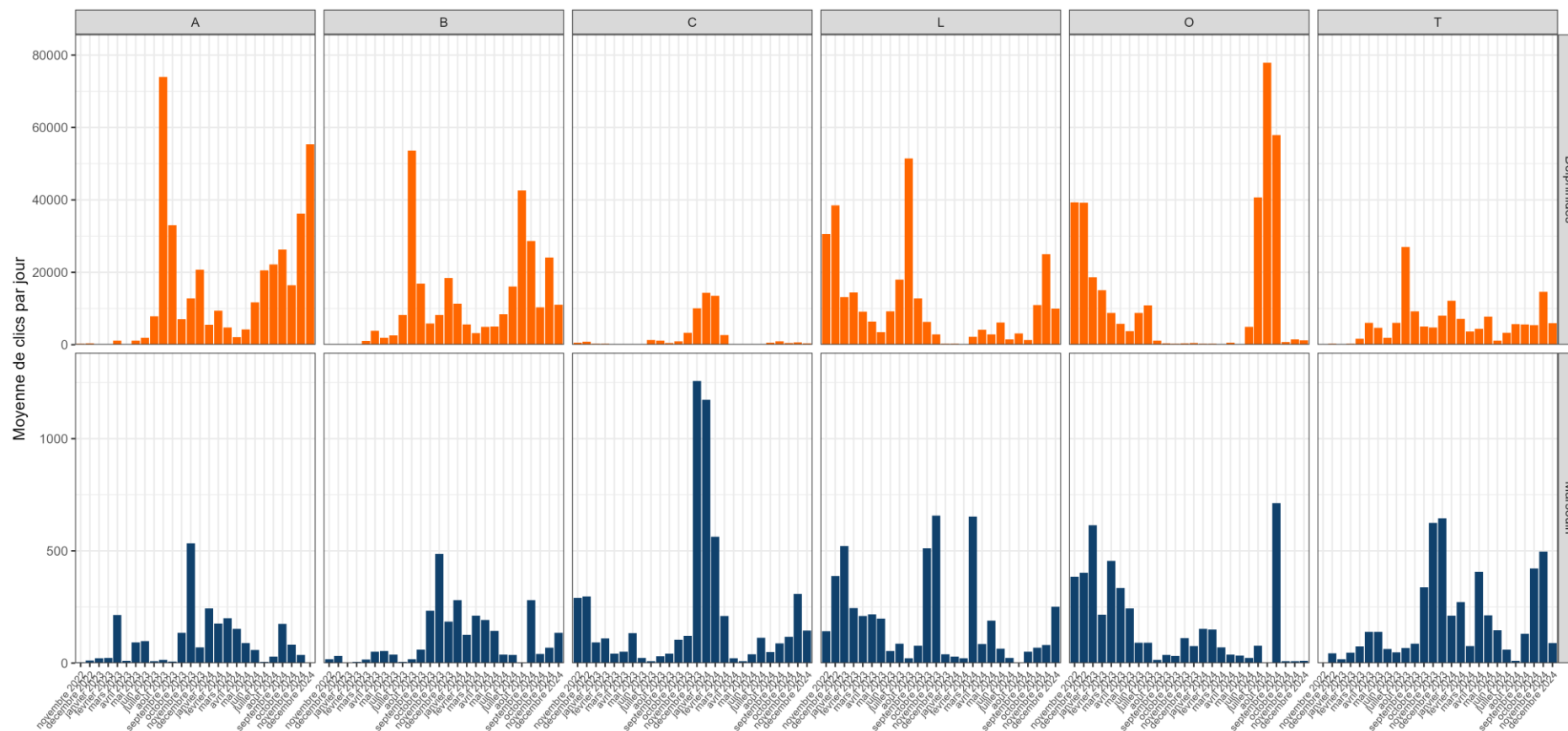


Figure 95 : Activité mensuelle en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B, C, O, L et Témoin.

10.9 VARIABILITE INTERANNUELLE

10.9.1 Résultats des tests (t Student) des données issues des enregistreurs

Tableau 27 : Résultats du test t de Student : Comparaison par paire des stations et des années d'étude sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins (années 2022-2023 et 2023-2024 des données enregistreurs)

Espèces	Année étudiée	y	Groupe 1	Groupe 2	n1	n2	p p.signif	p	p.signif	p.adj.signif
Delphinidés	2022-2023	Nclx	A	B	5156	4618	$8,5 \cdot 10^{-18}$	****	$1,7 \cdot 10^{-17}$	****
Delphinidés	2022-2023	Nclx	A	T	5156	4451	$6,48 \cdot 10^{-45}$	****	$1,95 \cdot 10^{-44}$	****
Delphinidés	2022-2023	Nclx	B	T	4618	4451	$5,23 \cdot 10^{-08}$	****	$5,23 \cdot 10^{-08}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	A	B	6502	5852	$2,7 \cdot 10^{-6}$	****	$2,7 \cdot 10^{-6}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	A	T	6502	4579	$2,66 \cdot 10^{-42}$	****	$7,97 \cdot 10^{-42}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	B	T	5852	4579	$1,23 \cdot 10^{-19}$	****	$2,47 \cdot 10^{-19}$	****
Marsouin	2022-2023	Nclx	A	B	7156	7123	$7,96 \cdot 10^{-19}$	****	$1,59 \cdot 10^{-18}$	****
Marsouin	2022-2023	Nclx	A	T	7156	7320	$5,01 \cdot 10^{-32}$	****	$1,5 \cdot 10^{-31}$	****
Marsouin	2022-2023	Nclx	B	T	7123	7320	0,00417	**	0,00417	**
Marsouin	2023-2024	Nclx	A	B	8956	9256	$1,82 \cdot 10^{-10}$	****	$3,63 \cdot 10^{-10}$	****
Marsouin	2023-2024	Nclx	A	T	8956	8354	$1,59 \cdot 10^{-18}$	****	$4,78 \cdot 10^{-18}$	****
Marsouin	2023-2024	Nclx	B	T	9256	8354	0,00949	**	0,00949	**

Tableau 28 : Résultats du test t de Student : Comparaison par paire entre années étudiées sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins par station (années 2022-2023 et 2023-2024 des données enregistreurs).

Espèces	Station	y	Groupe 1	Groupe 2	n1	n2	p p.signif	p	p.signif	p.adj.signif
Delphinidés	A	Nclx	2022-2023	2023-2024	5156	6502	0,00915	**	0,00915	**
Delphinidés	B	Nclx	2022-2023	2023-2024	4618	5852	0,0423	*	0,0423	*
Delphinidés	T	Nclx	2022-2023	2023-2024	4451	4579	0,223	NS	0,223	NS
Marsouin	A	Nclx	2022-2023	2023-2024	7156	8956	$9,5 \cdot 10^{-05}$	****	$9,5 \cdot 10^{-05}$	****
Marsouin	B	Nclx	2022-2023	2023-2024	7123	9256	0,11	NS	0,11	NS
Marsouin	T	Nclx	2022-2023	2023-2024	7320	8354	0,33	NS	0,33	NS

10.9.2 Résultats des tests (t Student) des données issues des POD

Tableau 29 : Résultats du test t de Student : Comparaison par paire des stations et des années d'étude sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins (années 2022-2023 et 2023-2024 des données POD)

Espèces	Année étudiée	y	Groupe 1	Groupe 2	n1	n2	p p.signif	p	p.signif	p.adj.signif
Delphinidés	2022-2023	Nclx	A	B	9116	7744	0,0261	*	0,0522	NS
Delphinidés	2022-2023	Nclx	A	C	9116	7933	$1,73 \cdot 10^{-83}$	****	$2,08 \cdot 10^{-82}$	****
Delphinidés	2022-2023	Nclx	B	C	7744	7933	$6,32 \cdot 10^{-61}$	****	$6,95 \cdot 10^{-60}$	****
Delphinidés	2022-2023	Nclx	A	L	9116	8739	$3,91 \cdot 10^{-39}$	****	$3,52 \cdot 10^{-38}$	****
Delphinidés	2022-2023	Nclx	B	L	7744	8739	$3,02 \cdot 10^{-49}$	****	$3,02 \cdot 10^{-48}$	****
Delphinidés	2022-2023	Nclx	C	L	7933	8739	$2,23 \cdot 10^{-220}$	****	$3,35 \cdot 10^{-219}$	****
Delphinidés	2022-2023	Nclx	A	O	9116	9073	0,18	NS	0,18	NS
Delphinidés	2022-2023	Nclx	B	O	7744	9073	0,000455	***	0,00137	**
Delphinidés	2022-2023	Nclx	C	O	7933	9073	$1,75 \cdot 10^{-94}$	****	$2,28 \cdot 10^{-93}$	****
Delphinidés	2022-2023	Nclx	L	O	8739	9073	$7,11 \cdot 10^{-32}$	****	$5,69 \cdot 10^{-31}$	****
Delphinidés	2022-2023	Nclx	A	T	9116	7723	$6,55 \cdot 10^{-20}$	****	$3,28 \cdot 10^{-19}$	****
Delphinidés	2022-2023	Nclx	B	T	7744	7723	$2,94 \cdot 10^{-11}$	****	$1,18 \cdot 10^{-10}$	****
Delphinidés	2022-2023	Nclx	C	T	7933	7723	$1,34 \cdot 10^{-22}$	****	$8,03 \cdot 10^{-22}$	****
Delphinidés	2022-2023	Nclx	L	T	8739	7723	$4,74 \cdot 10^{-103}$	****	$6,63 \cdot 10^{-102}$	****
Delphinidés	2022-2023	Nclx	O	T	9073	7723	$2,33 \cdot 10^{-25}$	****	$1,63 \cdot 10^{-24}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	A	B	12724	9669	$2,37 \cdot 10^{-13}$	****	$1,18 \cdot 10^{-12}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	A	C	12724	11350	$1,16 \cdot 10^{-116}$	****	$1,4 \cdot 10^{-115}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	B	C	9669	11350	$7,03 \cdot 10^{-179}$	****	$1,05 \cdot 10^{-177}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	A	L	12724	10774	$1,06 \cdot 10^{-87}$	****	$1,06 \cdot 10^{-86}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	B	L	9669	10774	$2,93 \cdot 10^{-144}$	****	$4,11 \cdot 10^{-143}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	C	L	11350	10774	0,0063	**	0,0063	**

Espèces	Année étudiée	y	Groupe 1	Groupe 2	n1	n2	p p.signif	p	p.signif	p.adj.signif
Delphinidés	2023-2024	Nclx	A	O	12724	11184	0,00289	**	0,00579	**
Delphinidés	2023-2024	Nclx	B	O	9669	11184	0,0000144	****	$4,31 \cdot 10^{-5}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	C	O	11350	11184	$2,25 \cdot 10^{-139}$	****	$2,92 \cdot 10^{-138}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	L	O	10774	11184	$3,06 \cdot 10^{-108}$	****	$3,36 \cdot 10^{-107}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	A	T	12724	9670	$1,28 \cdot 10^{-41}$	****	$8,96 \cdot 10^{-41}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	B	T	9669	9670	$5,9 \cdot 10^{-85}$	****	$5,31 \cdot 10^{-84}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	C	T	11350	9670	$1,25 \cdot 10^{-16}$	****	$7,52 \cdot 10^{-16}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	L	T	10774	9670	$2,75 \cdot 10^{-08}$	****	$1,1 \cdot 10^{-7}$	****
Delphinidés	2023-2024	Nclx	O	T	11184	9670	$5,91 \cdot 10^{-57}$	****	$4,73 \cdot 10^{-56}$	****
Marsouin	2022-2023	Nclx	A	B	8592	7744	0,858	NS	1	NS
Marsouin	2022-2023	Nclx	A	C	8592	7933	0,506	NS	1	NS
Marsouin	2022-2023	Nclx	B	C	7744	7933	0,41	NS	1	NS
Marsouin	2022-2023	Nclx	A	L	8592	8739	$6,17 \cdot 10^{-12}$	****	$9,26 \cdot 10^{-11}$	****
Marsouin	2022-2023	Nclx	B	L	7744	8739	$6,29 \cdot 10^{-12}$	****	$9,26 \cdot 10^{-11}$	****
Marsouin	2022-2023	Nclx	C	L	7933	8739	$1,3 \cdot 10^{-09}$	****	$1,3 \cdot 10^{-08}$	****
Marsouin	2022-2023	Nclx	A	O	8592	9073	$5,5 \cdot 10^{-10}$	****	$6,05 \cdot 10^{-09}$	****
Marsouin	2022-2023	Nclx	B	O	7744	9073	$5,04 \cdot 10^{-10}$	****	$6,05 \cdot 10^{-09}$	****
Marsouin	2022-2023	Nclx	C	O	7933	9073	$6,6 \cdot 10^{-08}$	****	$5,28 \cdot 10^{-07}$	****
Marsouin	2022-2023	Nclx	L	O	8739	9073	0,46	NS	1	NS
Marsouin	2022-2023	Nclx	A	T	8592	7723	0,986	NS	1	NS
Marsouin	2022-2023	Nclx	B	T	7744	7723	0,848	NS	1	NS
Marsouin	2022-2023	Nclx	C	T	7933	7723	0,528	NS	1	NS
Marsouin	2022-2023	Nclx	L	T	8739	7723	$2,54 \cdot 10^{-11}$	****	$3,3 \cdot 10^{-10}$	****
Marsouin	2022-2023	Nclx	O	T	9073	7723	$1,8 \cdot 10^{-09}$	****	$1,62 \cdot 10^{-08}$	****
Marsouin	2023-2024	Nclx	A	B	8993	9669	0,59	NS	1	NS

Espèces	Année étudiée	y	Groupe 1	Groupe 2	n1	n2	p p.signif	p	p.signif	p.adj.signif
Marsouin	2023-2024	Nclx	A	C	8993	11350	$3,9 \cdot 10^{-09}$	****	$4,29 \cdot 10^{-08}$	****
Marsouin	2023-2024	Nclx	B	C	9669	11350	$5,44 \cdot 10^{-08}$	****	$5,44 \cdot 10^{-07}$	****
Marsouin	2023-2024	Nclx	A	L	8993	10776	0,0835	NS	0,485	NS
Marsouin	2023-2024	Nclx	B	L	9669	10776	0,0199	*	0,139	NS
Marsouin	2023-2024	Nclx	C	L	11350	10776	$1,08 \cdot 10^{-15}$	****	$1,63 \cdot 10^{-14}$	****
Marsouin	2023-2024	Nclx	A	O	8993	11184	0,248	NS	0,993	NS
Marsouin	2023-2024	Nclx	B	O	9669	11184	0,0808	NS	0,485	NS
Marsouin	2023-2024	Nclx	C	O	11350	11184	$8,28 \cdot 10^{-14}$	****	$1,16 \cdot 10^{-12}$	****
Marsouin	2023-2024	Nclx	L	O	10776	11184	0,536	NS	1	NS
Marsouin	2023-2024	Nclx	A	T	8993	9670	$2,18 \cdot 10^{-07}$	****	0,00000196	****
Marsouin	2023-2024	Nclx	B	T	9669	9670	0,00000223	****	0,0000178	****
Marsouin	2023-2024	Nclx	C	T	11350	9670	0,603	NS	1	NS
Marsouin	2023-2024	Nclx	L	T	10776	9670	$6,73 \cdot 10^{-13}$	****	$8,74 \cdot 10^{-12}$	****
Marsouin	2023-2024	Nclx	O	T	11184	9670	$3,01 \cdot 10^{-11}$	****	$3,62 \cdot 10^{-10}$	****

Tableau 30 : Résultats du test t de Student : Comparaison par paire entre années étudiées sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins par station (années 2022-2023 et 2023-2024 des données POD).

Espèces	Station	y	Groupe 1	Groupe 2	n1	n2	p	p. signif	p.adj	p.adj.signif
Delphinidés	A	Nclx	2022-2023	2023-2024	9116	12724	0,278	NS	0,278	NS
Delphinidés	B	Nclx	2022-2023	2023-2024	7744	9669	$2,07 \cdot 10^{-14}$	****	$2,07 \cdot 10^{-14}$	****
Delphinidés	C	Nclx	2022-2023	2023-2024	7933	11350	$5,59 \cdot 10^{-81}$	****	$5,59 \cdot 10^{-81}$	****
Delphinidés	L	Nclx	2022-2023	2023-2024	8739	10774	$2,84 \cdot 10^{-189}$	****	$2,84 \cdot 10^{-189}$	****
Delphinidés	O	Nclx	2022-2023	2023-2024	9073	11184	0,0415	*	0,0415	*
Delphinidés	T	Nclx	2022-2023	2023-2024	7723	9670	0,463	NS	0,463	NS
Marsouin	A	Nclx	2022-2023	2023-2024	8592	8993	0,137	NS	0,137	NS
Marsouin	B	Nclx	2022-2023	2023-2024	7744	9669	0,00338	**	0,00338	**
Marsouin	C	Nclx	2022-2023	2023-2024	7933	11350	0,00000132	****	0,00000132	****
Marsouin	L	Nclx	2022-2023	2023-2024	8739	10776	8,08E-13	****	8,08E-13	****
Marsouin	O	Nclx	2022-2023	2023-2024	9073	11184	6,63E-09	****	6,63E-09	****
Marsouin	T	Nclx	2022-2023	2023-2024	7723	9670	2,4E-10	****	2,4E-10	****