

## 9. ANNEXES

### 9.1 ANNEXE 1 : RAPPORT FINAL ; BRUIT SOUS-MARIN ET DETECTIONS DES MAMMIFERES MARINS

# 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
<b>Setec énergie environnement</b>  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	<b>Philippe BORNENS</b>  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	<b>Françoise LEVEQUE</b>  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 francoise.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.
1.3	15/04/2025	Révision rapport à 1an	COURAUD L / TECCHIO. S	MAGLIO A.

## Table des matières

<b>Résumé executif .....</b>	<b>362</b>
<b>1. Objectifs de l'étude .....</b>	<b>365</b>
<b>2. Contexte et enjeux .....</b>	<b>366</b>
2.1 Contexte réglementaire.....	367
2.2 Contexte scientifique.....	367
2.3 Contexte biologique .....	369
<b>3. Matériels et méthodes.....</b>	<b>372</b>
3.1 Stratégie d'échantillonnage.....	372
3.1.1 Approche BACI pour le suivi du bruit ambiant	372
3.1.2 Approche BAG pour le suivi des cétacés	373
3.1.3 Aires d'étude	374
3.1.4 Nombre et localisation des points de mesure	377
3.1.5 Calendrier de déploiement des capteurs	380
3.2 Moyens et matériels .....	380
3.2.1 Les enregistreurs et hydrophones	380
3.2.2 Les POD	381
3.2.3 Ligne de mouillage	382
3.2.4 Moyens nautiques	382
3.2.5 Volume des données collectées	383
3.3 Paramètres mesurés et analyse des données de bruit ambiant sous-marin .....	384
3.3.1 Traitements des données audio	384
3.3.2 Modélisation du bruit ambiant	385
3.4 Paramètres mesurés et analyse des cétacés.....	390
3.4.1 Traitement des données bioacoustiques	391
3.4.2 Analyse des performances de détections et implications pour l'interprétation des résultats	391
3.4.3 Indicateurs de présence, fréquentation et comportement des cétacés	392
3.4.4 Analyses spatio-temporelles	393
3.4.5 Dépendances aux conditions environnementales et anthropiques	393
3.4.6 Nature des signaux et possibles significations	394
<b>4. Evolution du niveau de bruit dans la zone d'étude durant la période d'enregistrements</b>	<b>394</b>
4.1 Quantification des niveaux de bruit dans la large bande [25 Hz – 180 kHz] .....	395
4.1.1 Zone Nord du parc – Station A	395
4.1.2 Zone Sud du Parc – Station B	396
4.1.3 Zone Sud-Est hors Parc – Station Témoin	398
4.1.4 Corrélation du bruit aux conditions environnementales	399
4.2 Analyse du bruit par bandes filtrées [63 Hz et 125 Hz] .....	401
4.2.1 Zone Nord du parc – Station A	402

4.2.2 Zone Sud du Parc – Station B	404
4.2.3 Zone Sud-Est hors Parc – Station Témoin	406
<b>4.3 Quantification des niveaux de bruit – Conclusion</b>	<b>408</b>
<b>4.4 Analyse Temps-Fréquence</b>	<b>409</b>
4.4.1 Densités Spectrales de Puissance	410
4.4.2 Densités Spectrales de Puissance ( $L_{p,i}$ ) en tiers d'octaves	411
<b>4.5 Caractérisation des principales sources de bruit dans le paysage sonore</b>	<b>411</b>
4.5.1 Sources de bruit d'origines anthropiques	411
4.5.2 Sources de bruit d'origines météo-océaniques	413
4.5.3 Sources de bruit d'origines biologiques	416
<b>4.6 Synthèse des résultats de mesures</b>	<b>417</b>
<b>4.7 Résultats de la modélisation</b>	<b>418</b>
4.7.1 Printemps	421
4.7.1 Été	423
4.7.1 Automne	425
4.7.1 Hiver	427
<b>4.8 Conclusion de la modélisation</b>	<b>428</b>
<b>5. Evolution des détections des cétacés dans la zone d'étude durant la période d'enregistrement (2022-2024)</b>	<b>430</b>
5.1 Indicateurs d'activité bioacoustique extraits des données des enregistreurs	430
5.1.1 Présence et taux de rencontre des espèces	430
5.1.2 Variabilité temporelle de la fréquentation	432
5.1.1 Analyse comparative des différents sites échantillonnés (BACI)	443
5.2 Indicateurs d'activité bioacoustique extraits des données des POD	447
5.2.1 Présence et taux de rencontre	447
5.2.2 Variabilité temporelle de la fréquentation	449
5.2.3 Analyse comparative des différents sites échantillonnés (BACI et BAG)	462
5.3 Étude comportementale des cétacés	464
5.3.1 Nature des signaux et possibles significations	464
5.3.2 Évolution du comportement des cétacés (données POD)	465
5.3.3 Évolution du comportement des Delphinidés (données enregistreurs)	471
5.4 Synthèse des données de présence et contextualisation	474
5.4.1 Synthèse des données enregistreur et contextualisation.	474
5.4.2 Synthèse des données complémentaires des POD	476
5.4.3 Comparaisons entre les données POD et enregistreurs :	477
5.5 Dépendances aux conditions environnementales et anthropiques	478
5.5.1 Conditions météo-océaniques	478
5.5.1 Bruits d'origines anthropiques	483
<b>6. Conclusion préliminaire de l'analyse de l'état initial</b>	<b>487</b>
6.1 Caractérisation du niveau de bruit	487

6.1	Conclusion sur la présence des mammifères marins .....	488
<b>7.</b>	<b>Limites et perspectives de l'étude .....</b>	<b>490</b>
7.1	Limites .....	490
7.2	Perspectives .....	491
<b>8.</b>	<b>Bibliographie.....</b>	<b>492</b>
<b>9.</b>	<b>Annexes .....</b>	<b>498</b>
9.1	Guide et textes de référence pour la méthodologie d'analyse .....	498
9.2	Description du milieu de propagation pour l'analyse du bruit .....	499
9.2.1	<i>La bathymétrie de la zone d'étude</i> .....	499
9.2.2	<i>Profils célé-bathymétriques</i> .....	500
9.2.3	<i>Propriétés géo-acoustiques du fond</i> .....	501
9.2.4	<i>Contours des marées</i> .....	502
9.3	Méthode comparative de la robustesse des données entre l'acquisition par enregistreur et POD .....	503
9.4	Paramètres des enregistreurs acoustiques .....	506
9.5	Volume de données collectées .....	507
9.6	Corrélation du bruit et de la hauteur d'eau .....	510
9.7	Périodes d'acquisition de données et volume de jours collectes .....	513
9.7.1	<i>Données acquises par les enregistreurs</i> .....	513
9.7.2	<i>Données acquises par les POD</i> .....	514
9.8	Variabilité saisonnière de la fréquentation des cétacés .....	515
9.8.1	<i>Variabilité mensuelle (données enregistreurs)</i> .....	515
9.8.2	<i>Variabilité mensuelle (données POD)</i> .....	516

## Liste des figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'implantation du projet d'éoliennes flottantes au large de la Bretagne Sud (AO5). .....	366
Figure 2 : Schéma de l'approche BACI, adapté de (Secor 2018). .....	373
Figure 3 : Schéma de l'approche BAG, adapté de (Secor, 2017). .....	374
Figure 4 : Définition des aires d'étude acoustique du projet AO5 Bretagne Sud (Sinay, 2024). .....	376
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. ....	379
Figure 6 : enregistreur DORI (ABYSsens©). .....	380
Figure 7 : POD (Chelonia Ltd©) .....	381
Figure 8 : Schéma des lignes de mouillage déployées pour le suivi du bruit ambiant et la détection des cétacés (source : Sinay©, 2022). .....	382
Figure 9 : Le « Minibex » en opération à Brest (Finistère).   Ouest-France (2021). .....	383
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). .....	388
Figure 11 : Niveau de bruit sous-marin mesuré en décibels (dB re $\mu$ Pa.) et la variation de la hauteur d'eau en mètres (m) dans la station A, à l'automne 2022. ....	400
Figure 12 : Niveau de bruit sous-marin mesuré en décibels (dB re $\mu$ Pa.) et la variation de la hauteur d'eau en mètres (m) dans la station A, à l'été 2023. ....	400
Figure 13 : Niveau de bruit sous-marin associé aux espèces benthiques (4 kHz à 20 kHz) mesuré en décibels (dB re $\mu$ Pa) en fonction du cycle nycthéral (en orange les périodes de jour) du 11/11/2022 au 30/11/2022. ....	401
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 novembre 2022 à novembre 2023. ....	408
Figure 15 : Densités Spectrales de Puissance jusqu'à 180 kHz pour chaque station, représentées sur le modèle de Wenz (14/09/2023). .....	410
Figure 16 : Représentation des Densités Spectrales de Puissance (DSP) en tiers d'octaves de 10 Hz à 2 kHz pour chaque station de mesure (Année 1). .....	411
Figure 17 : Spectrogramme illustrant des passages de navires sur la zone Témoin pendant la journée entre le 05/09/2023 et le 06/09/2023. ....	412
Figure 18 : Spectrogramme illustrant des passages de navires sur la zone Témoin pendant la journée entre le 05/09/2023 et le 06/09/2023. ....	412
Figure 19: Spectrogramme illustrant des conditions de tempête sur la station Témoin le 02/11/2023. ....	414
Figure 20 : Représentation des vitesses et directions des vents sur la station Témoin durant le mois de novembre 2023. ....	414
Figure 21 : Spectrogramme illustrant des conditions de tempête sur la station A en octobre 2023. ....	415
Figure 22 : Représentation des vitesses et directions des vents sur la station A durant le mois d'octobre 2023. ....	415
Figure 23 : Spectrogrammes illustrant des clics de cétacés issus des données 2023. ....	416
Figure 24 : Spectrogrammes illustrant des sifflements de cétacés issus des données 2023. ....	417
Figure 25 : Illustration d'une simulation de bruit généré par le trafic maritime avec 215 bateaux à un instant T issue de données AIS. ....	419
Figure 26 : Modélisation du bruit ambiant de la saison du printemps (année 1) - expression des percentiles. ....	421
Figure 27 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'été (année 1) - expression des percentiles. ....	423

Figure 28 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'automne (année 1) - expression des percentiles. ....	425
Figure 29 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'hiver (année 1) - expression des percentiles .....	427
Figure 30 : Répartition temporelle des clics (moyenne journalière) des Marsouins communs (en haut) et des Delphinidés (en bas) sur l'ensemble des campagnes de la première année, toutes stations confondues (A, B et Témoin). ....	430
Figure 31 : Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés dans les stations A, B et Témoin (données enregistreurs campagnes 1 à 11). ....	434
Figure 32 : Résultats du test pour comparaisons des moyennes par paires de Mann-Whitney pour les Delphinidés (données enregistreurs de la 1ère année, stations A, B et Témoin). ....	435
Figure 33 : Résultats du test pour comparaisons des moyennes par paires de Mann-Whitney pour les Marsouins communs (données enregistreurs de la 1ère année, stations A, B et Témoin). ....	436
Figure 34 : Répartition jour/nuit des clics des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B et Témoin. ....	438
Figure 35 : 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. ....	439
Figure 36 : Clics moyens des Delphinidés (à gauche) et des Marsouins (à droite) sur le cycle journalier, par saison et toutes stations confondues (A, B 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). ....	441
Figure 37 : Clics moyens des Delphinidés (sur le cycle journalier, par station (A, B et Témoin), toutes saisons confondues lors de la 1ère année. 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). ....	442
Figure 38 : 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 11. Echelle verticale logarithmique (log10). ....	444
Figure 39 : 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 11. Echelle verticale logarithmique (log10). ....	445
Figure 40 : 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). ....	447
Figure 41 : Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) dans les stations A, B, C, O, L et Témoin (données POD, campagnes 1 à 11). ....	451
Figure 42 : 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). ....	453
Figure 43 : 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). ....	453
Figure 44 : 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, lors de la 1ère année. ....	455
Figure 45 : 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. ....	456
Figure 46 : 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). ....	458

Figure 47 : Clics moyens des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) 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).....	460
Figure 48 : 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) lors de la 1 <sup>ère</sup> année. ....	462
Figure 49 : 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) lors de la 1 <sup>ère</sup> année.....	463
Figure 50 : Activités des Delphinidés par station (données POD, campagnes 1 à 11). ....	465
Figure 51 : Activités des Marsouins par station (données POD, campagnes 1 à 11). ....	466
Figure 52 : Évolution des activités saisonnières des Delphinidés, toutes stations confondues, issue des données POD (année 2022-2023 : campagnes 1 à 11). ....	467
Figure 53 : Évolution des activités saisonnières des Marsouins, toutes stations confondues, issue des données POD (année 2022-2023 : campagnes 1 à 11).....	467
Figure 54 : 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. ....	468
Figure 55 : 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. ....	469
<b>Figure 56 : Activités dominantes des Delphinidés par station et comparaison entre l'année 2022-2023 et 2023-2024 (données enregistreurs, campagnes 1 à 11).</b> .....	<b>471</b>
<b>Figure 57 : Evolution des activités saisonnières des Delphinidés par stations, issue des données enregistreurs (campagnes 1 à 11).</b> .....	<b>472</b>
<b>Figure 58 : Activité des Delphinidés au cours des cycle journalier par saison à l'échelle de l'ensemble des campagnes de la 1<sup>ère</sup> année 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).</b> .....	<b>473</b>
Figure 59 : Conditions environnementales (température de surface (T°C), salinité, vitesse moyenne du courant (m/s) et quantité de phytoplancton (mmol/m3) dans la zone d'étude entre novembre 2022 et décembre 2023. ....	478
Figure 60 : Effets partiels du modèle additif généralisé (GAM) sur l'activité bioacoustique des Delphinidés (données enregistreur en haut, données POD en bas).....	481
Figure 61 : Effets partiels du modèle additif généralisé (GAM) sur l'activité bioacoustique des Marsouins (données enregistreur en haut, données POD en bas).....	483
Figure 62 : Evolution des niveaux de bruit SPL-RMS par saison, toutes stations confondues (stations A, B et Témoin).....	484
Figure 63 : Comparaison de l'activité bioacoustique des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) pendant des pics de bruit et des périodes sans évènements constatés, sur l'ensemble des stations entre novembre 2022 et novembre 2023. ....	485
Figure 64 : Bathymétrie de la zone d'étude élargie (Source : SHOM®).....	499
Figure 65 : Vitesse de propagation du son par saison dans la zone d'étude.....	500
Figure 66 : Nature des fonds de la zone d'étude élargie (Source : SHOM®).....	501
Figure 67 : Contours des basses et pleines mers (Source : SHOM®).....	502
Figure 68 : Méthode de comparaison des données bioacoustiques, traitements des données. ....	503
Figure 69 : Méthode de comparaison des CPOD et FPOD .....	505
Figure 70 : Méthode de comparaison des données bioacoustiques, enregistreur DORI.....	505

Figure 71 : Volume en pourcentage des données disponibles et des données manquantes entre novembre 2022 et novembre 2023 pour les enregistreurs modèle DORI (source : Sinay®, 2023).....	507
Figure 72 : Volume des données disponibles et des données manquantes entre novembre 2022 et novembre 2023 pour les POD (source : Sinay®, 2023).....	509
Figure 73 : 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.....	510
Figure 74 : 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.....	512
Figure 75 : 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.....	512
Figure 76 : Campagnes de déploiements des enregistreurs (Stations A, B et Témoin) pour la première année de suivi (novembre 2022 à novembre 2023).....	513
Figure 77 : Campagnes de déploiements des POD (stations A, B, C, O, L et Témoin) pour la première année de suivi (novembre 2022 à novembre 2023).....	514
Figure 78 : 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 (données « enregistreurs » de la 1 <sup>ère</sup> année).....	515
Figure 79 : 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 (données POD de la 1 <sup>ère</sup> année).....	516

## Liste des tableaux

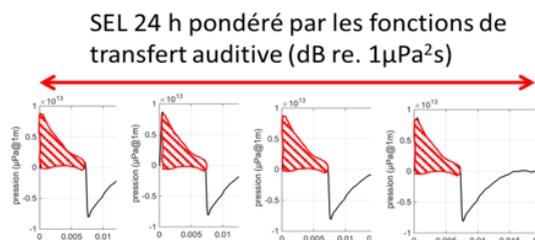
Tableau 1 : Abondance et intervalle de confiance de l'abondance à 95 % (IC) issus des campagnes SAMM cycles I (2011/2012) et II (2021) d'après (Laran S et al., 2022) ; Campagnes PELGAS et EVHOE (Dorémus et al., 2023).....	371
Tableau 2 : Calendrier des interventions en mer réalisées entre novembre 2022 et novembre 2023 pour la collecte des données acoustiques sous-marines de la 1 <sup>ère</sup> année de suivi.....	380
Tableau 3 : Volume de données collectées par les enregistreurs et les POD (entre le 10/11/2022 et le 23/11/2023).....	383
Tableau 4 : Niveaux de bruit L <sub>p</sub> [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 2023).....	395
Tableau 5 : Niveaux de bruit L <sub>p</sub> [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 2023).....	396
Tableau 6 : Niveaux de bruit L <sub>p</sub> [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 2023).....	398
Tableau 7 : Niveaux de bruit L <sub>p</sub> [63 Hz], de la station A (exprimés en dB re 1µPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à automne 2023).....	402
Tableau 8 : Niveaux de bruit L <sub>p</sub> [125 Hz], de la station A (exprimés en dB re 1µPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à automne 2023).....	403
Tableau 9 : Niveaux de bruit L <sub>p</sub> [63 Hz], de la station B (exprimés en dB re 1µPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à automne 2023).....	404
Tableau 10 : Niveaux de bruit L <sub>p</sub> [125 Hz], de la station B (exprimés en dB re 1µPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à automne 2023).....	405
Tableau 11 : Niveaux de bruit L <sub>p</sub> [63 Hz], de la station Témoin (exprimés en dB re 1µPa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2023).....	406

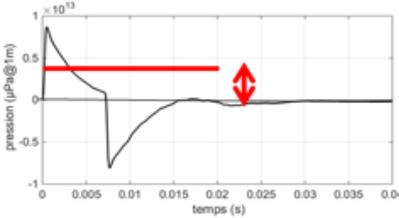
Tableau 12 : Niveaux de bruit $L_p$ [125 Hz], de la station Témoin (exprimés en dB re 1 $\mu$ Pa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2023).....	407
Tableau 13 : Taux de rencontre : proportion d'heures avec détection d'au moins un clic et un sifflement par rapport au nombre d'heures enregistrées, par station (A, B et Témoin) sur l'ensemble des campagnes « enregistreurs » de la 1 <sup>ère</sup> année.....	431
Tableau 14 : 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 de la 1 <sup>ère</sup> année.....	448
Tableau 15 : Variances expliquées des paramètres environnementaux et des facteurs « profondeur », « distance » et « pente » associés au GAM pour les Delphinidés.....	479
Tableau 16 : Variances expliquées des paramètres environnementaux et des facteurs « profondeur », « distance » et « pente » associés au GAM pour les Marsouins. ....	481
Tableau 17 : Evolution du nombre de clic moyen et écart type des Delphinidés et Marsouins dans les deux types de fenêtres : « pendant ou après événement » et « sans événement » dans chaque station. ....	485
Tableau 18 : Synthèse des caractéristiques et paramètres des enregistreurs déployés, .....	506

## 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	<b>Courbe qui présente la capacité auditive d'un animal.</b> 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)	<b>Unité de mesure du niveau de pression acoustique</b> , en échelle logarithmique, relative à une valeur de référence. <b>En acoustique sous-marine, le niveau de référence de la pression sonore est 1 µPa (micropascal), référence différente de l'acoustique aérienne (20 µPa).</b> 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 <b>comment la puissance du signal est distribuée selon les fréquences, avec une résolution de 1 Hz.</b> 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 <b>les seuils de 5 % et 95 % de l'énergie totale du signal sonore sont atteints.</b>
Empreinte acoustique	<b>Zone étendue dans laquelle le bruit est perçu.</b> 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 <b>nombre de vibrations par seconde.</b> Il s'agit de l'unité employée pour exprimer les fréquences.
Indicateur ICI	Analyse de l'indicateur <b>Inter-Clic-Interval (ICI)</b> , 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 <b>considérer les capacités auditives des animaux dans l'évaluation des impacts.</b>
Niveau d'exposition sonore – L <sub>E</sub> (Sound Exposure Level)	<b>Indicateur acoustique qui fournit une mesure de la quantité d'énergie acoustique contenue dans un événement sonore dans un intervalle de temps.</b> 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 µPa <sup>2</sup> s.  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.

L<sub>E</sub> – 24 H



<b>Niveau de pression sonore – L<sub>p</sub> (Sound Pressure Level)</b>	<p><b>Mesure de la pression d'un son par rapport à une valeur de référence (1 micropascal),</b> exprimée en décibels relatifs à 1 µPa.</p> $SPL = 20 \log_{10} \left( \frac{p}{p_{ref}} \right)$ <p>Où <i>p</i> est la pression sonore mesurée et <i>p<sub>ref</sub></i> est la pression sonore de référence.</p>
<b>Percentiles</b>	<p>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 <b>la distribution des niveaux de bruit mesurés ou estimés sur une zone pendant une période donnée.</b></p>
<b>Pertes par propagation TL (Transmission Loss)</b>	<p><b>Perte d'énergie d'une onde acoustique</b> lors de sa propagation de la source vers le récepteur dans un milieu.</p>
<b>POD, (POrpoise Detector)</b>	<p>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.</p>
<b>Pression acoustique</b>	<p><b>Ecart de pression par rapport à la pression de référence</b> provoqué par une onde sonore. L'unité de pression sonore est le Pascal (Pa) ou le décibel (dB).</p>
<b>PTS (Permanent Threshold Shift)</b>	<p><b>Perte d'audition permanente.</b> 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.</p>
<b>Puissance d'un signal en 1/3 d'octave</b>	<p><b>Niveau en dB re 1µPa d'une bande de 1/3 d'octave.</b> En termes mathématiques, il s'agit de l'intégrale de la densité spectrale de puissance du signal entre 2 fréquences, <i>f<sub>min</sub></i> et <i>f<sub>max</sub></i>, de la bande en 1/3 d'octave.</p>
<b>Sons impulsifs</b>	<p><b>Bruits transitoires de courte durée</b> 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)</p>
<b>Spectrogramme ou représentation temps-fréquence</b>	<p>Il permet de montrer la <b>distribution de l'énergie d'un signal selon les fréquences</b>, ainsi que son évolution dans le temps.</p>
<b>Niveau de bruit à la source – SL (Source Level)</b>	<p><b>Niveau mesuré à 1 m d'une source sonore</b> (dB re 1 µPa @1m).</p>
<b>RMS (Root Mean Square) sound pressure level (L<sub>p</sub>)</b>	<p>Le niveau de pression sonore RMS, exprimée en dB re 1 µPa, est la moyenne quadratique (ou niveau efficace) <b>de la pression acoustique d'un signal</b> et est généralement utilisé pour caractériser le bruit continu.</p> 
<b>SPL (Sound Pressure Level) zero-to-peak (L<sub>p</sub>,pk)</b>	<p><b>Mesure en dB de la pression acoustique maximale pendant un intervalle de temps donné, mesurée entre zéro et le pic maximum du signal.</b> Cette mesure est généralement utilisée pour caractériser le bruit impulsif (explosions, battage de pieux, etc.).</p>
<b>TTS (Temporary Threshold Shift)</b>	<p><b>Perte d'audition temporaire.</b> 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.</p>

## 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 la présente étude est d'établir les conditions actuelles ou initiales de l'environnement ( $E_0$ ) avant le démarrage du projet de parc éolien. L'établissement de cet état initial est réalisé selon deux axes relatifs, au bruit ambiant sous-marin et à la fréquentation des cétacés. Cet état initial, pourra être utilisé comme référence pour l'évaluation et le suivi des impacts dans les phases successives du projet.

La présente étude est réalisée selon l'approche méthodologique *BACI* pour le compartiment bruit ambiant et *BACI-BAG* pour le compartiment cétacés. Les approches *BACI* (acronyme anglais pour *Before After Control Impact*) et *BAG* (*Before After Gradient*) sont à la base des choix méthodologiques pour la collecte de données et les analyses menées.

L'établissement de cet état initial passe par une acquisition des données au moyen d'équipements immergés en mer pendant 12 mois de novembre 2022 à novembre 2023 (soit un volume d'environ 100 To de données pour une couverture comprise entre 79,8 % et 91,9 % du plan d'échantillonnage total). Ces équipements, enregistreurs acoustiques et détecteurs de clics (POD), permettent d'acquérir des données sur le paysage acoustique de la zone d'étude, ainsi que les détections des cétacés (pour les enregistreurs, les POD n'étant utiles que pour la détection des clics de cétacés).

Concernant l'étude du bruit ambiant, les données collectées par les enregistreurs sur le bruit ont permis de générer des indicateurs de bruit afin de conduire des analyses temporelles et de caractériser les bruits typiques auxquels la vie marine est exposée quotidiennement sur plusieurs sites et plusieurs saisons. Ces mêmes données ont également permis de réaliser des analyses fréquentielles permettant de visualiser la répartition de l'énergie par fréquence. Ces analyses fréquentielles ont permis de différencier la prépondérance des types de sources présentes : anthropiques (trafic maritime) ou naturelles (condition météo-océanique). Finalement, la présente étude a conduit à réaliser une modélisation du bruit anthropique en surface (trafic maritime) sur les zones d'étude afin de déterminer la répartition cartographique du bruit anthropique par saisons, et selon plusieurs indicateurs statistiques (percentiles et moyennes).

Concernant l'étude des cétacés, les données collectées par l'ensemble des stations de mesures ont permis d'identifier le nombre de clics par heure et d'exprimer un nombre de détections positives par heures (DPH) comme unités d'étude. Sur la base de ces données des informations sur la présence, la fréquentation et les comportements des cétacés ont pu être définis. Afin d'expliquer ces résultats, des analyses statistiques sur les possibles dépendances aux conditions météo-océaniques, environnementales et anthropique ont été réalisées.

### Résultats

L'étude du paysage sonore sous-marin dans la gamme de fréquences [25 Hz – 180 kHz] révèle que le niveau de bruit moyen pour l'ensemble des stations de mesures avoisine les 100 dB re  $\mu$ Pa et présente une grande stabilité avec des variations très faibles. Une tendance générale montre un niveau de bruit moyen plus élevé en hiver qu'en été sur l'ensemble de la zone d'étude élargie. La différence de bruit entre la zone du parc et Témoin (hors parc) peut être considérée comme négligeable (inférieur 1 dB re  $\mu$ Pa).

L'étude de la gamme de fréquences [63 Hz et 125 Hz] indique que les niveaux de bruit, enregistrés sur une année, pour chaque station (A, B et Témoin) présentent une faible variabilité entre les percentiles 1, 5 et 10. La moyenne comme la médiane du niveau sonore à 63 Hz et 125 Hz avoisinent les 70-72 dB re  $\mu$ Pa. La station A montre un niveau de bruit moyen légèrement plus élevé que les autres stations, avec une différence moyenne d'environ 1,85 dB re  $\mu$ Pa à 63 Hz et d'environ 2,72 dB re  $\mu$ Pa à 125 Hz. Pour l'ensemble des stations, ces niveaux de bruit moyens restent inférieurs à la valeur de 100 dB re  $\mu$ Pa obtenue lors de l'analyse

large bande [25 Hz – 180 kHz], ce qui signifie que les sources de bruit d'origines naturelles et biologiques dominent le bruit anthropique généré par des navires.

Les analyses fréquentielles confirment, que le niveau sonore est peu élevé (indice 1 à 2 du modèle référentiel de Wenz pour le trafic maritime). L'énergie est concentrée principalement dans une bande de fréquences entre 20 Hz et 1000 Hz. Cette gamme de fréquence étant généralement associée aux bruits anthropiques (trafic maritime) ainsi qu'aux fortes pluies. La distribution de l'énergie dans les basses et moyennes fréquences est plus importante dans la zone du parc que dans la zone témoin.

La modélisation du trafic maritime sur les zones d'étude confirme le caractère stable du bruit ambiant avec une variabilité inter-saisonnière limitée. La visualisation cartographique modélisée met en lumière une concentration du bruit en surface plus importante à la côte qu'au large (de l'ordre de 15-20 dB re  $\mu$ Pa) pour l'ensemble des saisons, à l'exception de l'été où la répartition du bruit semble plus homogène entre la côte et le large. A l'échelle de l'aire d'étude éloignée (Golfe de Gascogne), la modélisation indique que, pour toutes les saisons, le niveau de bruit en surface dépasse 120 dB re  $\mu$ Pa seulement pendant 5 % du temps.

L'étude des cétacés a permis d'identifier deux groupes d'espèces sur une période d'un an, à savoir les Delphinidés (famille de Mammifères marins Odontocètes) et les Marsouins communs. À partir de l'analyse de leur activité bioacoustique, l'étude révèle des variations spatio-temporelles significatives sur la zone d'étude.

La fréquentation dans l'ensemble de la zone d'étude est définie par le taux de rencontre des cétacés. À chaque station, une méthode est utilisée pour comparer leur présence moyenne dans toute la zone d'étude. Un pourcentage est calculé pour montrer combien la présence dans chaque station diffère de la moyenne générale. Pour cela, le taux de rencontre est utilisé. Il correspond au nombre d'heures contenant des détections (DPH) divisé par le nombre total d'heures de surveillance. D'après les détections des enregistreurs, le taux de rencontre est de 100 % pour les Delphinidés dans toutes les stations, pour les Marsouins, il varie entre 23,3 % et 33,1 %.

L'activité bioacoustique des cétacés observée est plus importante pendant les mois d'été et lors de la transition entre l'automne et l'hiver. Elle est principalement nocturne pour les Delphinidés avec une intensité accrue entre 17h-18h le soir et jusqu'à 6h-7h le matin. Les Marsouins ont affiché une activité nocturne moins marquée et plus aléatoire selon les stations et les 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) et une préférence pour la zone du large d'autre part. Toutefois, le Marsouin commun affiche une affinité pour la station la plus côtière avec un taux de rencontre maximal de 5,1 % sur la station C équipée d'un POD.

Les analyses *BAG* ont mis en évidence que la présence du Marsouin demeure relativement stable entre les différentes stations, alors que les Delphinidés montrent des différences significatives entre stations et une augmentation graduelle de leur activité dans la zone du parc, de la station A à la station L.

Les conditions environnementales telles que la température de surface, la vitesse du courant et la concentration en phytoplancton exercent une influence sur l'activité bioacoustique. Les variances, qui expliquent l'influence des variables environnementales 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. Les facteurs profondeur et la distance à la côte ont quant à eux un impact limité. Malgré leur sensibilité au bruit sous-marin d'origine anthropique, le niveau de bruit ambiant semble avoir un impact limité sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins.

Cette étude a permis de caractériser le paysage sonore et décrire la fréquentation du site par les Cétacés, considérant les activités anthropiques locales telles que la navigation maritime, les activités de pêche et militaires, 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 Mammifères marins pendant 12 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.

Les limites de cette étude comprennent la portée de détection et la représentativité spatiale, influencées par les caractéristiques acoustiques des cétacés et les conditions environnementales, ainsi que la localisation des points de mesure qui affecte la perception des fréquences élevées près de la surface. De plus, le plan d'échantillonnage a dû être ajusté en raison de l'activité militaire en mer, limitant la mise en œuvre de l'approche *BACI*. La modélisation du bruit ambiant se concentre principalement sur la surface, tandis que l'exploitation des sifflements des mammifères marins pour définir des comportements spécifiques reste complexe et nécessite des approches plus sophistiquées ainsi que la création d'une base de données dédiée.

Cette étude de l'état initial pourra être complétée par l'ajout de données d'une année complémentaire et servir de référence pour les études d'impact à venir.

## 10. 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.

## 11.CONTEXTE ET ENJEUX

La zone couverte par ce rapport est le projet de parc éolien flottant au large de la Bretagne Sud (**Figure 321**).

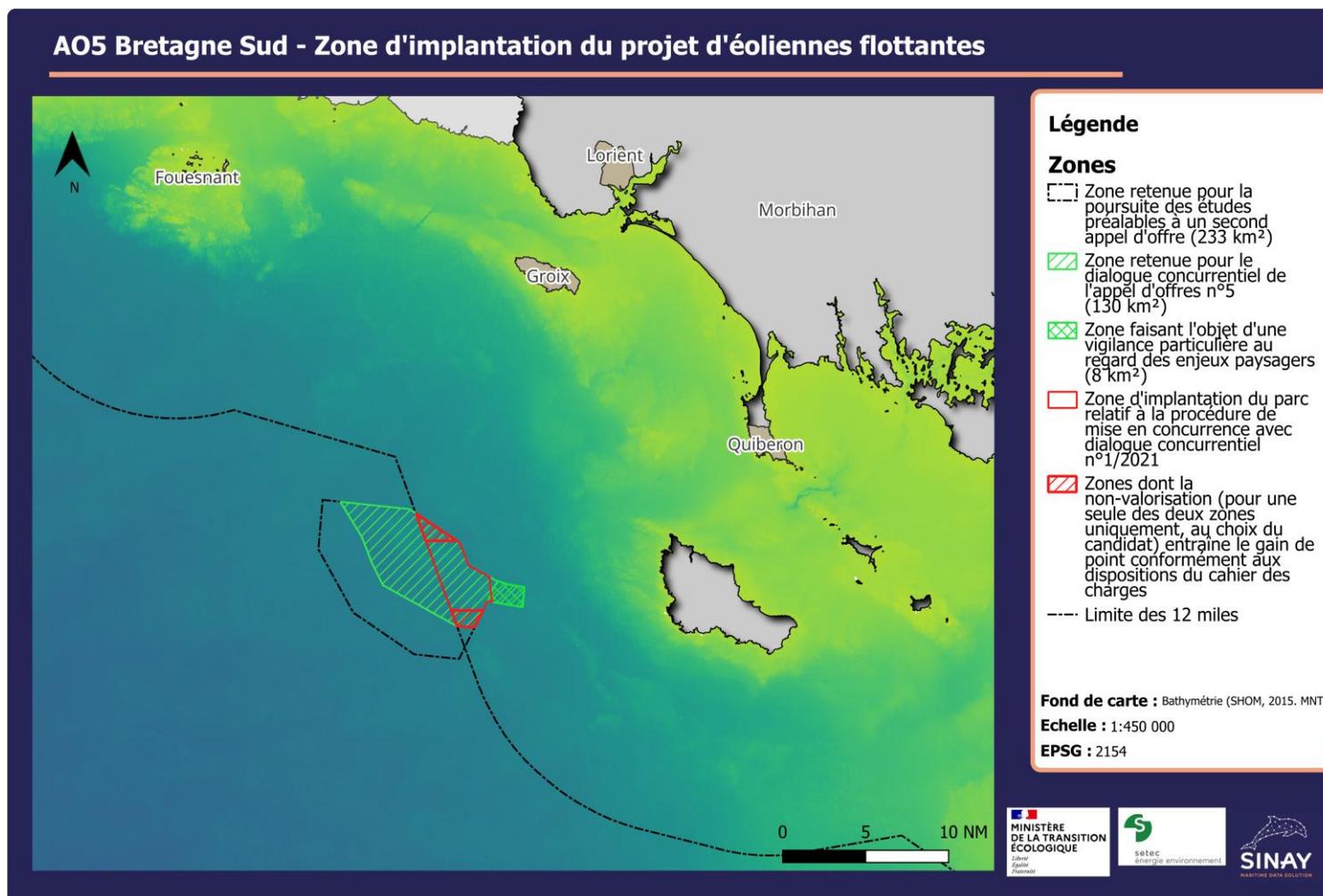


Figure 321 : Localisation de la zone d'implantation du projet d'éoliennes flottantes au large de la Bretagne Sud (AO5).

## 11.1 CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

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)<sup>2</sup>. 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 « Habitats<sup>3</sup> », transposée en droit français par l'arrêté ministériel du 1<sup>er</sup> Juillet 2011 et modifications successives<sup>4</sup>. 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.

## 11.2 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

---

<sup>2</sup> 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)

<sup>3</sup> 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)

<sup>4</sup> Arrêté du 1<sup>er</sup> 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 1<sup>er</sup> 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 1 $\mu$ Pa ( $L_{p, 0-pk}$ ) (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 1 $\mu$ Pa 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)<sup>5</sup>. 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'Énergie (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

---

<sup>5</sup> 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.

### 11.3 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 national<sup>6</sup>, 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 37** (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/km<sup>2</sup>).
- **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.

---

<sup>6</sup> 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 37 : 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	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]									

## 12. 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 **12.1.1** 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.**

### 12.1 STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

#### 12.1.1 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 322**.

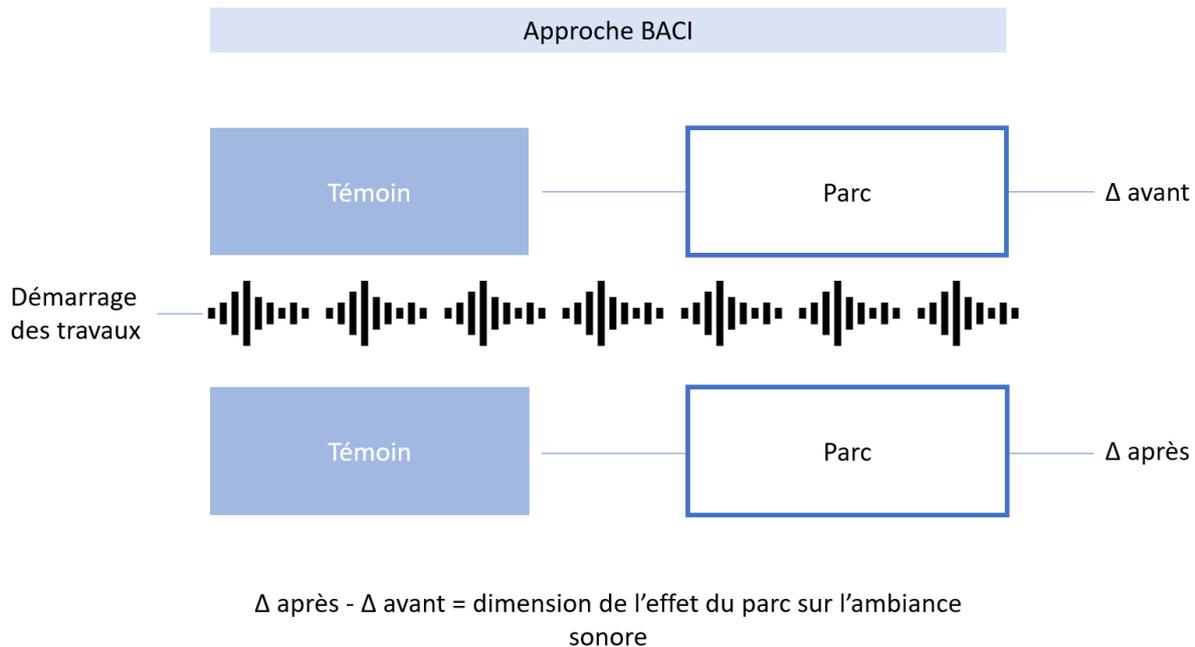


Figure 322 : Schéma de l'approche *BACI*, adapté de (Secor 2018).

### 12.1.2 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 323**.

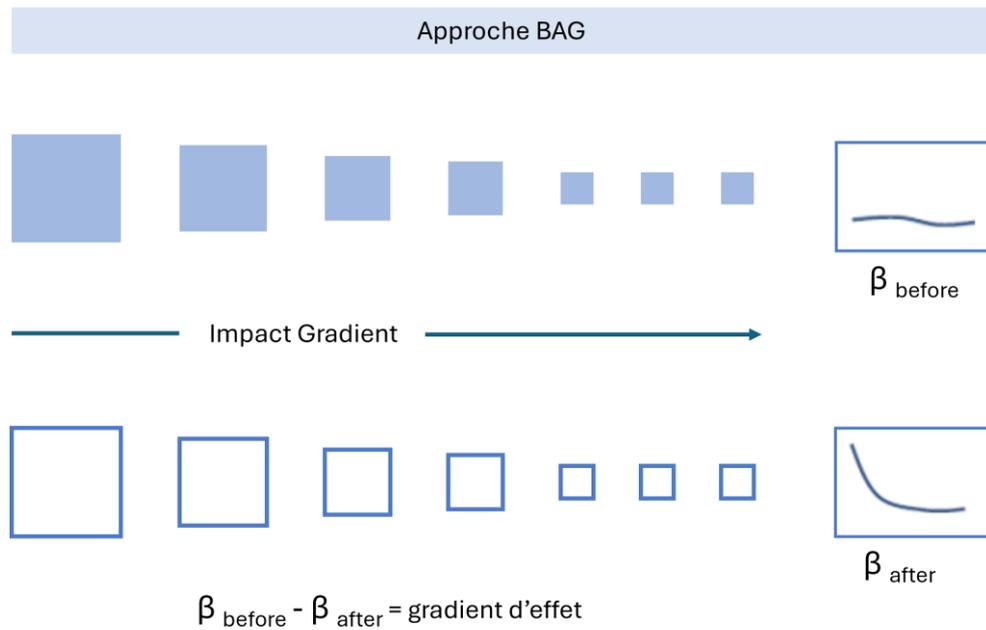


Figure 323 : Schéma de l'approche BAG, adapté de (Secor, 2017)

### 12.1.3 Aires d'étude

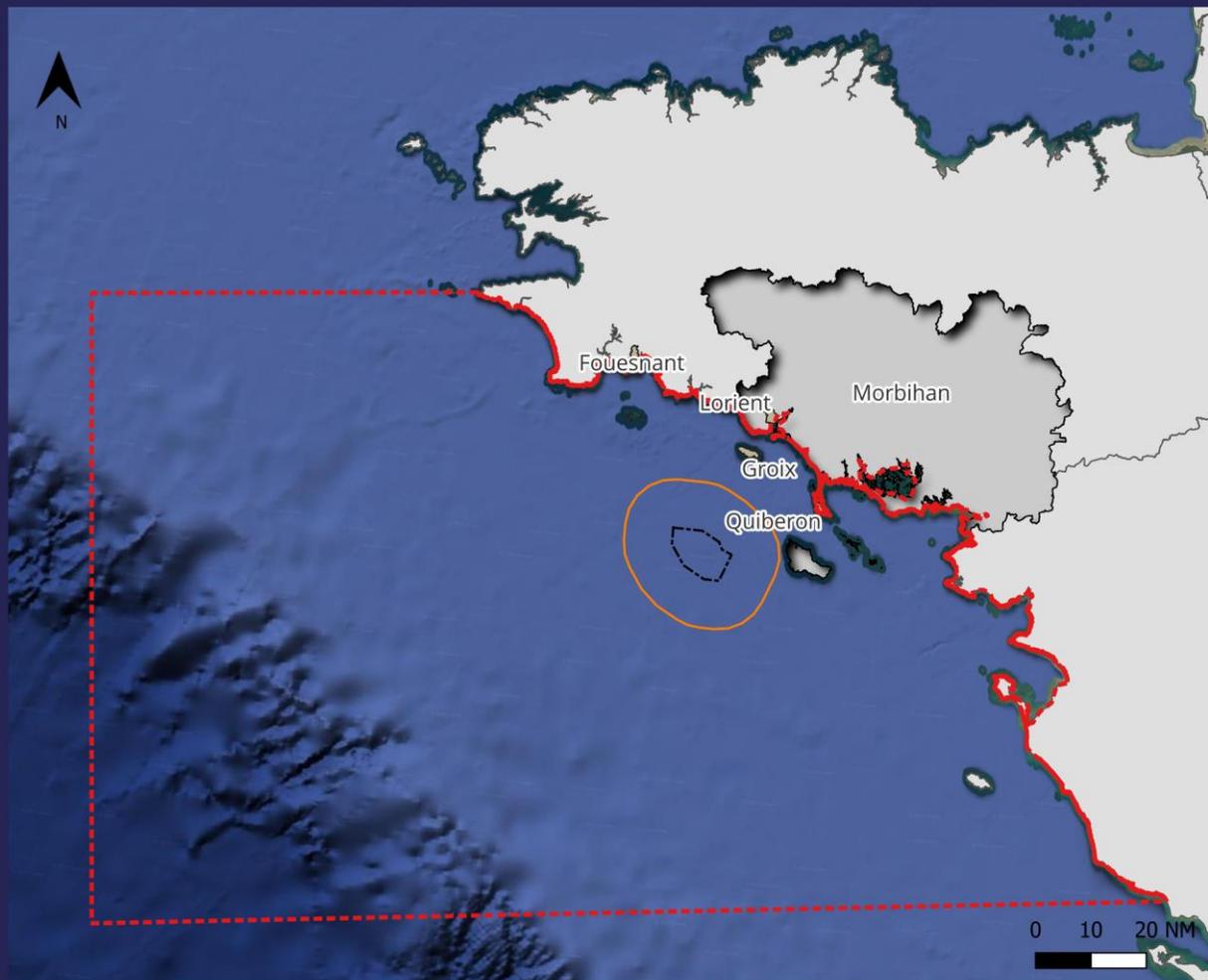
Le terme « aire d'étude » correspond à la zone géographique susceptible d'être impactée par le projet et donc au périmètre pour l'évaluation des impacts. Le choix des aires d'étude peut être modifié ou affiné au cours de l'étude d'impact à venir pour tenir compte des résultats obtenus.

La **Figure 324** 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).

## A05 Bretagne Sud - Aires d'étude acoustique



### Légende

#### Aires d'étude

- Zone d'impact  
(Emprise du futur parc  
éolien)
- Aire d'étude rapprochée  
(Mammifères marins)
- Aire d'étude éloignée  
(Bruit sous-marin)

Fond de carte : Google satellite

Echelle : 1:1 700 000

EPSG : 2154

*Figure 324 : Définition des aires d'étude acoustique du projet AO5 Bretagne Sud (Sinay, 2024).*

#### 12.1.4 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 325**). 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 :

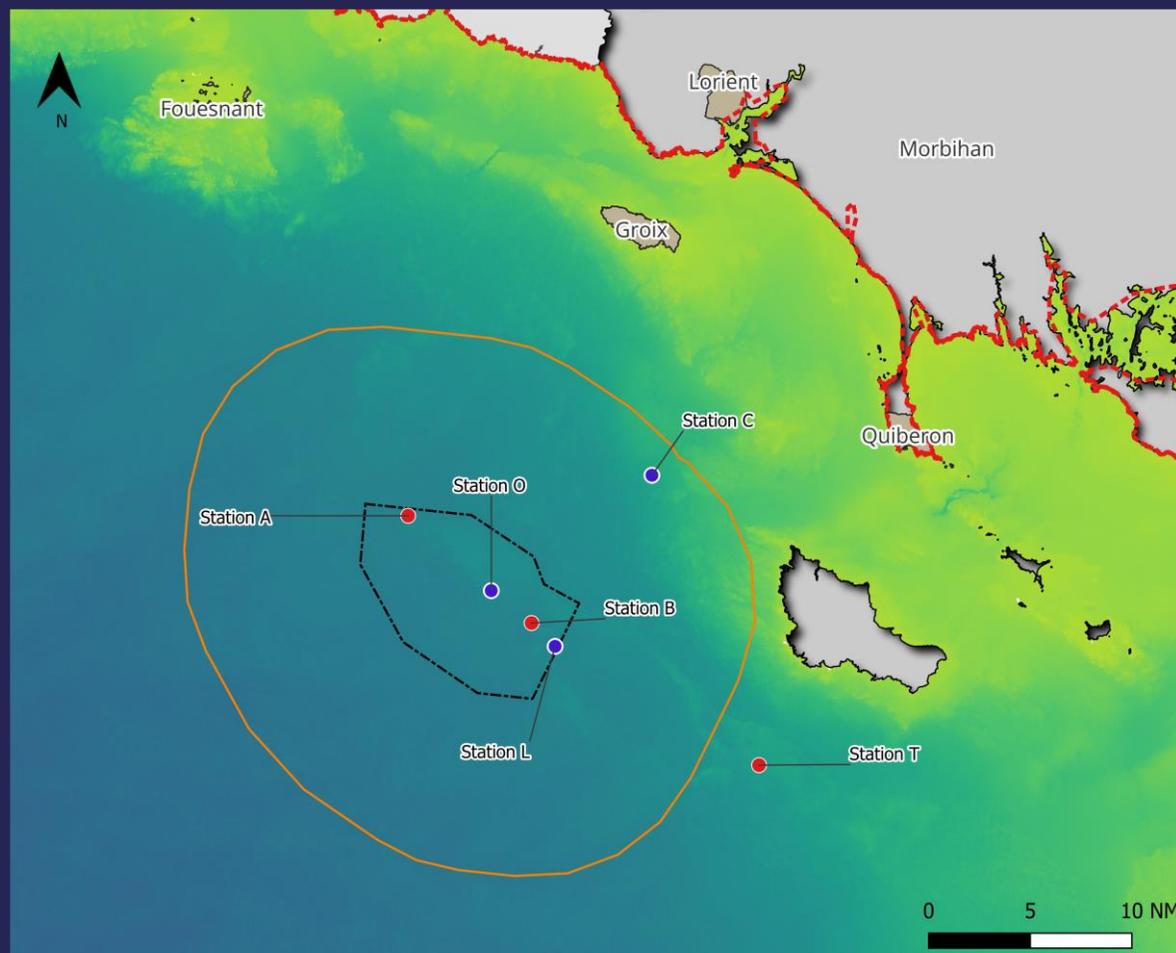
- **Stations A, B et T** : double instrumentation (POD + enregistreur) pour croiser et fiabiliser les données.
- **Stations O, L et C** : équipées uniquement de POD.

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; Nuutila 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.

## AO5 Bretagne Sud - Localisation des instruments acoustiques



### Légende

#### Aires d'étude

-  Zone d'impact  
(Emprise du futur parc éolien)
-  Aire d'étude rapprochée  
(Mammifères marins)
-  Aire d'étude éloignée  
(Bruit sous-marin)

#### Protocoles acoustiques

-  CPOD + hydrophone  
(bruit et Mammifères marin)
-  CPOD seul  
(Mammifères marin)

#### Coordonnées des stations

Degrés minutes décimales  
(EPSG: 4326, WGS 84)

Station A : 47°23.30'N / -3°43.00'W  
 Station B : 47°18.59'N / -3°33.45'W  
 Station T : 47°12.58'N / -3°16.23'W  
 Station C : 47°26.26'N / -3°25.63'W  
 Station O : 47°20.00'N / -3°36.56'W  
 Station L : 47°17.536'N / -3°31.624'W

**Fond de carte :** Bathymétrie (SHOM, 2015, MNT)

**Echelle :** 1:450 000

**EPSG :** 2154

*Figure 325 : 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.*

### 12.1.5 Calendrier de déploiement des capteurs

Le période de collecte de données de la première année s'étale de novembre 2022 à novembre 2023. Les équipements ont été déployés le 10 novembre 2022 sur l'ensemble des stations et remontés le 23 novembre 2023 (**Tableau 38**)<sup>7</sup> pour 12 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 38 : Calendrier des interventions en mer réalisées entre novembre 2022 et novembre 2023 pour la collecte des données acoustiques sous-marines de la 1<sup>ère</sup> année de suivi.*

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	
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	Maintenance et téléchargement des données
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 <sup>ère</sup> année

## 12.2 MOYENS ET MATERIELS

### 12.2.1 Les enregistreurs et hydrophones



*Figure 326 : enregistreur DORI (ABYSsens©).*

Les enregistreurs (**Figure 326**) utilisés pour cette étude sont des systèmes autonomes permettant l'enregistrement numérique des sons sous-marins sur de longues périodes. Grâce à leur configuration

<sup>7</sup> 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.

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 18.4**.
- **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).

### 12.2.2 Les POD



Figure 327 : POD (Chelonia Ltd©)

Les POD commercialisés par Chelonia Ltd© (**Figure 327**), 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.

### 12.2.3 Ligne de mouillage

Le schéma (non à l'échelle) de mouillage utilisé est illustré par la **Figure 328**.

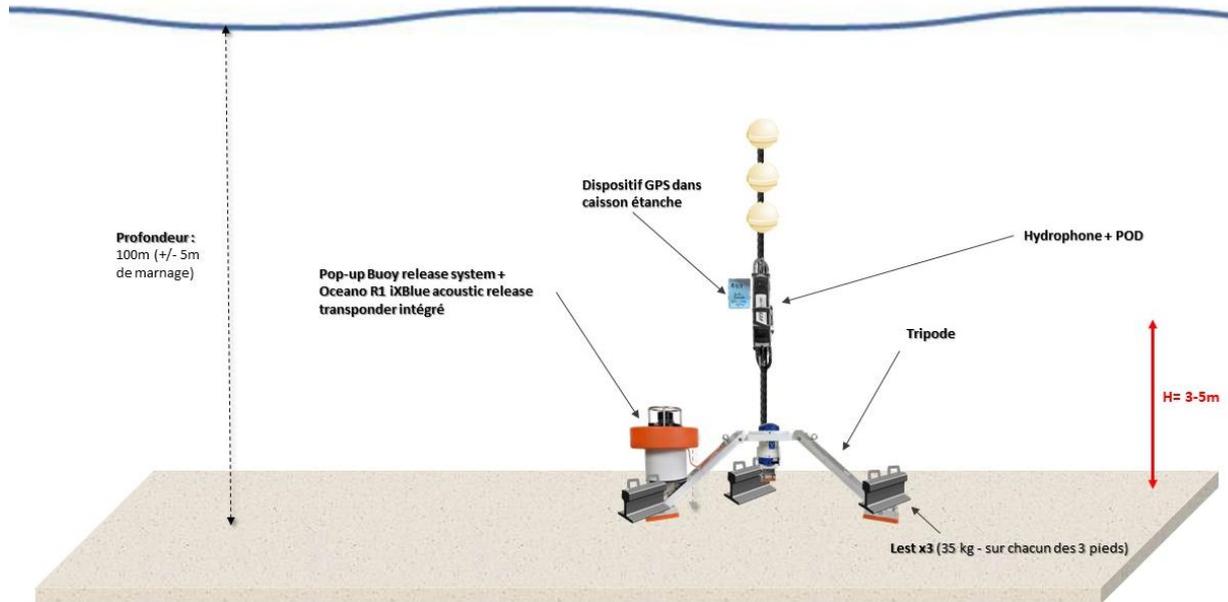


Figure 328 : Schéma des lignes de mouillage déployées pour le suivi du bruit ambiant et la détection des cétacés (source : Sinay©, 2022).

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.

### 12.2.4 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 329**).



Figure 329 : Le « Minibex » en opération à Brest (Finistère). | Ouest-France (2021).

### 12.2.5 Volume des données collectées

Le **Tableau 39** présente les données collectées sur l'ensemble des stations montrent des résultats contrastés en fonction du type de matériel utilisé.

Tableau 39 : Volume de données collectées par les enregistreurs et les POD (entre le 10/11/2022 et le 23/11/2023).

Périodes	Enregistreurs	POD
Période de l'étude	339 jours	379 jours
Durées cumulées (toutes stations confondues)	901 jours	2 274 jours
	21 136 heures	49 803 heures
Taux d'acquisition	79,2 %	91,9 %

Le volume de données acquises reste très important malgré des périodes de pannes ou dysfonctionnements 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 391** et **Figure 392** présentées en **Annexe 18.5**, 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.

### 12.3 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, 2009; Hildebrand et al., 2021).

#### 12.3.1 Traitements des données audio

##### 12.3.1.1 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.

##### 12.3.1.2 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.

### 12.3.2 Modélisation du bruit ambiant

Un modèle de bruit ambiant est construit en considérant comme sources sonores les navires dotés d'un émetteur AIS. L'AIS est un système de positionnement et d'identification obligatoire pour tout navire ayant un tonnage supérieur à 300T. Les émissions sonores de ce type de navires dominent le bruit ambiant sous-marin dans les basses fréquences (Hildebrand, 2009; Hildebrand & Jesus, 2021), en particulier à cause de la forte propagation des sons basse fréquence en mer et du caractère continu de ces émissions et de leur intensité largement supérieure à toute source naturelle basse fréquence (à l'exception d'évènements rares qui ne contribuent pas au bruit ambiant typique, comme par exemple les tremblements de terre, les éruptions volcaniques sous-marines ou encore la tombée de foudres sur la surface de la mer). Pour ces raisons, un modèle de bruit ambiant sous-marin basé sur le bruit des navires est adéquat à l'objectif de l'étude. Les modélisations du bruit sont effectuées sur une plage de fréquences couvrant les octaves allant de 63 à 1000 Hz.

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 céle-bathymétriques (acquisition in situ) ;
- La marée ;
- Les données AIS (Automatique Identification System).

Les valeurs attribuées à ces paramètres sont disponibles en **Annexe 18.2** 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.

#### 12.3.2.1 Etalonnage du Modèle

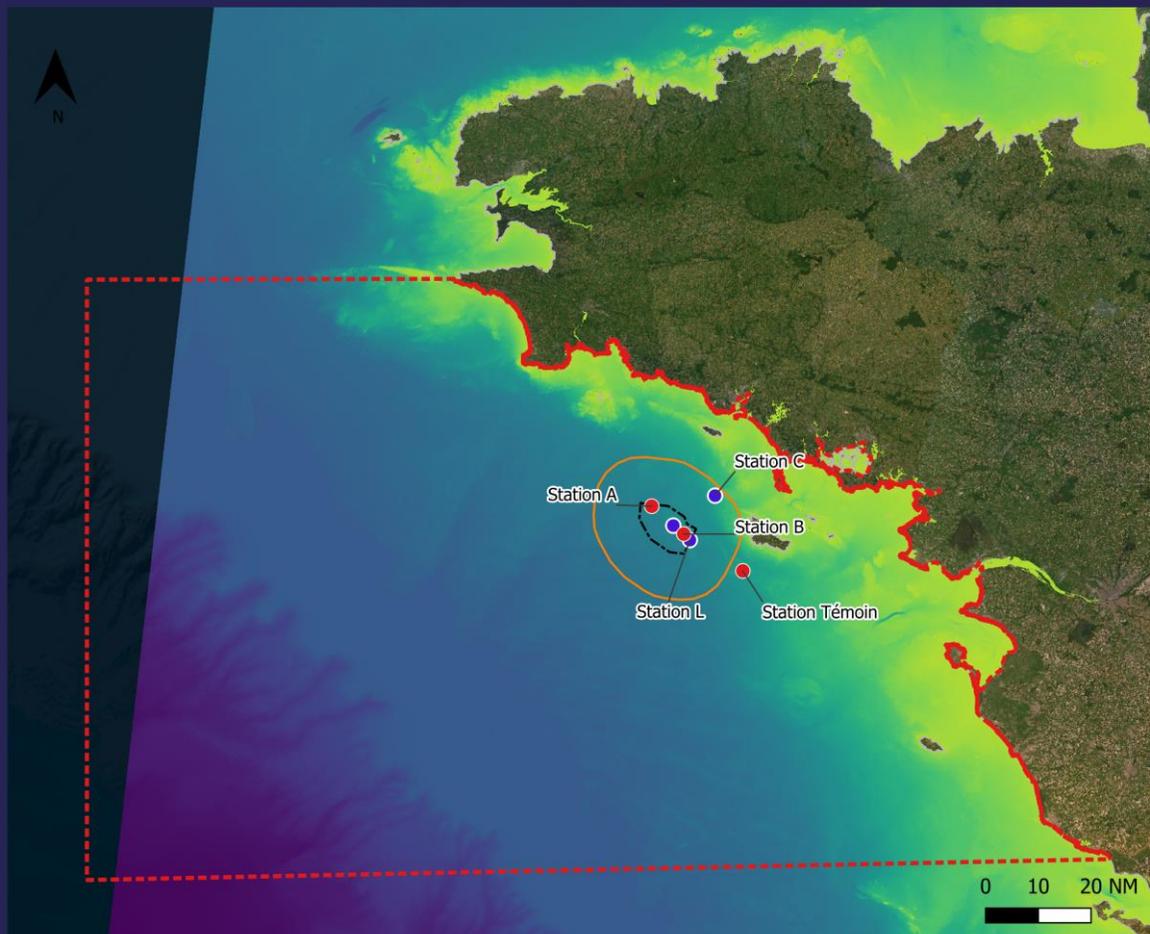
Les données produites à partir des mesures in situ sont utilisées pour étalonner le modèle établi. Les résultats produit par le modèle sont comparés à des valeurs moyennées issues des données mesurées in situ. Les ordres de grandeur ainsi comparés permettent de valider le bon paramétrage du modèle et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

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

#### 12.3.2.2 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 330** et sont présentées dans les paragraphes suivants.

## A05 Bretagne Sud - Aires d'étude et positions des instruments acoustiques



### Légende

#### Aires d'étude

- Aire d'étude du parc (Emprise du futur parc éolien)
- Aire d'étude rapprochée (Mammifères marins)
- Aire d'étude éloignée (Bruit sous-marin)

#### Positions des instruments acoustiques

- CPOD + hydrophone
- CPOD seul

Fond de carte : Google satellite

Echelle : 1:1 700 000

EPSG : 2154

*Figure 330 : 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).*

#### 12.3.2.2.1 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.

#### 12.3.2.2.2 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 330**.

## 12.4 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.

#### 12.4.1 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.

#### 12.4.2 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 18.3**. 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.

#### 12.4.3 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-Whitney<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Le choix d'un test non-paramétrique est due à la distribution non-normale (non-gaussienne) des taux de détection.

#### 12.4.4 Analyses spatio-temporelles

Les résultats des analyses comparatives des différents sites échantillonnés sont présentés sous forme de graphiques à violons utilisant une échelle logarithmique ( $\log_{10}$ ). 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.

#### 12.4.5 Dépendances aux conditions environnementales et anthropiques

Plusieurs variables sont testées pour construire un modèle explicatif des variations du taux de détection. Le choix des variables à tester 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 prédicteurs 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  $\mu\text{Pa}$ ) 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.

#### 12.4.6 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. Nuutila 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, 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.

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

### 13.1 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 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 40**, **Tableau 41** et **Tableau 42** présentent les niveaux  $L_p$ , la distribution du bruit selon 6 percentiles (P1 – P5 – P10 – P50 – P95 – P100).

#### 13.1.1 Zone Nord du parc – Station A

Les informations présentées dans le **Tableau 40** permettent d'établir, pour la station A, le niveau de bruit moyen, sa représentativité ainsi que sa distribution sur une année.

*Tableau 40 : 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 2023).*

Saison	Station A	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
<b>ANNÉE 1</b>									
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

- **Bruit moyen à l'année**

L'analyse des niveaux de bruit moyen  $L_p$  par saison permet de mettre en évidence un niveau de bruit moyen sur une année de 100,16 dB re  $\mu$ Pa avec un écart-type moyenné à 2,09 dB re  $\mu$ Pa. Ces valeurs permettent d'établir qu'à l'échelle d'une année, le niveau de bruit moyen est centré sur 100,16 dB re  $\mu$ Pa avec une amplitude moyenne de +/- 2,09 dB re  $\mu$ Pa. Cette moyenne dans l'amplitude témoigne de variations peu importantes sur l'année (de l'ordre de 2% de la moyenne).

- **Bruit Moyen par saison**

Des moyennes du bruit  $L_p$  sont également disponibles pour chaque saison :

- Hiver : 101,26 dB re  $\mu\text{Pa}$  ;
- Printemps : 99,69 dB re  $\mu\text{Pa}$  ;
- Été : 99,38 dB re  $\mu\text{Pa}$  ;
- Automne : 100,95 dB re  $\mu\text{Pa}$ .

L'analyse des niveaux de bruit moyen SPL-RMS 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  $\mu\text{Pa}$ .

- **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. Seules les saisons automne et hiver présentent un percentile 95 variant entre 4 et 10 dB re  $\mu\text{Pa}$  par rapport à la moyenne. Le reste des saisons présente des variations des percentiles 10 et 95 rapprochés de la moyenne (+/- 2 dB re  $\mu\text{Pa}$ ).

- **Extremum**

Les niveaux de bruit maximum enregistrés lors de chaque campagne ne sont pas représentés dans le percentile 95. 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).

La zone Nord du parc (Station A) est caractérisée par un niveau de bruit moyen sur l'année de **100,16 dB re  $\mu\text{Pa}$** . Ce niveau est stable sur l'année avec une variation moyenne de **1,88 dB re  $\mu\text{Pa}$**  entre l'hiver (**101,26 dB re  $\mu\text{Pa}$** ) et l'été (**99,38 dB re  $\mu\text{Pa}$** ).

L'analyse des percentiles et extremum confirme un écart-type moyen à **2,09 dB re  $\mu\text{Pa}$**  traduisant la faible amplitude du bruit moyen mesuré sur une année.

### 13.1.2 Zone Sud du Parc – Station B

Les informations présentées dans le **Tableau 41** permettent d'établir, pour la station B, le niveau de bruit moyen, sa représentativité ainsi que sa distribution sur une année.

*Tableau 41 : Niveaux de bruit  $L_p$  [25 Hz – 180 kHz] de la station B (exprimés en dB re  $1\mu\text{Pa}$ ) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2023).*

Saison	Station B	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
<b>ANNÉE 1</b>									
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

Saison	Station B	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
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
Automne	Campagne 11	99,98	1,63	98,52	98,57	98,63	99,70	102,23	144,10

- **Bruit moyen à l'année**

L'analyse des niveaux de bruit SPL-RMS permet de mettre en évidence un niveau de bruit moyen sur une année de 100,02 dB re  $\mu$ Pa avec un écart-type moyenné à 1,67 dB re  $\mu$ Pa. Ces valeurs permettent d'établir qu'à l'échelle d'une année, le niveau de bruit moyen est centré sur 100,02 dB re  $\mu$ Pa avec une amplitude moyenne de +/- 1,67 dB re  $\mu$ Pa. Cette moyenne dans l'amplitude témoigne de variations peu importantes (de l'ordre de 1,7 % de la moyenne).

- **Bruit moyen par saison**

Des moyennes du bruit SPL-RMS sont également disponible pour chaque saison :

- Hiver : 101,11 dB re  $\mu$ Pa ;
- Printemps : 99,63 dB re  $\mu$ Pa ;
- Été : 99,41 dB re  $\mu$ Pa ;
- Automne : 100,45 dB re  $\mu$ Pa.

L'analyse des niveaux de bruit moyen SPL-RMS 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  $\mu$ Pa.

- **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 à 2 dB re  $\mu$ Pa).

- **Extremum**

Les niveaux de bruit maximum enregistré lors de chaque campagne ne sont pas représentés dans le percentile 95. Cette non-représentation renseigne sur la 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).

La zone Sud-Est du parc (Station B) est caractérisée par un niveau de bruit moyen sur l'année de **100,02 dB re  $\mu$ Pa**. Ce niveau est stable sur l'année avec une variation moyenne de **1,7 dB re  $\mu$ Pa** entre l'hiver (**101,11 dB re  $\mu$ Pa**) et l'été (**99,41 dB re  $\mu$ Pa**).

L'analyse des percentiles et extremum confirme un écart-type moyen à **1,67 dB re  $\mu$ Pa** traduisant la faible amplitude du bruit moyen mesuré sur une année.

### 13.1.3 Zone Sud-Est hors Parc – Station Témoin

Les informations présentées dans le **Tableau 42** permettent d'établir, pour la station témoin (T), le niveau de bruit moyen, sa représentativité ainsi que sa distribution sur une année.

*Tableau 42 : Niveaux de bruit  $L_p$  [25 Hz – 180 kHz] de la station T (exprimés en dB re  $1\mu$ Pa) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2023).*

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
<b>ANNÉE 1</b>									
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
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

- **Bruit Moyen à l'année**

L'analyse des niveaux de bruit SPL-RMS permet de mettre en évidence un niveau de bruit moyen sur une année de 99,74 dB re  $\mu$ Pa avec un écart-type moyenné à 1,98 dB re  $\mu$ Pa. Ces valeurs permettent d'établir qu'à l'échelle d'une année le niveau de bruit moyen est centré sur 99,74 dB re  $\mu$ Pa avec une amplitude moyenne de +/- 1,98 dB re  $\mu$ Pa. Cette moyenne dans l'amplitude témoigne de variations peu importantes (de l'ordre de 2 % de la moyenne).

- **Bruit Moyen par saison**

Des moyennes du bruit SPL-RMS sont également disponible pour chaque saison :

- Hiver : 100,16 dB re  $\mu$ Pa ;
- Printemps : 99,53 dB re  $\mu$ Pa ;
- Été : 99,12 dB re  $\mu$ Pa ;
- Automne : 100,55 dB re  $\mu$ Pa.

L'analyse des niveaux de bruit moyen SPL-RMS par saison révèle que le paysage sonore au niveau de la station T est plus bruyant en automne qu'en été de 1,4 dB re  $\mu\text{Pa}$ .

- **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 dB re  $\mu\text{Pa}$ ) à l'exception de l'automne qui présente un écart maximum entre les percentiles 95 et 50 de l'ordre de 10 dB re  $\mu\text{Pa}$ .

- **Extremum**

Les niveaux de bruit maximum enregistrés lors de chaque campagne ne sont pas représentés dans le percentile 95. Cette non-représentation renseigne sur la caractéristique très ponctuelle 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). L'écart maximum entre les percentiles 95 et 50 mesuré en automne peut s'expliquer par un plus grand nombre de passages de navires à proximité immédiate du point de mesure (station Témoin).

La zone Est en dehors du parc, est caractérisée par un niveau de bruit moyen sur l'année de **99,74 dB re  $\mu\text{Pa}$** . Ce niveau est stable sur l'année avec une variation moyenne de **1,4 dB re  $\mu\text{Pa}$**  entre l'automne (**100,55 dB re  $\mu\text{Pa}$** ) et l'été (**99,12 dB re  $\mu\text{Pa}$** ).

L'analyse des percentiles et extremum confirme un écart-type moyen à **1,98 dB re  $\mu\text{Pa}$**  traduisant la faible amplitude du bruit moyen mesuré sur une année

### 13.1.4 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 nyctéméral 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 18.6**.

Les **Figure 331** et **Figure 332** permettent de visualiser sur un même axe temps, le niveau de bruit sous-marin mesuré en décibels (dB re  $\mu\text{Pa}$ .) 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.

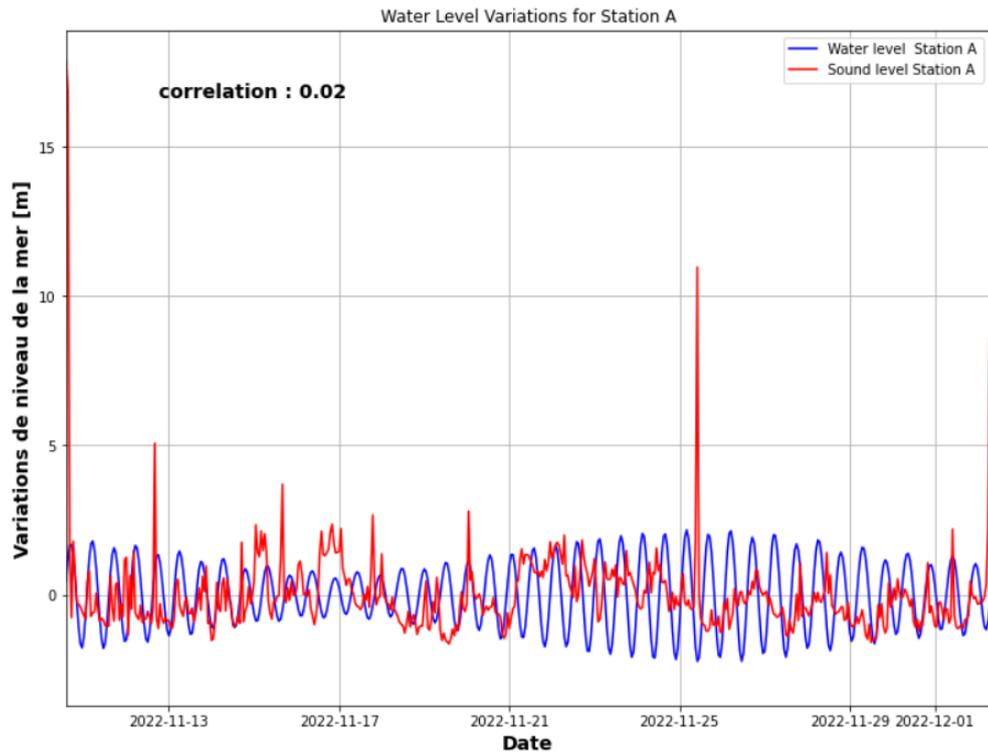


Figure 331 : Niveau de bruit sous-marin mesuré en décibels (dB re  $\mu\text{Pa}$ .) et la variation de la hauteur d'eau en mètres (m) dans la station A, à l'automne 2022.

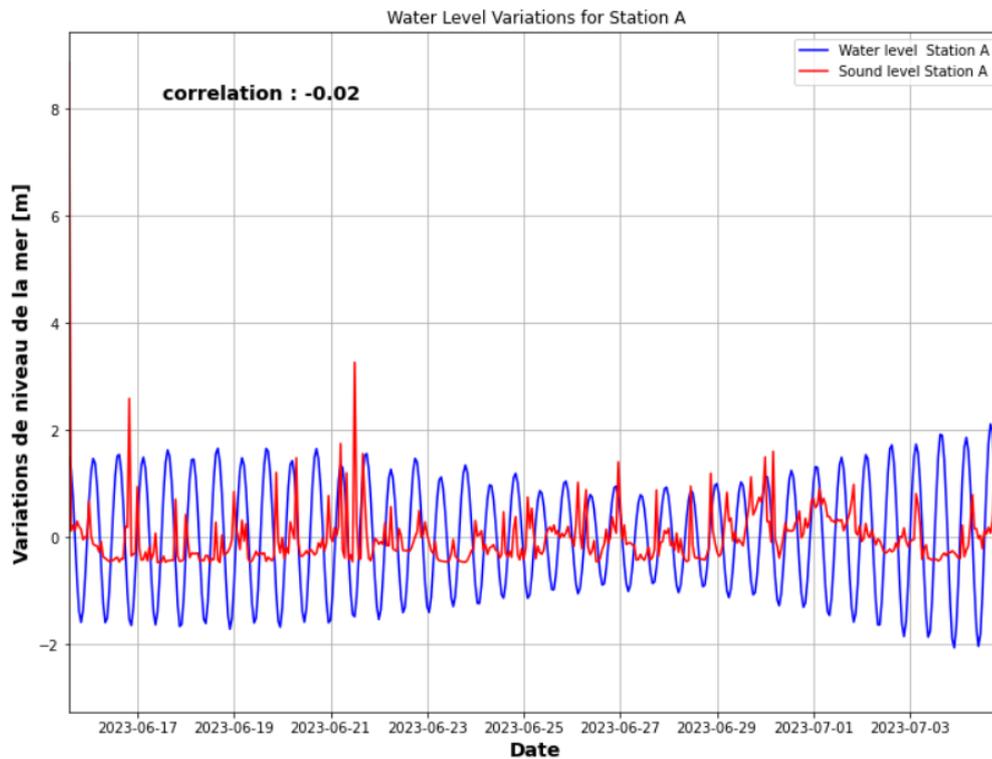


Figure 332 : Niveau de bruit sous-marin mesuré en décibels (dB re  $\mu\text{Pa}$ .) et la variation de la hauteur d'eau en mètres (m) dans la station A, à l'été 2023.

La **Figure 333** 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.

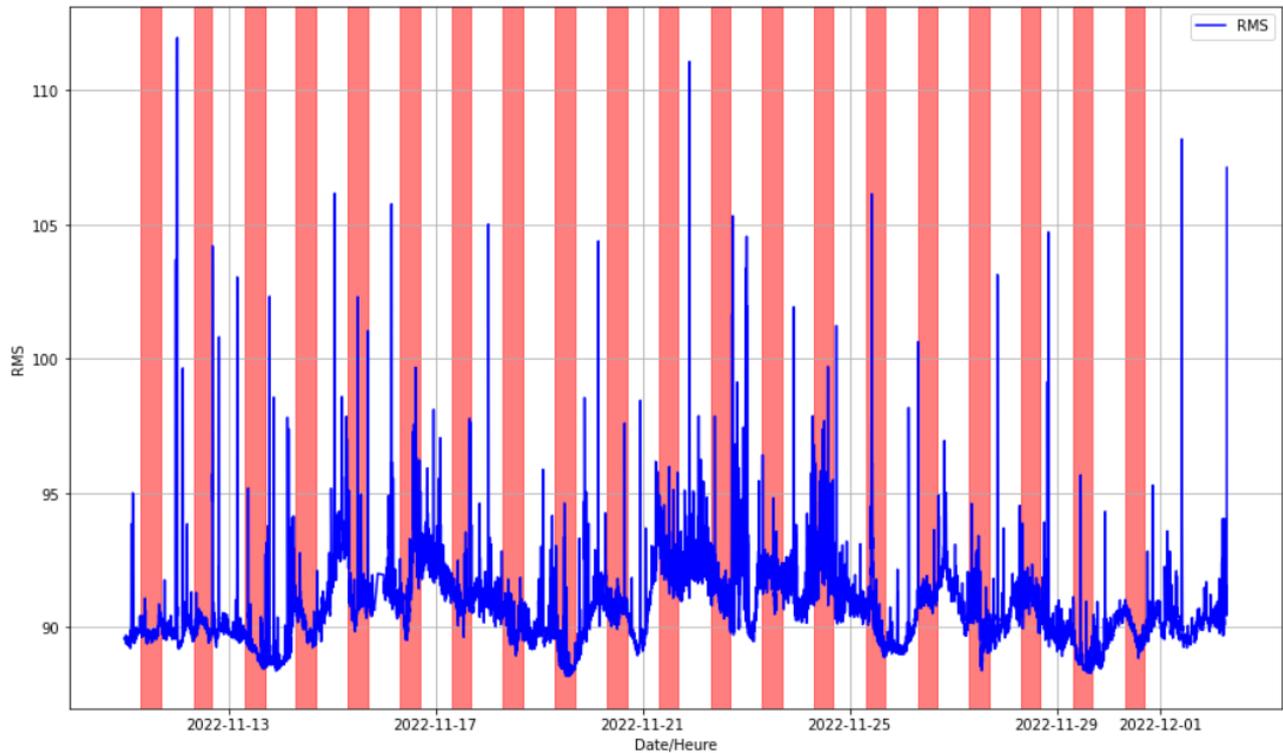


Figure 333 : Niveau de bruit sous-marin associé aux espèces benthiques (4 kHz à 20 kHz) mesuré en décibels (dB re  $\mu\text{Pa}$ ) en fonction du cycle nyctéméral (en orange les périodes de jour) du 11/11/2022 au 30/11/2022.

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.

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

Les **Tableau 43 à Tableau 48** 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.

### 13.2.1 Zone Nord du parc – Station A

Les informations présentées dans les **Tableau 43** et **Tableau 44** permettent d'établir pour la station A le niveau de bruit moyen, sa représentativité ainsi que sa distribution pour une année, dans les bandes de tiers d'octave centrées à 63 Hz et 125 Hz.

*Tableau 43 : 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 2023).*

Saison	Station A	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
<b>ANNÉE 1</b>									
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

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.

Tableau 44 : 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 2023).

Saison	Station A	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
<b>ANNÉE 1</b>									
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
Automne	Campagne 11	76,7	9,1	68,4	68,9	69,2	73,9	96,2	138

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 µPa avec un écart-type moyen de +/- 5,81 dB re µPa. 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 1µPa) à l'exception des campagnes 3 et 11. Ce percentile varie de 6,9 à 19,5 dB re µPa par rapport à la moyenne.

Les niveaux P100 sont compris entre 119,8 et 138 dB re µPa 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 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 des niveaux de bruit moyen à 63 Hz et 125 Hz de **70,79 dB re µPa** et **72,64 dB re µPa** respectivement. Les valeurs des percentiles 1 à 50 sont stables sur l'année. L'écart type moyen est de **5,81 dB re µPa** pour le tiers d'octave centré à 63 Hz et de **6,49 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 **138,6 dB re µPa** à 63 Hz et **138 re µPa** à 125 Hz.

En effet, 95% du temps les niveaux sont inférieurs à **80 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 moyens restent inférieurs à la valeur de **100,16 dB re µPa** obtenue lors de l'analyse large bande [25 Hz – 180 kHz]. L'interprétation de ce résultat est que dans les basses fréquences les sources de bruit d'origines naturelles et biologiques dominent le bruit anthropique généré par des navires.

### 13.2.2 Zone Sud du Parc – Station B

Les informations présentées dans les **Tableau 45** et **Tableau 46** permettent d'établir pour la station B le niveau de bruit moyen, sa représentativité ainsi que sa distribution pour une année, dans les bandes de tiers d'octave centrées à 63 Hz et 125 Hz.

*Tableau 45 : 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 2023).*

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
<b>ANNÉE 1</b>									
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

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  $1\mu\text{Pa}$ , avec un écart-type moyen de +/- 6,32 dB re  $\mu\text{Pa}$ . 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  $1\mu\text{Pa}$ .

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  $1\mu\text{Pa}$ ) 95% du temps, à l'exception des campagnes 4 et 11. Ce percentile varie de 7,5 à 12,6 dB re  $\mu\text{Pa}$  par rapport à la moyenne.

Les niveaux P100 sont compris entre 111,7 et 145,6 dB re  $\mu\text{Pa}$ , 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 54,4 et 67,2 dB re  $\mu\text{Pa}$ , sont proches des valeurs des percentiles P5, P10 et P50 à chaque saison, suggérant un environnement stable tout au long de l'année.

Tableau 46 : 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 2023).

Saison	Station B	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
<b>ANNÉE 1</b>									
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

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.

La zone Sud du parc (Station B) est caractérisée par des niveaux de bruit moyen à 63 Hz et 125 Hz de **68,71 dB re µPa** et **70,49 dB re µPa** respectivement. Les valeurs des percentiles 1 à 50 sont stables sur l'année. L'écart type moyen est de **5,38 dB re 1µPa** pour le tiers d'octave centré à 63 Hz et de **6,32 dB re 1µPa** 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 **84,3 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 moyens restent inférieurs à la valeur de **100,02 dB re µPa** obtenue lors de l'analyse large bande [25 Hz – 180 kHz]. L'interprétation de ce résultat est que dans les basses fréquences les sources de bruit d'origines naturelles et biologiques dominent le bruit anthropique généré par des navires.

### 13.2.3 Zone Sud-Est hors Parc – Station Témoin

Les informations présentées dans les **Tableau 47** et **Tableau 48** permettent d'établir pour la station Témoin le niveau de bruit moyen, sa représentativité ainsi que sa distribution pour une année, dans les bandes de tiers d'octave centrées à 63 Hz et 125 Hz.

*Tableau 47 : 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 2023).*

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
<b>ANNÉE 1</b>									
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

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.

Tableau 48 : Niveaux de bruit  $L_p$  [125 Hz], de la station Témoin (exprimés en dB re  $1\mu\text{Pa}$ ) sur l'ensemble de la période d'étude (automne 2022 à l'automne 2023).

Saison	Station T	Niveau moyen	Ecart type	Percentile 1	Percentile 5	Percentile 10	Niveau médiane Percentile 50	Percentile 95	Percentile 100
<b>ANNÉE 1</b>									
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

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  $1\mu\text{Pa}$  avec un écart-type moyen de +/- 5,7 dB re  $\mu\text{Pa}$  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  $1\mu\text{Pa}$ ), à l'exception de la campagne 5 (printemps). Cette campagne présente un niveau P95 de 91,7 dB re  $1\mu\text{Pa}$ . Ce percentile varie de 4,4 à 20,0 dB re  $\mu\text{Pa}$  par rapport à la moyenne.

Les niveaux P100 sont compris entre 122,3 et 145,8 dB re  $\mu\text{Pa}$ , 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  $\mu\text{Pa}$ , 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 hors du parc (Station Témoin) est caractérisée par des niveaux de bruit moyen à 63 Hz et 125 Hz de **69,17 dB re  $\mu\text{Pa}$**  et **71,1 dB re  $\mu\text{Pa}$**  respectivement. Les valeurs des percentiles 1 à 50 sont stables sur l'année. Les amplitudes moyennes sont comprises entre +/- **5,7** et **6,21 dB re  $\mu\text{Pa}$** , 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 **99,74 dB re  $\mu\text{Pa}$**  obtenue lors de l'analyse large bande [25 Hz – 180 kHz], ce qui signifie que les sources de bruit d'origines naturelles et biologiques dominent le bruit anthropique généré par des navires.

### 13.3 QUANTIFICATION DES NIVEAUX DE BRUIT – CONCLUSION

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

Les niveaux de bruit illustrés par la **Figure 334** 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  $\mu\text{Pa}$ . La moyenne comme la médiane du niveau sonore sont très proches pour chaque station, avoisinant les 100 dB re  $\mu\text{Pa}$ .

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  $\mu\text{Pa}$ .

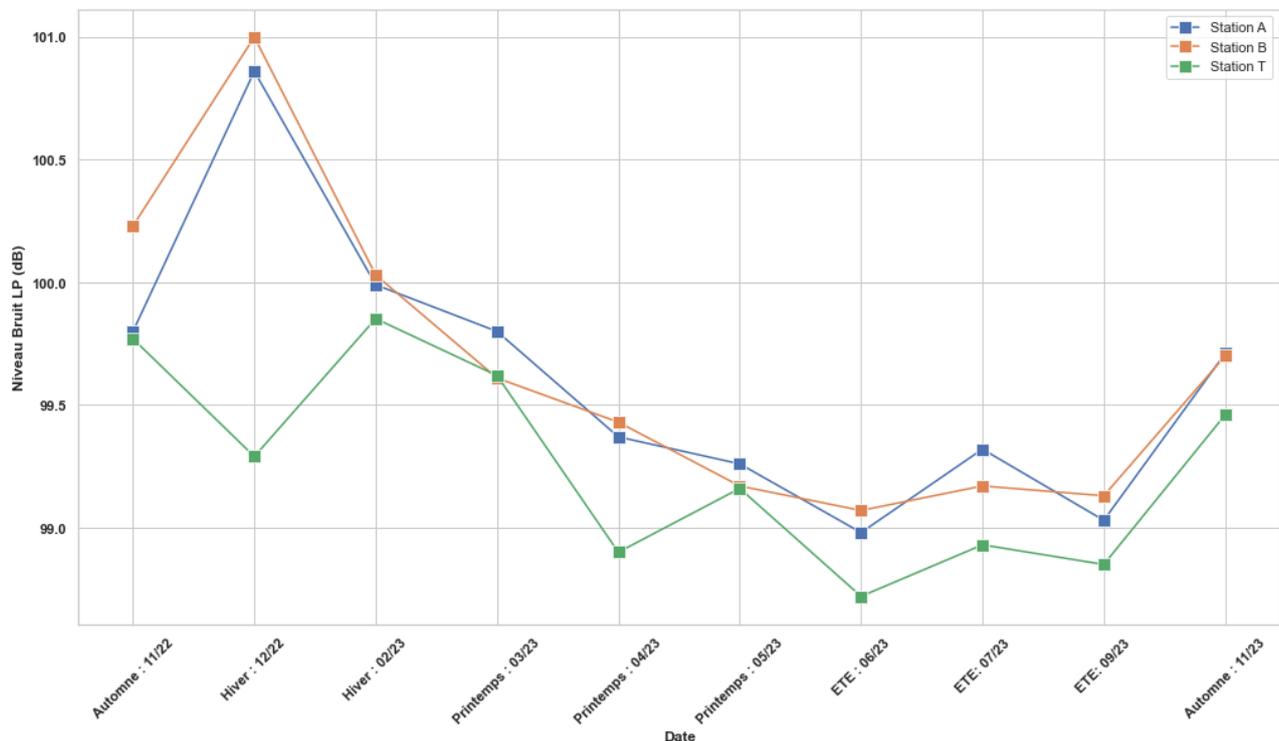


Figure 334 : Évolution du niveau sonore médian sur les trois stations A (bleu), B (orange) et Témoin (vert) tout au long de la période allant de novembre 2022 à novembre 2023.

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  $\mu\text{Pa}$  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 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 par bandes filtrées de 63 Hz et 125 Hz**

Les niveaux de bruit, enregistrés sur une année, 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  $\mu$ Pa. 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  $\mu$ Pa.

En étudiant les percentiles 95 à 63 Hz, trois campagnes dépassent les 80 dB re  $\mu$ Pa. : la campagne 3 (station A), la campagne 4 (station B) et la campagne 5 (station Témoin). Alors qu'à 125 Hz, les percentiles 95 dépassent 82 dB pendant la campagne 11 pour l'ensemble des stations.

La station A affiche un niveau de bruit moyen légèrement plus élevé que les autres stations, avec une différence moyenne d'environ 1,85 dB re  $\mu$ Pa à 63 Hz et d'environ 2,72 dB re  $\mu$ Pa à 125 Hz.

Les niveaux sonores moyens sont plus élevés en automne dans la station A, au printemps pour la station B et en automne/hiver pour la station Témoin.

Globalement, les trois stations présentent des niveaux dans ces bandes de fréquence peu influencés par des sources anthropiques basse fréquence (trafic maritime) et les augmentations des niveaux sont liés à des événements ponctuels comme le passage d'un navire.

#### 13.4 ANALYSE TEMPS-FRÉQUENCE

Pour rappel, l'analyse fréquentielle des niveaux sonores au moyen de la Densité Spectrale de Puissance ( $L_{p,r}$ ) 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 ( $L_{p,i}$ ) 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.

### 13.4.1 Densités Spectrales de Puissance

La **Figure 335** 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) pour les station A, B et T. Cette énergie est considérée comme faible au regard des indices du trafic maritime du modèle de Wenz.

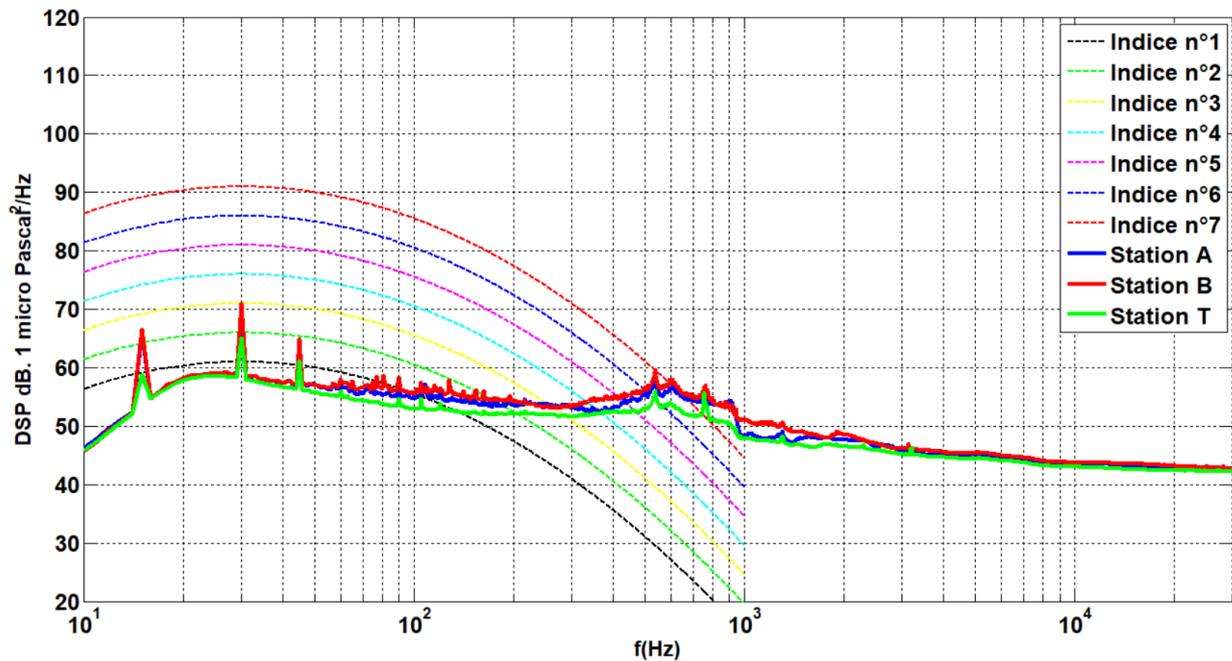


Figure 335 : Densités Spectrales de Puissance jusqu'à 180 kHz pour chaque station, représentées sur le modèle de Wenz (14/09/2023).

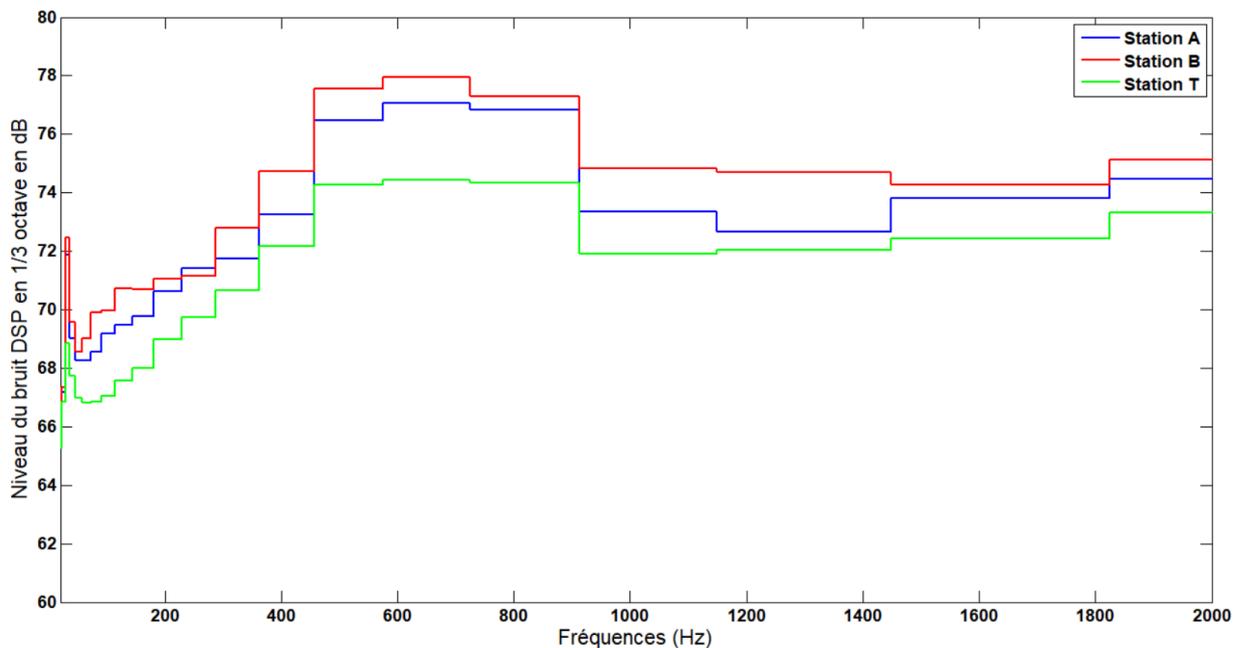
L'énergie située dans les basses fréquences (<200 Hz) reste inférieure à l'indice 2 du modèle de Wenz. Les variations ponctuelles peuvent trouver une explication par la proximité géographique de navires avec l'hydrophone au point de mesure.

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.

### 13.4.2 Densités Spectrales de Puissance ( $L_{p,f}$ ) en tiers d'octaves

Les **Figure 336** représente le niveau des DSP ( $L_{p,f}$ ) en tiers d'Octave pour les station A, B et T. Cette représentation permet d'observer par bande de fréquences les répartitions de l'énergie et cela pour chaque station.



*Figure 336 : 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 336** 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 ( $L_{p,f}$ ) 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.

## 13.5 CARACTÉRISATION 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.

### 13.5.1 Sources de bruit d'origines anthropiques

Les **Figure 337** et **Figure 338** 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.

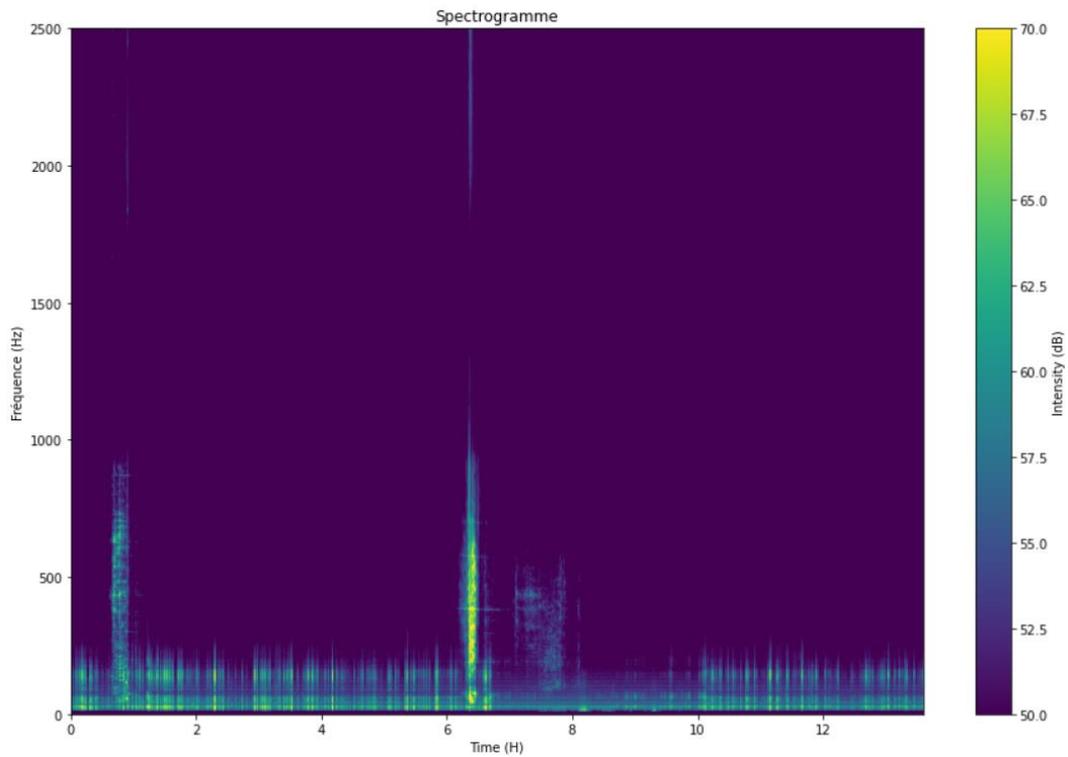


Figure 337 : Spectrogramme illustrant des passages de navires sur la zone Témoin pendant la journée entre le 05/09/2023 et le 06/09/2023.

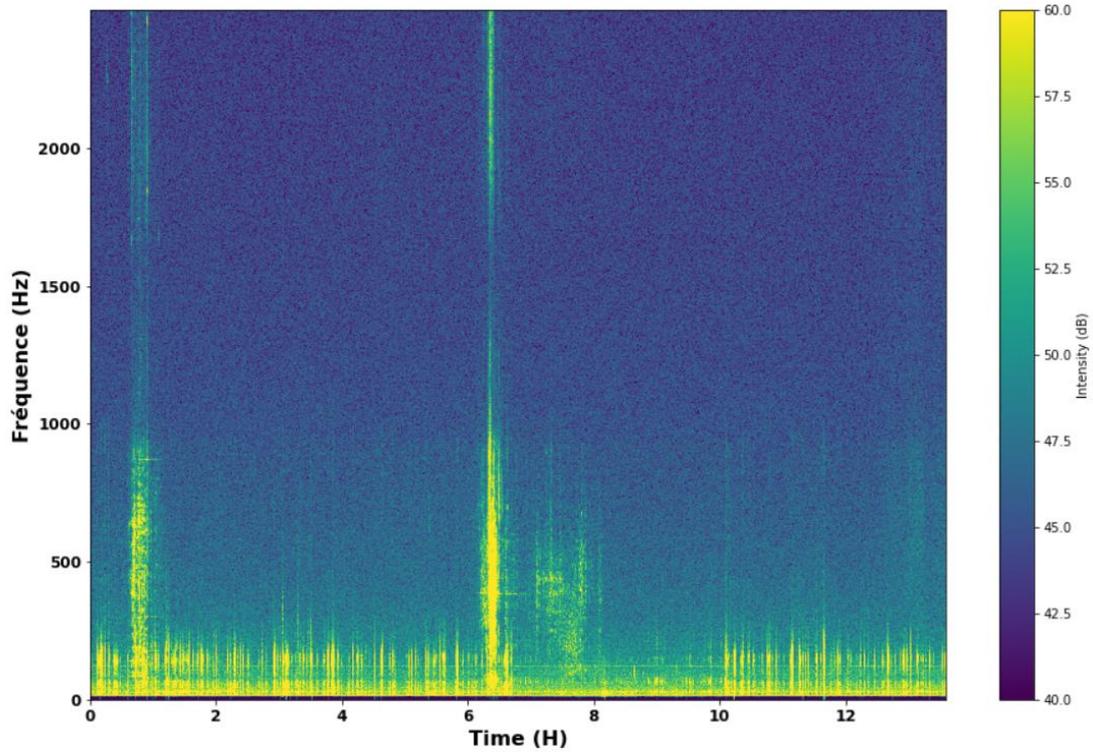


Figure 338 : Spectrogramme illustrant des passages de navires sur la zone Témoin pendant la journée entre le 05/09/2023 et le 06/09/2023.

Les **Figure 337** et **Figure 338** 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  $\mu$ 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  $\mu$ 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  $\mu$ 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  $\mu$ Pa. Cette constatation souligne l'importance de ces basses fréquences dans l'environnement sonore marin, même en présence de navires éloignés.

### 13.5.2 Sources de bruit d'origines météo-océaniques

La **Figure 339** présente le spectrogramme de conditions de tempête sur la station Témoin en novembre 2023.

La **Figure 340** représente la vitesse et direction des vents sur la station Témoin pendant le mois de novembre 2023.

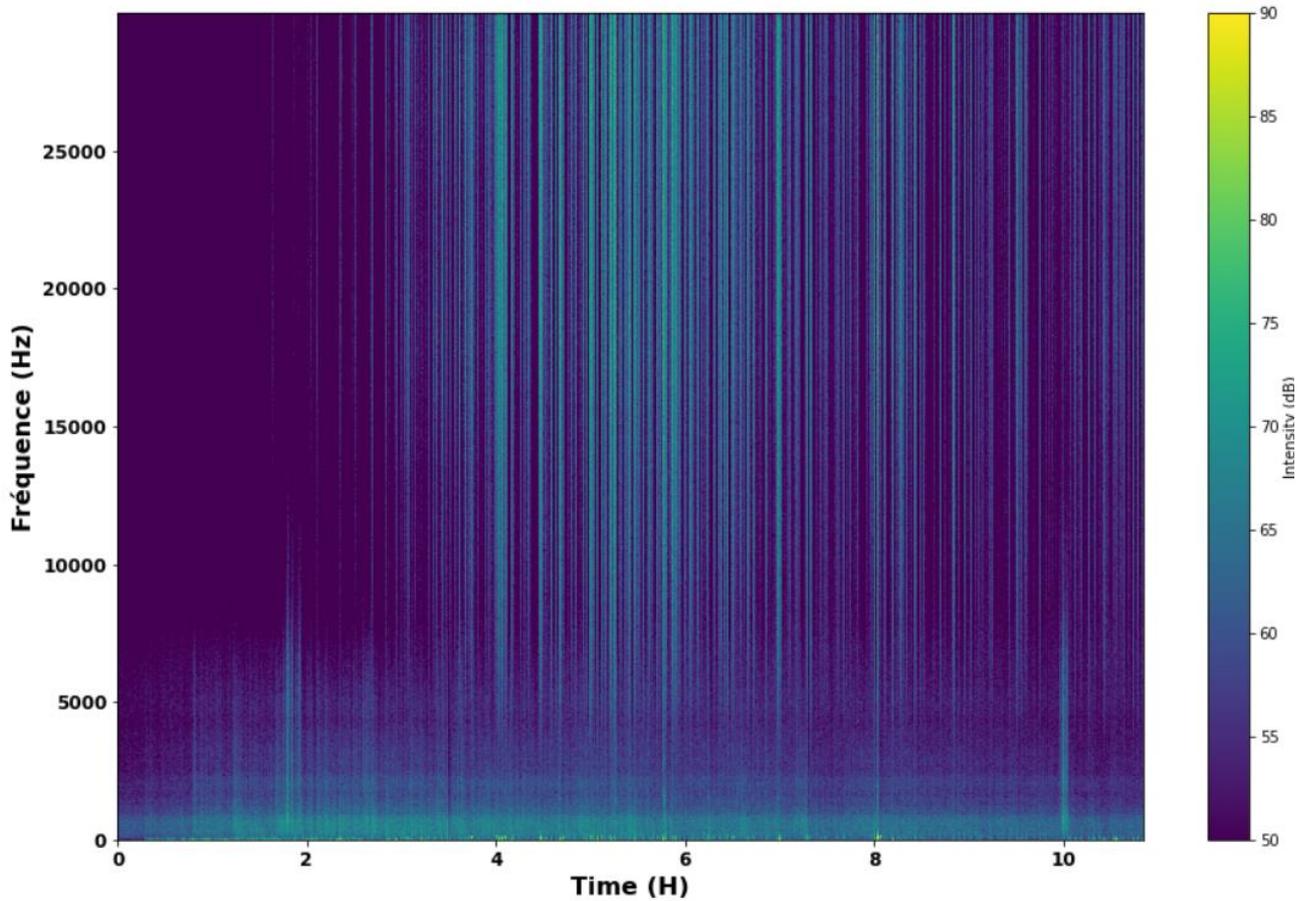


Figure 339: Spectrogramme illustrant des conditions de tempête sur la station Témoin le 02/11/2023.

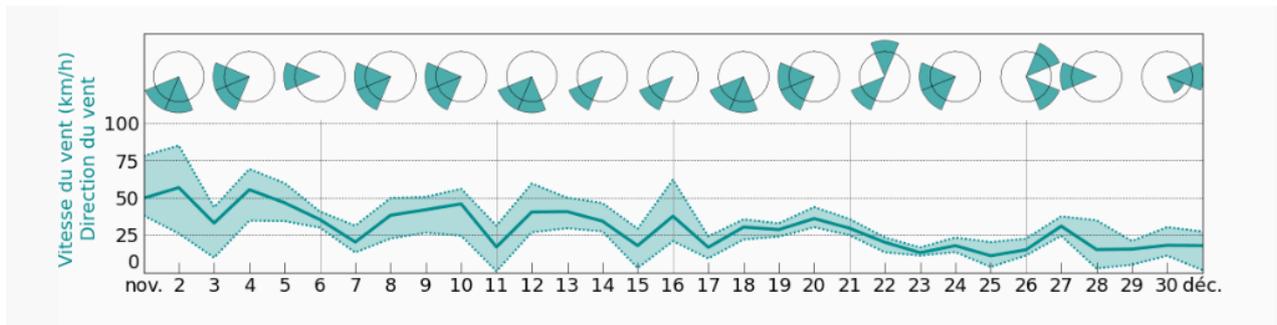


Figure 340 : Représentation des vitesses et directions des vents sur la station Témoin durant le mois de novembre 2023.

La **Figure 341** présente le spectrogramme de conditions de tempête sur la station A en octobre 2023.

La **Figure 342** représente la vitesse et direction des vents sur la station A pendant le mois d'octobre 2023.

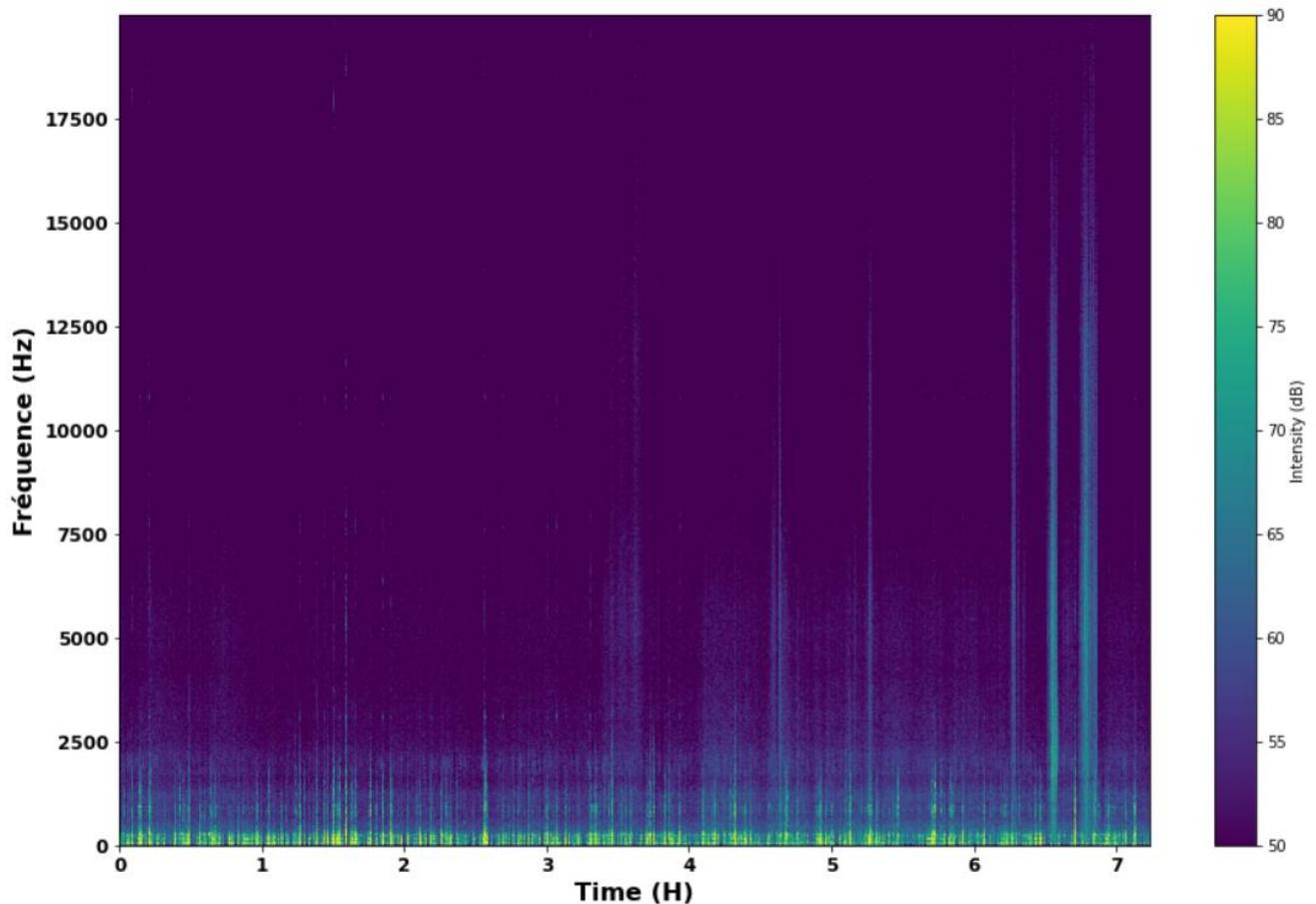


Figure 341 : Spectrogramme illustrant des conditions de tempête sur la station A en octobre 2023.

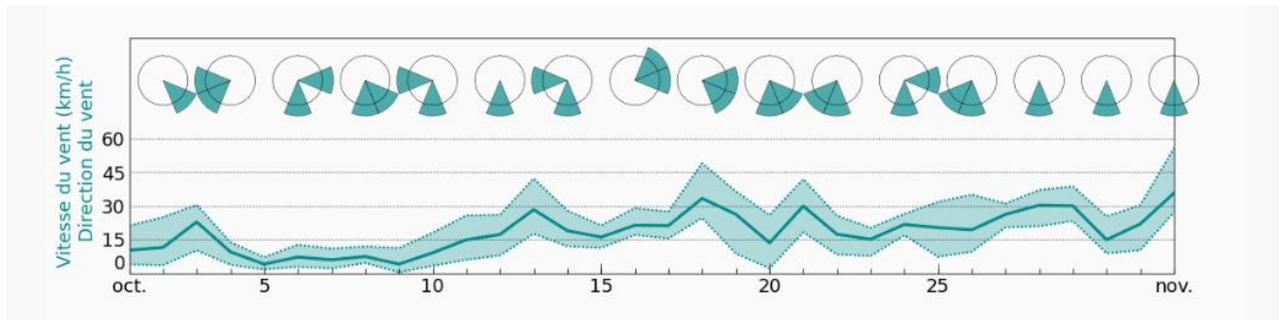


Figure 342 : Représentation des vitesses et directions des vents sur la station A durant le mois d'octobre 2023.

Les deux spectrogrammes visibles en **Figure 339** et **Figure 341** illustrent l'élévation du niveau sonore en condition de vents forts.

En **Figure 341** 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 342** 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  $\mu$ Pa dans chaque bande de couleur correspondant à chaque fréquence.

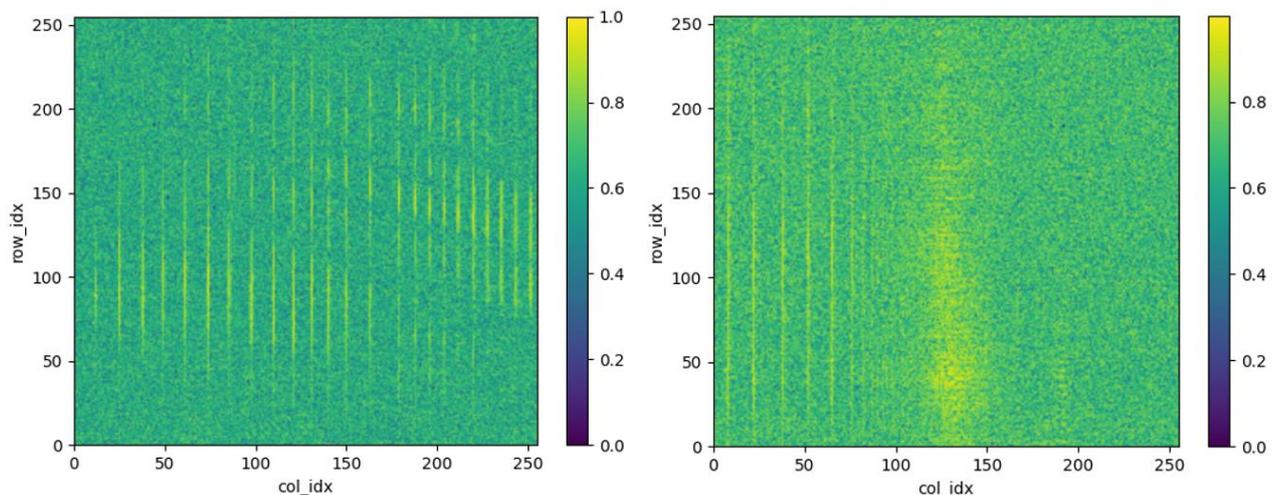
Il est important de noter que même si le niveau sonore reste sous les 80 dB re  $\mu\text{Pa}$  dans chaque bande de fréquences, l'indicateur global du niveau sonore (SPL-RMS total) atteint 130 dB re  $\mu\text{Pa}$  au total pour cette journée. Cela met en évidence l'effet des vents forts sur le niveau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

### 13.5.3 Sources de bruit d'origines biologiques

La **Figure 343** représente sous forme de spectrogrammes des clics issus de l'activité bioacoustique de cétacés. La **Figure 344** 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 343 : Spectrogrammes illustrant des clics de cétacés issus des données 2023.*

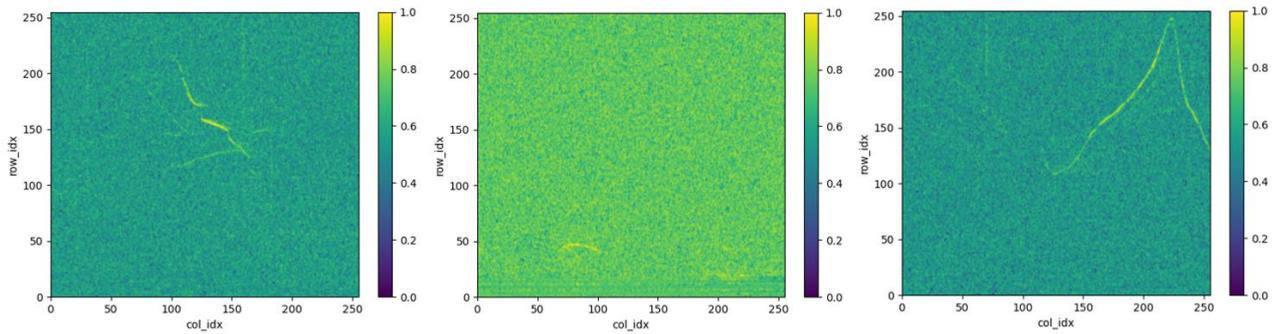


Figure 344 : Spectrogrammes illustrant des sifflements de cétacés issus des données 2023.

Les **Figure 343** et **Figure 344** illustrent les signaux émis par les cétacés pendant les campagnes acquisition du bruit ambiant sur l'année 2023. La **Figure 343** 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 344** 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.

### 13.6 SYNTHÈSE DES RESULTATS DE MESURES

#### Analyse temporelle

- Le niveau de bruit moyen sur la zone d'étude élargie est de 99,97 dB re  $\mu\text{Pa}$  (parc + station Témoin) ;
- Le bruit enregistré dans la zone du parc (100,09 dB re  $\mu\text{Pa}$ ) est plus bruyant que la zone Témoin (99,74 dB re  $\mu\text{Pa}$ ) de 0,35 dB re  $\mu\text{Pa}$ .
- Dans la zone du parc comme la zone Témoin le niveau de bruit montre une très forte stabilité sur l'année avec des variations de +/- 2-3 dB re  $\mu\text{Pa}$ .
- Un effet de saisonnalité est remarqué pour les zones du parc et Témoin entre les saisons hiver et été. Cependant les variations saisonnières moyennes restent de faible amplitude (2 à 3 dB re  $\mu\text{Pa}$ ). 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 (thermocline).
  - Le bruit généré par les vagues et le vent.
  -

Les niveaux de bruit, enregistrés sur une année, pour chaque station (A, B et Témoin) présentent une faible variabilité, avec un écart type ne dépassant généralement pas 2 à 3 dB re  $\mu\text{Pa}$ . Le niveau sonore est plus élevé dans toutes les stations (Parc et Témoin) pendant les mois de novembre et décembre, puis atteint les valeurs les plus basses pendant l'été avant de remonter de nouveau à l'automne.

#### Analyse fréquentielle

L'étude des Densités Spectrales de Puissance (DSP) confirme, par rapport au modèle de Wenz, que le niveau sonore est peu élevé (indice 1 à 2 du trafic maritime). Cette analyse vient ainsi confirmer les résultats obtenus lors de l'analyse temporelle.

L'analyse des DSP en tiers d'octave permet d'identifier deux éléments :

- L'énergie est concentrée principalement entre 20 Hz et 1000 Hz. Cette gamme de fréquence est généralement caractéristique des bruits anthropiques (Wenz, 1972).
- 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

L'analyse des spectrogrammes révèle 3 sources principales identifiées : les passages des navires, les conditions météo-océaniques en surface, et l'activité bioacoustique des Mammifères marins.

### 13.7 RESULTATS DE LA MODELISATION

La modélisation du bruit ambiant sur la zone d'étude est effectuée à l'échelle d'un an de trafic maritime, en sélectionnant des périodes d'un mois par saison (février, avril, juin et octobre).

Une simulation du niveau de bruit sur toute la hauteur d'eau est exécutée pour chaque scénario dans la gamme de fréquence de 63 à 1000 Hz.

Ces scénarii prennent en considération l'ensemble des navires présents sur la zone d'étude durant un intervalle de temps de 20 minutes. Avec ces échantillons, des cartes sont produites toutes les 8 heures sur la totalité de la période d'un mois par saison, conformément à la norme MFCD. Les échantillons du temps sont choisis comme suit : 8 heures du matin pour la journée, à 16 heures pour l'après midi et à minuit pour la nuit.

La **Figure 345** présente un exemple de résultats de simulation de bruit généré par le trafic maritime, à la surface à un instant T. Elle indique la distribution spatiale du bruit ambiant à l'échelle de la zone d'étude. Cet exemple permet de montrer un scénario typique d'environ 200 bateaux et l'effet de chaque type, taille et vitesse, de navire sur la zone d'étude.

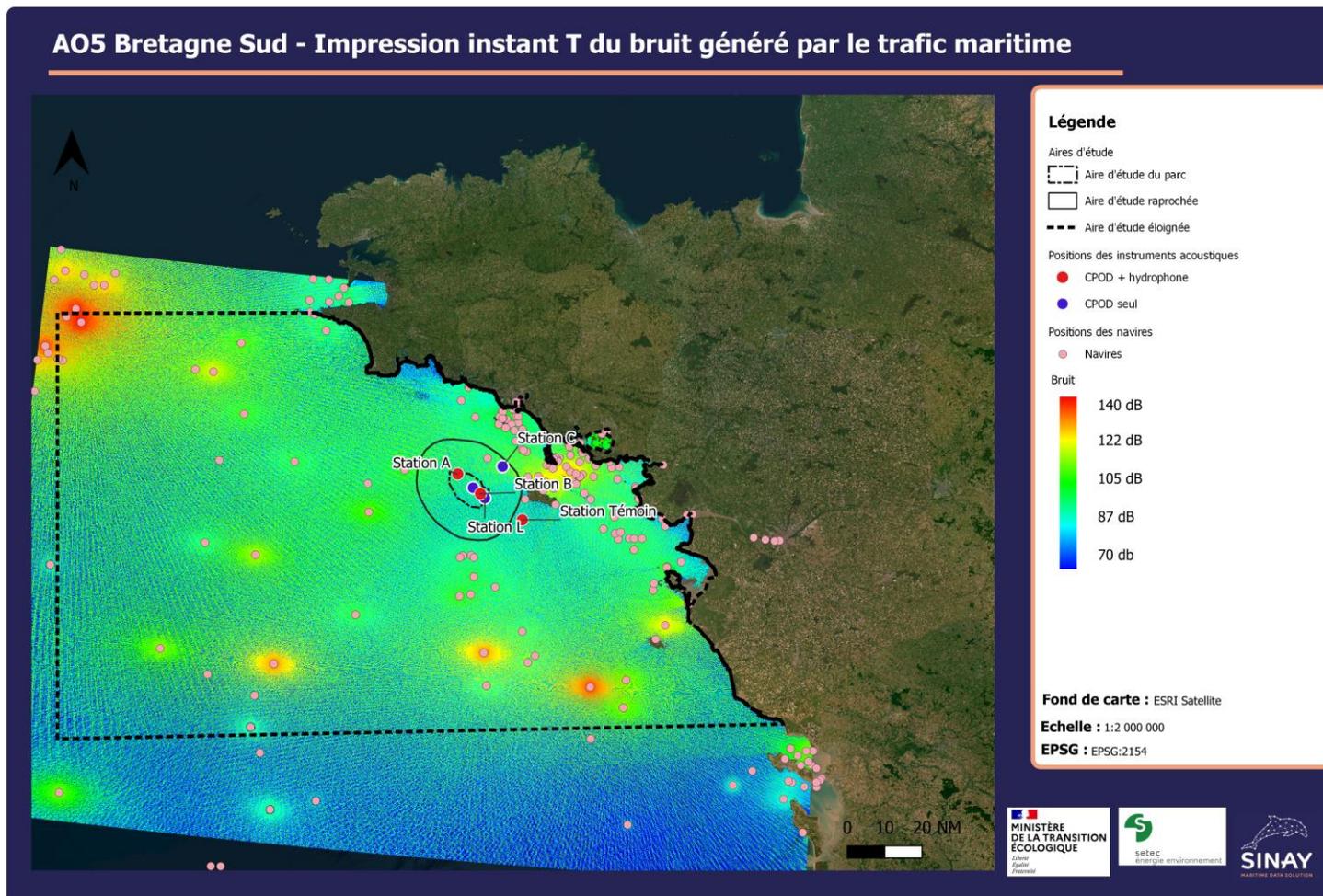


Figure 345 : Illustration d'une simulation de bruit généré par le trafic maritime avec 215 bateaux à un instant T issue de données AIS.

Afin d'avoir une vision plus fine de la distribution spatiale du bruit durant toute la période de l'étude, l'ensemble des cartes calculées ont été étudiées avec des méthodes statistiques. Pour cela, les cartes de bruit dans les zones d'étude sont établies et présentées par percentile. Leur définition est donnée par la norme internationale ISO 1996-1 : 2003 (E).

Selon la norme ISO 1996-1 : 2003 (E), le percentile N est le niveau de bruit atteint pendant N % du temps de la période d'étude. Par conséquent, les niveaux exprimés en percentiles montrent pour chaque point de la zone d'étude combien de temps un niveau de bruit es' atteint au cours de la période d'étude.

Des calculs statistiques réalisés sont basés sur les résultats des percentiles pour chaque saison de l'année étudiée.

Les **Figure 346** à **Figure 349** 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 40**, **Tableau 41** et **Tableau 42**.

### 13.7.1 Printemps

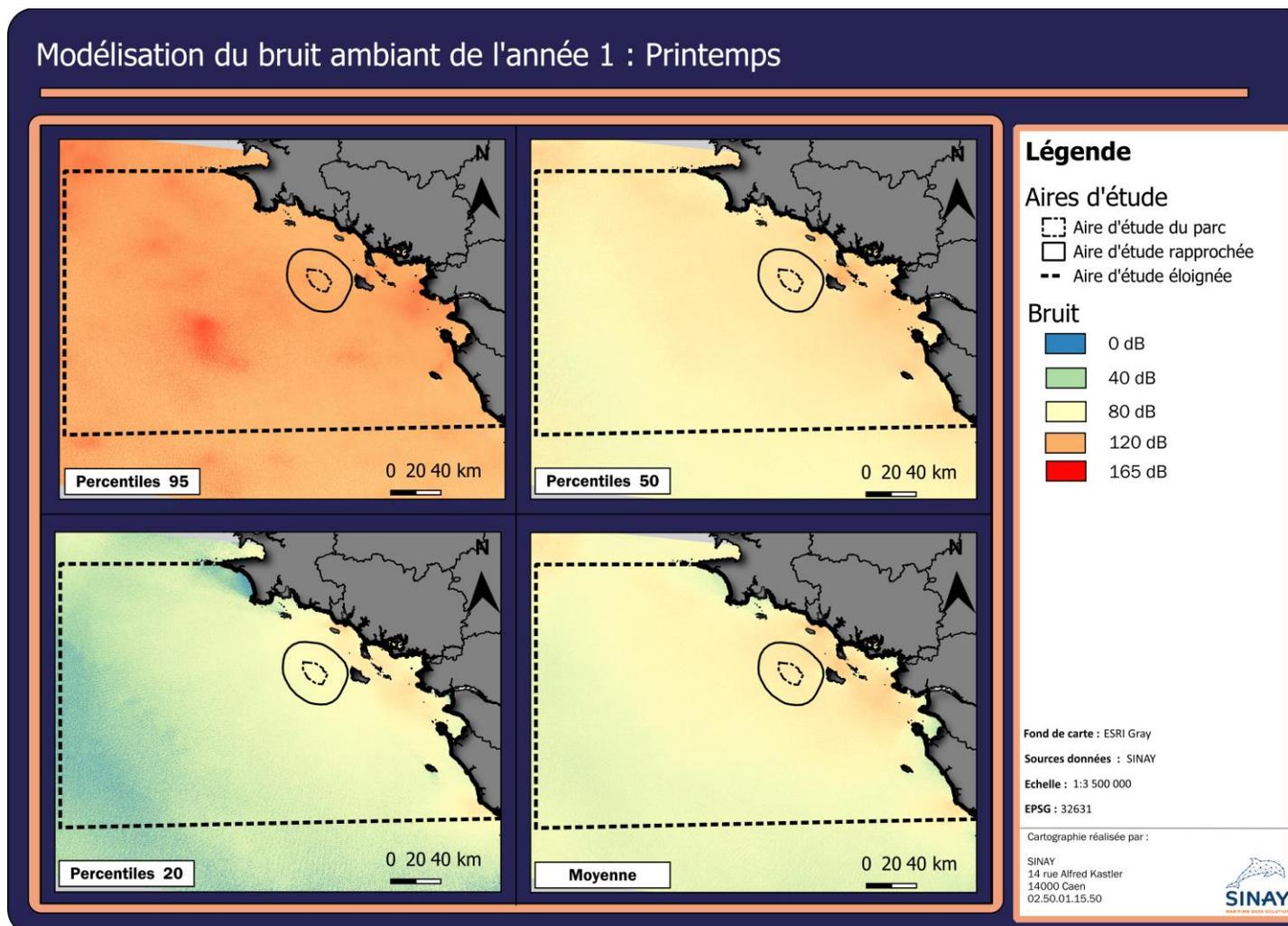


Figure 346 : Modélisation du bruit ambiant de la saison du printemps (année 1) - expression des percentiles.

La **Figure 346** représente la modélisation du bruit de surface pour les aires d'étude rapprochée et éloignée au printemps. Les percentiles 95, 50 et 20 ainsi que la moyenne du bruit ambiant y sont exprimés sur la base des données AIS développées précédemment.

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 ; à l'exception du percentile 95 où le bruit du trafic maritime au large dans la Golfe de Gascogne apparaît comme élevé pendant 5% de la période étudiée.

**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, 50 (Médiane) et de la moyenne traduit cette homogénéité à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée.**

13.7.2 Été

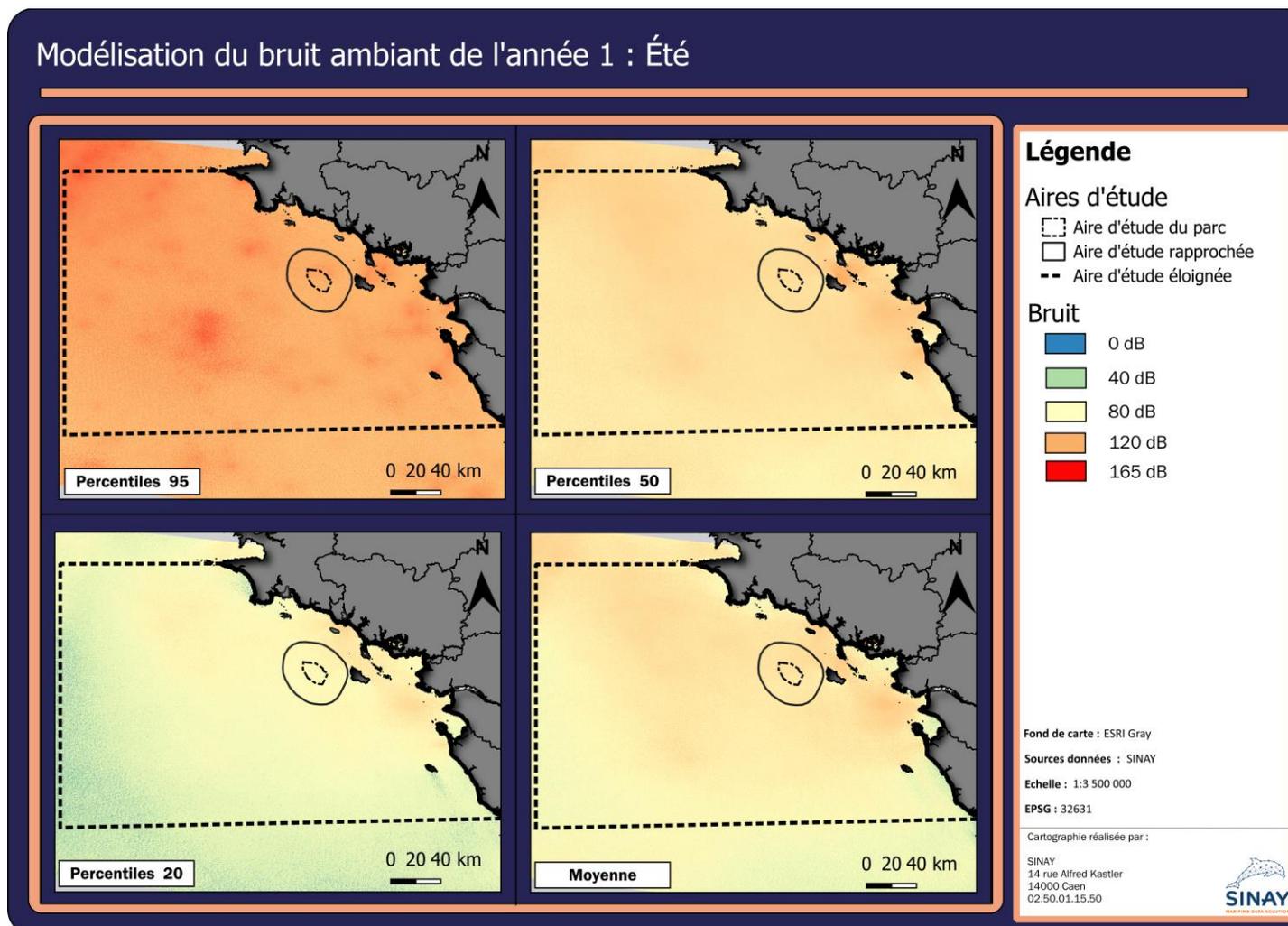


Figure 347 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'été (année 1) - expression des percentiles.

La **Figure 347** représente la modélisation du bruit de surface pour les aires d'étude rapprochée et éloignée en été. Les percentiles 95, 50 et 20 ainsi que la moyenne du bruit ambiant y sont exprimés sur la base des données AIS développées précédemment.

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.

Ce bruit du trafic maritime d'une emprise géographique bien que plus importante, 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, 50 (Médiane), 95 et de la moyenne traduit cette homogénéité à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée et éloignée.**

13.7.3 Automne

Modélisation du bruit ambiant de l'année 1 : Automne

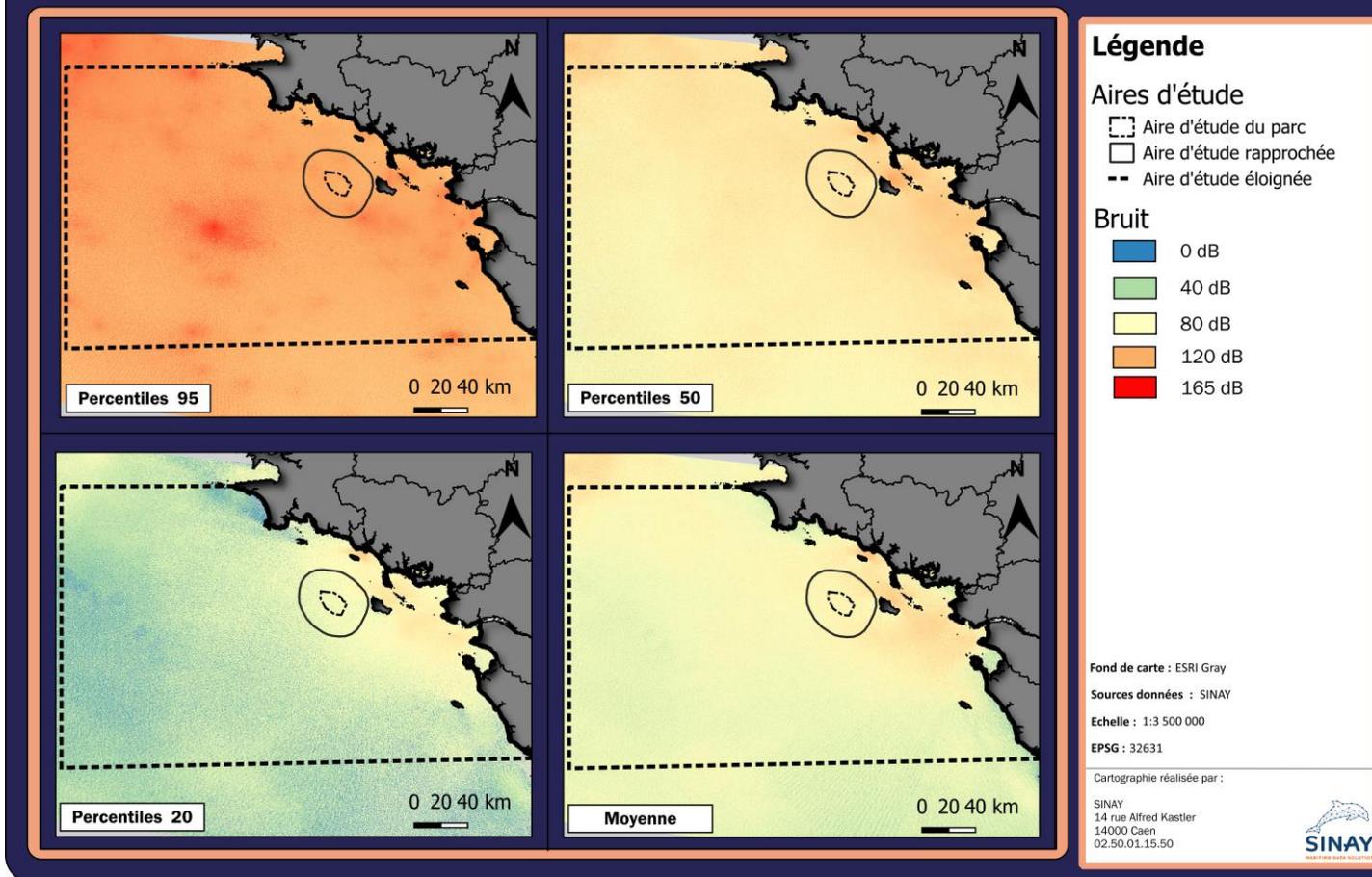


Figure 348 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'automne (année 1) - expression des percentiles.

La **Figure 348** représente la modélisation du bruit de surface pour les aires d'étude rapprochée et éloignée à l'automne. Les percentiles 95, 50 et 20 ainsi que la moyenne du bruit ambiant y sont exprimés sur la base des données AIS développée précédemment.

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 moyens du trafic maritime modélisés donnent des ordres de grandeur similaires aux mesures réalisées sur les 3 stations, à l'échelle de l'aire rapprochée.

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 (aire d'étude rapprochée et éloignée).

**La modélisation des percentiles 20, 50 (Médiane) et de la moyenne traduit cette homogénéité à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée.**

13.7.4 Hiver

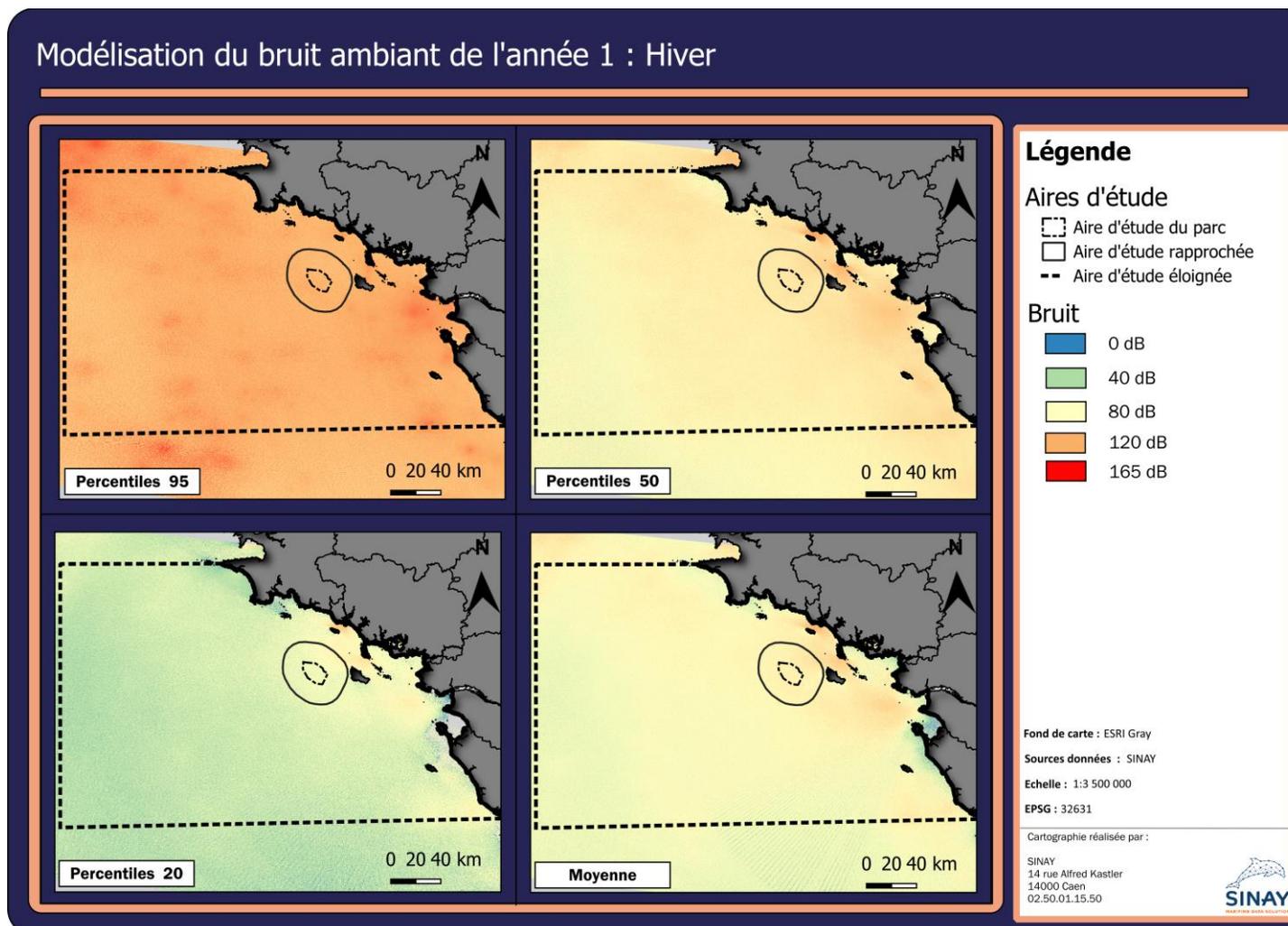


Figure 349 : Modélisation du bruit ambiant de la saison d'hiver (année 1) - expression des percentiles

La **Figure 349** représente la modélisation du bruit de surface pour les aires d'étude rapprochée et éloignée en hiver. Les percentiles 95, 50 et 20 ainsi que la moyenne du bruit ambiant y sont exprimés sur la base des données AIS développée précédemment.

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.

Ce bruit du trafic maritime d'une emprise géographique bien que plus importante, 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, 50 (Médiane), 95 et de la moyenne traduit cette homogénéité à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée et éloignée.**

### 13.8 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 le niveau du bruit calculé 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 scénarii 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 la 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  $\mu$ Pa pendant 5% du temps. Ces résultats s'expliquent par la faible représentativité des navires ou comportements les plus bruyant.

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  $\mu$ 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).

## 14. 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.

### 14.1 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 23/11/2023. Les périodes d'enregistrement ont permis d'obtenir une couverture de **79,2 %** d'échantillonnage.

#### 14.1.1 Présence et taux de rencontre des espèces

La **Figure 350** illustre les moyennes journalières du nombre de clics par heure pour les Marsouins communs et les Delphinidés entre novembre 2022 et novembre 2023, 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 396 (Annexe 18.7.1)** pour chaque enregistreur.

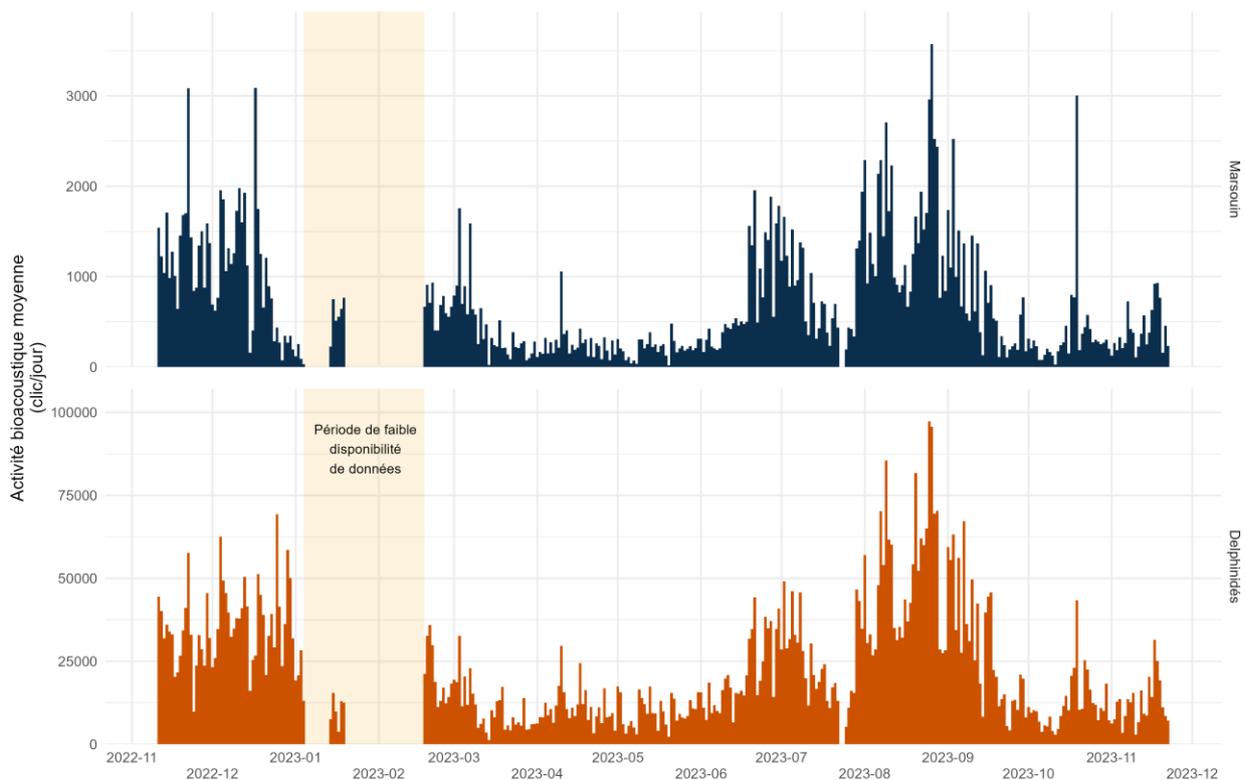


Figure 350 : Répartition temporelle des clics (moyenne journalière) des Marsouins communs (en haut) et des Delphinidés (en bas) sur l'ensemble des campagnes de la première année, toutes stations confondues (A, B et Témoin).

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 20 952 075 clics toutes espèces confondues. Le nombre de clics émis par les Delphinidés représente 97 % des clics enregistrés (20 318 610 clics), contre 3 % pour les Marsouins (633 465 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 40 371 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 20 666 clics/jour et 19 602 clics/jour, confirmant une présence soutenue en fin d'année. L'activité bioacoustique printanière diminue fortement avec une moyenne de 11 132 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 1 220 clics/jour. Des pics moyens d'activité ont été relevés, notamment le 25 et 26 août 2023 avec respectivement 2 960 et 3 575 clics/jour. L'automne et l'hiver sont également représentatifs des périodes d'activité soutenue, avec des moyennes respectives de 695 et 650 clics/jour, traduisant une présence régulière en fin d'année. En revanche, l'activité bioacoustique au printemps diminue, avec une moyenne de 280 clics/jour.

Le **Tableau 49** 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 49 : 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 » de la 1<sup>ère</sup> année.*

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)
Station A	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>33,1 %</b>	<b>95,4 %</b>
	Temps de présence (5 156 h / 5 156 h)	301 jours de détections / 301 jours de mesures	Temps de présence (2 366h / 7 156 h)	292 jours de détections / 603 jours de mesures
Station B	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>25,6 %</b>	<b>98,6 %</b>
	Temps de présence (4 618 h / 4 618 h)	279 jours de détections / 279 jours de mesures	Temps de présence (1 825 h / 7 123 h)	274 jours de détections / 278 jours de mesures
Station T	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>23,3 %</b>	<b>98,1 %</b>
	Temps de présence (4 451 h / 4 451 h)	315 jours de détections / 315 jours de mesures	Temps de présence (1 704 h / 7 320 h)	308 jours de détections / 314 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 95,4 % et 98,6 % de jours de présence), mais avec un taux de rencontre plus faible compris entre 23,3 % et 33,1 %. La station A enregistre le plus grand taux de rencontre avec 33,1 %.

✓ **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**

- Delphinidés : leur activité est particulièrement prononcée en été (**40 371 clics/jour**), elle est plus modérée en automne (**20 666 clics/jour**) et en hiver (**19 602 clics/jour**) et faible au printemps (**11 132 clics/jour**).
- Marsouins : suivent une activité similaire mais moins intense, avec une forte activité en été (**1 220 clics/jour**), modérée en automne (**695 clics/jour**) et hiver (**650 clics/jour**) et faible au printemps (**280 clics/jour**).

✓ **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 **95,4 %** pour les Marsouins.

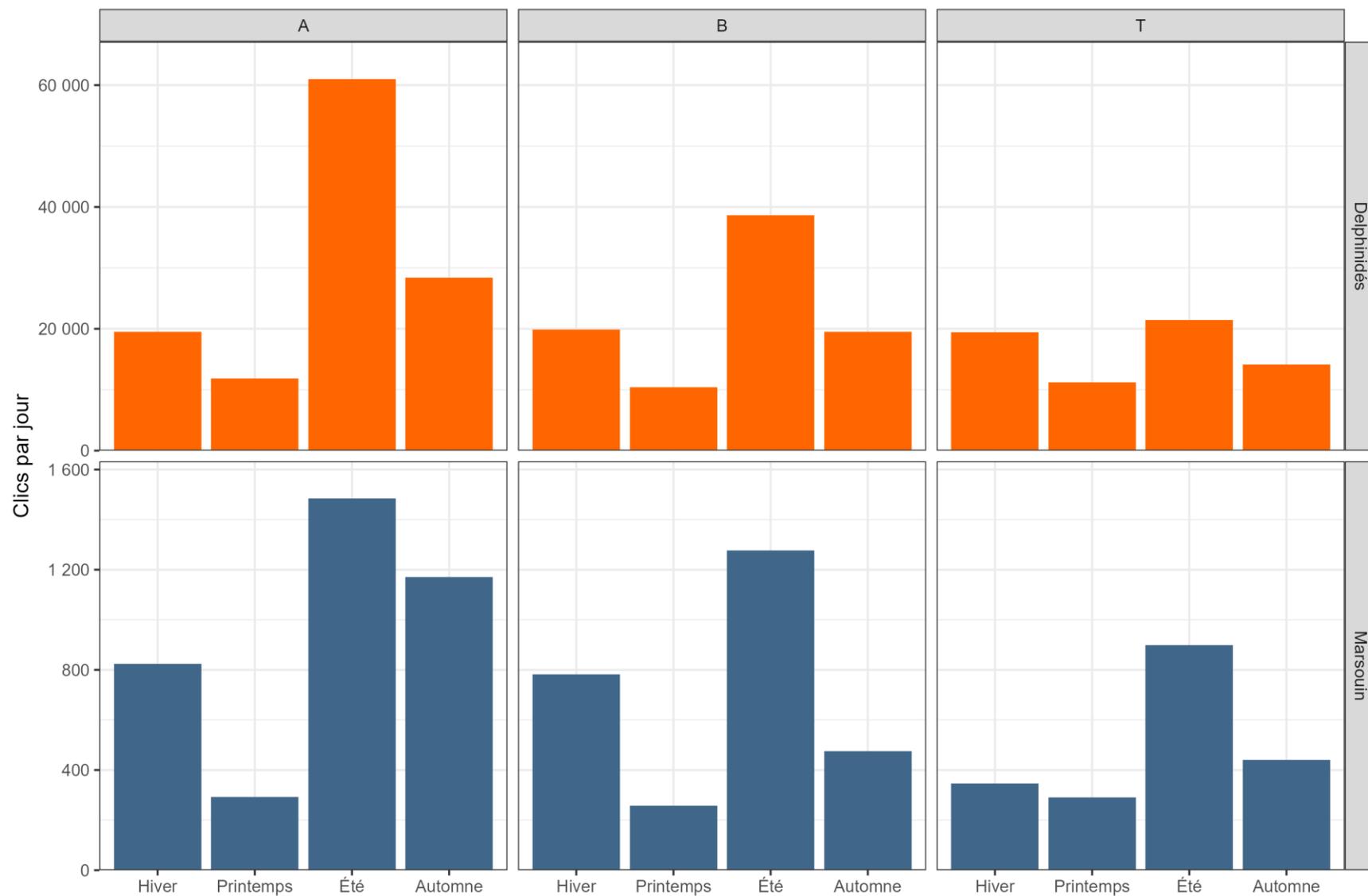
Les Delphinidés ont un taux de rencontre de **100 %** sur l'ensemble des stations, tandis que le taux de rencontre des Marsouins est nettement plus faible (**23,3 % à 33,1 %**).

#### 14.1.2 Variabilité temporelle de la fréquentation

Les variabilités temporelles présentées ici concernent trois 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. Le graphique de la variabilité mensuelle est également présenté en **Figure 398 (Annexe 18.8.1)**.

##### 14.1.2.1 Variabilité saisonnière

La **Figure 351** illustre les activités moyennes saisonnières des clics enregistrés pour les Delphinidés et les Marsouins sur les différentes stations (A, B et T) entre novembre 2022 et novembre 2023.



*Figure 351 : Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés dans les stations A, B et Témoin (données enregistrées*

L'activité bioacoustique des Delphinidés 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 61 023 clics/jour est enregistrée, suivie de la station B avec 38 613 clics/jour. En comparaison, la station T présente une activité estivale plus modérée (21 475 clics/jour). À l'automne, l'activité diminue fortement, notamment dans les stations A (28 420 clics/jour) et B (19 474 clics/jour) et de façon plus modérée dans la station T (14 103 clics/jour). De même pour l'activité hivernale avec cette fois-ci une moyenne journalière homogène entre stations (station A : 19 517 clics/jour, station B : 19 879 clics/jour et station T : 19 409 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 (11 818 clics/jour).

Les Marsouins présentent également une forte variabilité saisonnière, 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 (1 485 clics/jour), suivie de la station B (1 277 clics/jour). La station T affiche une activité estivale plus faible (899 clics/jour). L'automne est également une saison où l'activité reste importante, notamment à la station A (1 170 clics/jour), alors que les stations B et T enregistrent des niveaux plus bas, respectivement 476 et 440 clics/jour. En hiver, l'activité des Marsouins est modérée, avec 824 clics/jour à la station A, et 781 clics/jour à la station B. 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 (293 clics/jour).

Les résultats du test de Mann-Whitney, appliqué pour identifier les différences significatives dans la distribution des Delphinidés (**Figure 352**) et des Marsouins (**Figure 353**) 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	0,106										
Automne - T	0,001	0,657									
Été - A	0,001	0,001	0,001								
Été - B	0,091	0,001	0,001	0,006							
Été - T	0,444	1	0,444	0,001	0,001						
Hiver - A	1	1	0,12	0,001	0,001	1					
Hiver - B	1	1	0,254	0,001	0,247	1	1				
Hiver - T	0,744	1	0,657	0,001	0,001	1	1	1			
Printemps - A	0,001	0,063	1	0,001	0,001	0,045	0,011	0,082	0,084		
Printemps - B	0,001	0,001	0,873	0,001	0,001	0,004	0,001	0,007	0,002	1	
Printemps - T	0,001	0,05	1	0,001	0,001	0,027	0,006	0,045	0,049	1	1

Figure 352 : Résultats du test pour comparaisons des moyennes par paires de Mann-Whitney pour les Delphinidés (données enregistrées de la 1ère année, 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 ( $p < 0,05$ ). Notamment pour l'été qui présente des différences significatives avec toutes les saisons (hormis la station T qui ne présente pas de différences significatives avec les stations

A et B en automne et hiver). 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 ( $p = 1$ ), en automne (sauf les stations A et T) ainsi qu'entre l'automne et l'hiver, suggérant une occupation stable au cours de ces deux saisons. 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	0,09										
Automne - T	0,009	1									
Été - A	0,026	0,001	0,001								
Été - B	0,391	0,001	0,001	1							
Été - T	1	0,233	0,034	0,001	0,06						
Hiver - A	1	0,001	0,001	0,017	1	1					
Hiver - B	1	0,119	0,034	0,386	1	1	1				
Hiver - T	0,034	1	1	0,001	0,001	0,045	0,001	0,009			
Printemps - A	0,001	0,006	0,221	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,556		
Printemps - B	0,001	0,001	0,051	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,155	1	
Printemps - T	0,001	0,221	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	0,313

Figure 353 : Résultats du test pour comparaisons des moyennes par paires de Mann-Whitney pour les Marsouins communs (données enregistreurs de la 1<sup>ère</sup> année, stations A, B et Témoin).

Le test appliqué aux données des Marsouins met également en évidence des différences significatives entre les saisons et les stations ( $p < 0,05$ ), traduisant une variabilité 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 et B 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 A ( $p = 1$ ), en station B ( $p = 0,119$ ) et en station T ( $p = 1$ ) ne sont pas significatives, suggérant une continuité saisonnière entre ces périodes dans ces zones. Enfin, au printemps, les stations A, B et T affichent des niveaux d'activité comparables à la station T en automne.

✓ **Variabilité saisonnière inter et intra-stations**

Les résultats des 12 mois d'enregistrements révèlent des variations saisonnières significatives inter et intra station dans l'activité acoustique des Delphinidés et des Marsouins.

✓ **Activité bioacoustique saisonnière par station**

**Delphinidés :**

- **Période estivale** : saison la plus importante avec une activité maximale dans la station A (61 023 clics/jour), suivie de la stations B (38 613 clics/jour).
- **Période automnale** : l'activité diminue mais reste soutenue, en particulier dans les stations A (28 420 clics/jour) et B (19 474 clics/jour).
- **Période hivernale** : baisse progressive de l'activité, avec une présence encore significative dans les trois stations, notamment dans la station B (19 879 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 (1 485 clics/jour), suivie par la station B (1 277 clics/jour).
- **Période automnale** : activité soutenue en station A (1 170 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. Comparé aux autres stations, les Delphinidés y sont moins actifs en été et en automne, leur fréquentation est plus homogène en hiver et printemps. Les Marsouins montrent une activité plus importante en été. Ces résultats suggèrent que les Delphinidés et Marsouins privilégient les stations à l'intérieur du futur parc éolien, probablement en lien avec la disponibilité des ressources alimentaires ainsi que des facteurs environnementaux et anthropiques influençant leur répartition.

#### 14.1.2.2 Variabilité diurne

La **Figure 354** montre la répartition jour/nuit des clics enregistrés des Delphinidés et Marsouins communs sur les stations A, B et Témoin.

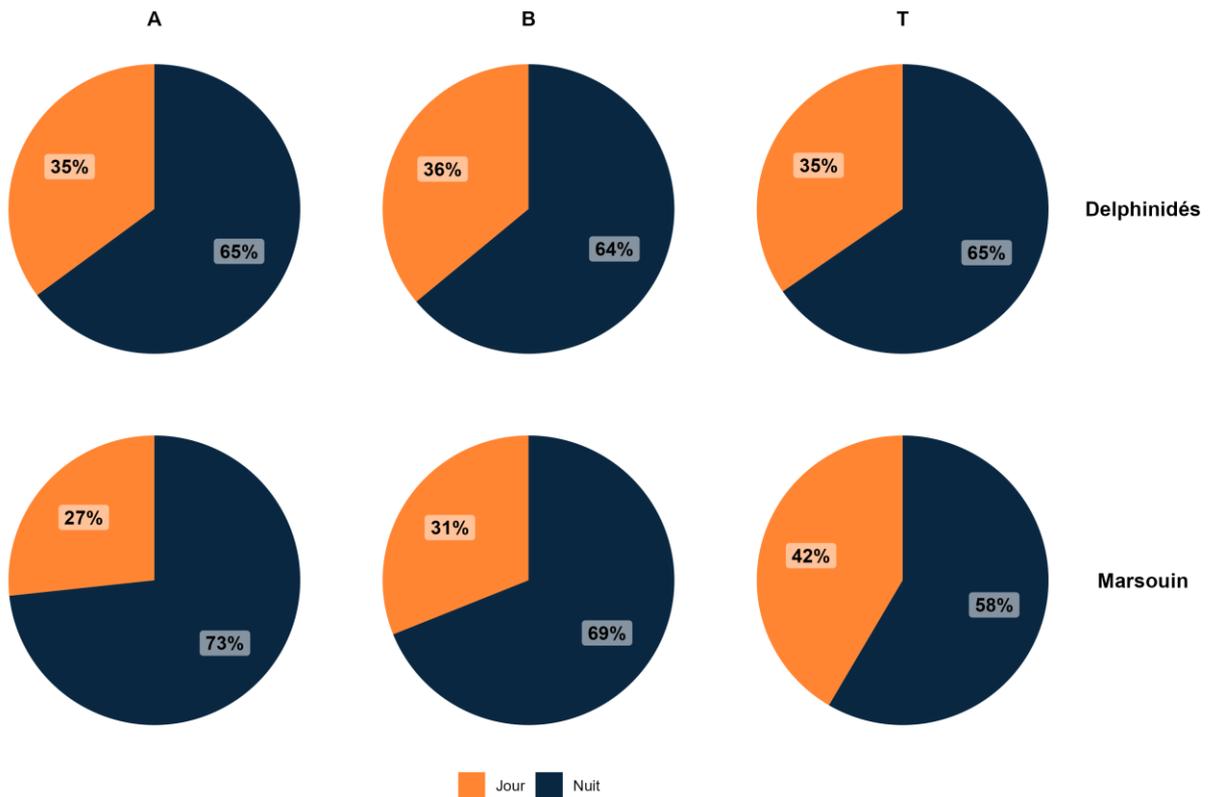
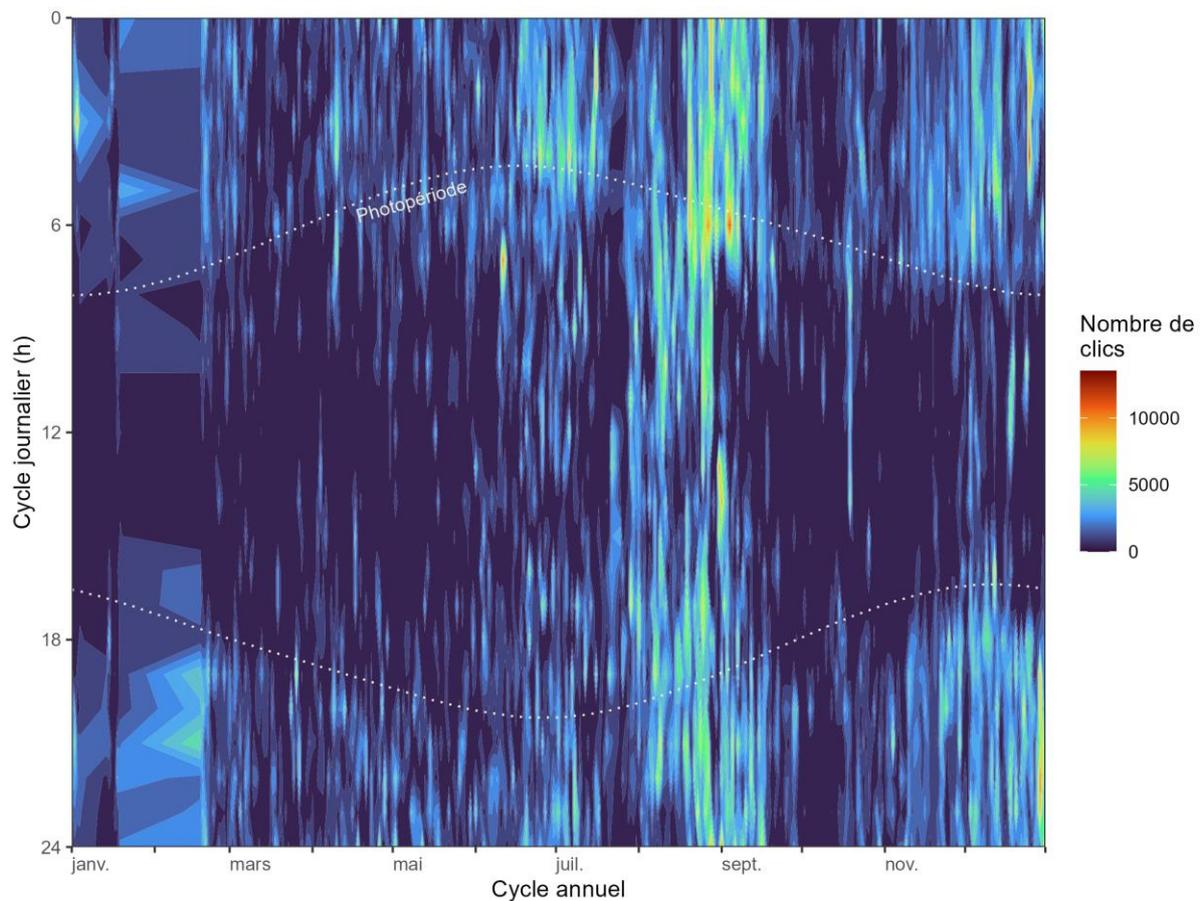


Figure 354 : Répartition jour/nuit des clics des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B et Témoin.

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, pour les Delphinidés (~65 %). Une légère variabilité est observée pour les détections nocturnes des Marsouins qui varient entre 58 % (station Témoin) et 73 % (station A).

La **Figure 355** 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.

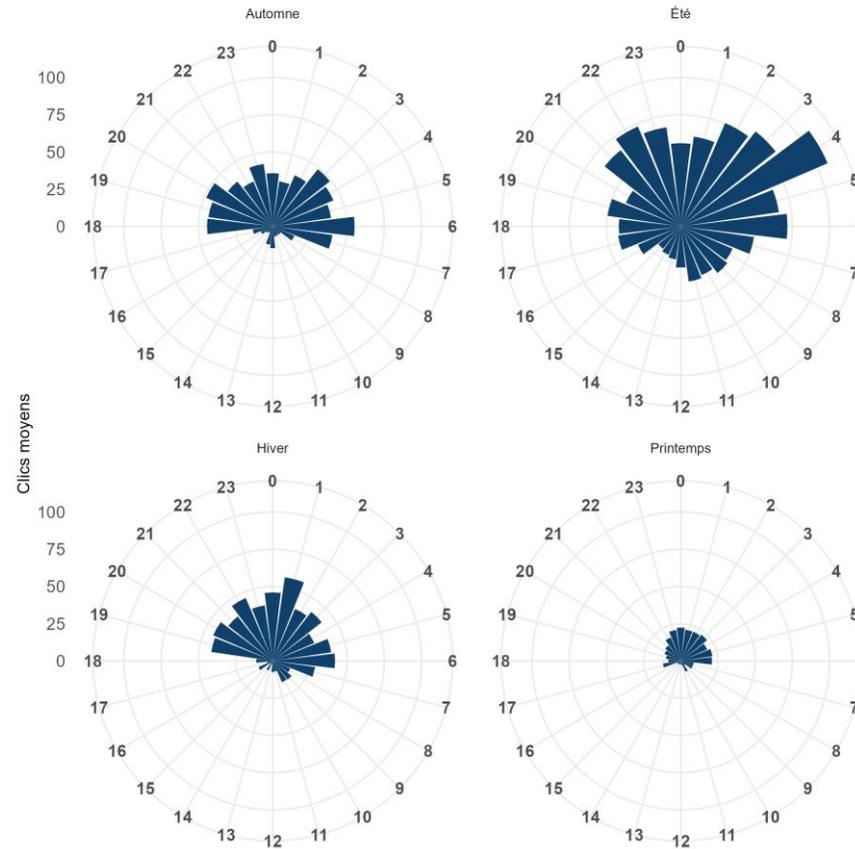
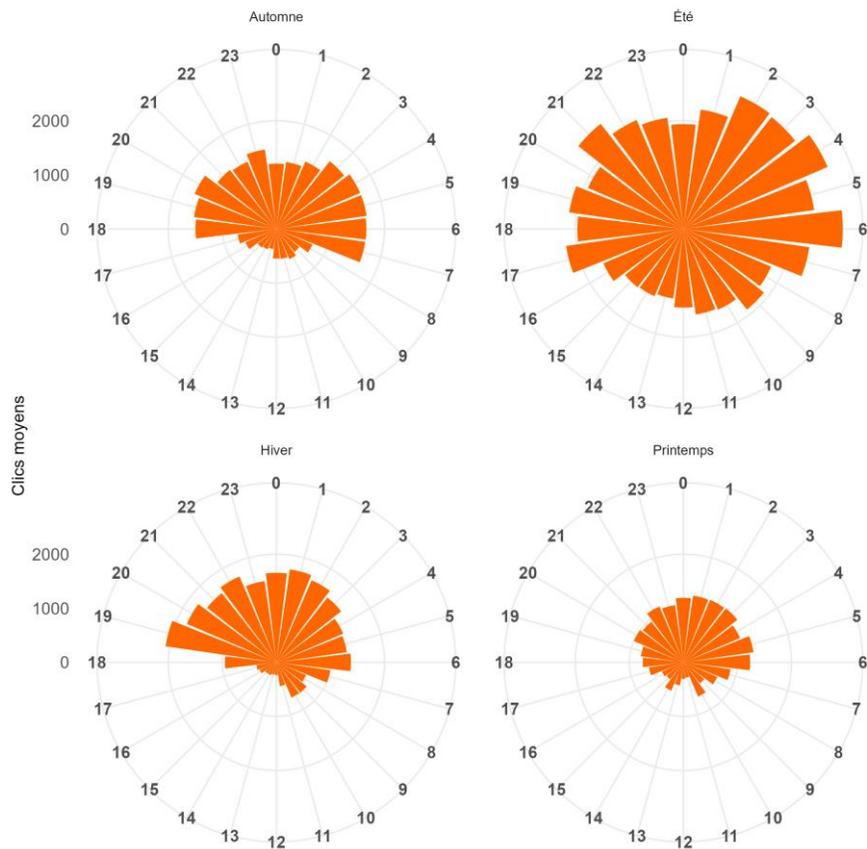


*Figure 355 : Nombre moyen de clics des Delphinidés par minute sur une heure, en fonction de la date (X) et de l'heure du jour (Y), toutes stations confondues (A, B et Témoin). Le taux de détection moyen par minute est visualisé par des contours sur deux axes temporels : l'axe horizontal représente l'année 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.*

L'évolution de la répartition jour/nuit au cours de la première année 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.

#### 14.1.2.3 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 356** pour les Delphinidés (à gauche) et des Marsouins (à droite).



*Figure 356 : Clics moyens des Delphinidés (à gauche) et des Marsouins (à droite) sur le cycle journalier, par saison et toutes stations confondues (A, B 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).*

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 jusqu'à 15 clics moyens pour les Marsouins). L'activité est au plus fort entre 18h et 6h-7h du matin (jusqu'à 1 500 clics moyens pour les Delphinidés et entre 25 et 50 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 17h et 7h (> 2 000 clics moyens) pour les Delphinidés et entre 21h et 6h du matin pour les Marsouins (entre 50 et 75 clics moyens et un pic > 100 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 (entre 1 000 clics et 2 000 clics moyens pour les Delphinidés et 25 à 50 clics moyens pour les Marsouins). L'activité en journée est très faible.
- **Printemps** : présente une baisse importante du nombre de détections la nuit. Les plus fortes activités sont enregistrées entre 22h et 6h du matin (~ 1 000 clics moyens pour les Delphinidés et < 25 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 la **Figure 357** illustre l'activité moyenne de clics par heure des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas).

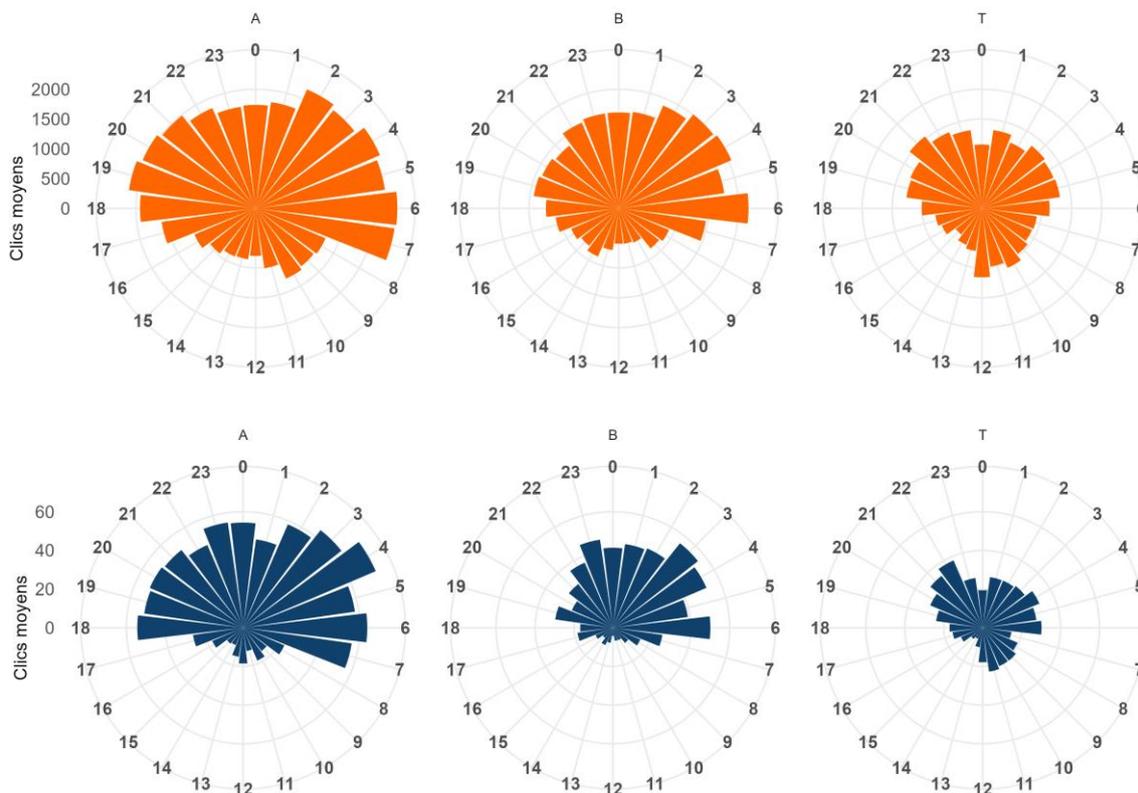


Figure 357 : Clics moyens des Delphinidés (sur le cycle journalier, par station (A, B et Témoin), toutes saisons confondues lors de la 1<sup>ère</sup> année. La longueur des barres indique les clics moyens/heure et l'angle de la barre représente l'heure jour (indiquée par les chiffres sur la circonférence 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.

✓ **Variabilité horaire et saisonnière**

**Delphinidés :**

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

**Marsouins :**

- **Automne / hiver** : présentent une activité nocturne modérée (entre 25 et 50 clics moyens) et très faible en journée.
- **Été** : activité nocturne maximale en été (entre 50 et 75 clics moyens) et augmentation en période de clarté.
- **Printemps** : période présentant la plus faible activité nocturne (~ 25 clics moyens).

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

### 14.1.3 Analyse comparative des différents sites échantillonnés (BAC)

#### 14.1.3.1 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 358**).

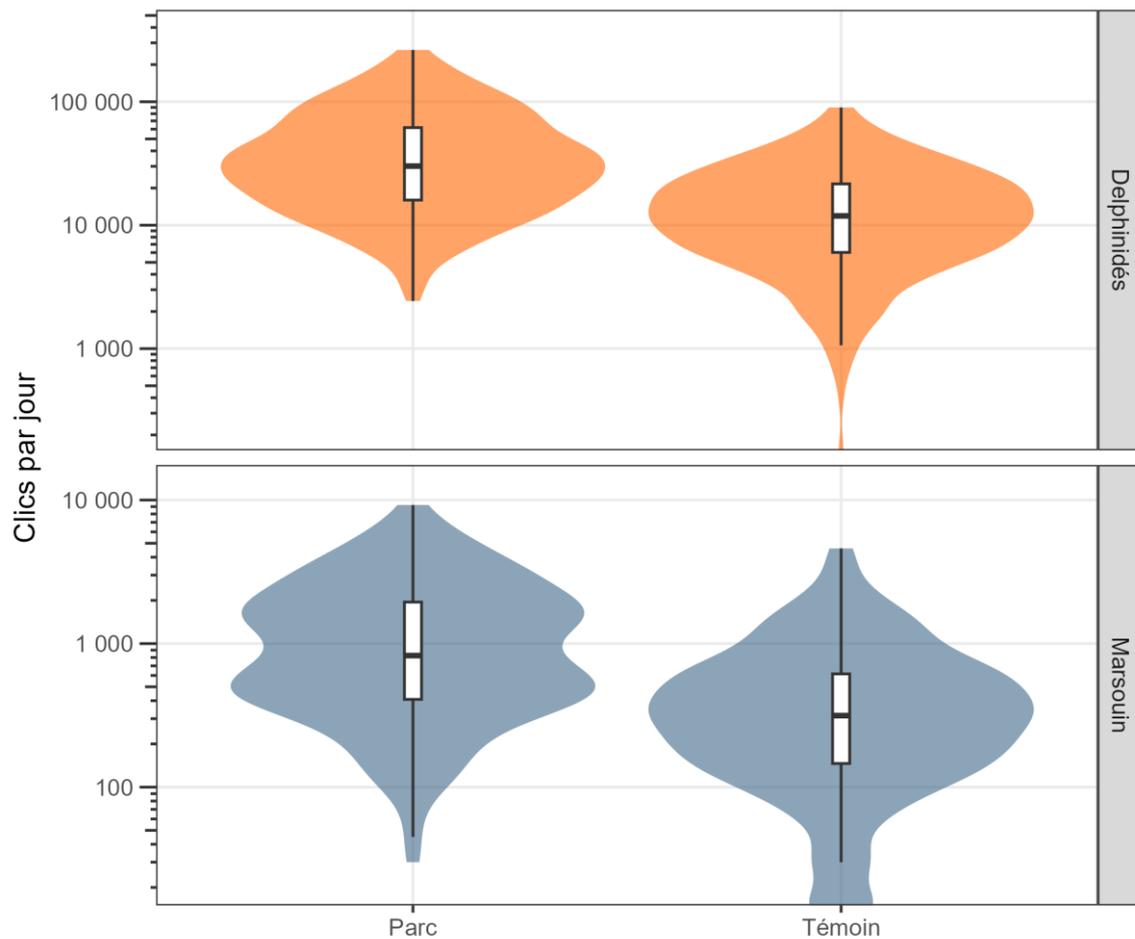


Figure 358 : Distribution des sommes des clics par jour des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) entre la zone du parc (stations A et B) et la zone éloignée (station Témoïn), pour les campagnes 1 à 11. Echelle verticale logarithmique (log10).

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 30 118 clics/jour pour les Delphinidés et 825 clics/jour pour les Marsouins.

La station Témoïn affiche une activité bioacoustique moins élevée pour les Delphinidés et les Marsouins, avec des médianes respectives de 11 895 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 hétérogène 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 Témoïn ( $W = 77\,298$ ,  $p = 4,55 \cdot 10^{-28}$ ). Ce constat est également valable pour les Delphinidés ( $W = 80\,448$ ,  $p = 2,28 \cdot 10^{-34}$ ).

### 14.1.3.2 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 359** présente cette comparaison avec un échelle verticale logarithmique (log10).

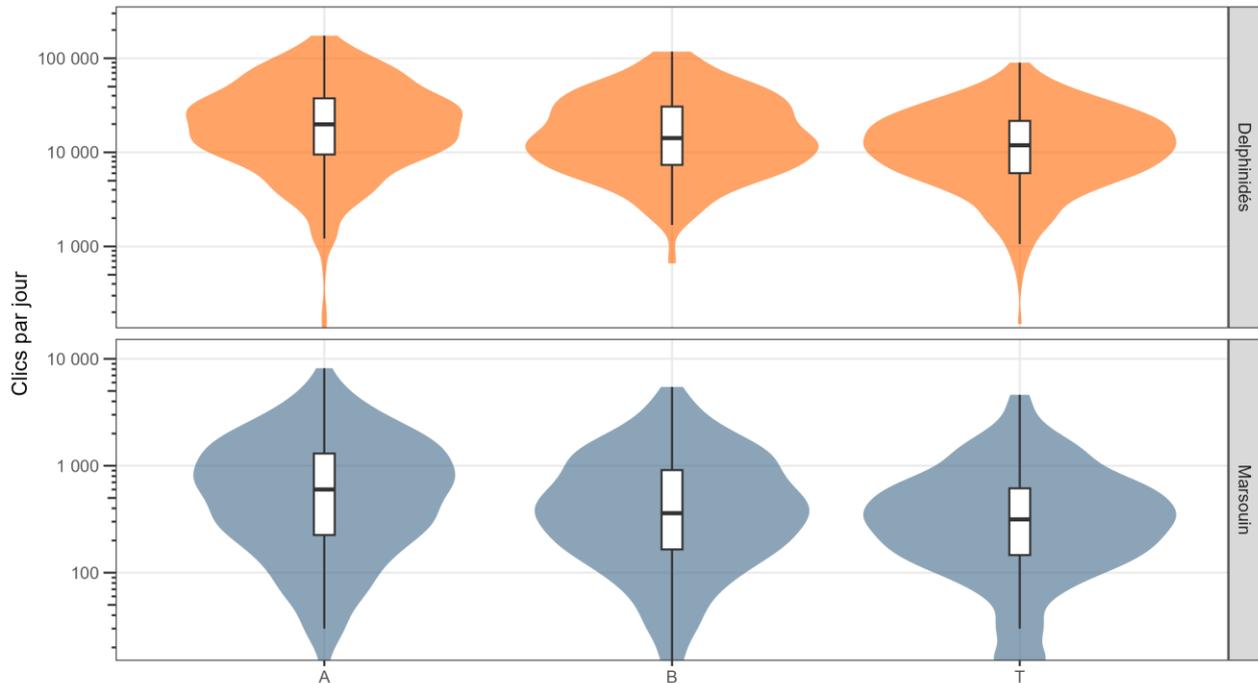


Figure 359 : Distribution des taux de détection horaire agrégés par jour des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) entre Stations A, B et Témoin, pour les campagnes 1 à 11. Echelle verticale logarithmique (log10).

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 : 19 845 clics/jour, Station B : 14 175 clics/jour et station Témoin : 11 895 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 (600 clics/jour). Les taux d'activités des stations B et T se situent autour de la médiane avec respectivement 360 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 ( $p = 3,72 \cdot 10^{-9}$ ). La différence entre les stations A et B (l'intérieur du parc) et B et T reste significative mais moins marquée (avec respectivement  $p = 0,008$  et  $p = 0,001$ ). Pour les Marsouins, les différences sont fortement significatives entre les stations A et T ( $p = 4,41 \cdot 10^{-6}$ ) et les différences sont significativement plus faibles entre la station A et B et la station B et T ( $p = 0,024$  pour les deux cas).

✓ **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 :**

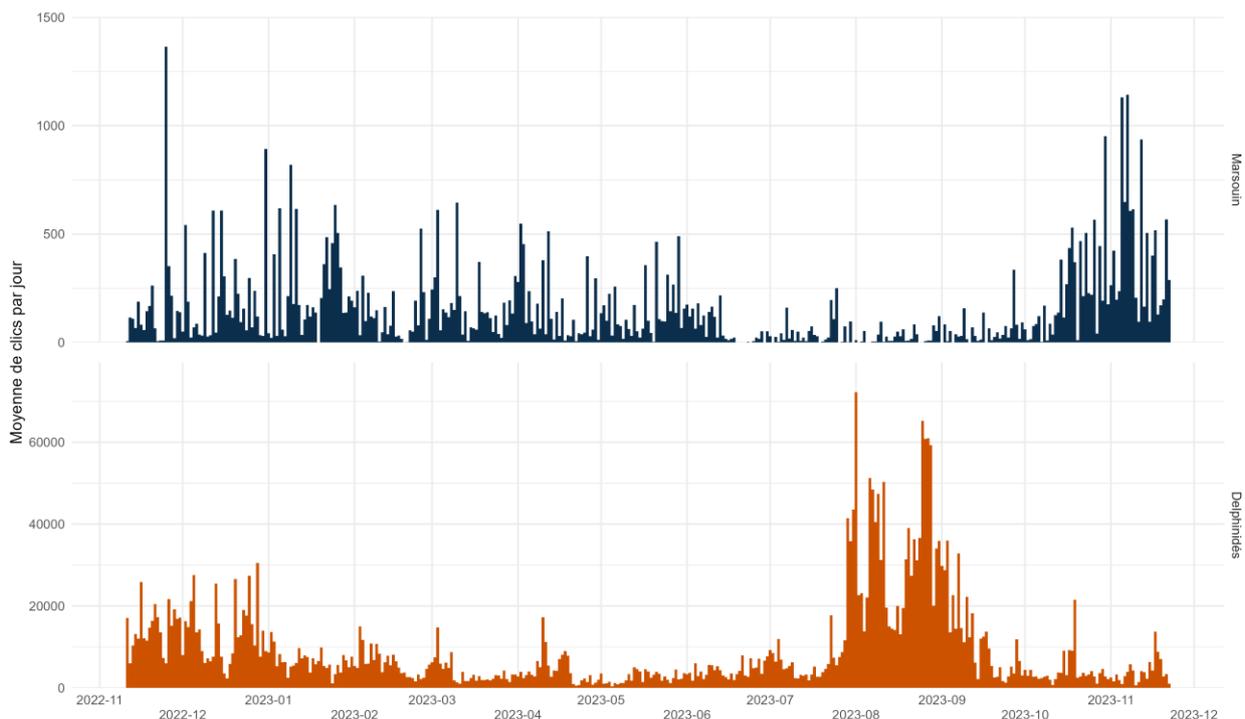
Un gradient d'activité bioacoustique décroissant est observé entre stations A, B et Témoin pour les Delphinidés et les Marsouins. Ce résultat suggère que **la zone du parc est plus favorable** à la fréquentation des cétacés, possiblement en raison de conditions environnementales ou trophiques plus favorables.

## 14.2 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 23/11/2023. Les POD ont permis d'obtenir une couverture de **91,9 %** d'échantillonnage. Les périodes d'acquisition de données sont illustrées par la **Figure 397 (Annexe 18.7.2)** pour chaque POD.

### 14.2.1 Présence et taux de rencontre

La **Figure 360** 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 360 : 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 19 948 647 clics toutes espèces confondues. Le nombre de clics émis par les Delphinidés est nettement plus prononcé, avec un total de 19 646 745 clics (représentant 98% des clics enregistrés), comparée à 301 902 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 18 488 clics/jour. Des pics moyens journaliers de 72 259 clics et de 65 210 ont été enregistrés le 01 et 25 août 2023. L'automne et l'hiver constituent également des périodes d'activité notable, avec des moyennes

respectives de 7 521 clics/jour et 6 235 clics/jour, confirmant une présence soutenue en fin d'année. L'activité bioacoustique printanière diminue fortement avec une moyenne de 3 191 clics/jour.

Pour les Marsouins, l'activité acoustique, bien que globalement moins intense que celle des Delphinidés, atteint son maximum en automne avec une moyenne de 226 clics/jour. Des pics d'activité notables ont été enregistrés le 05, 07 et 25 novembre 2023 avec respectivement 1 130 clics/jour, 1 143 clics/jour et 1 365 clics/jour. L'activité bioacoustique est modérée en hiver avec une moyenne de 172 clics/jour, puis elle diminue progressivement entre le printemps (128 clics/jour) et l'été (34 clics/jour).

Le **Tableau 50** 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 50 : 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 de la 1<sup>ère</sup> année.*

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	<b>29,9 %</b> Temps de présence (2 725 h / 9 116 h)	<b>92 %</b> 332 jours de détections / 361 jours de mesures	<b>2,7 %</b> Temps de présence (233 h / 8 592 h)	<b>36,8 %</b> 133 jours de détections / 361 jours de mesures
Station B	<b>29,6 %</b> Temps de présence (2 290 h / 7 744 h)	<b>76,6 %</b> 249 jours de détections / 325 jours de mesures	<b>3 %</b> Temps de présence (229 h / 7 744 h)	<b>39,7 %</b> 129 jours de détections / 325 jours de mesures
Station T	<b>24,6 %</b> Temps de présence (1 898 h / 7 723 h)	<b>94,8 %</b> 308 jours de détections / 325 jours de mesures	<b>3,3 %</b> Temps de présence (215 h / 7 723 h)	<b>45,5 %</b> 148 jours de détections / 325 jours de mesures
Station C	<b>18,3 %</b> Temps de présence (1 451 h / 7 933 h)	<b>88,3 %</b> 295 jours de détections / 334 jours de mesures	<b>5,1 %</b> Temps de présence (406 h / 7 933 h)	<b>55,7 %</b> 186 jours de détections / 334 jours de mesures
Station O	<b>52,7 %</b> Temps de présence (4 607 h / 8 739 h)	<b>99,7 %</b> 365 jours de détections / 366 jours de mesures	<b>4,6 %</b> Temps de présence (404 h / 8 739 h)	<b>50,3 %</b> 184 jours de détections / 366 jours de mesures
Station L	<b>44,9 %</b> Temps de présence (4 073 h / 9 073 h)	<b>98,2 %</b> 372 jours de détections / 379 jours de mesures	<b>4,2 %</b> Temps de présence (381 h / 9 073 h)	<b>52 %</b> 197 jours de détections / 379 jours de mesures

La présence des Delphinidés est quasi-permanente dans l'ensemble des stations étudiées, avec un temps de présence élevé dans l'ensemble des stations, compris entre **76,6 %** (station B) et **99,7 %** (station L). Les taux de rencontre varient entre **18,3 %** et **52,7 %**. Les **stations O et L** se distinguent comme des zones importantes pour les Delphinidés, avec des taux de rencontre de **52,7 %** et **44,9 %** respectivement. Les

autres stations témoignent également d'une présence régulière, bien qu'inférieure à celle des stations O et L. La Station C, la plus côtière présente le taux de rencontre le plus faible (18,3 %).

En comparaison, les Marsouins montrent une fréquentation moins intense, avec des taux de rencontre plus faibles (**2,7 % à 5,1 %**) et un temps de présence plus restreint (**36,8 % à 55,7 %**). Les **stations C et O** apparaissent comme les principales zones d'activités, avec des taux de rencontre respectifs de **5,1 % et 4,96 %**. Suivies de près par la **station L** avec un taux de rencontre de **4,2 %**.

✓ **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 (**18 488 clics/jour**), modérée en automne (**7 521 clics/jour**) et en hiver (**6 235 clics/jour**) et faible au printemps (**3 191 clics/jour**).
- **Marsouins** : leur activité est globalement plus modérée, avec des périodes clés en automne (**226 clics/jour**) et en hiver (**172 clics/jour**), une diminution au printemps (**128 clics/jour**) et en été (**34 clics/jour**).

✓ **Taux de rencontre par station**

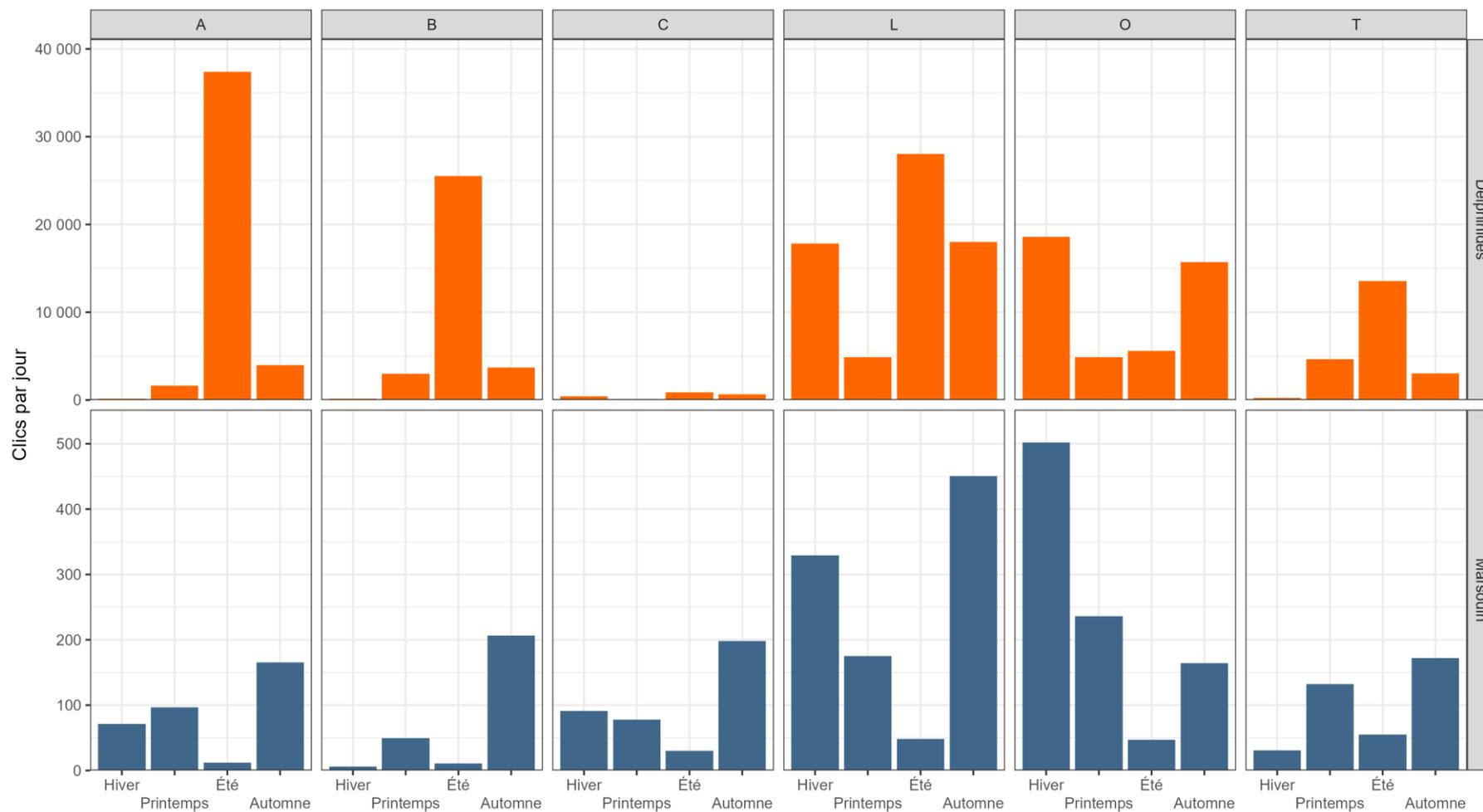
- **Delphinidés** : affichent une présence quasi-quotidienne dans l'ensemble des stations. Ils présentent des taux de rencontre globalement plus élevés que ceux des Marsouins, se concentrant principalement dans les stations O (**52,7 %**) et L (**44,9 %**).
- **Marsouins** : les taux les plus élevés se situent dans les stations C (**5,1 %**) et O (**4,6 %**) et L (**4,2 %**).

## 14.2.2 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. Le graphique de la variabilité mensuelle est également présenté dans la **Figure 399 (Annexe 18.8.2)**.

### 14.2.2.1 Variabilité saisonnière

La **Figure 361** illustre les activités moyennes saisonnières des clics enregistrés pour les Delphinidés (en haut) et les Marsouins (en bas) sur les différentes stations (A, B, C, L, O, T), lors de la première année.



*Figure 361 : Activité saisonnière en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) dans les stations A, B, C, O, L et Témoin (données POD, campagnes 1 à 11).*

Les Delphinidés montrent une activité bioacoustique importante en été sur l'ensemble des stations (hors station C), notamment dans la station A avec une moyenne de 37 371 clics/jour, suivi par les stations B et L avec des moyennes respectives de 25 500 clics/jour et 28 059 clics/jour. Bien qu'elle soit généralement inférieure à l'été, l'activité automnale est importante dans les stations L (17 996 clics/jour) et O (15 731 clics/jour). L'hiver suit une dynamique comparable, les stations les plus actives restent L et O, avec des moyennes respectives de 17 835 clics/jour et 18 591 clics/jour. L'activité printanière est significativement réduite avec des moyennes maximales de 4 870 clics/ jour en la station L, 4 882 clics/jour en station O et 4 647 clics/jour en station T. La station C se distingue par des niveaux d'activité très faibles tout au long de l'année (510 clics/jour), mais présente une activité plus marquée en été (887 clics/jour) par rapport aux autres saisons. Ces tendances montrent que l'été concentre la majorité de l'activité bioacoustique, probablement en lien avec une meilleure disponibilité des proies et des conditions environnementales favorables. La baisse d'activité observée à l'automne et en hiver pourrait refléter une redistribution spatiale ou des ajustements comportementaux.

Les Marsouins 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 la station L (451 clics/jour), suivie par les stations B (207 clics/jour) et la station C (198 clics/jour). La saison hivernale est également importante, les niveaux maximaux sont atteints avec 502 clics/jour à la station O et 329 clics/jour et à la station L. À partir du printemps, une forte baisse de l'activité bioacoustique est constatée, bien que les stations L et O enregistrent encore 175 clics/jour et 236 clics/jour respectivement. L'été est marqué par une réduction significative, avec des moyennes maximales de 47 clics/jour à la station O et de 48 clics/jour à la station L et 55 clics/ jours à la station T. Enfin, la station B se distingue par des niveaux d'activité parmi les plus faibles sur toutes les saisons avec une moyenne de 68 clics/jour. Globalement, des variations saisonnières sont observées, cependant leur répartition spatiale est plus stable que celle des Delphinidés, avec une concentration également importante dans les stations L et O, à l'intérieur du parc. 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.

Les résultats du test de Mann-Whitney appliqué à la distribution des Delphinidés (**Figure 362**) et des Marsouins (**Figure 363**) entre les différentes stations et saisons permettent d'identifier les variations spatio-temporelles de fréquentation. Les valeurs de  $p < 0,05$  (indiquées en orange) traduisent des différences significatives entre les comparaisons. Pour les Marsouins, les résultats indiquent une stabilité relative de leur présence, avec peu de variations significatives entre les saisons, ce qui reflète une fréquentation globalement faible et régulière de la zone d'étude. À l'inverse, les Delphinidés présentent davantage de différences significatives selon les périodes et les stations, soulignant une variabilité plus marquée de leur répartition.

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	1																						
Automne L	0,001	0,001	0,001																					
Automne O	1	0,215	0,349	0,002																				
Automne T	1	1	0,045	0,001	1																			
Été A	0,001	0,001	0,001	1	0,016	0,002																		
Été B	0,564	0,001	0,002	1	1	0,926	1																	
Été C	0,008	1	1	0,001	1	0,506	0,001	0,022																
Été L	0,001	0,001	0,001	0,33	0,001	0,001	1	0,403	0,001															
Été O	1	1	0,001	0,001	1	1	0,003	1	0,003	0,001														
Été T	1	0,457	0,001	0,001	1	1	0,033	1	0,069	0,001	1													
Hiver A	0,001	0,039	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	0,001	0,001
Hiver B	0,001	0,66	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1										
Hiver C	0,001	0,5	1	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,33	0,001	0,001	0,001	0,001	0,235										
Hiver L	0,001	0,001	0,001	1	0,004	0,001	1	1	0,001	1	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
Hiver O	0,001	0,001	0,001	1	0,001	0,001	1	1	0,001	1	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
Hiver T	0,001	0,399	0,009	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,066	1	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Printemps A	0,33	1	1	0,001	1	1	0,001	0,005	1	0,001	0,189	0,269	0,001	0,007	0,104	0,001	0,001	0,002						
Printemps B	1	1	0,004	0,001	1	1	0,001	0,006	0,218	0,001	1	1	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1				
Printemps C	0,001	0,007	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Printemps L	0,001	0,033	0,001	0,001	0,974	0,033	0,33	1	0,001	0,001	0,033	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0
Printemps O	0,001	0,021	0,001	0,001	1	0,026	0,269	1	0,001	0,001	0,137	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0	1
Printemps T	1	0,66	0,001	0,001	1	1	0,004	1	0,001	0,001	1	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,913	0	1	1	

Figure 362 : 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	1																							
Automne C	0,092	1																						
Automne L	0,052	1	1																					
Automne O	1	1	0,044	0,024																				
Automne T	1	1	1	1	1																			
Été A	0,004	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001																		
Été B	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	1																	
Été C	1	0,002	0,001	0,001	1	1	0,267	1	1															
Été L	0,224	0,001	0,001	0,001	0,198	0,01	1	1	1															
Été O	1	0,002	0,001	0,001	1	0,47	0,982	0,294	1	1														
Été T	1	0,01	0,001	0,001	1	1	0,488	0,136	1	1	1													
Hiver A	1	0,19	0,001	0,002	1	1	0,026	0,005	1	1	1	1												
Hiver B	0,398	0,001	0,001	0,001	0,236	0,015	1	1	1	1	1	1	0,68											
Hiver C	1	1	0,469	0,215	1	1	0,001	0,001	0,29	0,007	0,349	1	1	0,009										
Hiver L	0,391	1	1	1	0,177	1	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,018	0,001	0,982									
Hiver O	0,005	0,982	1	1	0,001	0,938	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,012	1								
Hiver T	1	0,003	0,001	0,001	1	0,536	0,54	0,139	1	1	1	1	1	1	0,441	0,001	0,001							
Printemps A	1	0,995	0,022	0,017	1	1	0,024	0,006	1	1	1	1	1	0,795	1	0,111	0,001	1						
Printemps B	1	0,197	0,001	0,001	1	1	0,015	0,003	1	1	1	1	1	0,639	1	0,008	0,001	1	1					
Printemps C	1	1	0,084	0,084	1	1	0,001	0,001	0,47	0,009	0,81	1	1	0,013	1	0,435	0,003	0,995	1	1				
Printemps L	1	1	0,838	0,516	1	1	0,001	0,001	0,782	0,023	0,982	1	1	0,065	1	1	0,047	1	1	1	1			
Printemps O	1	1	1	1	1	1	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,007	0,111	0,001	1	1	1	0,002	0,607	0,062	1	1		
Printemps T	1	1	1	1	1	1	0,001	0,001	0,04	0,001	0,048	0,231	1	0,004	1	1	0,157	0,057	1	1	1	1	1	1

Figure 363 : 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).

Une analyse approfondie des facteurs environnementaux, biologiques et anthropiques, développée dans le **chapitre 14.4**, permettra de déterminer si certains de ces paramètres sont à l'origine des variations observées.

✓ **Variabilité saisonnière**

Les résultats des 12 mois d'enregistrements révèlent des variations saisonnières significatives inter et intra station dans l'activité acoustique des Delphinidés et des Marsouins.

-

✓ **Activité bioacoustique saisonnière par station**

**Delphinidés :**

- **Période estivale** : saison la plus importante avec une activité très élevée dans la stations A (37 371 clics/jour), suivie par les stations L (28 059 clics/jour) et B (25 500 clics/jour).
- **Période automnale** : activité plus modérée, les stations les plus actives sont L (17 996 clics/jour) et O (15 731 clics/jour).
- **Période hivernale** : activité modérée, suivant la même dynamique que l'automne avec une activité bioacoustique plus élevée dans les stations L (17 835 clics/jour) et O (18 591 clics/jour).
- **Période printanière** : faible activité acoustique dans l'ensemble des stations avec une moyenne de 3 191 clics/jour.

**Marsouins :**

- **Période automnale** : saison la plus importante avec une activité très élevée dans la stations L (451 clics/jour) et plus modérée dans les stations B (207 clics/jour) et C (198 clics/jour).
- **Période hivernale** : activité importante dans la station O (502 clics/jour) et modérée dans la station L (329 clics/jour).
- **Période printanière** : diminution de l'activité globale, avec une activité notable dans la station O (236 clics/jour).
- **Période estivale** : très faible activité dans l'ensemble des stations avec une moyenne de 34 clics/jour.

✓ **Les stations hors du parc :**

- **La station Témoin (T)** : présente une activité bioacoustique modérée pour les deux groupes. Elle est fréquentée principalement au printemps par les Delphinidés et en automne/printemps par les Marsouins.
- **La station côtière (C)** : présente une activité bioacoustique minimale et donc très peu fréquentée par les Delphinidés. Tandis que les Marsouins présentent une activité modérée et principalement fréquentée en automne.

#### 14.2.2.2 Variabilité diurne

La **Figure 364** montre la répartition jour/nuit des clics enregistrés des Delphinidés et Marsouins communs sur les stations A, B, C, L, O et Témoin.

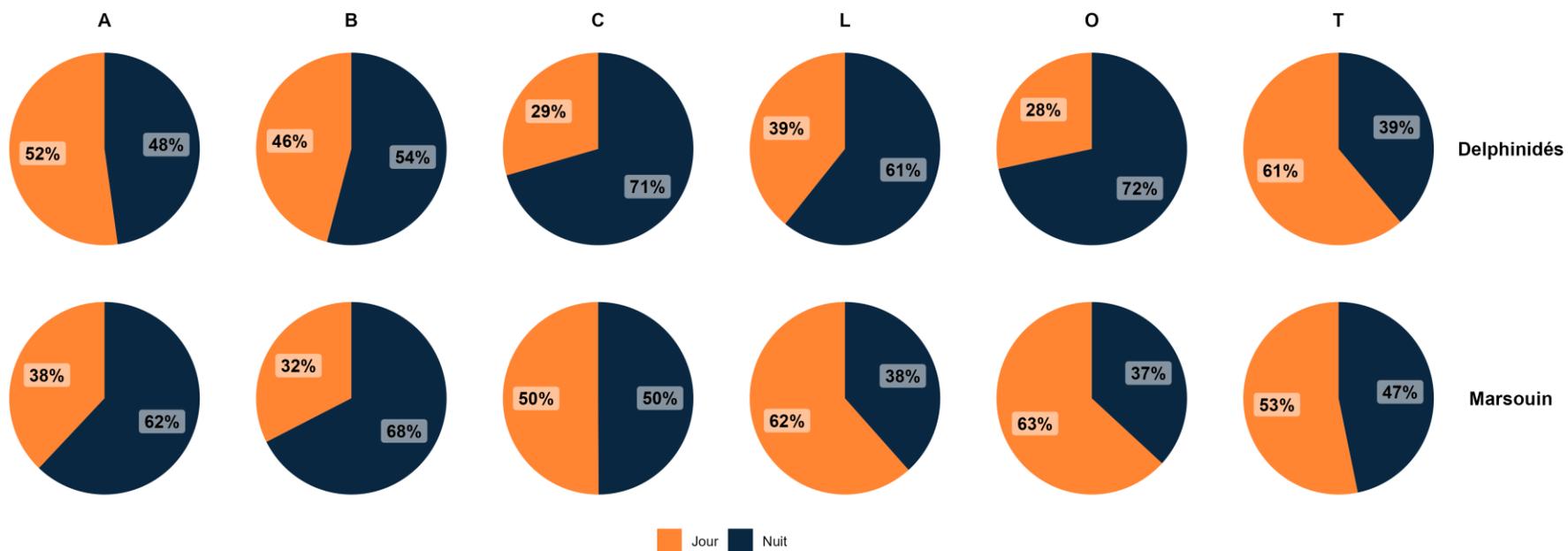
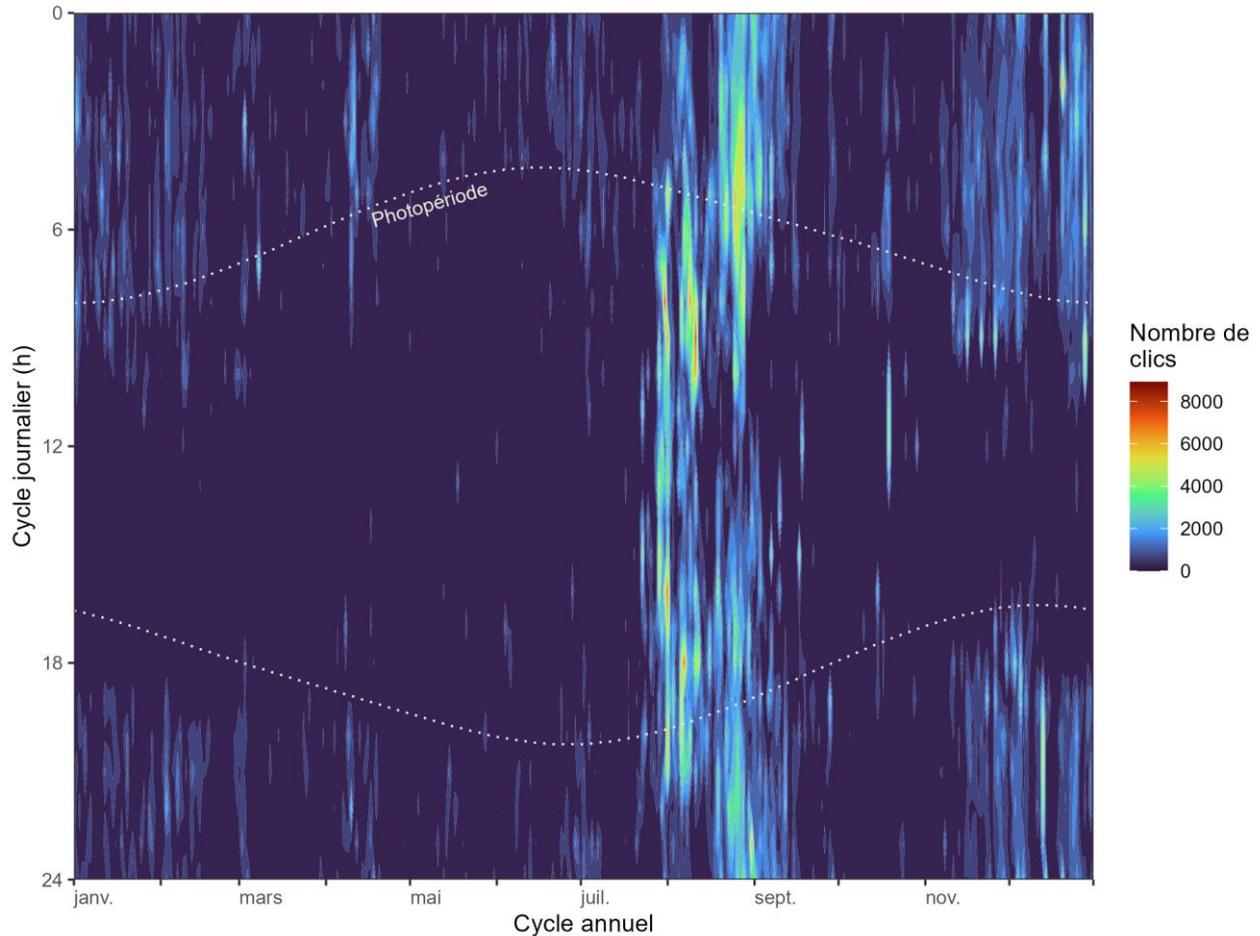


Figure 364 : Répartition jour/nuit des clics des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B, C, L, O et Témoin, lors de la 1<sup>ère</sup> année.

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 des moyennes comprises entre 54 % et 72 %, à l'exception des stations A (48 %) et T (39 %) qui ont une activité majoritairement diurne. Les plus fortes activités nocturnes sont observées dans les stations C (71 %) et O (72 %). L'activité bioacoustique des Marsouins varie entre le jour et la nuit selon les stations. Les stations A et B présentent une activité majoritairement nocturne (62 % à 68 %), les stations C et T une activité mixte, tandis que les stations L et O présentent une activité principalement diurne (62 % à 63 %).

La **Figure 365** *Erreur ! Source du renvoi introuvable.* 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.

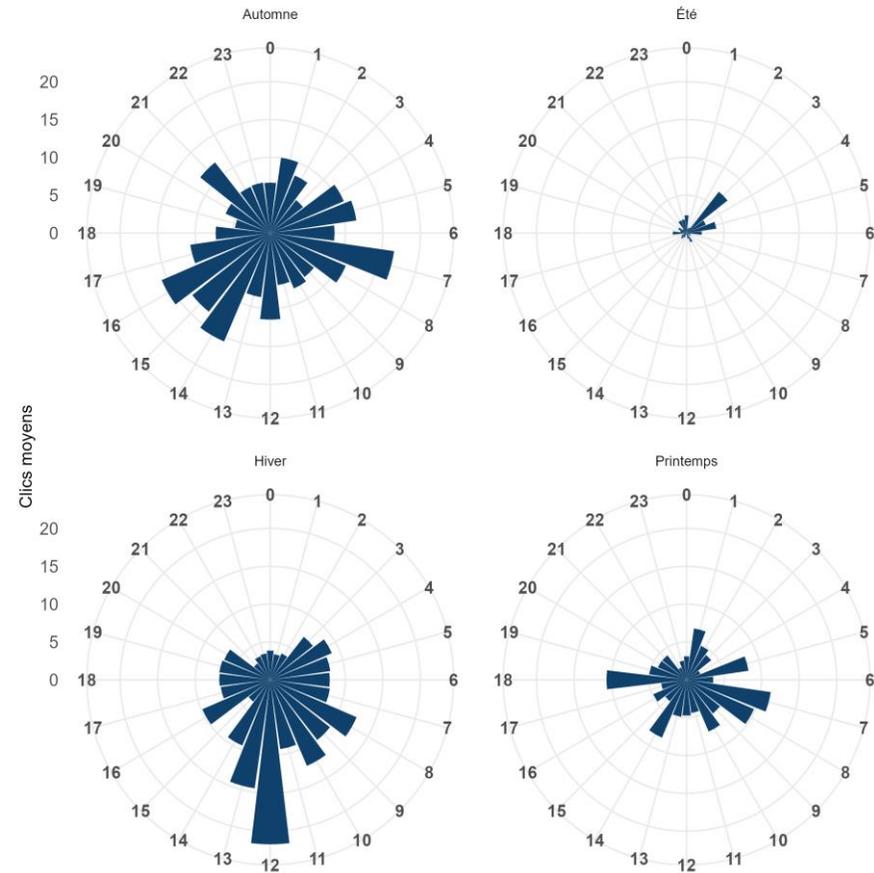
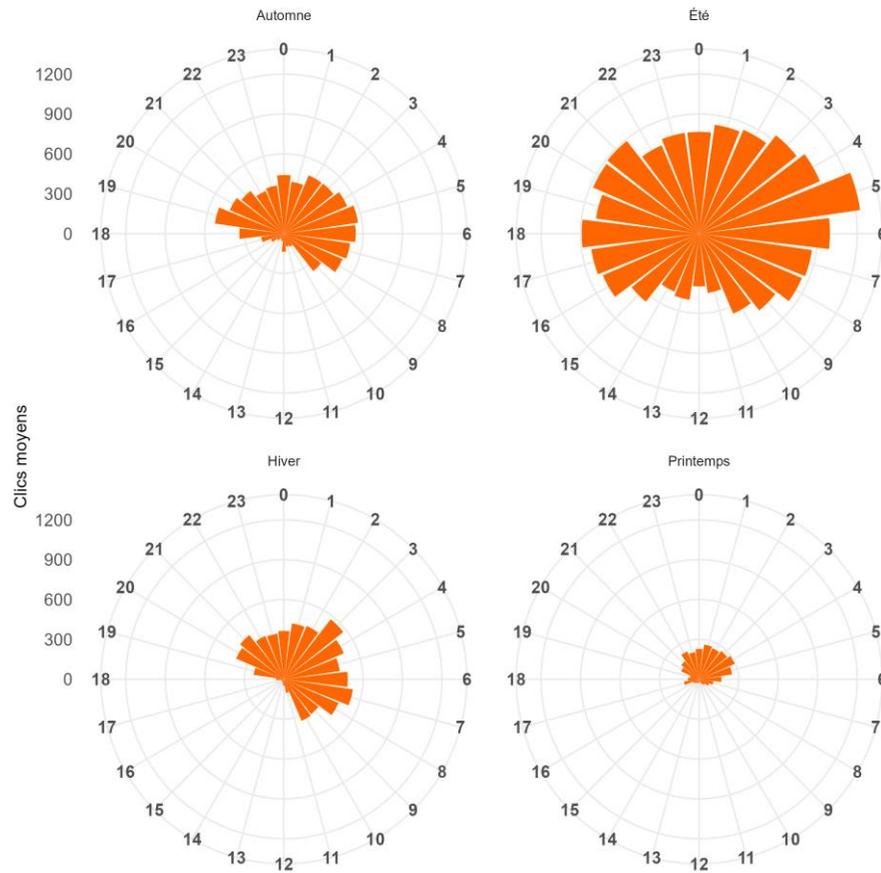


*Figure 365 : Nombre moyen de clics des Delphinidés par minute sur une heure, en fonction de la date (X) et de l'heure du jour (Y), toutes stations confondues (A, B, C, O, L et Témoin). Le taux de détection moyen par minute est visualisé par des contours sur deux axes temporels : l'axe horizontal représente 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.

#### 14.2.2.3 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 366** pour les Delphinidés (à gauche) et des Marsouins (à droite).



*Figure 366 : 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 19h et 8h avec une moyenne comprise entre 300 et 600 clics moyens. L'activité bioacoustique est fortement réduite entre 10h et 17h.
- **Été** : La saison la plus active de jour et de nuit. L'activité bioacoustique la plus élevée est concentrée entre 16h et 08h avec une moyenne comprise entre 600 et 900 clics moyens et un pic à 1 200 clics moyens à 5h. Le reste de la journée, l'activité varie entre 300 et 600 clics moyens.
- **Hiver** : L'activité est également modérée comme à l'automne. La période d'activité est enregistrée entre 20h et 10h, comprise entre 300 et 600 clics moyens. L'activité diminue très fortement ou est quasi nulle entre 11h et 19h.
- **Printemps** : L'activité est nettement plus faible par rapport aux autres saisons, concentrée entre 22h et 5h, avec des valeurs proches des 300 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 les niveaux d'activité les plus élevés de l'année, avec une forte variabilité sur 24 heures. Les principaux pics d'activité sont détectés à 7h, 14h et 16h dépassant les 15 clics moyens.
- **Hiver** : L'activité diurne est nettement plus marquée sur cette saison, notamment entre 8h et 16h (10 à 15 clics moyens), avec un pic à 12h (> 20 clics moyens). Deux périodes d'activité modérée sont observées entre 17h et 20h ainsi qu'entre 3h et 7h (~7 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 vers 7h du matin lors du lever du jour puis à 18h (avant le coucher du soleil) avec environ 10 clics moyens.

Pour étudier la variabilité spatiale la Figure **367** illustre l'activité moyenne de clic par heure des Delphinidés et des Marsouins.

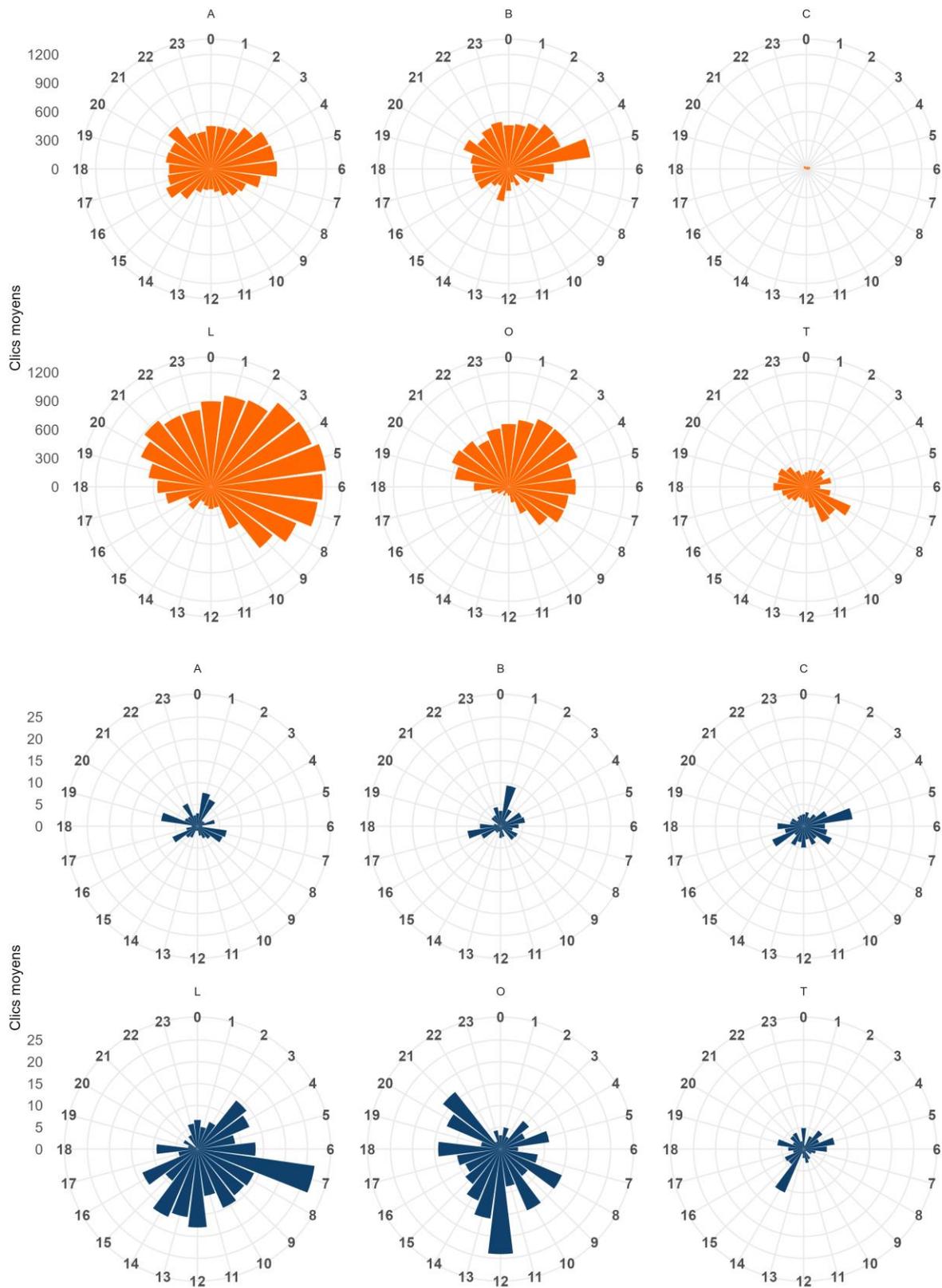


Figure 367 : Clics moyens des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) sur le cycle journalier, par station (A, B, C, O, L et Témoin), toutes saisons confondues. La longueur des barres indique les clics moyens/heure et l'angle de la barre représente l'heure jour (indiquée par les chiffres sur 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 L notamment entre 3h et 7h du matin avec ~1 200 clics moyens. Suivie par les stations O, A et B. La station Témoin présente une activité bioacoustique nettement plus réduite, principalement concentrée entre le lever et le coucher du soleil (> 300 clics moyens). En revanche, la station C se distingue par une activité très limitée, suggérant une faible fréquentation de cette zone.

L'activité bioacoustique des Marsouins varie selon les stations et les heures de la journée. Les stations L et O affichent une activité bioacoustique plus importante et principalement diurne. À la station L, l'activité est plus élevée entre 3h et 16h (15 à 20 clics moyens, avec un pic à 7h dépassant 25 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 7h. Les stations A, B et T présentent une activité mixte relativement faible (> 10 clics moyens), alternant entre les périodes diurnes et nocturnes. Un pic notable de plus de 15 clics moyens est enregistré à 14h à la station T. Enfin, la station C présente une activité globalement faible mais plus homogène sur 24 heures, avec un pic supérieur à 10 clics moyens à 5h.

✓ **Variabilité diurne :**

Les Delphinidés présentent une activité bioacoustique plus importante la nuit variant de 54 % à 72 %%, hormis les stations A et T qui présentent une activité majoritairement diurne. 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 19h-20h et 8h (entre 300 et 600 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 16h et 8h du matin (entre 600 et 900 clics moyens). En période de clarté l'activité diminue entre 300 et 600 clics moyens.
- **Printemps :** activité la plus faible de l'année, des augmentations jusqu'à ~300 clics moyens sont observées entre 1h et 4h du matin.

**Marsouins :**

- **Automne :** période la plus active, l'activité alterne entre le jour et la nuit. Des pics sont observés à 7h puis entre 14h et 16h (> 15 clics moyens).
- **Hiver :** période active, avec des pics au lever du soleil et en fin d'après-midi (entre > 10 clics moyens et un pic > 20 clics moyens à 12h).
- **Été :** faible activité globale, avec un pic à 3h (~5 clics moyens).
- **Printemps :** activité diurne modérée avec des pics à 7h et 18h (~10 clics moyens).

✓ **Stations les plus actives**

- Stations L et O à l'intérieur du parc présentent les plus fortes activités bioacoustiques pour les Delphinidés et les Marsouins.

✓ **Stations hors du parc**

- **Station Témoin (T)** : Activité nocturne faible avec des pics observés au lever et coucher du soleil (entre 300 et 800 clics moyens) pour les Delphinidés. Les Marsouins une faible activité acoustique avec un pic < 10 clics moyens constaté à 14h.
- **Station Côtière (C)** : Activité quasi inexistante pour les Delphinidés et relativement faible pour les Marsouins, variant de 5 à 10 clics moyens.

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

#### 14.2.3.1 Comparaison côte – large (*BACI*)

La **Figure 368** 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).

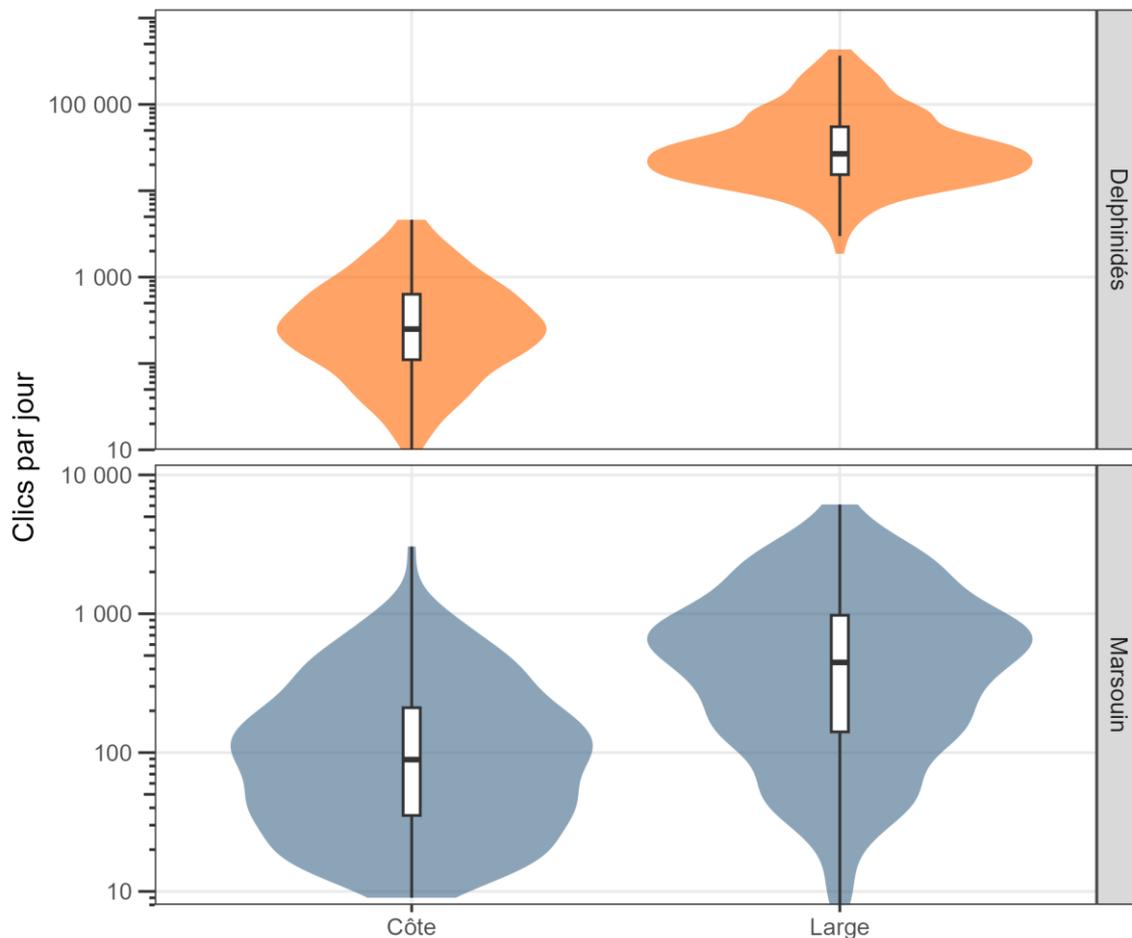


Figure 368 : Distribution des sommes des clics par jour des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) entre la côte (station C) et le large (stations A, B, O, L et Témoin) lors de la 1<sup>ère</sup> année.

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 26 762 clics/jour pour les Delphinidés et 446 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 250 clics/jour et 89 clics/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 (MW,  $W = 60$ ,  $p = 1,76 \cdot 10^{-117}$ ), il en est de même pour les Delphinidés (test MW,  $W = 24\ 111$ ,  $p = 4,80 \cdot 10^{-47}$ ).

#### 14.2.3.2 Comparaison par station (BAG)

Le **Figure 369** 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.

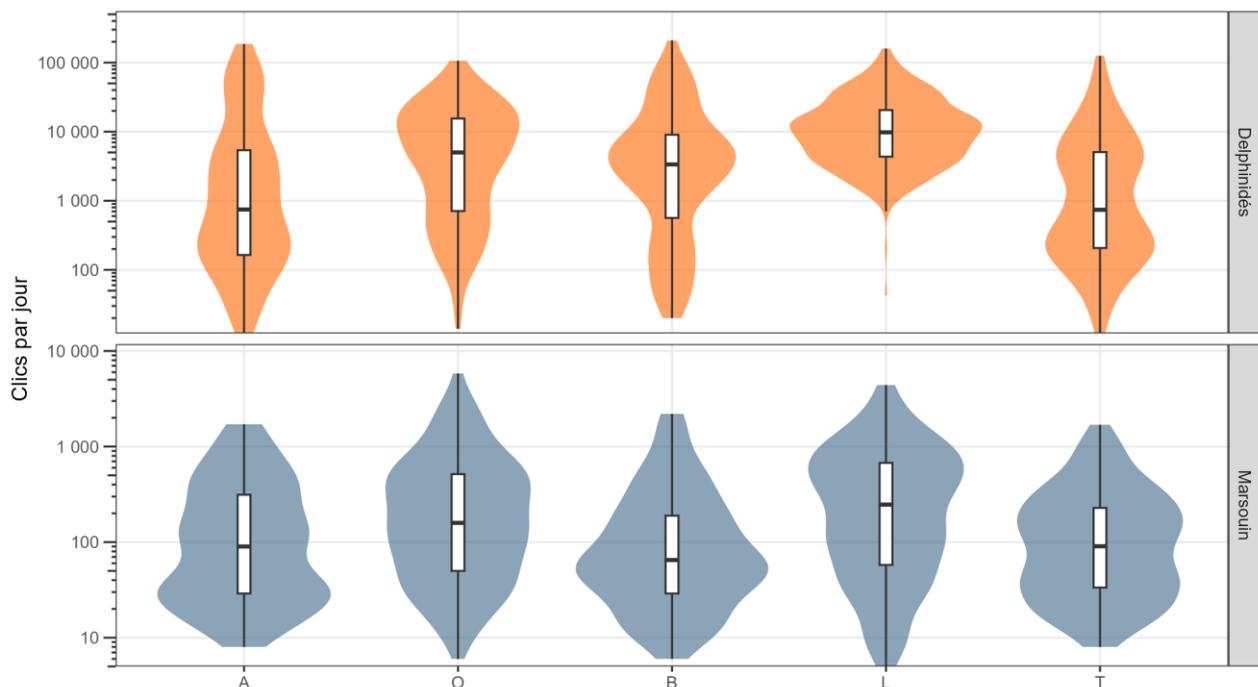


Figure 369 : Distribution des sommes des clics par jour des Delphinidés (en haut) et des Marsouins (en bas) en suivant le gradient des distances du parc parallèles à la côte (Stations A, O, B, L et Témoin) lors de la 1<sup>ère</sup> année.

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, O, B, T affichent des distributions plus étendues, reflétant une forte variabilité de l'activité bioacoustique dans ces zones. En revanche, la station L présente une distribution plus dense autour de la médiane, traduisant une activité bioacoustique plus homogène. Les médianes les plus élevées sont enregistrées aux stations O (5 002 clics/jour), B (3 357 clics/jour) et L (9 786 clics/jour), témoignant d'une activité soutenue. À l'inverse, les

stations A et T affichent une activité modérée avec des médianes respectives de 748 clics/jour et 740 clics/jour.

Chez les Marsouins, les distributions des clics sont moins étendues, indiquant une variabilité plus faible de leur activité bioacoustique. Les stations O et L présentent les médianes les plus élevées (avec respectivement 159 clics/jour et 247 clics/jour), reflétant une activité légèrement plus importante que les stations A (90 clics/jour), B (65 clics/jour) et T (90 clics/jour). Ces distributions mettent en évidence une activité plus homogène entre les stations.

Les résultats des tests MW montrent que l'activité bioacoustique des Delphinidés dans la station O présente des différences hautement significatives avec les autres stations ; la station A ( $p = 1,19 \cdot 10^{-14}$ ), la station B ( $p = 5,84 \cdot 10^{-11}$ ), la station L ( $p = 5,7 \cdot 10^{-12}$ ) et la station T ( $p = 8,75 \cdot 10^{-16}$ ). La station L montre des différences très significatives par rapport aux autres stations, notamment avec la station A ( $p = 3,0 \cdot 10^{-43}$ ), la station B ( $p = 5,48 \cdot 10^{-34}$ ) et la station T ( $p = 5,02 \cdot 10^{-49}$ ). En revanche, il n'y a pas de différence significative entre les stations A et B, A et T, et B et T suggérant une activité comparable dans ces stations.

Concernant les Marsouins, la station A montre des différences très significatives avec la station O ( $p = 4,94 \cdot 10^{-6}$ ) et L ( $p = 1,62 \cdot 10^{-5}$ ). La station B présente également une activité acoustique significativement différente de celle de la station O ( $p = 4,24 \cdot 10^{-5}$ ) et de la station L ( $p = 1,25 \cdot 10^{-4}$ ), montrant une variabilité spatiale entre ces stations. Les comparaisons entre les autres stations ne révèlent pas de différences significatives ( $p > 0,05$ ), suggérant une activité acoustique similaire des Marsouins dans ces zones.

✓ **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.

✓ **Gradient spatial :**

- **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 **O, B et L**.
- **Marsouins** : montrent un niveau d'activité bioacoustique plus modéré et homogène, mais les stations **O et L** se distinguent comme des zones d'intérêt.

## 14.3 ÉTUDE COMPORTEMENTALE DES CETACES

### 14.3.1 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.

### 14.3.2 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.

#### 14.3.2.1 Nature des activités par station

Les figures ci-après représentent la répartition des activités comportementales (chasse/écholocation, déplacement et interactions sociales) des Delphinidés (**Figure 370**) et des Marsouins (**Figure 371**) 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.

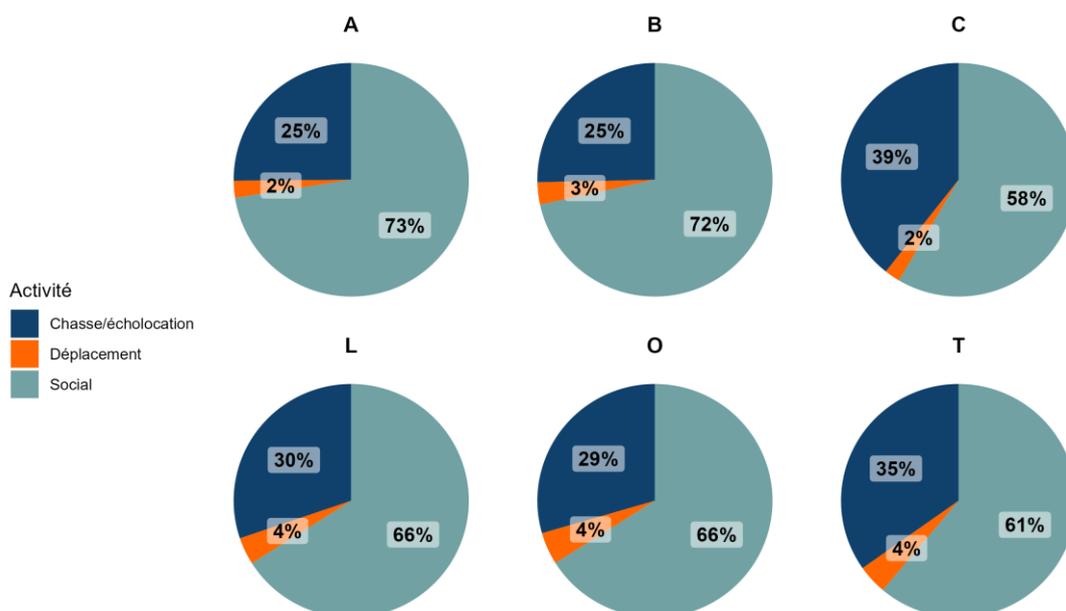


Figure 370 : Activités des Delphinidés par station (données POD, campagnes 1 à 11).

Les résultats montrent des différences marquées entre les Delphinidés et les Marsouins dans la répartition de leurs activités. Chez les Delphinidés (**Figure 370**), le comportement social domine largement, représentant 58 % (station C) à 73 % (station A) des activités détectées. La chasse/écholocation varie de 25 % (stations A et B) à 39 % (station C), tandis que le déplacement reste minoritaire, entre 2 % et 4 % selon les stations.

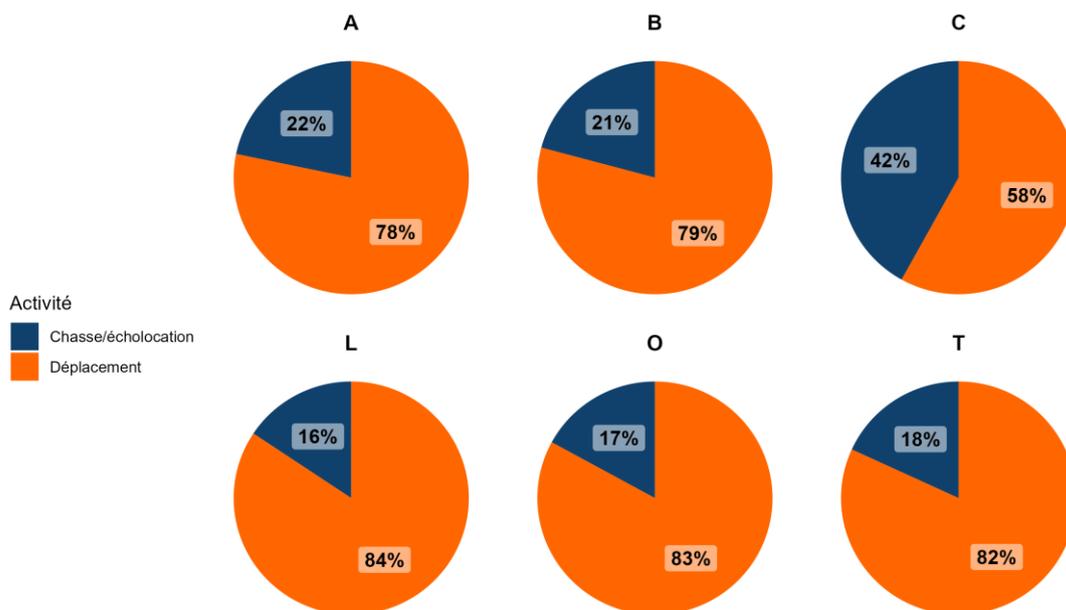


Figure 371 : Activités des Marsouins par station (données POD, campagnes 1 à 11).

Chez les Marsouins (**Figure 371**), le déplacement occupe une part plus importante, allant de 58 % à 84 %, avec des valeurs particulièrement élevées dans les stations L (84 %) et O (83 %). La chasse/écholocation, bien que présente, est proportionnellement plus réduite, variant de 16 % à 42 %, avec un pourcentage très élevé dans la stations C (42 %).

Ces résultats montrent une divergence dans les stratégies comportementales des deux groupes. Les Marsouins privilégient clairement les déplacements, tandis que les Delphinidés consacrent une part majoritaire de leur activité aux interactions sociales, avec une part non négligeable également attribuée à la chasse dans certaines stations (notamment C, L, O et T). Ces différences pourraient traduire des besoins écologiques distincts ou une utilisation différenciée des habitats au sein de la zone d'étude.

#### 14.3.2.2 Évolutions saisonnière

Les figures ci-après présentent l'évolution saisonnière des activités des Delphinidés (**Figure 372**) et des Marsouins (**Figure 373**), toutes stations confondues. 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 sur leurs activités.

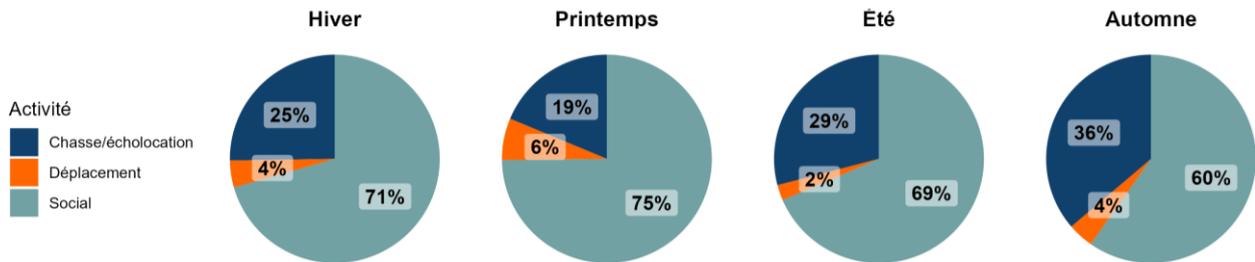


Figure 372 : Évolution des activités saisonnières des Delphinidés, toutes stations confondues, issue des données POD (année 2022-2023 : campagnes 1 à 11).

Le suivi comportemental des Delphinidés au cours des saisons (2022-2023) 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, tandis qu'elle atteint son niveau le plus bas en automne (60 %). La chasse/écholocation, la seconde activité, varie davantage selon les saisons, avec un pic notable en automne (36 %). En été, cette activité reste également importante (29 %). Enfin, le déplacement reste minime tout au long des saisons à l'échelle de la zone d'étude, variant entre 2 % et 6 %, sans variation constatée entre les saisons.

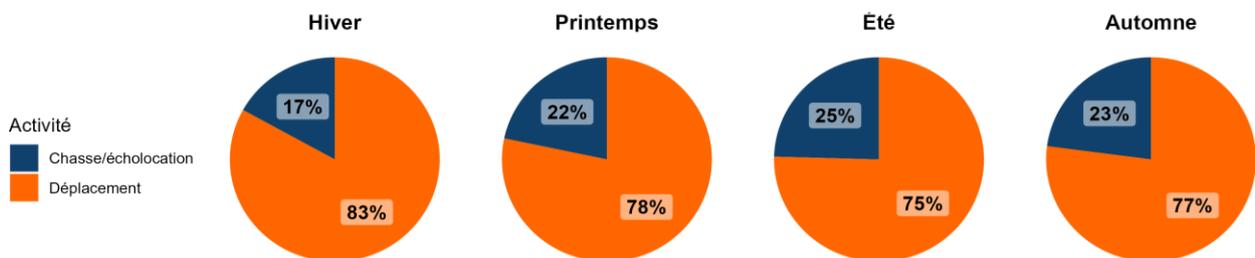


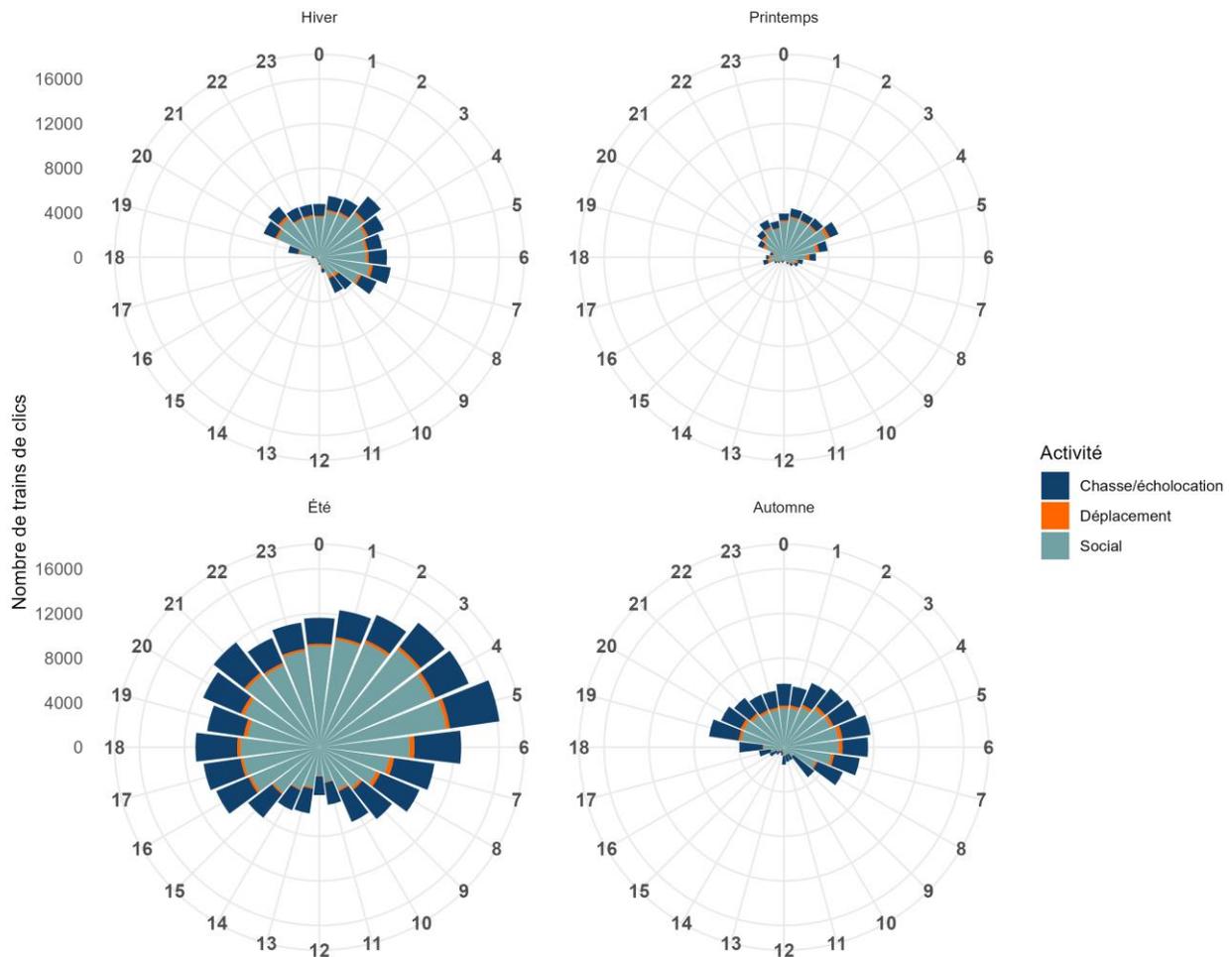
Figure 373 : Évolution des activités saisonnières des Marsouins, toutes stations confondues, issue des données POD (année 2022-2023 : campagnes 1 à 11)

L'analyse des activités des Marsouins met en évidence le déplacement comme activité principale. Il représente 75 % (été) à 83 % (hiver) du temps, tandis que la chasse/écholocation varie entre 17 % (hiver) et 25 % (été).

#### 14.3.2.3 Évolutions horaire et saisonnière du comportement

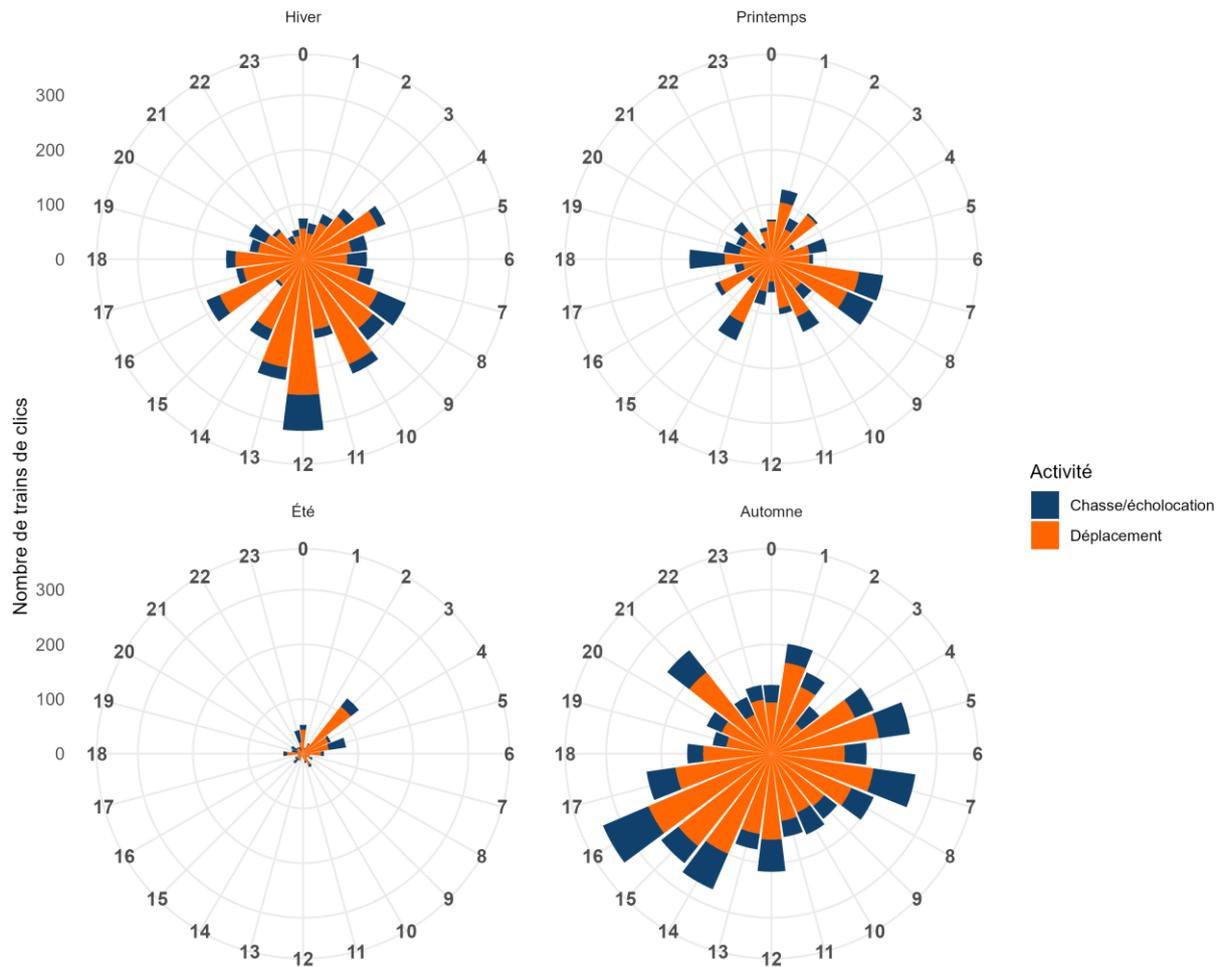
Les figures ci-dessous présentent la répartition des trains de clics moyens des Delphinidés (Erreur ! Source d u renvoi introuvable.) et des Marsouins (**Figure 375**) pendant un cycle journalier, en fonction des saisons, toutes stations confondues à l'échelle de l'ensemble des campagnes de la 1<sup>ère</sup> année. 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 374 : 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 **14.1.2.3 Variabilité horaire**, en apportant une dimension comportementale horaire plus détaillée. La **Figure 366** avait déjà mis en évidence une nette prédominance des trains de clics nocturnes chez les Delphinidés, avec une activité particulièrement intense en été et modérée en automne et hiver, 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 375 : 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 374** 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 375**). Ces figures complètent la **Figure 366** 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, mais les pics de trains clics nocturnes révèlent une intensification des comportements de chasse/écholocation en été et en automne. De même, 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 **58 % à 73 %** des activités (avec les plus fortes proportions dans les **stations A et B**).
- La chasse/écholocation varie de **25 % à 39 %** avec une intensité plus marquée dans les **stations C et T**.
- Le déplacement reste marginal (**2 % à 4 %**).

**Marsouins :**

- Le déplacement est encore plus dominant (**58 % à 83 %**), atteignant des niveaux élevés en **stations L (84 %), O (83 %) et T (82 %)**.
- La chasse/écholocation est plus variable (**16 % à 42 %**), avec des valeurs plus élevées en **station C**.

✓ **Évolution saisonnière des comportements**

**Delphinidés :**

- Les interactions sociales varient entre **60 % et 75 %** selon les saisons, avec une intensité plus marquée au printemps et une baisse en automne.
- Chasse/écholocation plus marquée en automne (**36 %**).

**Marsouins :**

- Le déplacement varie entre **75 % et 83 %** selon les saisons, avec une intensité plus marquée en hiver et une baisse en été.
- Chasse/écholocation plus marquée en été (**25 %**).

✓ **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 ont une activité plus importante en automne et hiver, ils alternent leurs activités **entre le jour et la nuit**.

### 14.3.3 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.

#### 14.3.3.1 Nature des activités par station et année

La **Figure 376** 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.

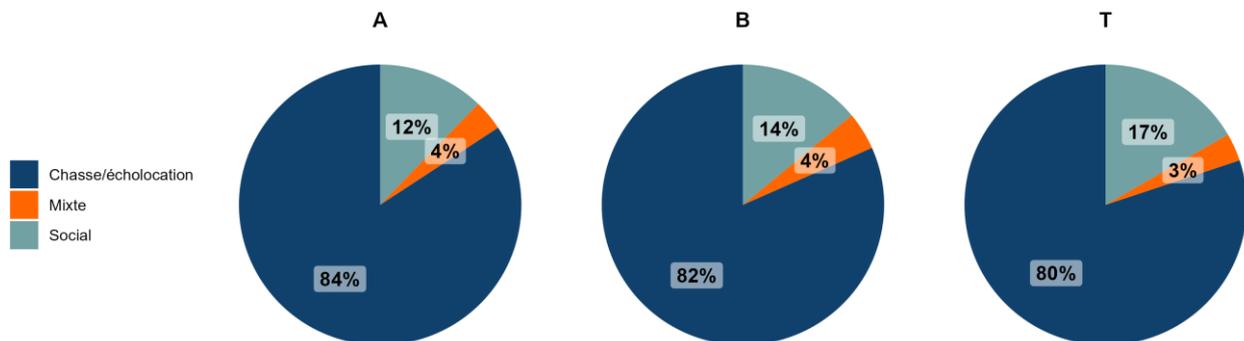


Figure 376 : Activités dominantes des Delphinidés par station et comparaison entre l'année 2022-2023 et 2023-2024 (données enregistreurs, campagnes 1 à 11).

À l'échelle de l'ensemble des stations, la chasse/écholocation constitue l'activité bioacoustique dominante des Delphinidés, représentant entre 80 % et 84 %. La part des interactions sociales et mixtes restent

restreintes sur chaque station, avec respectivement 12 % à 17% pour les interactions sociales et 3 % à 4% pour les interactions mixtes.

#### 14.3.3.2 Évolution saisonnière du comportement par station

La **Figure 377** 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.

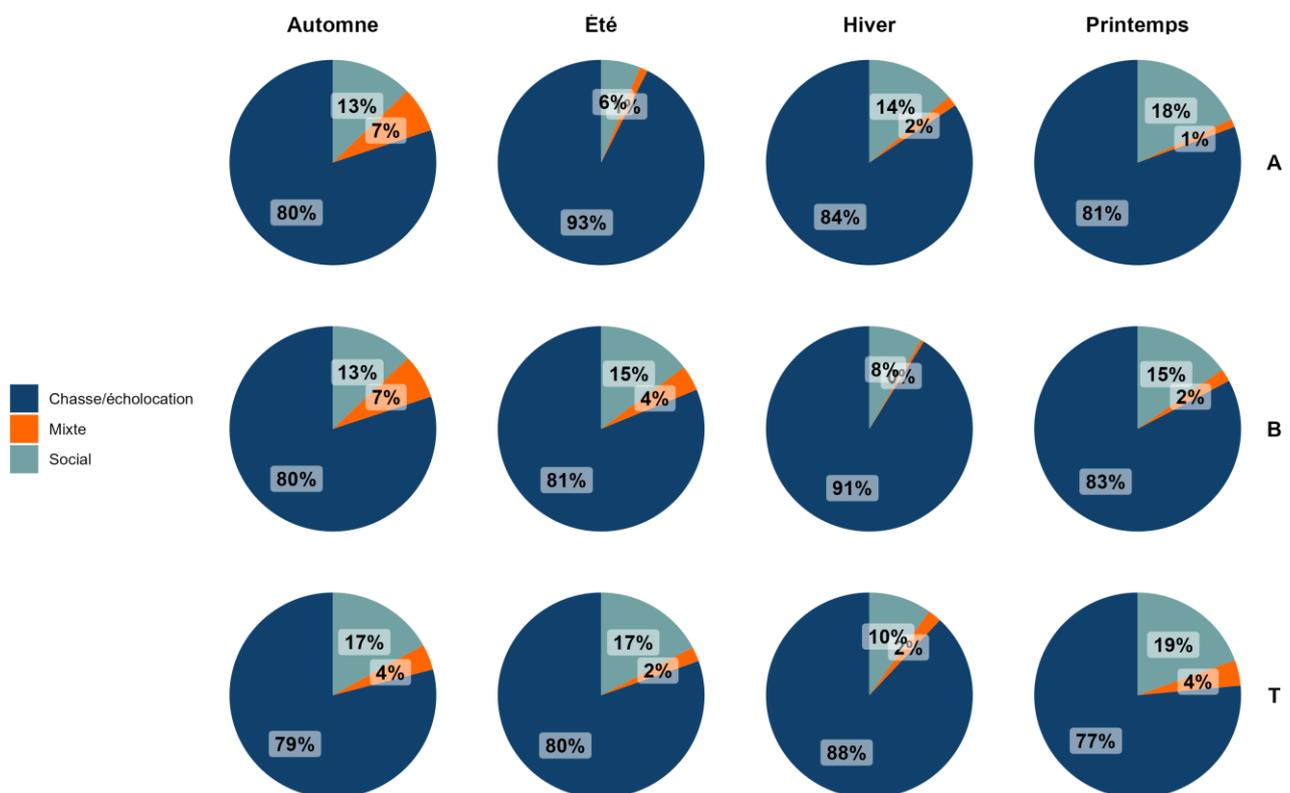


Figure 377 : Evolution des activités saisonnières des Delphinidés par stations, issue des données enregistreurs (campagnes 1 à 11).

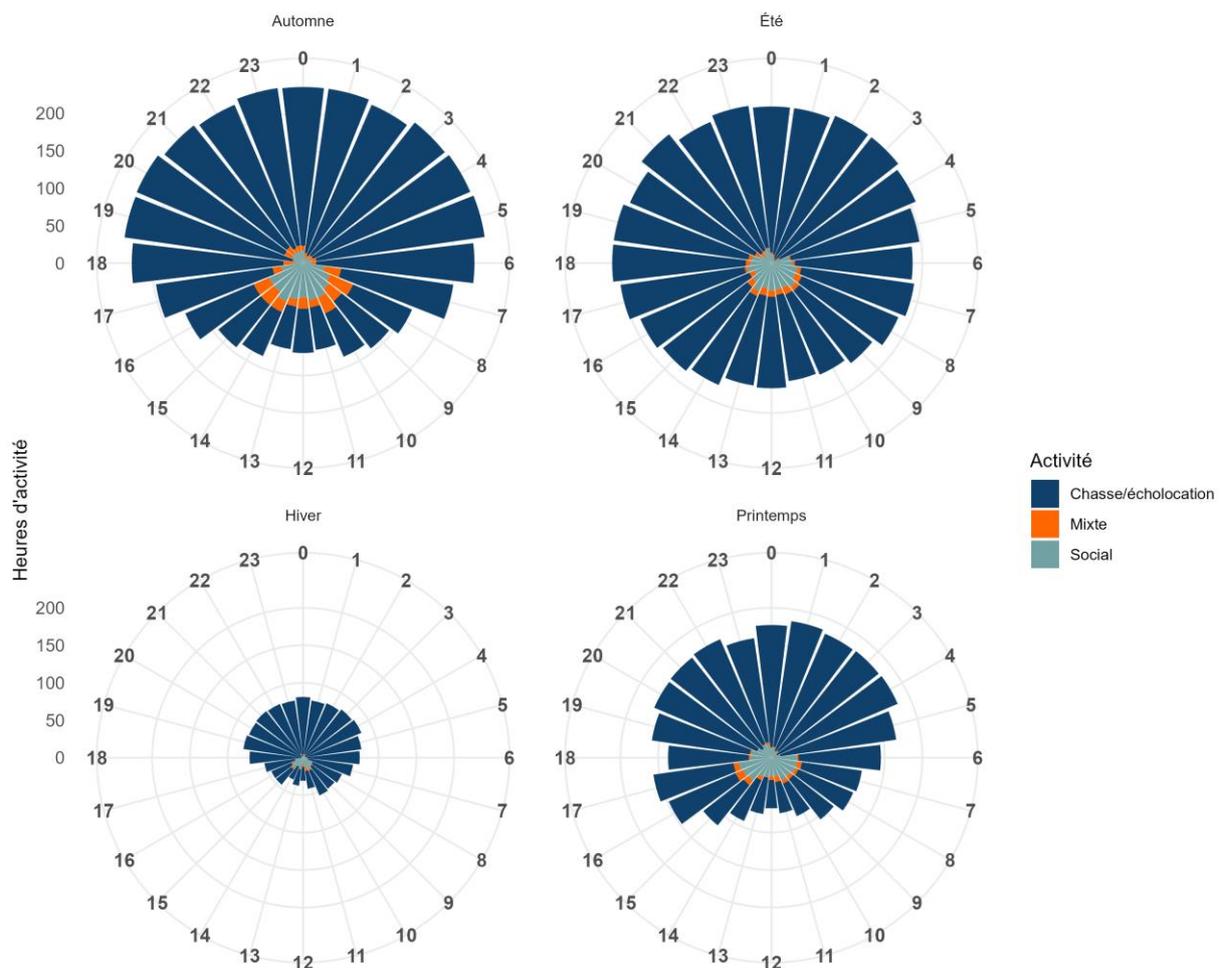
L'analyse saisonnière de l'activité bioacoustique des Delphinidés dans les stations A, B et T met en évidence une dominance très marquée de la chasse/écholocation tout au long de l'année, avec quelques variations selon les saisons.

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 : dans la station A, les activités sociales et mixtes sont les plus réduites (6 % de social et 1 % de mixte, alors que dans la station T, les activités sociales et mixtes représentent 19 %. En hiver, l'activité de chasse et écholocation atteint son pic (84 % 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 (77 % à 83 %), mais avec une augmentation de la proportion d'interactions sociales (17 % à 23 %). 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.

### 14.3.3.3 Évolution des comportements horaires et saisonniers

La **Figure 378** 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 378 : Activité des Delphinidés au cours des cycle journalier par saison à l'échelle de l'ensemble des campagnes de la 1<sup>ère</sup> année 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 (< 200 heures en automne et 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 84 %** des comportements, avec une intensité plus marquée en station A.
- **Activité mixte** : sont faibles et représente **3 % à 4 %** des comportements selon les stations.
- **Interactions sociales** : comprises entre **12 % 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 (84 % à 91 %)**.
- **Activité mixte et sociale** : réduites fortement notamment en hiver, suggérant une importance accrue des comportements de recherche alimentaire sur cette saison. Le printemps est la saison la plus favorable aux interactions.

✓ **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.

## 14.4 SYNTHÈSE DES DONNÉES DE PRÉSENCE ET CONTEXTUALISATION

### 14.4.1 Synthèse des données enregistrées et contextualisation.

- **Occurrence** : Les enregistrements ont révélé la présence de Marsouins communs et de Delphinidés dans l'ensemble des stations étudiées.
- **Taux de rencontre**

Le taux de rencontre et de présence des Delphinidés est de 100 % sur l'ensemble des stations, ce qui signifie que leur présence est quotidienne sur la zone. Les Marsouins communs sont également détectés régulièrement (entre 95,4 % et 98,6 % de jours de présence), mais avec un taux de rencontre plus faible compris entre 23,3 % et 33,1 %.

De manière générale, la fréquentation de la zone d'étude par les Delphinidés est plus importante par rapport aux Marsouins. Ce qui peut se traduire par une abondance plus importante des Delphinidés dans le Golfe de Gascogne (GG) d'après les campagnes SAMM. En effet l'estimation d'abondance des Delphinidés est de 7 393 individus (IC : 4 004 – 14 068) en hiver 2021 et 7 809 individus (IC : (4 250 – 14 548) à l'été 2012,

contre 3 46 individus (IC : 2 187 – 5 551) pour les Marsouins en hiver 2021 et 6 836 individus (IC : 4 767 – 10 154) à l'été 2012 (Laran S et al. 2022).

- **Variabilité saisonnière**

Les résultats obtenus révèlent certaines variations saisonnières significatives dans la présence des Delphinidés et des Marsouins, en particulier en ce qui concerne l'été par rapport aux autres saisons avec des taux de détections significativement plus élevés que le reste de l'année. Les taux de détection en hiver et à l'automne ne présentent pas de différences significatives et pourraient être liés à une distribution similaire pour ces deux saisons. Les résultats de la première année révèlent des tendances saisonnières de la présence des Mammifères marins différentes aux observations obtenues dans des études de suivi à grande échelle telles que SCAN et SAMM (Laran S et al., 2022). D'après la modélisation d'habitats pour les cétacés (Lambert et al. 2017), les résultats indiquent que la saisonnalité induit une variation des préférences d'habitat entre l'hiver et l'été pour le groupe des Delphinidés et des Marsouins communs. Les Marsouins ont tendance à migrer vers les côtes en hiver, généralement liées à de faibles profondeurs où les fortes marées interagissent avec la topographie du fond marin. Par la suite, ils remontent en direction de la mer Celtique et de la Manche pour y passer l'été dans des zones où les courants de marée de printemps peuvent décomposer la stratification des colonnes d'eau et assurer l'amélioration des réseaux trophiques (Lambert et al., 2017). Les Delphinidés montrent une préférence pour les eaux océaniques jusqu'au talus continental lors de la période de vélage d'avril à septembre (Murphy, 2013). En hiver, ils sont plus largement répartis sur le plateau jusqu'à l'Ouest de la Manche pour la recherche de nourriture. Cette variation spatiale serait probablement corrélée à la migration des petits poissons pélagiques qui se déplacent également au bord du plateau continental en été puis vers les côtes en hiver (Pusineri et al. 2007). En effet, une étude portant sur la variation alimentaire des Dauphins communs dans le Golfe de Gascogne a défini l'importance du choix des proies en fonction des saisons. L'identification des proies présentées dans le contenu stomacal a montré une prédominance de la sardine, disponible à l'année sur le plateau continental. Le sprat, consommé au printemps, est principalement distribué près de la côte et en face des estuaires de la Gironde et de la Loire. Les Dauphins communs ont montré une préférence pour les maquereaux de grandes tailles pendant les mois d'été (Meynier et al. 2008).

Les variations saisonnières observées lors de la première année, soulève des interrogations sur les modèles de comportements des Mammifères marins dans la région étudiée. Cela suggère qu'il est important de poursuivre la collecte de données pour déterminer si ces variations sont ponctuelles et liées à des facteurs locaux ou à des phénomènes à grande échelle tel que le réchauffement climatique. Ce dernier pourrait influencer la disponibilité des proies et conduire à leur migration vers des habitats plus adaptés.

- **Variabilité diurne**

Les enregistrements indiquent une activité prédominante pendant la nuit, représentant en moyenne 65% pour les Delphinidés et plus variable pour les Marsouins (58 % à 73%).

Une étude réalisée sur des Marsouins en captivité a confirmé l'augmentation globale de l'activité bioacoustique nocturne avec un pic à minuit en été. Cette tendance est observée à la fois chez les individus sauvages et en captivité, ce qui suggère qu'un autre facteur que la recherche de nourriture pourrait déterminer ce comportement. Il est possible que les Marsouins aient un rythme circadien intrinsèque ou qu'ils complètent leur perception visuelle par l'écholocalisation (Osiecka et al. 2020). Une seconde étude réalisée à Kullaberg sur l'augmentation de l'activité bioacoustique nocturne des Marsouins explique que ce dernier devait augmenter son utilisation de l'écholocation lors de la localisation des proies. Cela pourrait expliquer la corrélation entre l'augmentation enregistrée des clics d'écholocalisation et l'arrivée du hareng des eaux plus profondes (Montgomerie & Stedt, 2015). Des études récentes ont montré des profils comportementaux journaliers distincts chez les Dauphins communs, où la recherche de nourriture se fait principalement la nuit et où les déplacements et le comportement social se produisent pendant la journée (Henderson et al. 2012, Wiggins et al. 2013).

- **Variabilité horaire par saison et station**

À l'échelle d'une journée (24 heures), l'activité des Mammifères marins est plus élevée pendant la nuit, avec une intensité de production bioacoustique nocturne plus prononcée, en particulier sur la station A. L'activité bioacoustique augmente entre 17-18h le soir et jusqu'à 6-7h le matin. Ces horaires sont confirmés par l'étude d'Osiecka (2020), où l'activité de cliquetis des Marsouins communs a pu être constatée autour du coucher et du lever du soleil tout au long de l'année. Une autre étude a révélé des tendances régulières d'écholocalisation chez les Dauphins communs, corrélées aux cycles diurnes, lunaires et saisonniers. Les observations démontrent une relation entre l'écholocalisation et le cycle lunaire, avec des pics d'activité autour de la nouvelle lune, suggérant une préférence pour les périodes de faible luminosité pour la chasse. Les modèles prédisent un pic d'activité d'écholocalisation après le coucher du soleil, lorsque la lune n'est pas encore visible, ce qui pourrait correspondre à des migrations de proies vers la surface dans l'obscurité (Simonis et al. 2017). L'été, la production de clic se répartie en journée également entre 7h-8h et 16-17h. Le printemps présente une baisse importante du nombre de détections des Mammifères marins sur l'ensemble de la journée, suggérant une diminution de la présence des Mammifères marins probablement liée à la migration saisonnière. Comme vu précédemment, les Delphinidés migrent vers le talus continental lors de la période de vèlage (Murphy, 2013).

- **Analyses comparatives des différents sites échantillonnés (BACI / BAG)**

La présence des Delphinidés et des Marsouins telle qu'indiquée par les indicateurs d'activité bioacoustique, est significativement différente entre stations et entre zone du parc éolien et zone Témoin. Un gradient d'activité bioacoustique décroissant est observé entre stations A, B et Témoin.

#### 14.4.2 Synthèse des données complémentaires des POD

- **Occurrence** : Les enregistrements des POD ont révélé la présence de Marsouins communs et de Delphinidés dans l'ensemble des stations étudiées.

- **Taux de rencontre**

Les Delphinidés étaient plus fréquemment détectés dans les stations O (52,7 %) et L (44,9 %), tandis que les Marsouins présentent des taux de rencontre plus faible pour ces mêmes stations (avec respectivement 4,6 % et 4,2 %), le taux le plus élevé est observé dans la station C avec 5,1 %. Les taux de rencontre des Marsouins calculés à partir des données POD sont nettement plus faibles que les données des enregistreurs (associés à la fiabilité des algorithmes).

-

- **Variabilité saisonnière**

Les résultats révèlent des variations saisonnières importantes dans l'activité acoustique des Delphinidés et des Marsouins, avec une présence plus élevée des Delphinidés en été. Les stations A et B semblent être des corridors de migration pour les Delphinidés, tandis que les stations O et L montrent une présence plus constante. Les Marsouins présentent un faible taux de détection stable toute l'année, avec une activité bioacoustique élevée dans les stations O et L également.

-

- **Variabilité diurne**

Les proportions jour/nuit varient en fonction des espèces et des stations. Les Delphinidés ont montré une activité nocturne plus prononcée, représentant variant entre 39 % et 72 % tandis que les Marsouins ont affiché une activité nocturne moins marquée (entre 37 % et 62 %), alternant leur activité bioacoustique entre le jour et la nuit.

-

- **Variabilité horaire par saison et station**

Les Delphinidés et les Marsouins émettent des clics de jour comme de nuit, mais avec des schémas d'activité diurne distincts selon les saisons et les stations. Les Delphinidés sont principalement actifs la nuit, la station L se distingue par une forte intensité d'activité. En hiver et en automne, ils présentent une activité nocturne modérée, tandis qu'en été, bien que leur activité nocturne soit plus levée, les variations jour/nuit sont moins marquées. En hiver et en automne, les Marsouins affichent des niveaux d'activité élevés avec des fluctuations importantes sur une période de 24 heures, tandis qu'en été, leur activité diminue considérablement. Cela diffère de l'étude d'Osiecka (2020), qui mentionne une "période de repos" et une activité nocturne réduite pendant les mois d'hiver. Il est également possible que certaines techniques de recherche de nourriture utilisées par les Marsouins rendent leurs clics d'écholocalisation plus difficiles à détecter. Par exemple, les individus qui dirigent leur sonar vers le fond à la recherche d'espèces démersales peuvent ne pas être aussi facilement détectés par le C-POD (Brant et al. 2014).

- **Analyses comparatives des différents sites échantillonnés (BACI / BAG)**

La présence des Delphinidés et des Marsouins, telle qu'indiquée par les indicateurs d'activité acoustique, est significativement différente entre stations et aussi entre zone du parc et zone Témoin. Pour les Delphinidés et les Marsouins, ces résultats confirment une plus grande présence dans les stations O et L déjà remarquée dans d'autres chapitres de ce rapport. Des différences significatives sont observées entre certaines stations, notamment la station L (Sud du parc) qui présente des différences significatives avec l'ensemble des stations.

#### 14.4.3 Comparaisons entre les données POD et enregistreurs :

La variabilité diurne de l'activité acoustique des Delphinidés enregistrée par les POD est cohérente avec celle obtenue par les enregistreurs. Toutefois, une répartition distincte est observée uniquement pour la station Témoin. Il est possible d'attribuer cette divergence à des effets locaux spécifiques à la station Témoin, étant donné que le POD a un faible rayon de détection et ne couvre pas une zone aussi large que l'enregistreur.

En ce qui concerne les Marsouins, il y a à la fois des similitudes et des différences par rapport aux enregistreurs. Les observations moins cohérentes peuvent être mises en relation avec des caractéristiques locales, telles qu'un faible rayon de détection des POD. Cependant, pour les stations A et B, on observe une répartition relativement cohérente entre les enregistreurs et les POD. En revanche, pour les stations O, L et C, où les marsouins semblent être présents toute l'année, la répartition diffère de celle des enregistreurs. Il est donc probable que les stations O, L et C soient des sites où le Marsouin présente des comportements plus variés en raison de la spécificité de ces emplacements pour l'espèce. D'autre part, l'utilisation d'un enregistreur, qui couvre une large zone, permet de capturer une variabilité plus générale mais ne permet pas de caractériser précisément ce qui se passe à une échelle fine. Cependant, la station Témoin se distingue particulièrement : elle est la seule à présenter une activité notable au printemps, tandis que le reste de l'année montre une activité plus limitée. Cette observation suggère la présence d'effets locaux spécifiques à la station Témoin, nécessitant une étude approfondie du comportement bioacoustique et des différences entre le jour et la nuit.

Des variations concernant la variabilité horaire des Delphinidés et des Marsouins sont constatées dans toutes les analyses, en fonction du type d'instruments acoustiques utilisés. Ces divergences pourraient être dues à des particularités locales liées aux différents rayons de détection des dispositifs acoustiques. En effet, cette spécificité locale se réfère à la capacité limitée des POD à surveiller une petite zone, ce qui peut entraîner des disparités dans les observations par rapport aux enregistreurs. Ceci est particulièrement notable dans les zones où les comportements spécifiques des mammifères marins ou les caractéristiques environnementales locales peuvent exercer une influence sur les résultats

## 14.5 DEPENDANCES AUX CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES ET ANTHROPIQUES

### 14.5.1 Conditions météo-océaniques

Les conditions environnementales de la zone qui ont été considérées sont présentées sur la **Figure 379** :

- Les vecteurs des courants de surface (m/s), la température de surface (T°C), la concentration de phytoplancton dans l'eau (mmol/m<sup>3</sup>) 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 :  $s = \sqrt{v^2 + u^2}$  ;
- L'abondance de phytoplancton 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.

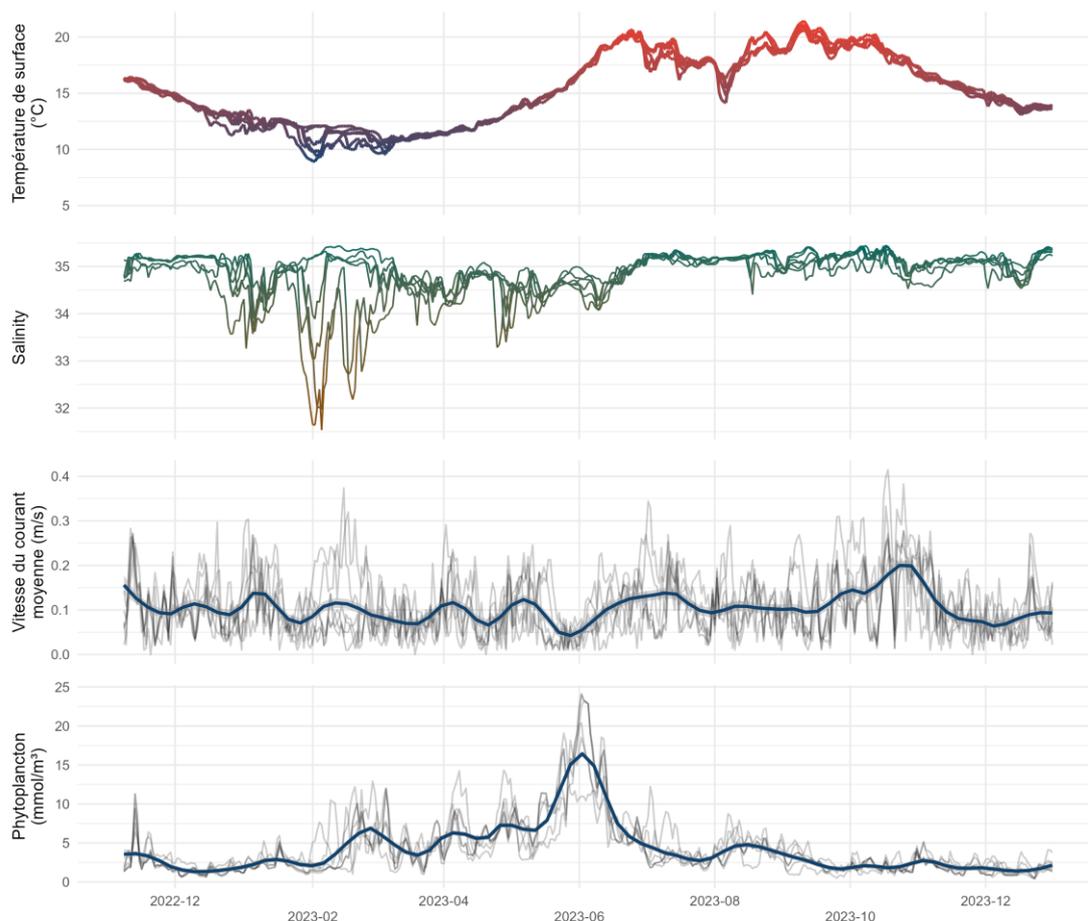


Figure 379 : Conditions environnementales (température de surface (T°C), salinité, vitesse moyenne du courant (m/s) et quantité de phytoplancton (mmol/m<sup>3</sup>) dans la zone d'étude entre novembre 2022 et décembre 2023.

- **La température de surface moyenne mensuelle** : diminue graduellement en février jusqu'à atteindre un minimum de 8,94 °C. Par la suite, une augmentation printanière est constatée jusqu'à atteindre 20,4 °C en fin juin. Des fluctuations de températures sont observées entre les mois d'août

et octobre avec une chute de la température de surface en août (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](http://www.meteo.bzh)). Ensuite, la température de surface diminue de façon progressive à l'automne avec une moyenne minimale de 13,4 °C.

- **La salinité** : est en moyenne à  $34,88 \pm 0,46$  dans la zone d'étude. De fortes variations sont observées en hiver jusqu'au début du printemps avec un minimum de 31,53 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](http://www.meteo.bzh)) ainsi que par les apports d'eau douce du Blavet et de la ria d'Étel. Puis la salinité augmente progressivement à partir de juin pour atteindre 35,45 puis reste stable jusqu'à décembre 2023.
- **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 concentration en phytoplancton** augmente de façon graduelle à partir de janvier 2023 jusqu'à atteindre un pic de 16,43 mmol/m<sup>3</sup> en juin, puis elle diminue brutalement en juillet jusqu'à atteindre 1,47 mmol/m<sup>3</sup> à la fin du mois de novembre 2023.

Le **Tableau 51** et la **Figure 380** présentent les relations entre les paramètres environnementaux et l'activité bioacoustique respectivement des Delphinidés dans la zone d'étude. Pour ce faire, plusieurs modèles additifs généralisés (GAM) ont été appliqués, selon le schéma présenté au **Chapitre 12.4.5**. Un modèle de base a été construit avec trois facteurs : « température de surface », « courant » et « phytoplancton », puis, les facteurs « profondeur » et « distance », « pente » et « salinité » ont été progressivement intégrés dans le modèle additif généralisé (GAM) afin de déterminer si ces facteurs ont une influence sur les taux de détection et quelle combinaison de facteurs donne le meilleur résultat. Le meilleur résultat est déterminé sur la base de la variance expliquée, qui est un indicateur du pouvoir explicatif d'un modèle statistique. Il a été considéré que le meilleur modèle était celui qui présentait la variance expliquée la plus élevée.

*Tableau 51 : Variances expliquées des paramètres environnementaux et des facteurs « profondeur », « distance » et « pente » associés au GAM pour les Delphinidés.*

<b>HYDROPHONE – DELPHINIDÉS</b>	
<b>Paramètres</b>	<b>Variance expliquée</b>
Température de surface + Courant + Phytoplancton	23,8 %
Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur	28,0 %
Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur + Distance	29,4 %
Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur + Distance + Pente	29,4 %
Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur + Distance + Pente + Salinité	39,6 %
<b>POD – DELPHINIDÉS</b>	
<b>Paramètres</b>	<b>Variance expliquée</b>
Température de surface + Courant + Phytoplancton	15,7%
Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur	24,7%
Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur + Distance	24,7%

Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur + Distance + Pente	24,7%
Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur + Distance + Pente + Salinité	27,9 %

Les effets partiels du GAM présentés par la **Figure 380** permettent de dégager des éléments qui expliquent l'influence de chaque facteur sur l'activité des Delphinidés (selon les données POD et enregistreurs) :

- L'influence de la température de surface apparaît multimodale, avec un effet en particulier positif autour de 19°C mais aussi entre 13°C et 15°C. Les oscillations sont plus amples en dessous de 12°C et au-dessus de 20°C indiquant une présence plus variable aux extrêmes de température analysés.
- Quand la concentration en phytoplancton est inférieure à 5 mmol/m<sup>3</sup> il y a moins de présence de Delphinidés, au-dessus de 20 mmol/m<sup>3</sup> en revanche l'effet est positif (plus de présence). Entre ces deux extrêmes l'influence apparaît bimodale avec un effet positif autour de 5 mmol/m<sup>3</sup> et un autre autour de 13,5 mmol/m<sup>3</sup>
- La présence de dauphin augmente sensiblement quand la vitesse du courant est supérieure à 0,2 m/s. Ce facteur a peu d'influence en-dessous de cette valeur.
- Des niveaux de salinité inférieurs à 3 – 34 indiquent clairement une diminution de la présence.

D'après l'étude de Lambert (2017) sur les modèles d'habitat saisonnier (GAM), en hiver, le modèle des Delphinidés a expliqué 17,3 % de la variation, avec la température moyenne de surface de la mer, le gradient de température de surface, la hauteur d'eau moyenne et la vitesse maximale de courant comme variables sélectionnées. La relation avec la température moyenne de surface a montré une préférence pour des eaux plus chaudes sur la Golfe de Gascogne et l'Ouest de la Manche, tandis que le gradient de température de surface a indiqué un évitement des fronts thermiques le long des côtes. En été, avec 32,1 % de la déviance expliquée, la préférence pour des hauteurs moyennes de la mer négatives a été observée, avec une répartition vers des zones plus océaniques et des densités plus élevées le long du plateau continental. Les coefficients de variation étaient faibles en hiver mais élevés en été dans l'Est de la Manche en raison de l'incertitude autour de la relation avec la hauteur d'eau moyenne (Lambert et al. 2017).

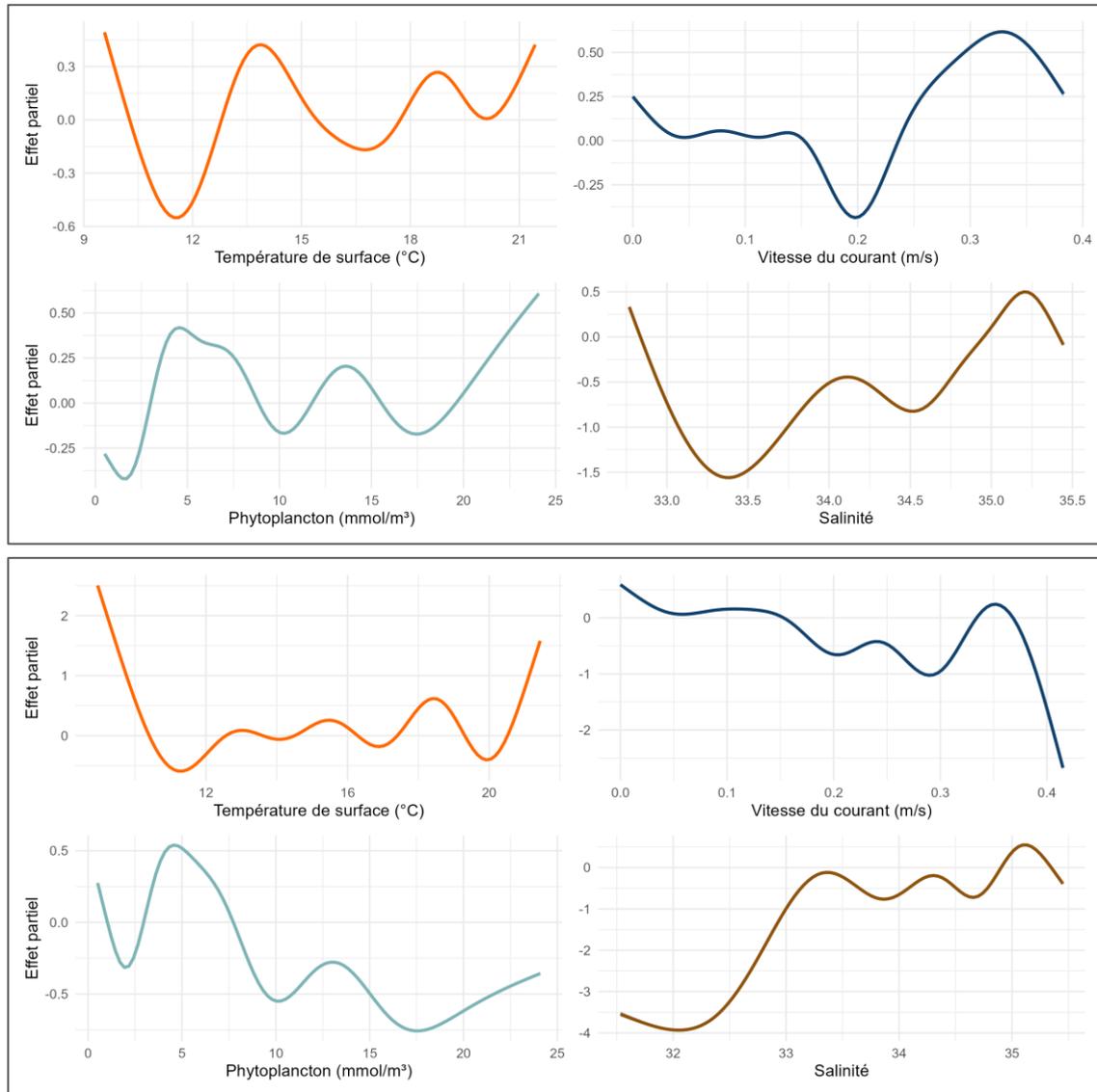


Figure 380 : Effets partiels du modèle additif généralisé (GAM) sur l'activité bioacoustique des Delphinidés (données enregistreur en haut, données POD en bas).

Le **Tableau 52** et la **Figure 381** présentent les relations entre les paramètres environnementaux et l'activité bioacoustique des Marsouins dans la zone d'étude.

Tableau 52 : Variations expliquées des paramètres environnementaux et des facteurs « profondeur », « distance » et « pente » associés au GAM pour les Marsouins.

HYDROPHONE - MARSOUIN	
Paramètres	Variance expliquée
Température de surface + Courant + Phytoplankton	19,6 %
Température de surface + Courant + Phytoplankton + Profondeur	22,5 %

Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur + Distance	23,8 %
Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur + Distance + Pente	23,8 %
Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur + Distance + Pente + Salinité	33,6 %
<b>POD – MARSOUIN</b>	
<b>Paramètres</b>	<b>Variance expliquée</b>
Température de surface + Courant + Phytoplancton	11,5 %
Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur	11,9 %
Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur + Distance	12,1 %
Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur + Distance + Pente	12,1 %
Température de surface + Courant + Phytoplancton + Profondeur + Distance + Pente + Salinité	14,0 %

Les effets partiels du GAM présentés par la **Figure 381** permettent de dégager des éléments qui expliquent l' influence de chaque facteur sur l'activité des Marsouins (selon les données POD et enregistreurs) :

- L'influence de la température de surface apparaît multimodale, avec un effet en particulier positif autour des 14°C pour les données enregistreurs. Les données POD montrent un effet positif entre 10 et 17 °C. L'effet de la température entre données POD et enregistreurs apparaît contradictoire aux extrêmes (en dessous de 12°C et au-dessus de 17°C) indiquant un pouvoir explicatif de la température moins marqué aux extrêmes de température analysés.
- Quand la concentration en phytoplancton se situe entre de 2,5 et 9 mmol/m<sup>3</sup> ou supérieure 18 mmol/m<sup>3</sup>, il y a un effet positif sur la présence des Marsouins. Entre ces deux extrêmes l'influence paraît avoir également un effet positif autour de 13 mmol/m<sup>3</sup> ;
- La présence des Marsouins a peu d'influence quand la vitesse du courant est autour de 0,2 m/s, puis montre un effet positif lorsque le courant est supérieur à 0,25 m/s (données enregistreurs). Pour les données POD, ce facteur a également peu d'influence en-dessous de 0,2 m/s mais montre un effet négatif lorsque le courant est supérieur à 0,3 m/s.
- Des niveaux de salinité inférieurs à 35 indiquent une diminution de la présence de Marsouin (données enregistreurs). Les données POD montrent des oscillations autour de 0 pour des niveaux supérieurs à 33, ce qui indique un pouvoir explicatif pas très marqué, des oscillations plus amples en-dessous de 33. L'analyse de l'effet partiel de la salinité permet donc de voir une mineure affinité des Marsouin pour les périodes de baisse de salinité.

D'après l'étude de Lambert (2017), le modèle des Marsouins communs en hiver des variances expliquées de 39,6 %. Ces derniers ont une préférence pour les eaux peu profondes du plateau continental, avec une forte variance de la température de surface de la mer le long des côtes, des eaux peu profondes, et des courants de marée mensuels forts. En été, la variance expliquée est de 33,6%, les Marsouins se trouvent principalement sur le plateau continental, avec une préférence pour des températures de surface autour de 14 °C et des courants de marée mensuels élevés. Les densités sont plus élevées dans l'ouest de la mer Celtique et de la mer du Nord, évitant les côtes bretonnes. Les coefficients de variation sont globalement faibles, mais plus élevés en hiver sur les eaux océaniques (Lambert et al. 2017).

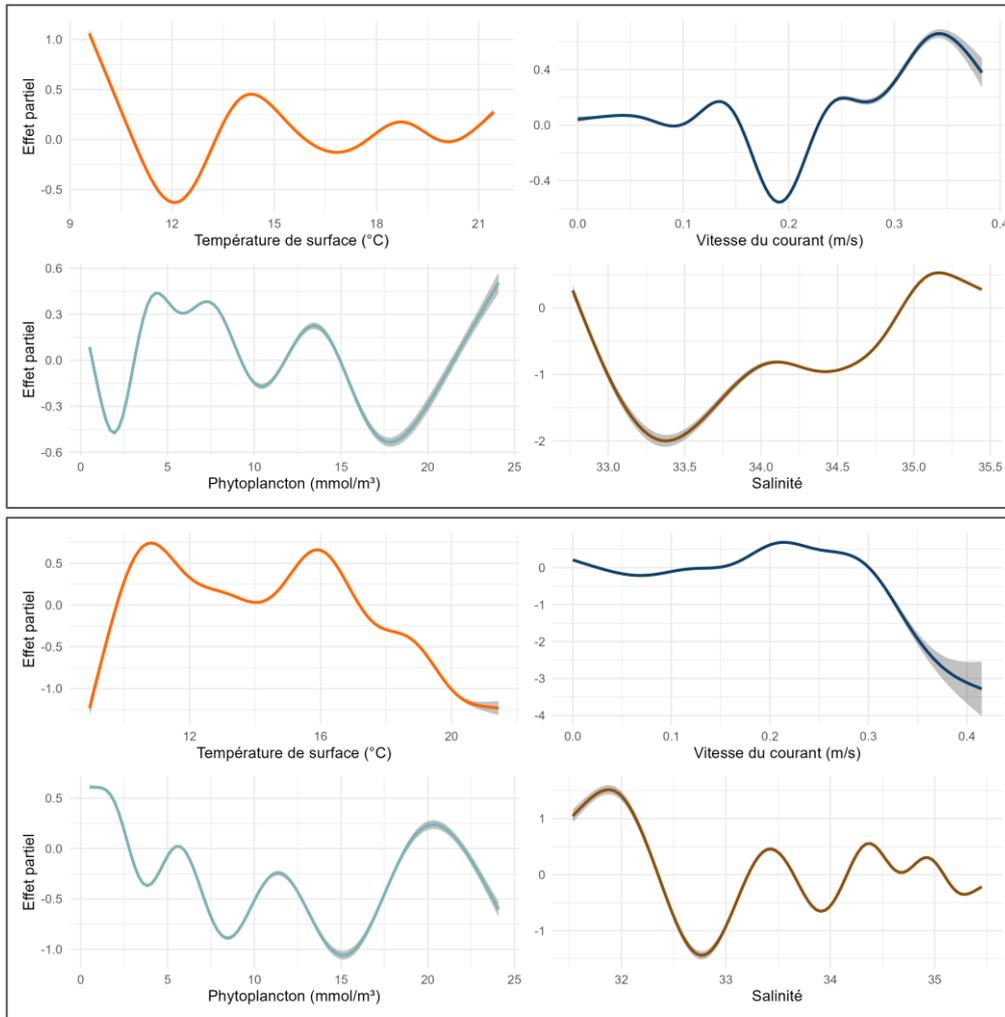


Figure 381 : Effets partiels du modèle additif généralisé (GAM) sur l'activité bioacoustique des Marsouins (données enregistrées en haut, données POD en bas).

Il est constaté que le pouvoir explicatif des facteurs « profondeur », « distance à la côte » et la « pente » est généralement faible dans l'ensemble des GAM. Ce qui signifie que la variance expliquée pour l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins est principalement liée aux autres paramètres environnementaux testés : **température de surface, vitesse du courant, concentration en phytoplancton et plus particulièrement la salinité.**

#### 14.5.2 Bruits d'origines anthropiques

En ce qui concerne les variables anthropiques, la variable bruit a été testée à différentes échelles sur l'activité bioacoustique des Delphinidés et des Marsouins. Le premier test concerne l'effet de l'évolution du bruit médian en fonction des saisons sur les taux présence (**Figure 382**).

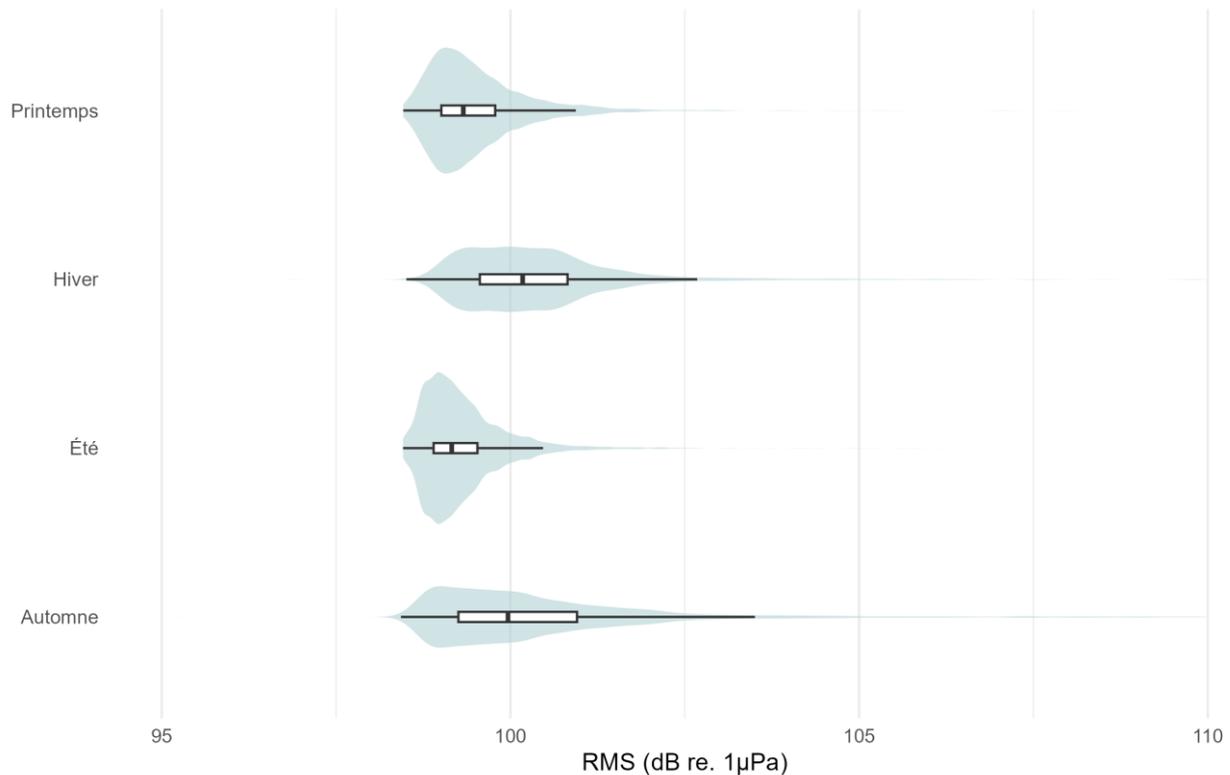


Figure 382 : Evolution des niveaux de bruit SPL-RMS par saison, toutes stations confondues (stations A, B et Témoin)

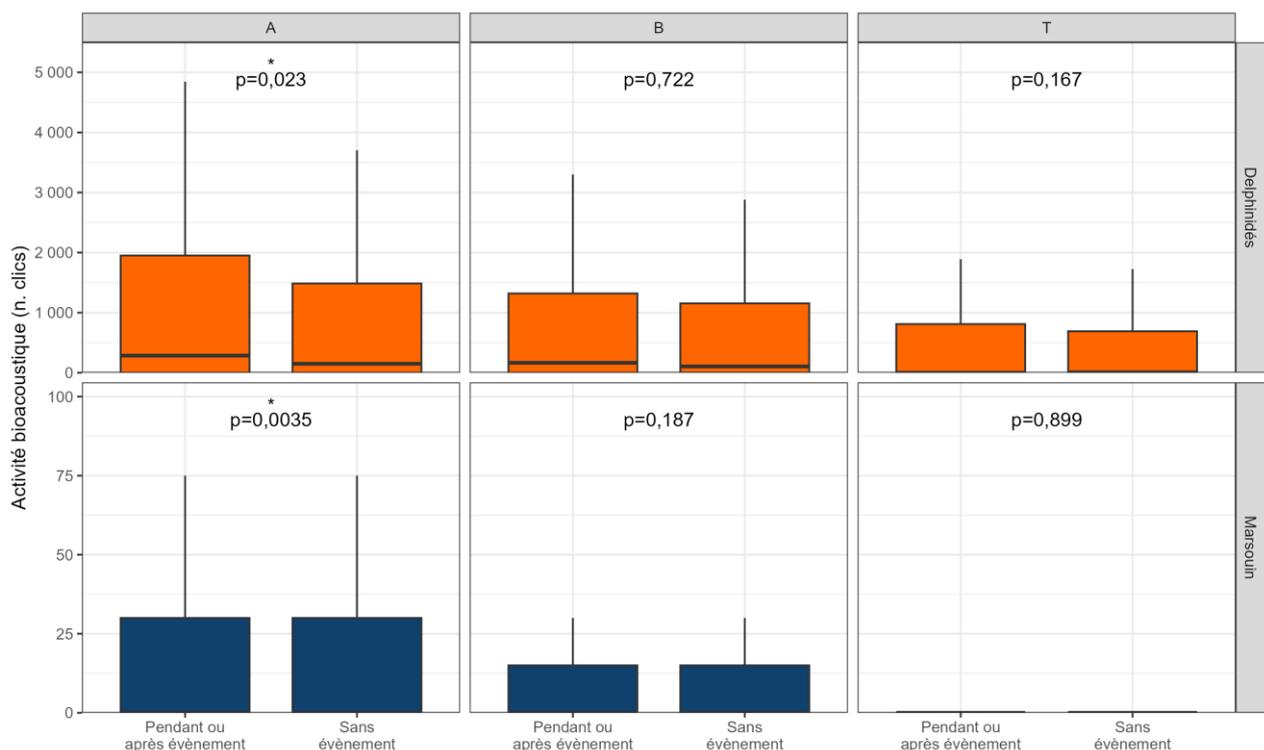
Le modèle de régression linéaire ne trouve aucune puissance explicative du bruit ambiant médian saisonnier sur l'activité bioacoustique des Delphinidés ( $R^2 = 0$ ,  $p = 0.40$ ). Pour le Marsouins la variable bruit médian est significative ( $p < 10^{-16}$ ) mais le pouvoir explicatif est très faible ( $R^2 = 0,008$ ), indiquant que seulement 0,8% de la variance observée peut être expliqué par des variations de bruit sur une année. En effet, le niveau de bruit médian varie peu entre les saisons cependant il est plus élevé en hiver et en automne (tendances confirmées sur les analyses temporelles et fréquentielles du bruit ambiant). Le résultat de ce test est que le niveau de bruit ambiant médian sur l'ensemble des saisons ne semble pas avoir d'influence notable sur l'activité bioacoustique des espèces considérées dans cette étude.

D'autres tests ont été menés à l'échelle d'événements 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 53** et la **Figure 383**.

*Tableau 53 : Evolution du nombre de clic moyen 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 évènement	1094	1376,9 ± 2132,9
	A	Sans évènement	6116	1217,8 ± 2170,3
	B	Pendant ou après évènement	938	983,6 ± 1684,3
	B	Sans évènement	5605	962,2 ± 1783,2
	T	Pendant ou après évènement	995	740,8 ± 1564,7
	T	Sans évènement	6442	668,1 ± 1403,6
Marsouin	A	Pendant ou après évènement	1081	50,9 ± 136,1
	A	Sans évènement	6080	38 ± 110,4
	B	Pendant ou après évènement	906	25,9 ± 70,1
	B	Sans évènement	5571	29,4 ± 84,7
	T	Pendant ou après évènement	969	22,3 ± 71,2
	T	Sans évènement	6347	22 ± 71,2



*Figure 383 : 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, sur l'ensemble des stations entre novembre 2022 et novembre 2023.*

Les graphiques montrent un résultat de comparaison faiblement significatif pour les Delphinidés ( $p = 0,023$ ), davantage significatif ( $p = 0,0035$ ) pour le Marsouin uniquement sur la station A. La comparaison statistique ne montre pas d'effet significatif sur les stations B et T ( $p > 0.05$ ). Ces résultats préliminaires indiqueraient un phénomène d'attraction dû à l'approche d'un bateau, visible sur la station A. Cependant, il est prématuré d'essayer d'interpréter ces premiers résultats car pour le présent rapport il n'est pas possible de différencier s'il s'agit d'une attraction vers l'hydrophone (signifiant potentiellement un éloignement depuis un bateau) ou bien d'une vraie attraction vers le bateau. Le type de bateau est aussi un élément de contextualisation important car une attraction vers un bateau pourrait s'expliquer par exemple s'il s'agit d'un bateau de pêche (phénomène de déprédation). Il est donc nécessaire d'approfondir ces analyses en intégrant plusieurs facteurs et en étudiant plus de variabilité, notamment en différenciant les bateaux par type et en allant estimer leur distance depuis l'hydrophone, si possible, en croisant avec les données AIS. D'autres facteurs à intégrer sont la gamme de fréquence d'émission (basse, moyenne, haute) et la classe de niveaux sonores reçus (en définissant une échelle de faible à élevé). Finalement, il sera nécessaire de faire des tests selon la durée des événements sonores.

## 15. CONCLUSION PRELIMINAIRE DE L'ANALYSE DE L'ETAT INITIAL

Ce rapport est consacré à la caractérisation des niveaux de bruit ambiant et au suivi par acoustique passive des Mammifères marins pour établir l'état initial du futur parc d'éolien au large de la Bretagne Sud. Les moyens matériels, le protocole et la méthodologie appliqués y sont décrits. Les approches BACI (acronyme anglais pour Before After Control Impact) et BAG (Before After Gradient) sont à la base des choix méthodologiques pour la collecte de données et les analyses menées.

Le concept à la base de BACI s'inspire de la comparaison des paramètres mesurés à l'échelle de deux situations géographiques différentes, un site proche des travaux (impact) et un site au loin (control, zone témoin), à deux moments différents, avant (before) et après (after) le démarrage des travaux. Le concept BAG représente une approche pour laquelle la collecte de données est réalisée dans plusieurs sites établis selon un gradient spatial (tel que la distance par rapport à une source de bruit).

Dans le cadre de la présente étude, les paramètres considérés sont le niveau de bruit ambiant sous-marin et les indicateurs de présence de Mammifères marin.

Ce rapport présente la caractérisation des niveaux de bruit ambiant et la présence de Mammifères marins dans l'ensemble de la zone d'étude pendant toute la période de déploiement des instruments de mesure (novembre 2022 – novembre 2023). Un premier niveau de comparaison entre zones témoin et impact est également fourni, ainsi que des analyses détaillées des évolutions temporelles des indicateurs pendant la période de l'étude.

### 15.1 CARACTERISATION DU NIVEAU DE BRUIT

Cette étude consiste à analyser le paysage sonore dans la zone du projet. Pour ce faire, trois enregistreurs autonomes de type DORI ABYSSens ont été déployés. Deux dans la zone du projet de parc éolien, et un dans une zone dite Témoin (à l'Est de la zone du futur parc éolien). L'acquisition des données a été réalisée pendant 12 mois consécutifs.

Une grande quantité de données acoustiques au format Wav a été récoltée et analysée (21 136 heures cumulées sur les trois stations). Les méthodes d'analyses utilisées ont permis de mesurer l'évolution du niveau de bruit dans les deux zones d'étude (zone du parc et zone témoin), de caractériser les bruits typiques auxquels la vie marine est exposée quotidiennement et de calculer différents indicateurs statistiques des niveaux de bruit.

Des analyses temporelles et fréquentielles ont été réalisées afin de définir le bruit ambiant à la fois selon une approche saisonnière, géographique (parc et hors parc), mais également selon la distribution fréquentielle de l'énergie.

Finalement, une étude du bruit anthropique a été réalisée avec des modélisations du bruit généré par l'ensemble des navires présents dans la zone d'étude.

L'analyse large bande de ces enregistrements a montré que les niveaux de bruit, enregistrés pendant une année, à chaque station (A, B et Témoin) présentent une faible variabilité, avec un niveau de bruit moyen très proche pour chaque station et dont la valeur avoisine 100 dB re  $\mu$ Pa. Le niveau sonore devient plus élevé dans toutes les stations (Parc et Témoin) pendant les mois de novembre et décembre, puis atteint les valeurs les plus basses pendant l'été avant de remonter de nouveau à l'automne.

L'analyse des niveaux de bruit dans la gamme de fréquences de 63 Hz et 125 Hz sur une année révèle une faible variabilité entre les stations A, B et Témoin, avec des écarts-types généralement inférieurs à 6,5 dB re  $\mu$ Pa pour les percentiles 1, 5 et 10. Ces niveaux moyens de bruit demeurent inférieurs aux 100 dB re  $\mu$ Pa obtenue lors de l'analyse large bande (25 Hz - 180 kHz), indiquant une prédominance des sources de bruit naturelles et biologiques sur le bruit anthropique généré par les navires.

Les analyses fréquentielles confirment, par rapport au modèle de Wenz, que le niveau sonore est peu élevé (indice 1 à 2 du trafic maritime). L'énergie est concentrée principalement entre 200 Hz et 1000 Hz. Cette gamme de fréquence ne couvre pas les fréquences caractéristiques des bruits anthropiques. La distribution de l'énergie dans les basses et moyennes fréquences est plus importante dans la zone du parc que dans la zone témoin.

Les résultats de modélisation dans la zone ont également permis de mettre en lumière :

- Un caractère homogène et stable du bruit ambiant avec une variabilité inter-saisonnière limitée.
- Une différence, pour l'ensemble des saisons, entre la côte et le large (de l'ordre de 15-20 dB re  $\mu\text{Pa}$ ), à l'exception de l'été qui présente un bruit de surface plus homogène entre la côte et le large.
- Pour l'ensemble des saisons le bruit dans l'aire d'étude éloignée dépasse 120 dB re  $\mu\text{Pa}$  uniquement pendant 5 % du temps.

## 15.2 CONCLUSION SUR LA PRESENCE DES MAMMIFERES MARINS

Ce rapport présente les résultats de l'évaluation de la fréquentation des Mammifères marins 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 par les enregistreurs et les 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.

Les algorithmes de détections des enregistreurs et des POD ont identifié la présence des Marsouins communs et des Delphinidés tout au long de l'année de suivi. Pendant une période d'un an, l'activité bioacoustique des Delphinidés est plus élevée que celle des Marsouins communs à l'échelle de l'ensemble des stations, ce qui indique une présence plus importante des premiers dans l'ensemble de la zone.

Les tendances globales se basent sur les données des enregistreurs car le rayon de détection est plus grand et donc la probabilité de détecter est plus élevée. D'après ces données, le taux de rencontre (rapport entre les heures contenant des clics et les heures enregistrées) varie de 83,8 % à 88,4 % pour les Delphinidés et de 23,3 % à 33,1 % pour les Marsouins, les valeurs les plus élevées étant observées à l'intérieur de la zone du futur parc éolien (station A). L'analyse des données des POD montre des taux de rencontre plus élevés pour les Delphinidés aux stations O (52,7 %) et L (44,9 %), ce qui reste cohérent avec les données des enregistreurs puisque ces stations se situent à proximité de la station B à l'intérieur du parc. Tout comme les Marsouins qui semblent être plus présents aux stations O (4,6 %), L (4,2 %) mais aussi à la station C (5,1 %) près de la côte.

Il existe une variabilité saisonnière, diurne et horaire. Les périodes d'activité bioacoustique les plus élevées sont observées pendant les mois d'été ainsi qu'entre la fin de l'automne et le début de l'hiver à la fois pour le Marsouin et les Delphinidés. À l'échelle d'un cycle journalier, l'activité des Mammifères marins est plus élevée pendant la nuit, avec une intensité de production bioacoustique nocturne plus prononcée. L'activité bioacoustique augmente vers 17h-18h le soir et jusqu'à 6h-7h le matin. L'été, la production de clics se répartit en journée également entre 7h-8h et 16-17h pour les Delphinidés.

L'analyse *BACI* est basée sur les données des enregistreurs et concerne la comparaison des stations impact et témoin. Elle montre que la présence des Delphinidés et des Marsouins, selon les indicateurs d'activité bioacoustique, est significativement plus élevée dans la zone du parc que dans la zone témoin pendant toute l'étude. De plus, les Delphinidés et les Marsouins montrent une activité acoustique plus prononcée au large qu'à proximité de la côte.

La description des variations à fine échelle spatiale se base sur les données des *POD*. Ces données montrent les tendances entre les 5 stations formant une droite parallèle à la côte (approche *BAG*), les données des *POD* présentent des différences significatives entre certaines stations, notamment la station L (Sud du parc), qui se distingue significativement des autres stations pour une présence accrue (10 fois plus de clic enregistrés par rapport à la station A en moyenne). Une augmentation progressive des valeurs

médianes est observée de la station A à la station L pour les Delphinidés, tandis qu'une stabilité relative caractérise la présence du Marsouin, avec une variabilité limitée entre -1 % et +1 % entre les stations par rapport à la moyenne de la zone d'étude.

La dépendance des résultats aux conditions météo-océaniques a été étudiée. Parmi les variables environnementales qui ont été testées dans des modèles additifs généralisés (GAM), la température de surface, la vitesse du courant, la concentration en phytoplancton et la salinité ont révélé jouer un rôle important à l'échelle de la zone d'étude sur la présence des Delphinidés et de Marsouins. Les modèles de présence obtenus ont un pouvoir explicatif acceptable de presque 40 % pour les Delphinidés et d'environ 29 % pour les Marsouins.

L'effet du bruit ambiant a également été testé avec un modèle linéaire en lien avec l'activité bioacoustique. Il apparaît que le niveau de bruit médian varie peu entre les saisons et qu'il n'a aucun pouvoir explicatif sur l'activité bioacoustique des Delphinidés. En ce qui concerne le Marsouin, en revanche, le bruit médian est une variable statistiquement significative cependant le pouvoir explicatif sur la variance observée est très faible. D'autres analyses ont été menées pour évaluer l'effet du bruit anthropique sur la présence de ces espèces lors de périodes courtes caractérisées par une augmentation des niveaux sonores attribuée au passage de bateau. Un effet faiblement significatif est visible pour les données d'une seule station (A). Ce résultat indiquerait une augmentation des niveaux d'activité bioacoustique en corrélation avec le passage d'un navire à proximité. Tirer des conclusions de ce résultat est cependant prématuré. Des analyses complémentaires, à réaliser ultérieurement, sont nécessaires pour mieux comprendre l'ensemble des facteurs jouant un rôle et pouvant dégager des éléments d'interprétation robustes.

Il reste intéressant d'explorer d'autres variables environnementales et anthropiques, telles que la disponibilité des proies, la pollution de l'eau, les interactions humaines et les conditions météorologiques exceptionnelles afin de compléter les résultats présentés ici et augmenter encore la qualité des modèles de présence des Mammifères marins obtenus. Ces facteurs peuvent jouer un rôle important sur le temps de présence et influencer leurs déplacements et leurs comportements. En effet, obtenir une vision la plus complète possible des variables qui déterminent l'évolution de la fréquentation des Mammifères marins dans la zone d'étude pendant l'état initial permet de mettre en place une meilleure gestion des impacts lors des phases futures de construction et d'exploitation du parc.

L'étude comportementale des données POD montre que les interactions sociales représentent l'activité principale des Delphinidés alors que les Marsouins privilégient le déplacement. La seconde activité est la chasse/écholocation et les Delphinidés sont très actifs aux stations C et T, passant jusqu'à 39 % du temps. Les données des enregistreurs ont révélé des proportions de vocalisations liées aux comportements de chasse/écholocation et interactions sociales et mixtes presque équivalentes dans les stations A, B et Témoin. Quant à eux, les Marsouins privilégient la station C, consacrant 42 % de leur temps à la chasse/écholocation alors que cette activité est nettement plus faible dans les autres stations (16 % à 22%), soulignant ainsi l'adaptation de leur activité bioacoustique en fonction du milieu et des paramètres environnementaux associés.

En conclusion, les stations A et B semblent constituer des zones de passage pour ces espèces, car les niveaux d'activité sont faibles le reste de l'année, tandis que les zones O et L montrent une présence plus stable pour les deux groupes d'espèces. La station C située près de la côte présente un faible intérêt pour les Delphinidés. Pour les Marsouins, le taux de détection reste faible et stable toute l'année. Cependant, les détections de la station C révèlent des comportements plus côtiers que ceux des Delphinidés.

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 Mammifères marins pendant 12 mois consécutifs a permis de mettre en évidence les tendances significatives sur les plans spatial et temporel dans la zone d'étude. Cette analyse a permis de comprendre comment la présence et l'activité des Mammifères marins 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.

## 16. LIMITES ET PERSPECTIVES DE L'ETUDE

### 16.1 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.

## 16.2 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.

- **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.

## 17. 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>
- 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>
- 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>
- 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., Driira 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](http://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](http://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>
- Brandt, M. J., Hansen, S., Diederichs, A., & Nehls, G. (2014). Do man-made structures and water depth affect the diel rhythms in click recordings of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*)? *Marine Mammal Science*, 30(3), 1109–1121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/mms.12112>
- 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*.
- 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). *Gestion des incidences des débris marins et du bruit sous-marin d'origine anthropique sur la diversité biologique marine et côtière*.
- 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>
- 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., & Blacquièrre, 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](http://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., 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](http://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](http://www.offshorewind.co.uk)
- Dorémus, G., Blanchard, A., Sanchez, T., Huon, M., Genu, M., Brétille, V., Pessato, A., Authier, M., Bousquet, N., Thierry Sanchez, ;, Poncet, S., Peltier, H., Williams, G., Amic, J., & Caro, A. (2023). *Suivi de la distribution de la mégafoaune marine en Manche, Atlantique et Méditerranée*. [www.observatoire-pelagis.cnrs.fr](http://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*.
- 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>
- 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. (2012). The behavioral context of common dolphin (*Delphinus* sp.) vocalizations. *Marine Mammal Science*, 28(3), 439–460. <https://doi.org/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., & 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>
- 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>
- 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.*
- Kammaing, C., & Wiersma, H. (1981). Investigations on cetacean sonar II. Acoustical similarities and differences in odontocete sonar signals. *Aquatic Mammals*, 8(2), 41–62.
- 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, 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., 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>

- 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](http://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 préconisations pour limiter l'impact des bruits sous-marins sur la faune marine*.
- 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.
- Nuuttila, H. K., Brundiers, K., Dähne, M., Koblitz, J. C., Thomas, L., Courtene-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., Breising, 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.
- 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*.
- 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., Magnin, V., Meynier, L., Spitz, J., Hassani, S., & Ridoux, V. (2007). 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>
- 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.*
- Secor, D. (2017). 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>
- Sørensen, P. M., Wisniewska, D. M., Jensen, F. H., Johnson, M., Teilmann, J., & Madsen, P. T. (2018). 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>
- Stone C.J, & Tasker M.L. (2006). *The effects of seismic airguns on cetaceans in UK waters.*
- Teilmann, J., Miller, A., Im Kirketerp, T., Kastelein, A., Madsen, P. T., Nielsen, K., & Au, W. W. L. (2002). *Aquatic Mammals* (Vol. 28).
- 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. (2006). *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 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. (2007). 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>

- 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>
- Wenz, G. M. (1972). Review of Underwater Acoustics Research: Noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 51(3B), 1010–1024. <https://doi.org/10.1121/1.1912921>
- Wiggins, S. M., Frasier, K. E., Elizabeth Henderson, E., & Hildebrand, J. A. (2013). Tracking dolphin whistles using an autonomous acoustic recorder array. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(6), 3813–3818. <https://doi.org/10.1121/1.4802645>

## 18. ANNEXES

### 18.1 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).

## 18.2 DESCRIPTION DU MILIEU DE PROPAGATION POUR L'ANALYSE DU BRUIT

### 18.2.1 La bathymétrie de la zone d'étude

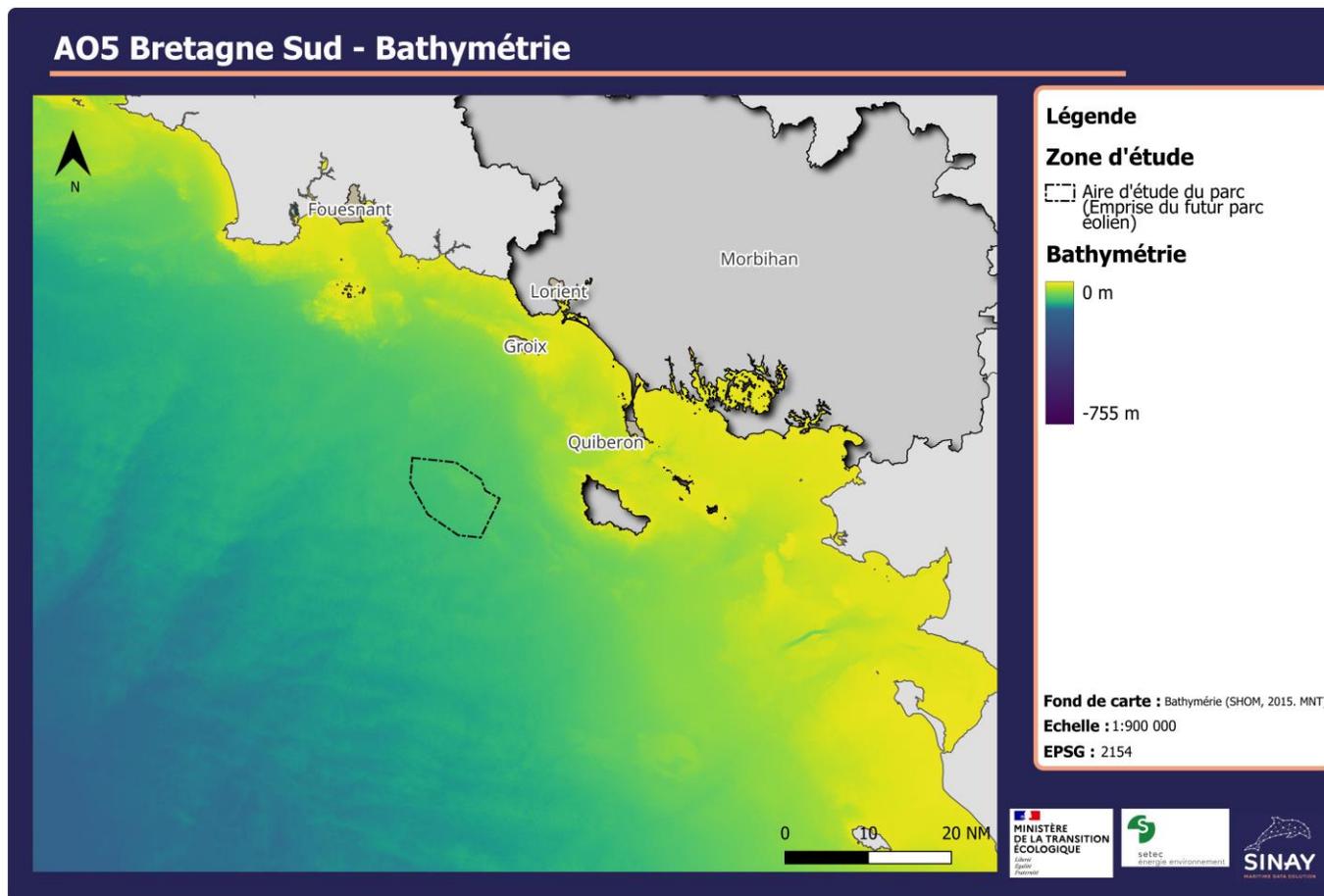


Figure 384 : Bathymétrie de la zone d'étude élargie (Source : SHOM®).

### 18.2.2 Profils célé-bathymétriques

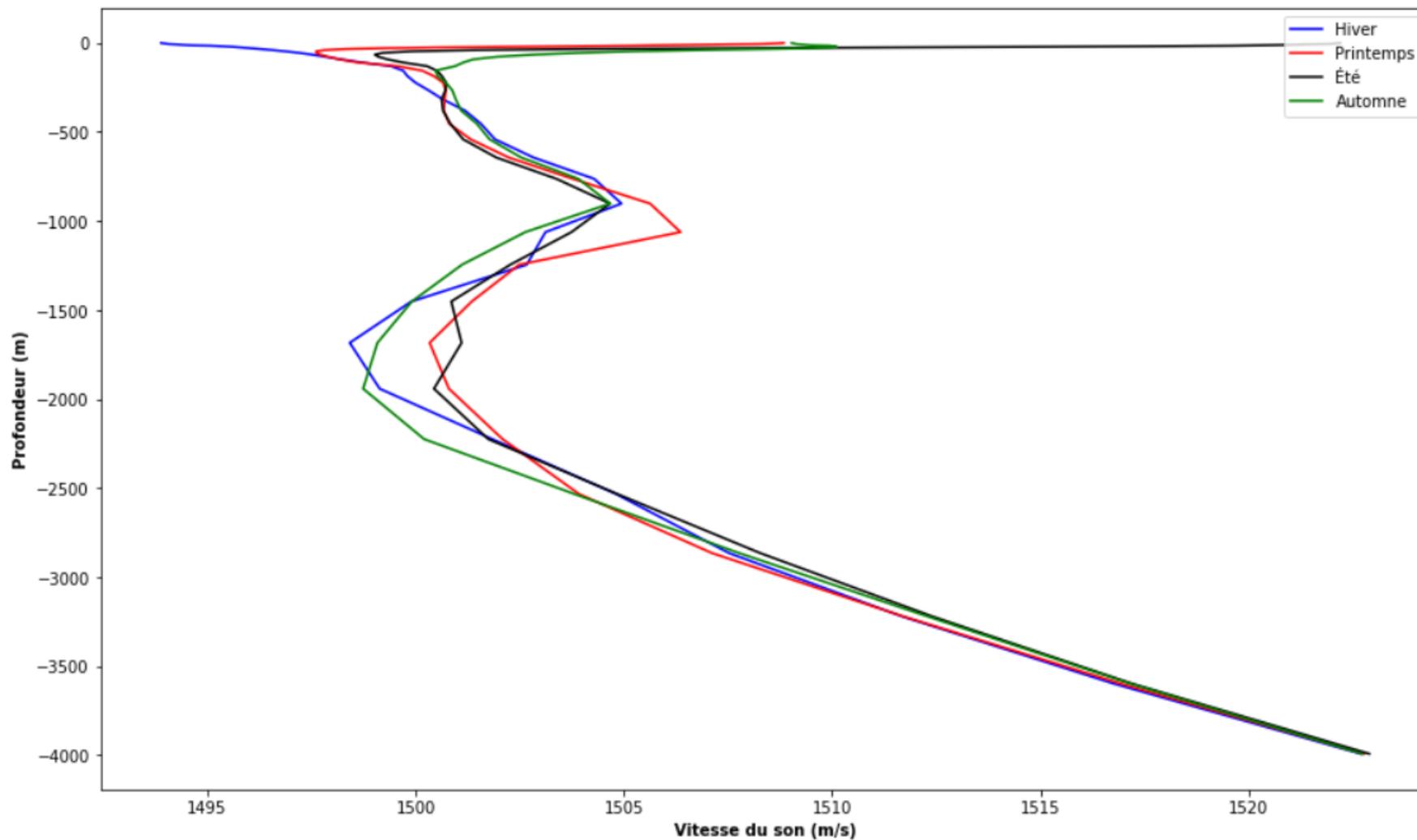


Figure 385 : Vitesse de propagation du son par saison dans la zone d'étude.

### 18.2.3 Propriétés géo-acoustiques du fond

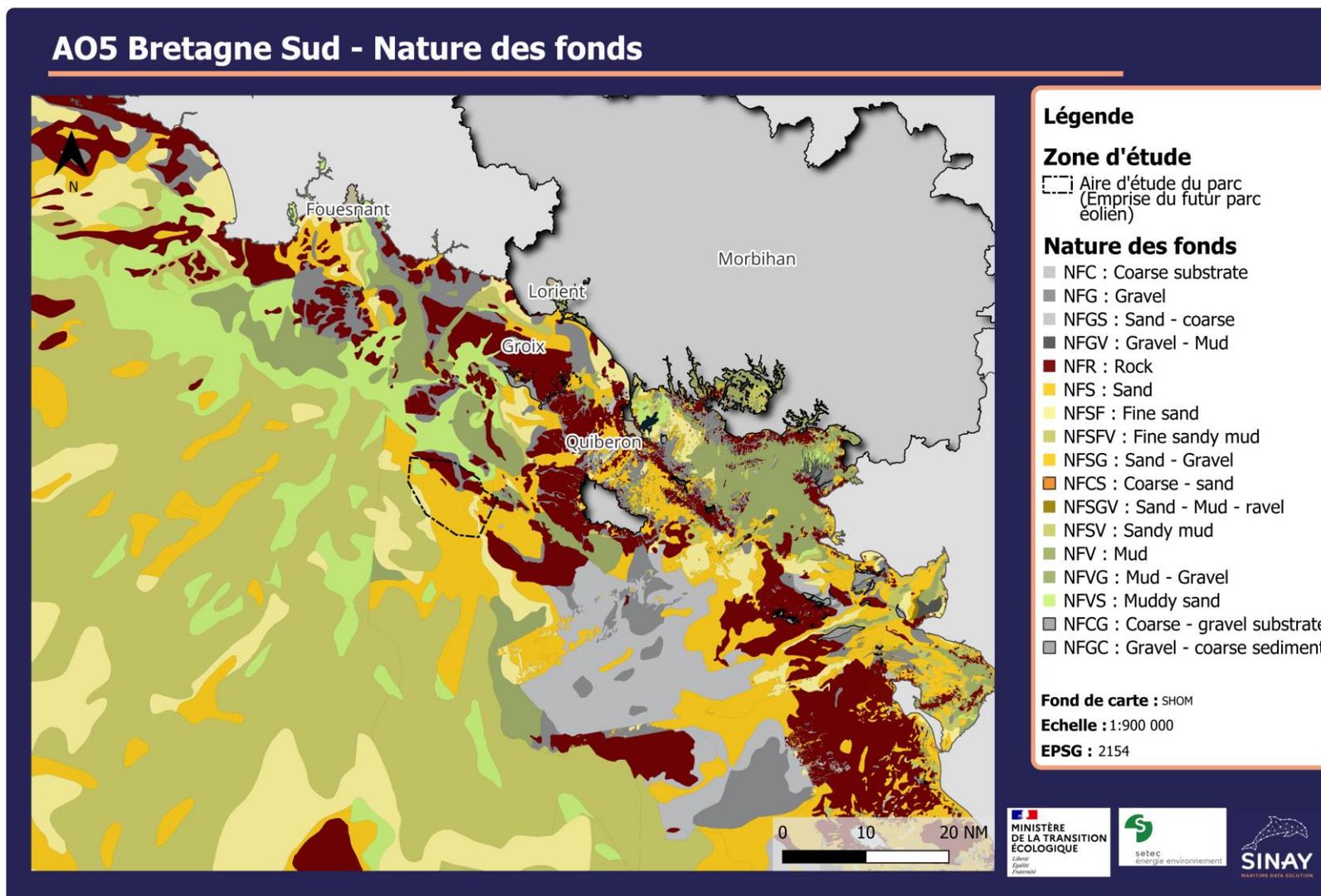


Figure 386 : Nature des fonds de la zone d'étude élargie (Source : SHOM®).

### 18.2.4 Contours des marées

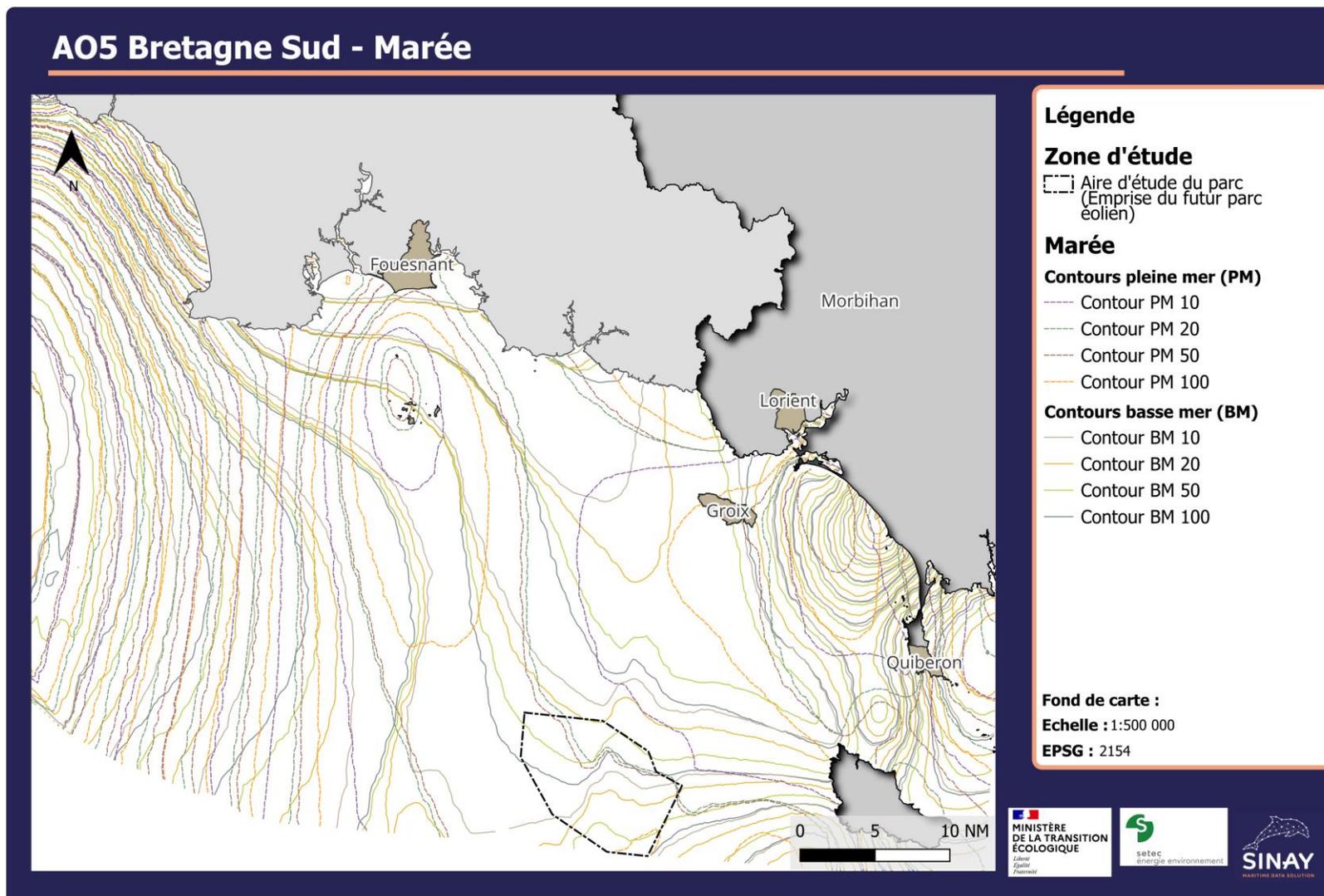
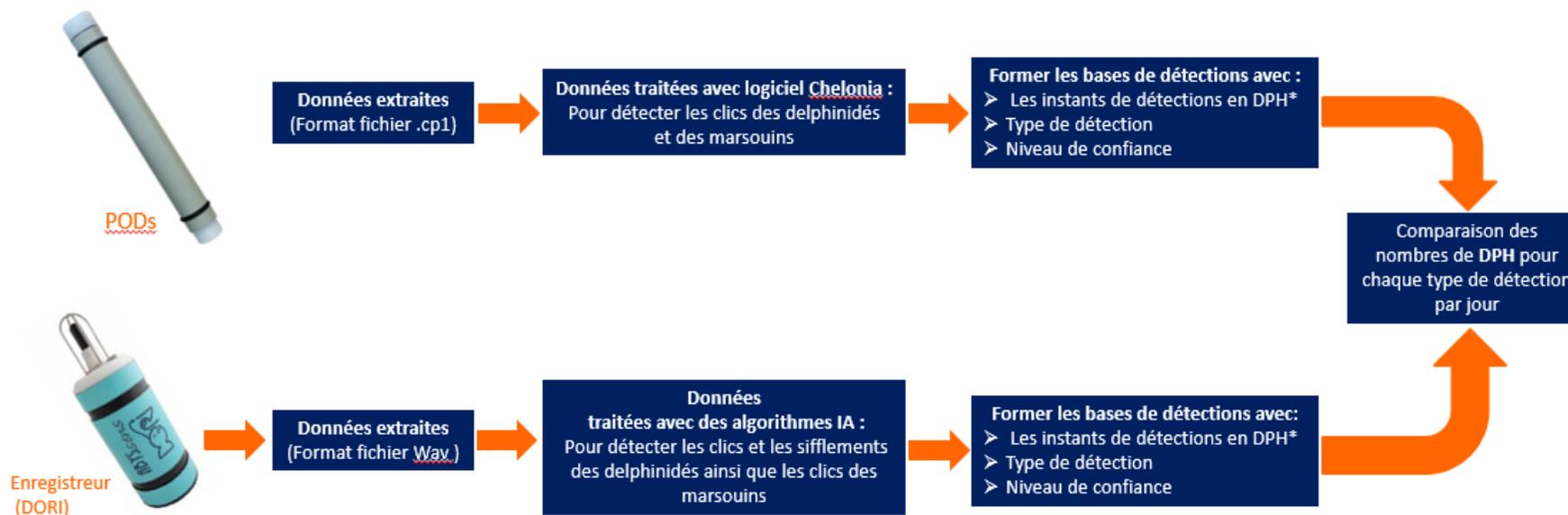


Figure 387 : Contours des basses et pleines mers (Source : SHOM®).

## Méthode de comparaison

### Traitements des données sur une campagne



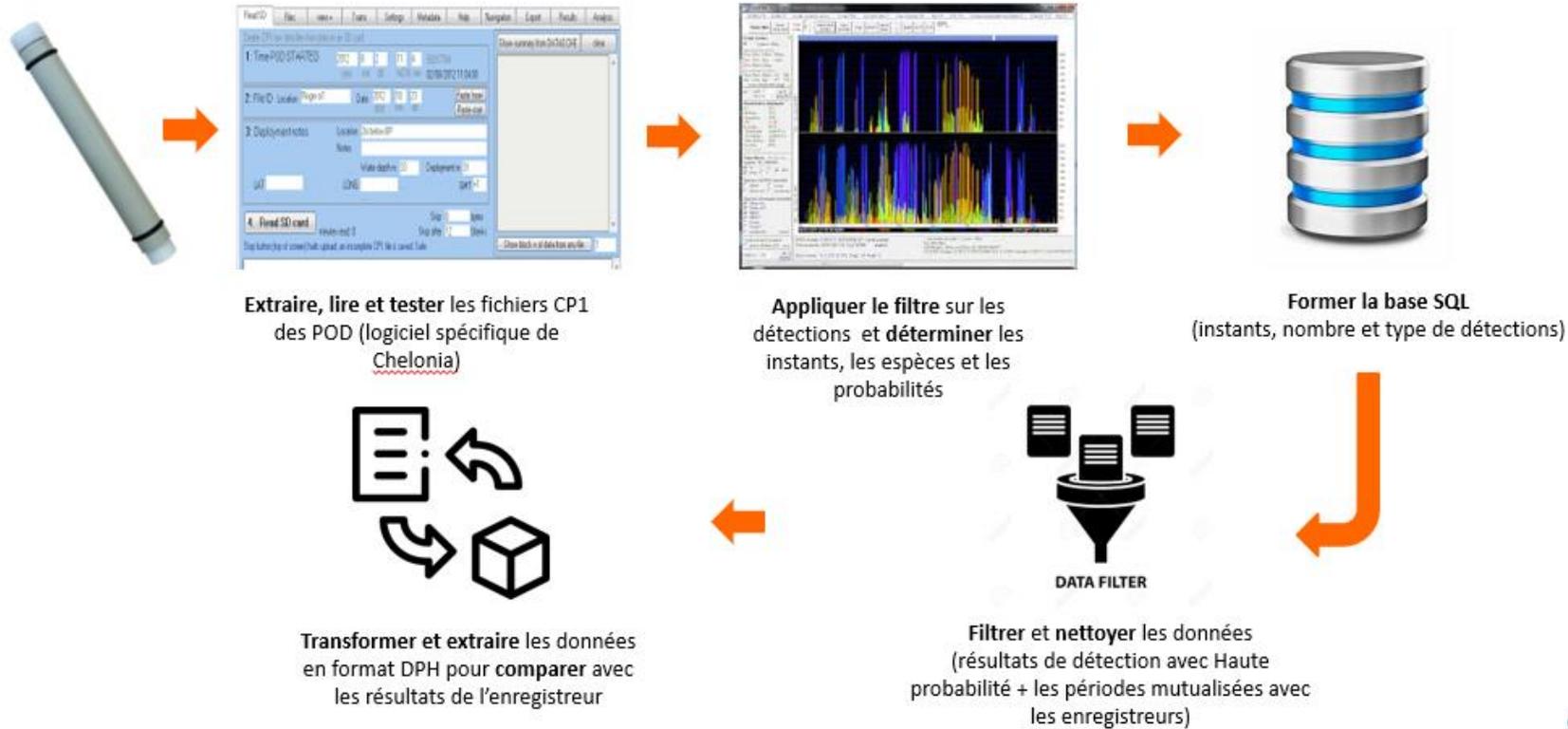
\*DPH : nombre de Détections Positif par Heure

SINAY

Figure 388 : Méthode de comparaison des données bioacoustiques, traitements des données.

# Méthode de comparaison

## C-POD et F-POD



SINAY

Figure 389 : Méthode de comparaison des CPOD et FPOD

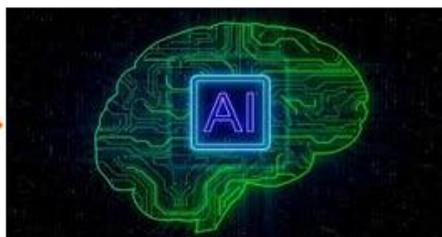


## Méthode de comparaison

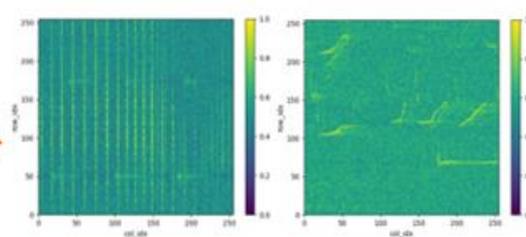
Enregistreur DORI



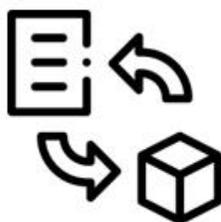
**Stocker les fichiers way**  
 (serveurs cloud de Google)



**Appliquer des algorithmes de détections d'IA**  
 sur chaque instant des fichiers way stockés  
 (HPC: high performance computing pour traiter 90 To)



**Trouver les instants de détection ( sifflement et clics )**  
 +  
**Former les images spectrogramme pour les vérifications**



**Transformer et extraire** les données en  
 format DPH pour une comparaison avec  
 les résultats de C-POD



DATA FILTER

**Filtrer et nettoyer les données :**  
 résultats de détection avec un indice de confiance  
 > 0,99 sur les trois algorithmes de détection  
 + les périodes mutualisées avec les PODs



**Former la base NoSQL**  
 (instants, indice de confiance, type de  
 détection, indice de la mission)

**SINAY**

Figure 390 : Méthode de comparaison des données bioacoustiques, enregistreur DORI.

## 18.4 PARAMETRES DES ENREGISTREURS ACOUSTIQUES

Tableau 54 : Synthèse des caractéristiques et paramètres des enregistreurs déployés,

Caractéristiques et paramétrages des enregistreurs	
	
<b>Marque et modèle</b>	ABYSsens – DORI M
<b>Stations équipées</b>	A, B et Témoin
<b>Paramètres</b>	
Format de l'enregistrement	24 Bits
Stockage	6 cartes $\mu$ SD
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
<b>Dimensions</b>	
Diamètre	145 mm
Longueur	490 mm
Poids	7,1 Kg
Profondeur max	250 m

### 18.5 VOLUME DE DONNEES COLLECTEES

		nov-22				déc-22				janv-23				févr-23				mars-23			
		07/11	14/11	21/11	28/11	05/12	12/12	19/12	26/12	02/01	09/01	16/01	23/01	30/01	06/02	13/02	20/02	27/02	06/03	13/03	
		44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Témoïn	DORI	100%				44%				56%				75%				25%			
B	DORI	36%				14%				86%				34%				66%			
A	DORI	100%				27%				27%				10%				36%			
		100%				100%				90%				93%				10%			
B	DORI	100%				100%				100%				30%				70%			
A	DORI	100%				100%				100%				70%				7%			

		avr-23				mai-23			juin-23				juil-23							
		20/03	27/03	03/04	10/04	17/04	24/04	01/05	08/05	15/05	22/05	29/05	05/06	12/06	19/06	26/06	03/07	10/07	17/07	24/07
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Témoïn	DORI	100%				100%			100%				90%				10%			
B	DORI	100%				100%			100%				93%				7%			
A	DORI	100%				100%			100%				30%				70%			

		août-23				sept-23			oct-23				nov-23						
		31/07	07/08	14/08	21/08	28/08	04/09	11/09	18/09	25/09	02/10	09/10	16/10	23/10	30/10	06/11	13/11	20/11	27/11
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Témoïn	DORI	100%				100%			74%				26%						
B	DORI	100%				100%			100%				6%						
A	DORI	87%				13%			94%				6%						

Figure 391 : Volume en pourcentage des données disponibles et des données manquantes entre novembre 2022 et novembre 2023 pour les enregistreurs modèle DORI (source : Sinay®, 2023).

		nov-22				déc-22				janv-23				févr-23			mars-23						
		07/11	14/11	21/11	28/11	05/12	12/12	19/12	26/12	02/01	09/01	16/01	23/01	30/01	06/02	13/02	20/02	27/02	06/03	13/03	20/03	27/03	
		44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Témoïn	POD																						
B	POD																						
A	POD																						
C	POD																						
O	POD																						
L	POD																						

		avr-23				mai-23			juin-23				juil-23									
		20/03	27/03	03/04	10/04	17/04	24/04	01/05	08/05	15/05	22/05	29/05	05/06	12/06	19/06	26/06	03/07	10/07	17/07	24/07		
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Témoïn	POD																					
B	POD																					
A	POD																					
C	POD																					
O	POD																					
L	POD																					

		août-23				sept-23			oct-23				nov-23									
		31/07	07/08	14/08	21/08	28/08	04/09	11/09	18/09	25/09	02/10	09/10	16/10	23/10	30/10	06/11	13/11	20/11	27/11			
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48			
Témoïn	POD																					
B	POD																					
A	POD																					
C	POD																					
O	POD																					
L	POD																					

*Figure 392 : Volume des données disponibles et des données manquantes entre novembre 2022 et novembre 2023 pour les POD (source : Sinay®, 2023).*

## 18.6 CORRELATION DU BRUIT ET DE LA HAUTEUR D'EAU

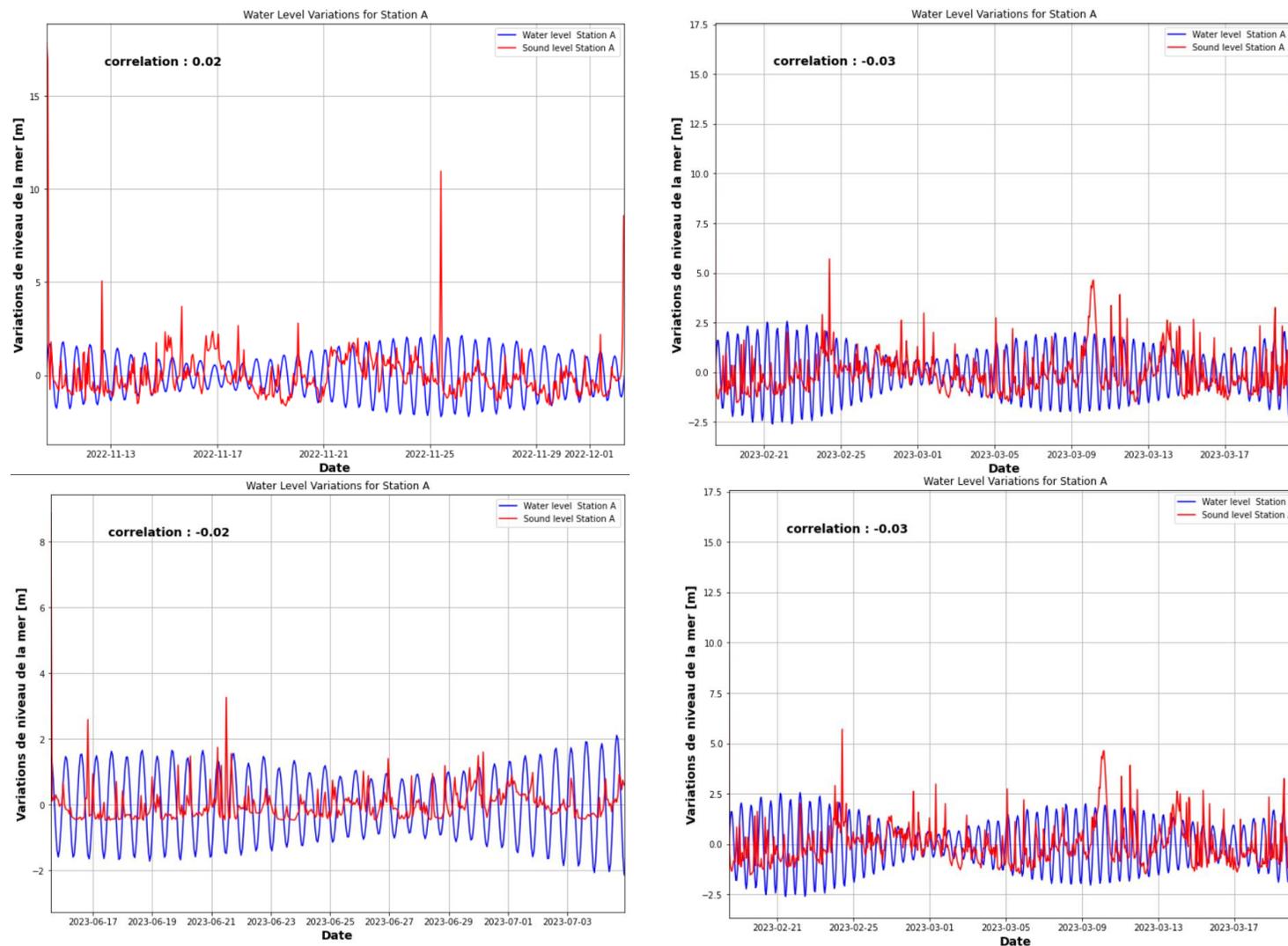


Figure 393 : Evolution du niveau de bruit sous-marin et de la variation du niveau de la mer lors de la première année de suivi dans la station A.

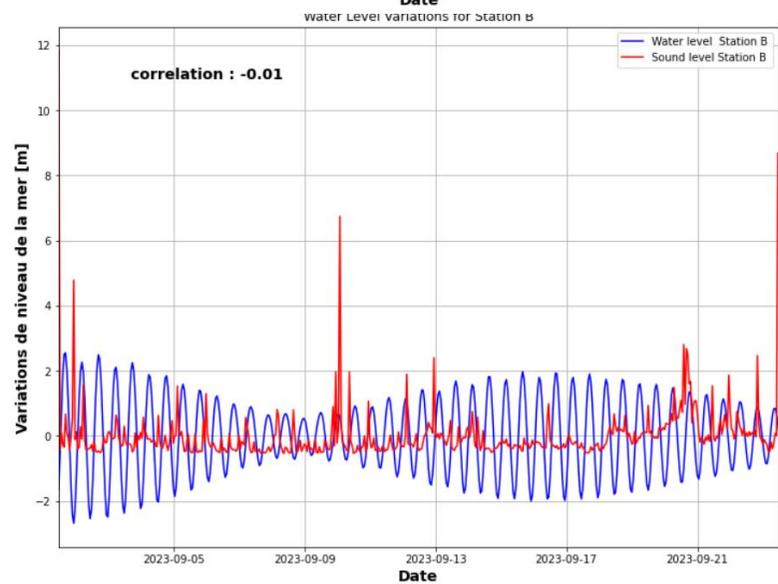
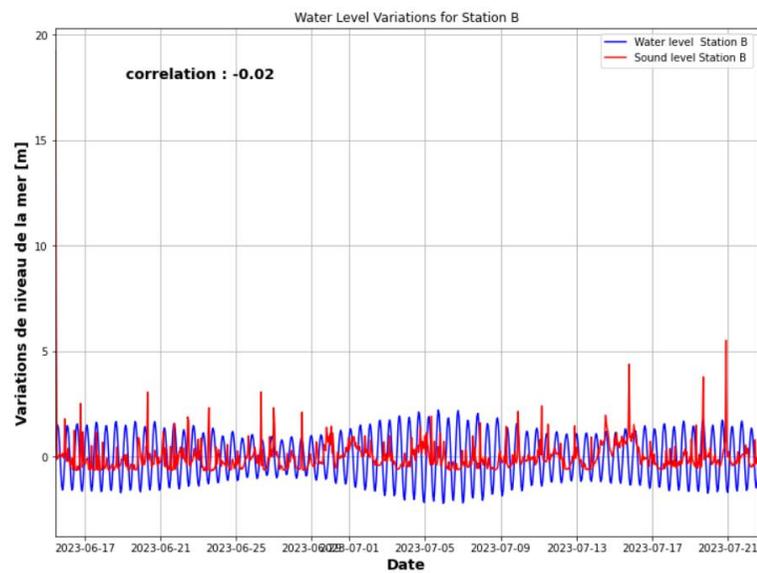
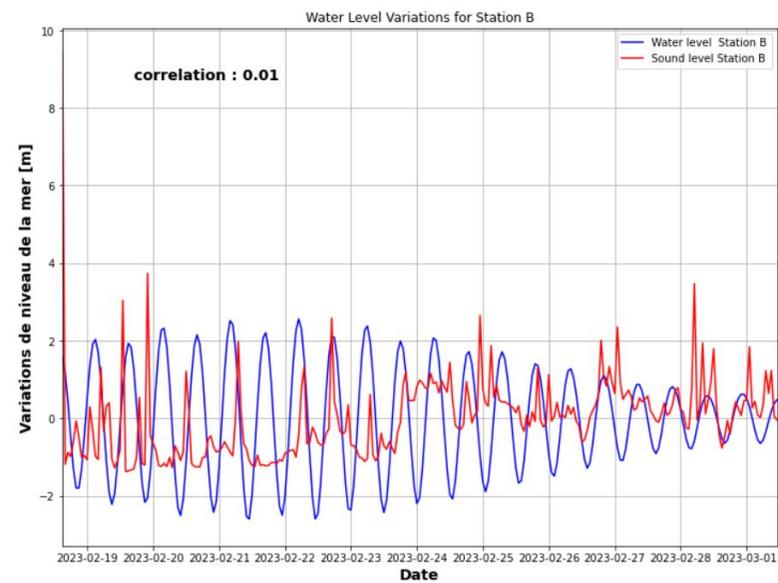
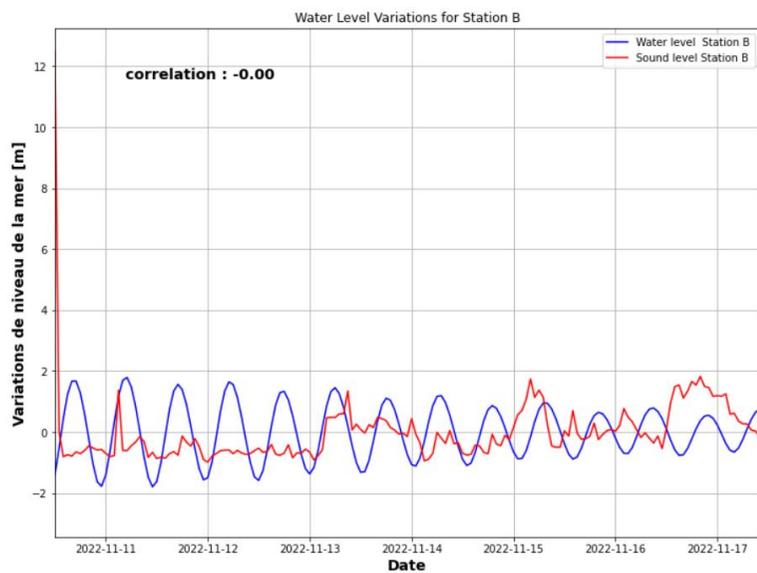


Figure 394 : Evolution du niveau de bruit sous-marin et de la variation du niveau de la mer lors de la première année de suivi dans la station B.

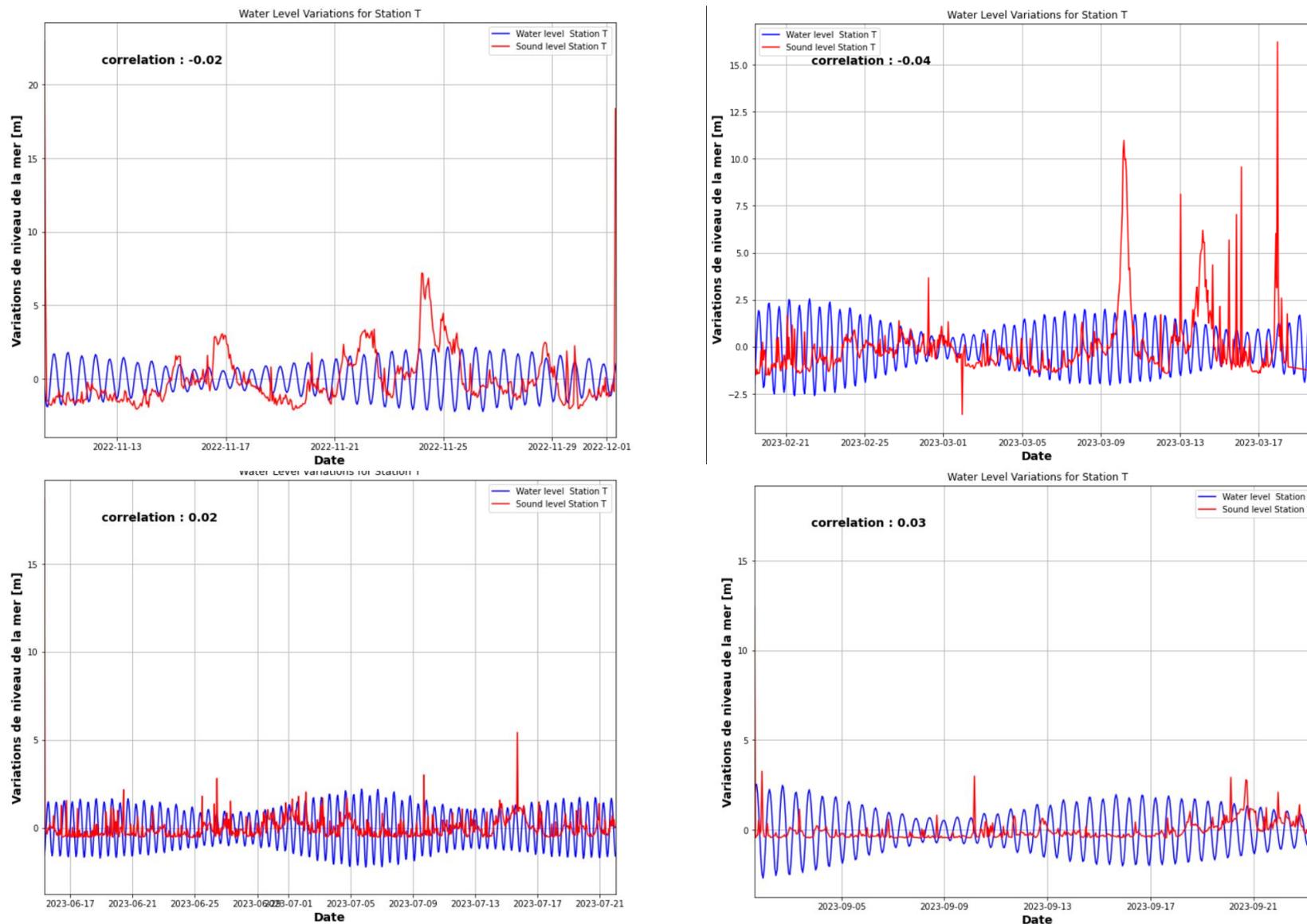


Figure 395 : Evolution du niveau de bruit sous-marin et de la variation du niveau de la mer lors de la première année de suivi dans la station Témoin.

## 18.7 PERIODES D'ACQUISITION DE DONNEES ET VOLUME DE JOURS COLLECTES

### 18.7.1 Données acquises par les enregistreurs

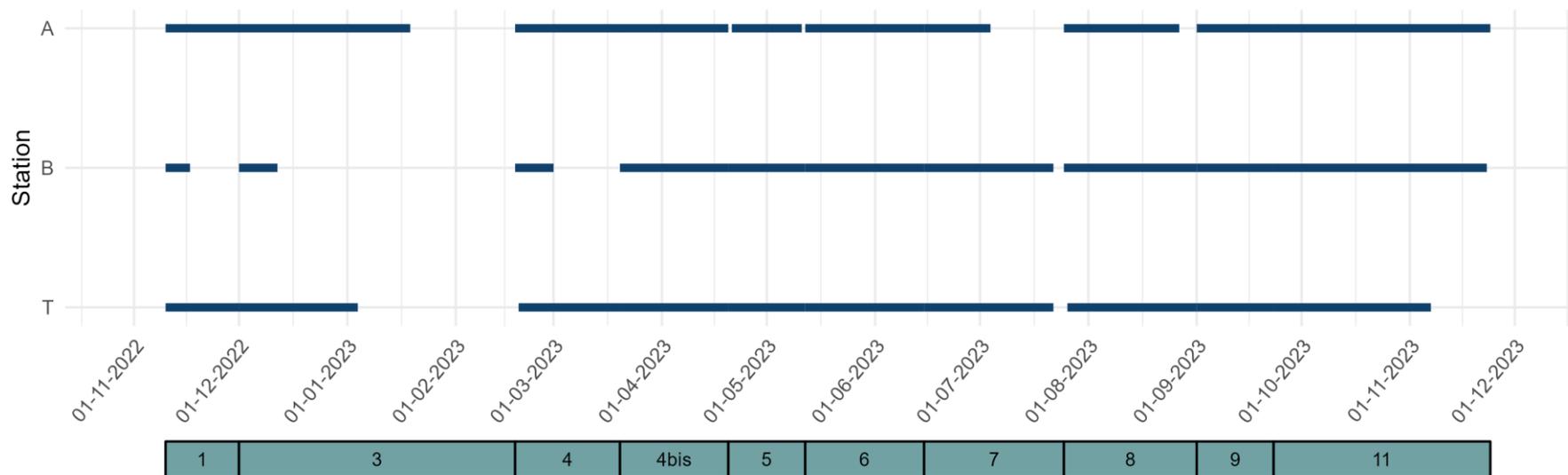


Figure 396 : Campagnes de déploiements des enregistreurs (Stations A, B et Témoin) pour la première année de suivi (novembre 2022 à novembre 2023).

### 18.7.2 Données acquises par les POD

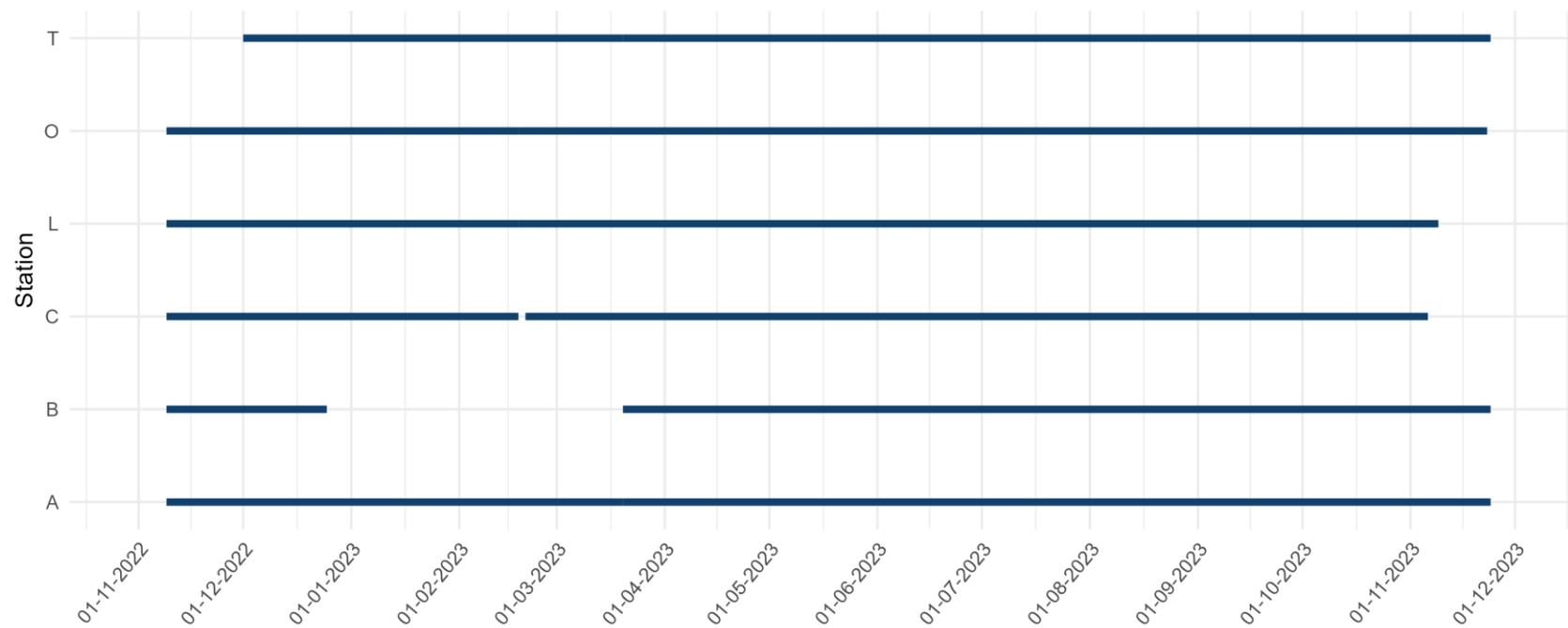


Figure 397 : Campagnes de déploiements des POD (stations A, B, C, O, L et Témoin) pour la première année de suivi (novembre 2022 à novembre 2023).

## 18.8 VARIABILITE SAISONNIERE DE LA FREQUENTATION DES CETACES

### 18.8.1 Variabilité mensuelle (données enregistreurs)

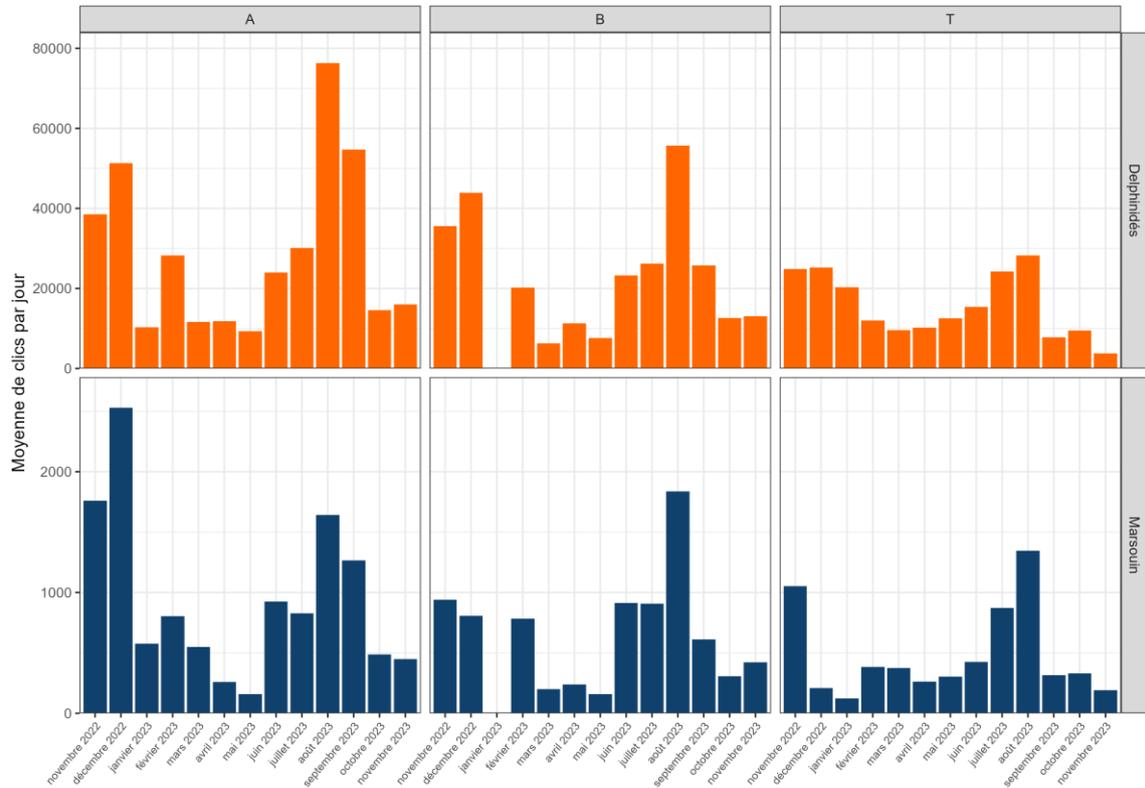


Figure 398 : Activité mensuelle en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B et Témoin (données « enregistreurs » de la 1<sup>ère</sup> année).

### 18.8.2 Variabilité mensuelle (données POD)

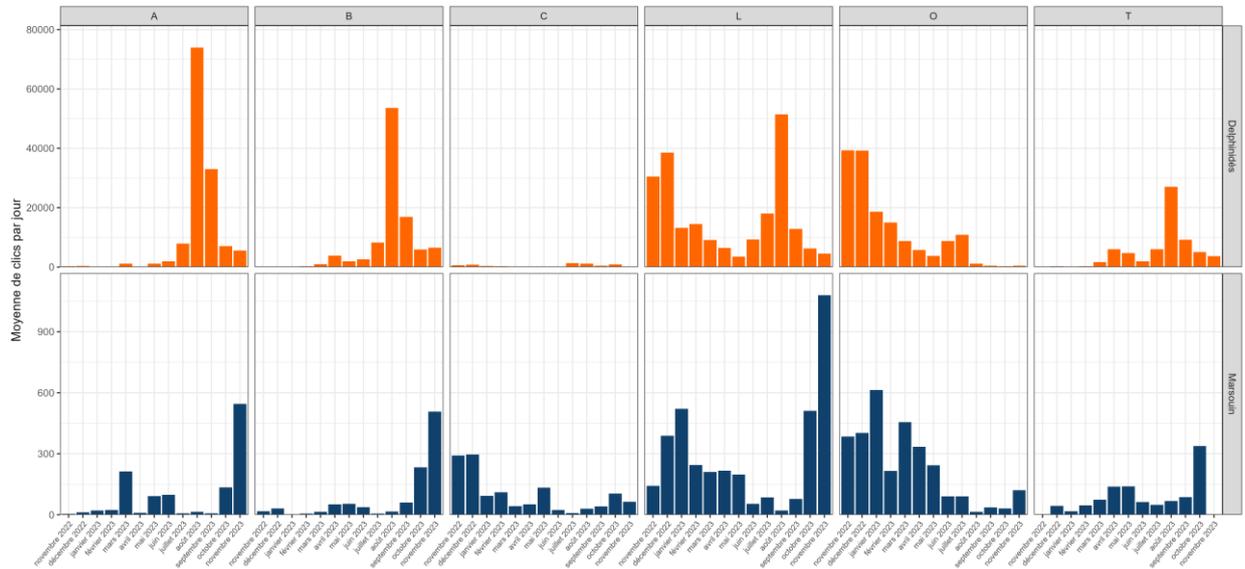


Figure 399 : Activité mensuelle en nombre de clics moyens journaliers des Delphinidés (en haut) et des Marsouins communs (en bas) sur les stations A, B, C, O, L et Témoin (données POD de la 1<sup>ère</sup> année)

**18.9 ANNEXE 2 : NOTE SUR LE PROTOCOLE AO5 « MEGAFaUNE MARINE PAR  
OBSERVATIONS NAUTIQUES » ET APPLICATION DE LA METHODE DU SNAPSHOT**

# Note sur le protocole AO5 « mégafaune marine par observations nautiques » et application de la méthode du « Snapshot »

La Forêt-Fouesnant le : 9 août 2024

L'acquisition des données liées aux oiseaux dans le cadre du projet éolien AO5 Bretagne Sud lors des campagnes nautiques fait intervenir deux protocoles d'observations distincts et simultanés : le protocole *Line transect* et le protocole *Snapshot*.

## Description de la zone – Parc éolien Bretagne Sud

Les campagnes d'acquisition nautiques s'établissent sur 7 transects espacés de 4 km chacun. Au total, 95 km de suivis, couvrant ainsi une superficie de 57 km<sup>2</sup> (soit 16.4% de la zone d'étude prospectée) sont effectués (Figure 1). Ces campagnes sont répétées mensuellement pendant deux années (Avril 2022 à Mars 2024).

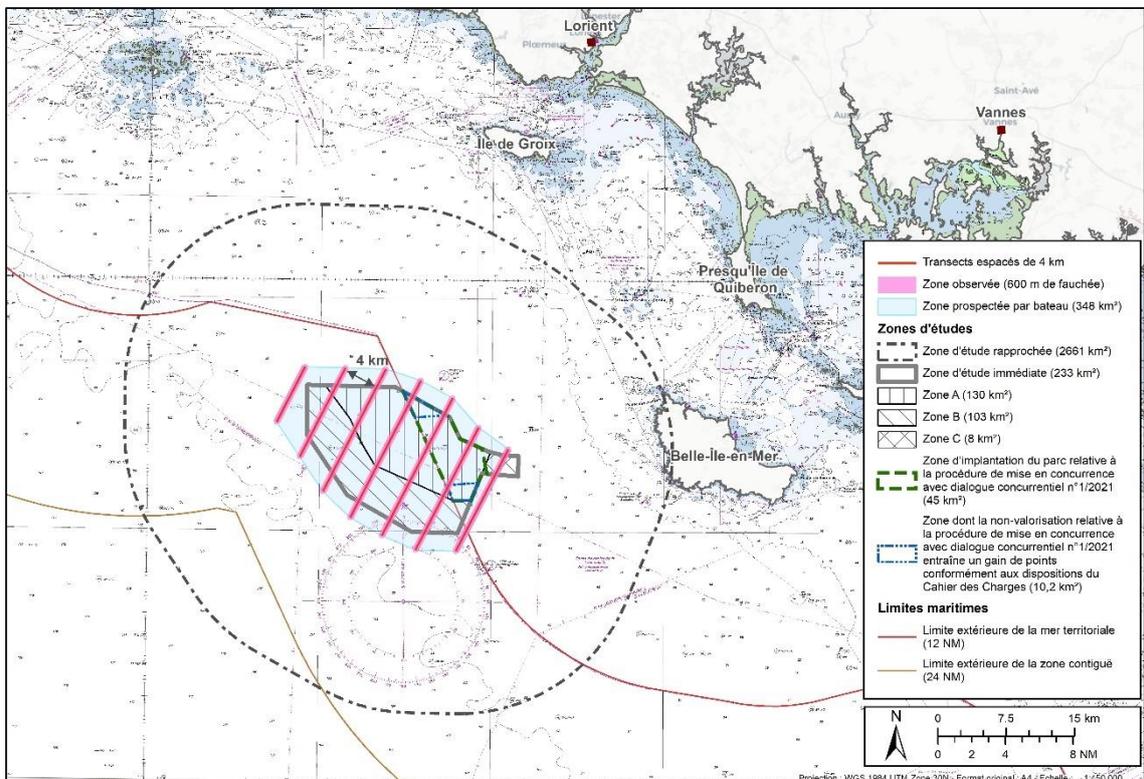


Figure 1. Position des transects au sein de la zone d'étude prospectée au cours des campagnes nautiques AO5 (source : setec énergie environnement, 2023)

## Protocoles *Line transect* et *Snapshot*

Lors des campagnes nautiques, l'ensemble des oiseaux, qu'ils soient en vols ou posés, sont dénombrés selon le protocole *Line transect*. Ce protocole permet de dénombrer les individus, majoritairement dans un rayon de 300 mètres et la plupart du temps à l'espèce, en renseignant notamment une distance et un angle de détection.

Pour cela, deux observateurs couvrent chacun un champ visuel complémentaire de 90° sur le quart avant du bateau en mouvement, couvrant ainsi un champ de 180°, du 270° à bâbord au 90° à tribord (Komdeur et al., 1992) (Figure 2).

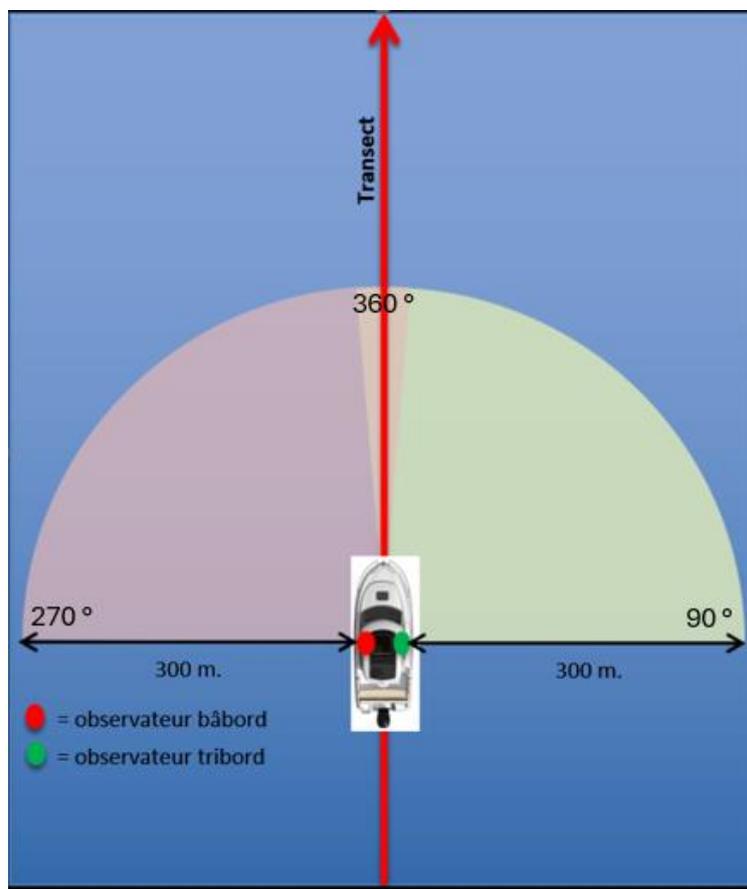


Figure 2. Schéma présentant le principe de suivi lors des campagnes nautiques (source : setec énergie environnement, 2023)

En complément du protocole *Line transect*, le protocole *Snapshot* est déployé pour les oiseaux en vol. Ce protocole prévoit que les deux observateurs, toutes les deux minutes, réalisent un comptage à 360° autour du bateau en route, sur une distance de 300 mètres. Un total d'environ 190 points *Snapshot* est réalisé au cours des 102 km de transect parcourus lors d'une campagne nautique, ce qui représente environ 1 point *Snapshot* tous les 534 mètres (Figure 3). Le rayon d'observation étant de 300 mètres, il y a donc un recouvrement d'environ 60 mètres entre chaque point d'observation.

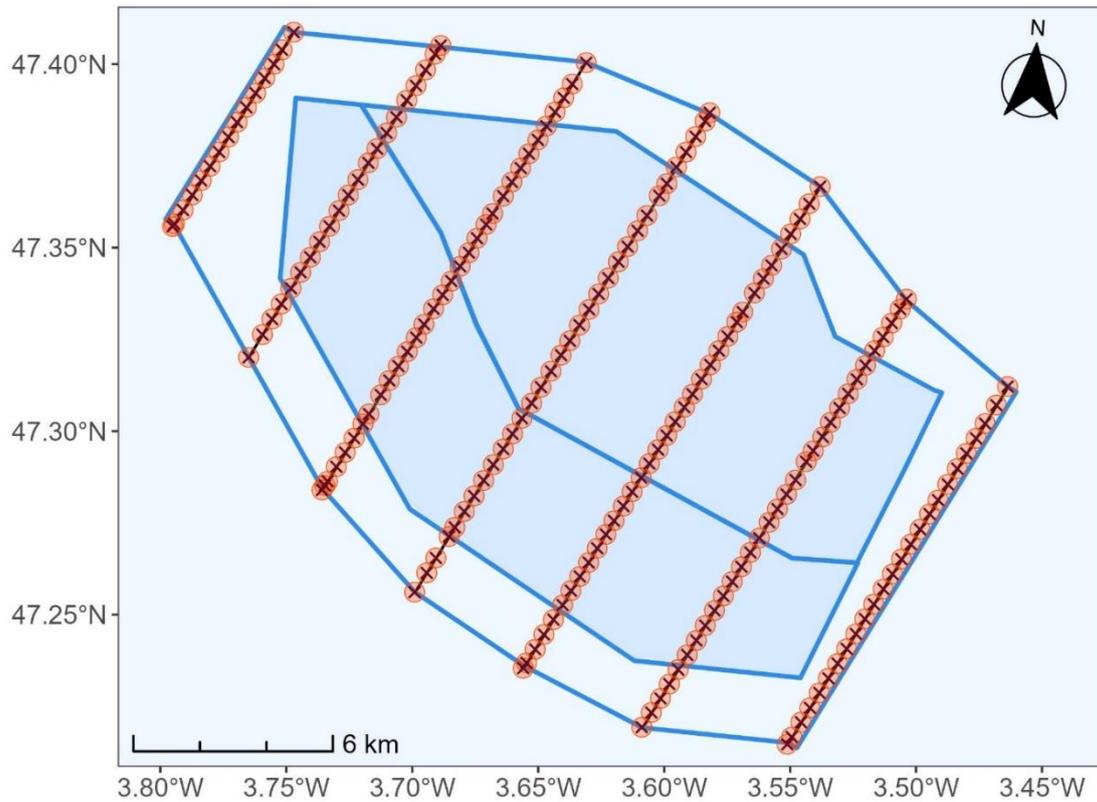


Figure 3. Répartition des 191 points d'observation Snapshot (croix noires) entourés d'un buffer de 300 mètres (bulle orange) au cours des 102 km de transects parcourus lors des campagnes nautiques AO5.

A noter qu'un individu en vol détecté entre le 270° et le 90° lors d'un comptage *Snapshot* sera rentré dans la base de données à la fois comme étant détecté lors du protocole *Snapshot* et *Line transect*.

De même, afin de ne pas surestimer le nombre d'oiseaux, une attention particulière est demandée aux observateurs afin de ne pas compter deux fois le même individu, spécialement dans le cas d'individus suiveurs du bateau lors du protocole *Snapshot*.

## Contexte de la présente note

Après deux années d'acquisition de données, plusieurs interrogations ont émergé quant à l'analyse des données issue du protocole *Snapshot*. Plusieurs situations à laquelle nous avons été confrontées sur le terrain ont fait l'objet d'une réunion téléphonique le vendredi 12 avril avec Mme Pettex.

Les interrogations les plus courantes étaient les suivantes :

- **Récurrence du comptage *Snapshot* toutes les 2 minutes**

Il est relativement difficile de trouver une source bibliographique justifiant les comptages toutes les 2 minutes. Sur d'autres sites ou d'autres bateaux, on retrouve un comptage dont la récurrence va de la minute (dans le cadre du projet éolien à Dunkerque par exemple) à une dizaine de minute (dans le cadre des campagnes PELGAS par exemple). En pratique, un comptage toutes les 2 minutes demande beaucoup d'attention aux observateurs en cas de détection d'individus de différentes espèces. Le temps passé à déterminer les différentes espèces (très majoritairement des Laridés suiveurs) retourné vers l'arrière du bateau est du temps en moins pour les observations du protocole *Line transect*.

- **Cas des individus suiveurs**

Un autre cas récurrent lors des campagnes nautiques concerne les oiseaux suiveurs, très majoritairement les Laridés (i.e. des oiseaux qui ont été attirés par le bateau et le suivent un certain temps avant de « décrocher » et partir ailleurs). Afin de ne pas surestimer les oiseaux comptés, il est demandé de ne pas compter deux fois un même individu. Or dans la pratique, il est impossible de savoir si des individus suiveurs sont toujours les mêmes individus, ou si certains s'en vont et d'autres les remplacent. La question se pose régulièrement, en particulier lorsque l'on se trouve à proximité d'un bateau de pêche. Par exemple, lors d'une campagne à l'hiver 2023, alors qu'un bateau de pêche faisait route dans la même direction que nous, nous avons dénombré une centaine de goélands lors d'un comptage *Snapshot*, venant du bateau de pêche et attirés par le nôtre. Au second comptage *Snapshot*, une grande majorité d'individus étaient encore suiveurs ; nous avons fait le choix de ne pas les recomptabiliser. Au troisième comptage *Snapshot*, il n'y avait quasiment plus d'individus suiveurs. Puis au 4<sup>ème</sup> comptage *Snapshot*, une nouvelle salve de plusieurs dizaines d'individus suiveurs sont réapparues, attirés de nouveau par notre bateau et venant supposément du même bateau de pêche.

En plus d'exiger une concentration accrue des observateurs pour déterminer le nombre et les espèces des individus suiveurs, ce qui les empêche d'observer ce qui se passe à l'avant du

bateau, nous avons dû décider combien de fois ignorer ces individus suiveurs ; à savoir que les oiseaux dénombrés lors des comptages *Snapshot* avait déjà été comptés lors du protocole *Line transect*.

A travers ces différentes situations s'est posée la question de la pertinence de la réalisation du protocole *Snapshot*, et surtout sur le type d'analyse statistique à mener pour prendre en compte ces biais lors de l'acquisition des données. Après l'entretien téléphonique du 12 avril, il s'est décidé que deux points majeurs devront être étudiés, à savoir :

- 1) **Quelle est la proportion d'individus détectés uniquement au *Snapshot* (donc sans être détectés par le protocole de *Line transect*). Quelles sont les espèces dominantes ?**
- 2) **Comment varie la probabilité de détection en fonction de la distance perpendiculaire au transect, par famille d'espèces, et pour les individus détectés en vol ou posé ?**

Pour le premier point, on pouvait se poser la question si un individu détecté lors du protocole *Snapshot* l'était également lors du protocole *Line transect*. On pouvait également se demander si les comportements des individus observés pouvaient être générateurs de biais statistiques. Dans ces deux cas, se posait la question de l'intérêt de réaliser ce protocole.

Pour ce second point, l'hypothèse sous-jacente avancée était que la probabilité de détection en fonction de la distance était différente pour les oiseaux posés et pour les oiseaux en vol. De ce fait, l'estimation des densités (nombre d'individus par km<sup>2</sup>) ainsi que l'estimation de la taille de la « population » (en nombre d'individus) devaient se faire séparément, puis être additionnées pour obtenir des estimations totales. Néanmoins, s'ils s'avéraient que les probabilités de détection n'étaient pas significativement différentes, alors une estimation commune des oiseaux en vol et posés pourrait directement être réalisée.

- **Point 1 : Proportion d'individus détectés uniquement lors du protocole snapshot**

Avant de commencer à analyser les données des campagnes nautiques pour ce point, on effectue au préalable quelques filtres sur le jeu de données existant concernant les oiseaux marins, reprenant les 24 campagnes nautiques mensuelles :

- ➔ **On garde uniquement les individus observés en vol** (le protocole *Snapshot* ne prend pas en compte les individus posés)
- ➔ **On garde les observations obtenues dans des conditions d'observations exploitables** : Beaufort < 4 & Conditions d'observations subjectives aux observateurs considérées comme « Moyenne », « Bonne » ou « Excellente »

Ces filtres sont les mêmes que ceux réalisés lors des analyses statistiques habituellement réalisées lorsque ces protocoles sont utilisés.

Au total, 607 observations d'oiseaux sont uniquement liées au protocole *Snapshot* sur les 3585 observations totales, soit environ 16.9 % des observations. Ce chiffre peut être considéré comme « conservateur » dans la mesure où un individu peut être noté comme rentrant uniquement dans le comptage *Snapshot*, puis rentrant dans le protocole *Line transect* quelques temps plus tard lors d'une seconde observation (lorsqu'il rentre dans la tranche d'angle entre le 270° et le 90°). C'est ce « double comptage », intervenant en particulier pour des individus suiveurs, qui pose des problèmes de biais d'échantillonnage.

Le tableau ci-dessous résume, par famille, les 607 observations liées au protocole *Snapshot*. Il en ressort que la majorité des observations concerne des Laridés (482 observations, soit 79.4% des observations) et des fous de Bassan (72 observations, soit 11.9 %). Au total, ces deux familles regroupent 91.3% des observations *Snapshot*.

Famille	Nombre observations snapshot	Proportion d'observations snapshot par famille	Proportion cumulée d'observations snapshot par famille
<b>Laridés</b>	482	79.4 %	79.4 %
<b>Sulidés</b>	72	11.9 %	91.3 %
<b>Procellariidés</b>	32	5.26 %	96.5 %
<b>Hydrobatidés</b>	14	2.3 %	98.8 %
<b>Alcidés</b>	4	0.66 %	99.5 %
<b>Sternidés</b>	3	0.49 %	100 %

Parmi les 482 Laridés dénombrés lors du protocole *Snapshot*, 108 observations (22.4 % des observations) ont directement été qualifiés d'individus ayant un comportement de « suiveurs ». Ce qualificatif, bien que subjectif puisque dépendant entièrement du jugement de l'observateur, est attribué lorsqu'un individu attiré par le bateau se met à le suivre à hauteur de bateau (entre 5 et 10 mètres), à un angle de 180° et à une distance des observateurs relativement courte (généralement entre 5 et 20 mètres). Ce chiffre peut également être considéré comme « conservateur » puisqu'un individu peut être observé, lors du déclenchement *Snapshot*, comme n'étant pas suiveur (avec une direction de vol aléatoire par exemple), puis adopté par la suite un comportement suiveur. Toutefois ce comportement de suiveur ne sera pas renseigné puisque l'individu ne doit être comptabilisé qu'une seule fois. Ce phénomène s'accroît lorsque plusieurs Laridés venant dans des directions différentes se retrouvent en « groupes » derrière le bateau.

De même, parmi les 3 585 observations totales, 640 observations sont attribuées aux deux protocoles simultanés (*Snapshot + Line transect*). Cette situation se rencontre lorsqu'un oiseau est détecté en vol, entre le 270° et le 90°, au même moment où retentit le compte à rebours du protocole *Snapshot*. Au final, parmi les 1 247 observations liées au protocole *Snapshot* (607 *Snapshot* + 640 *Snapshot & Line transect*), 51.3 % des observations se retrouve au final dans le protocole *Line transect*.

Enfin, 2 338 observations rentrent uniquement dans le protocole *Line transect*. En ajoutant les 640 observations rentrant dans le protocole *Snapshot & Line transect*, un total de 2978 observations est détecté en *Line transect*, soit 83.1% des observations totales.

### En résumé :

Sur les 24 campagnes nautiques mensuelles, le protocole Snapshot ajoute 16.9% d'observations supplémentaires au protocole Line transect. Toutefois, ces observations concernent essentiellement des Laridés (79.4 %), et en particulier des goélands. Un minimum de 22.4 % des observations *Snapshot* ont directement été attribuées à des individus dit « suiveurs ». Ces observations posent en pratique plusieurs problèmes :

- Plusieurs comptages d'un même individu suiveur, créant potentiellement un biais de surestimation.
- Impossibilité de savoir si c'est un même individu qui suit ou s'il se fait remplacer par un autre individu, créant potentiellement un biais de sous-estimation.
- L'attention des observateurs se trouve accaparée vers l'arrière du bateau durant le protocole *Snapshot*, et ce de manière répétée (toutes les 2 minutes) créant un déficit d'attention à l'avant du bateau lors du protocole *Line Transect*. Cette gêne est régulièrement mentionnée par les observateurs qui supposent devoir manquer des individus posés craintifs (i.e. les Alcidés, en particulier les macareux moines qui plongent à bonne distance du bateau), des petits individus en vol rapide (i.e. les Hydrobatidés) ou encore des mammifères craintifs (i.e. les marsouins communs), créant potentiellement un biais de sous-estimation.
- Plus de 83% des observations sont obtenues par le protocole *Line transect*, soit moins de 17% par le protocole *Snapshot*. Le ressenti de la part des observateurs est que beaucoup d'effort sont consentis lors de ce protocole *Snapshot* pour finalement un bilan assez mitigé en termes de quantité et de qualité des données.

## Exemple des Laridés – Campagne Novembre 2022

Les Laridés sont principalement observés au cours des campagnes hivernales et sont la principale famille détectée au cours du protocole Snapshot. La campagne de novembre 2022 illustre bien la problématique majeure rencontrée lors du protocole Snapshot, à savoir le recensement des oiseaux suiveurs (Figure 4).

14 observations pour 17 individus ont été détectées sur le transect 10 lors du protocole *Line Transect*, soit environ 13% des observations totales recensées au cours de la campagne avec ce protocole. En comparaison, 68 observations pour 263 individus ont été recensées sur ce même transect avec le protocole *Snapshot*, soit plus de 61% des observations totales recensées sur l'ensemble de la campagne avec ce protocole. Il s'avère qu'au moins 76% des observations issues du protocole *Snapshot* mentionnaient des individus suiveurs, parfois jusqu'à 30 individus, qui se retrouvaient plus ou moins à chaque point *Snapshot*.

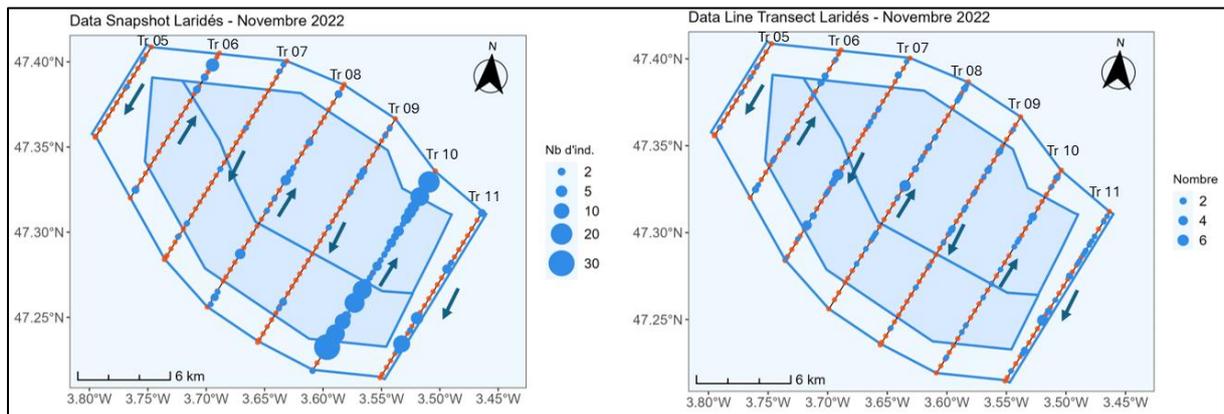


Figure 4. Distribution des observations de Laridés pour la campagne de novembre 2022 avec le protocole Snapshot (à gauche) et Line Transect (à droite). Les flèches correspondent au sens d'acquisition des données le long du transect.

## Exemple des Fous de Bassan – Octobre 2022

En ce qui concerne les fous de Bassan, la campagne nautique d'octobre 2022 montre relativement bien les phénomènes de « double-comptage » entre le protocole *Line Transect* et le protocole *Snapshot* (Figure 5).

Au cours de cette campagne, 32 observations (49 individus) ont été détectés par le protocole *Snapshot* contre les 82 observations (128 individus) détectés par le protocole *Line Transect*. Il est à noter que tous les individus détectés au cours du protocole *Snapshot* l'ont été, au même endroit, par le protocole *Line Transect*.

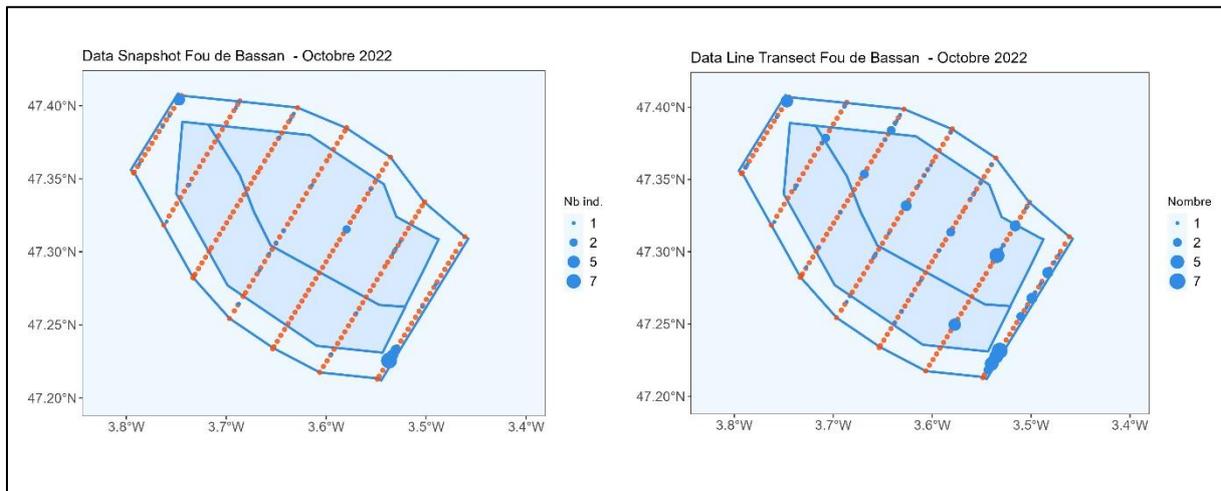


Figure 5. Distribution des observations de fous de Bassan pour la campagne d'octobre 2022 avec le protocole *Snapshot* (à gauche) et *Line Transect* (à droite).

## Exemple des Alcidés – Décembre 2023

En ce qui concerne les Alcidés (guillemot de Troïl, pingouin torda et macareux moine), la campagne nautique de décembre 2023 montre relativement bien que le protocole *Snapshot* n'est adapté que pour les Laridés suiveurs (Figure 6). Au cours de cette campagne, 414 observations (915 individus) ont été détectés par le protocole *Line Transect*. Parallèlement, seulement 2 observations (3 individus) l'ont été par le protocole *Snapshot*.

Compte tenu du temps et de l'attention demandés par les observateurs pour réaliser les points *Snapshot*, on peut facilement supposer que davantage d'Alcidés aurait pu être détectés par le protocole *Line Transect*.

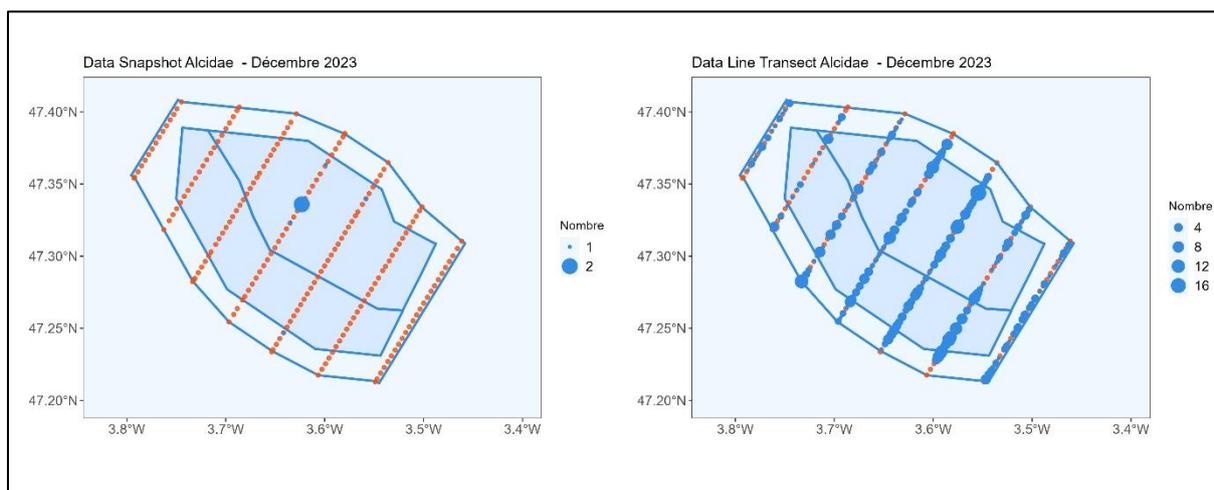


Figure 6. Distribution des observations d'Alcidés pour la campagne de décembre 2023 avec le protocole *Snapshot* (à gauche) et *Line Transect* (à droite).

- **Point 2 : Variation de la probabilité de détection en fonction de la distance, par famille, pour les oiseaux posés ou en vol**

Les estimations de densités et de tailles de « population » par Distance Sampling implique la notion de probabilité de détection qui décroît en fonction de la distance d'observation. En théorie, plus un oiseau est proche de l'observateur et plus sa détection est aisée. Réciproquement, plus un oiseau est loin, et plus la probabilité de le détecter diminue (cf. Figure 3 ci-dessous).

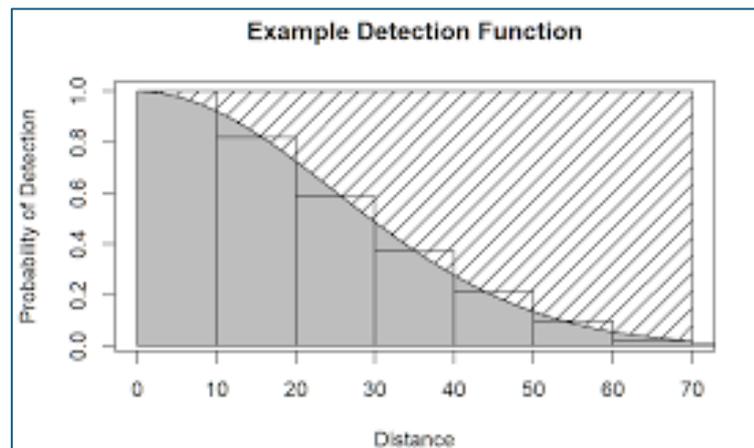


Figure 7. Exemple théorique de la probabilité de détection décroissant en fonction de la distance (en mètres). Dans cet exemple, la probabilité de détection est maximale et égale à 1 à proximité immédiate de l'observateur et quasiment nulle à partir de 70 mètres.

Au cours des campagnes nautiques, la position des oiseaux (posés sur l'eau ou en vol) est renseignée lors du protocole *Line Transect*. De même, les observateurs concentrent leur attention dans un rayon de 300 mètres devant eux. Une des hypothèses établies est que les observations d'oiseaux en vol sont plus facilement détectables que les observations d'oiseaux posés. De ce fait, la probabilité de détection serait différente entre les oiseaux posés et les oiseaux en vol, ce qui impliquerait d'estimer leurs densités et leurs tailles de population séparément.

L'objectif de ce point est donc de tester la véracité de cette hypothèse pour chaque famille d'oiseaux. Si cette hypothèse est respectée, cela justifiera de traiter statistiquement séparément les oiseaux posés du protocole *Line Transect* et les oiseaux en vol observés lors du protocole *Line Transect & Snapshot*. L'addition des estimations de densités et de tailles de population pourra donner une estimation globale (oiseaux posés + en vol) au sein de la zone d'étude. Toutefois, les incertitudes (notamment l'intervalle de confiance 95%) étant dépendant du nombre d'observations, il n'est statistiquement pas possible de simplement les additionner ou de les moyenner.

Si cette hypothèse n'est pas respectée, une estimation commune du protocole *Line Transect* (oiseaux posés + oiseaux en vol) sera justifiée, ce qui permet d'estimer par la même occasion un intervalle de confiance 95% commun. De même, cet intervalle de confiance devrait être plus précis car davantage d'observations seront retenues pour les estimations ; un seul jeu de données sera conservé au lieu d'être séparé en deux.

- Les Laridés

Un total de 1 918 observations de Laridés a été détecté au cours du protocole *Line Transect*. La majorité des observations ont eu lieu en vol (89%) contre 11% posés. La probabilité de détection, quelle que soit la position des oiseaux (posés ou en vol) et la distance dans un rayon de 300 mètres devant les observateurs, est toujours maximale et égale à 1 (Figure 4). Cela signifie qu’il n’y a pas de différence significative quant à la détection d’un Laridé, que celui-ci soit posé ou en vol.

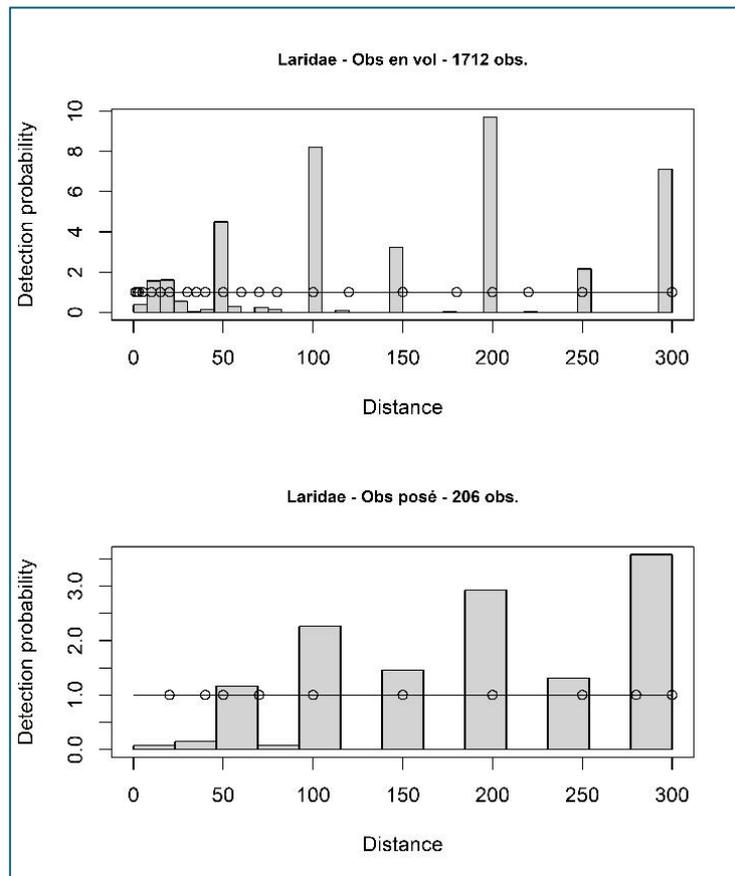


Figure 8. Probabilité de détection des Laridés selon le protocole *Line Transect*

- Les Alcidés

Un total de 1 557 observations d’Alcidés a été détecté au cours du protocole *Line Transect*. Les Alcidés est la seule famille dont la majorité des observations est détectée avec des oiseaux posés (80%) contre 20% en vol. Comme pour les Laridés, la probabilité de détection est maximale et égale à 1, quelle que soit la position des oiseaux et la distance de détection dans un rayon de 300 mètres devant les observateurs (Figure 5).

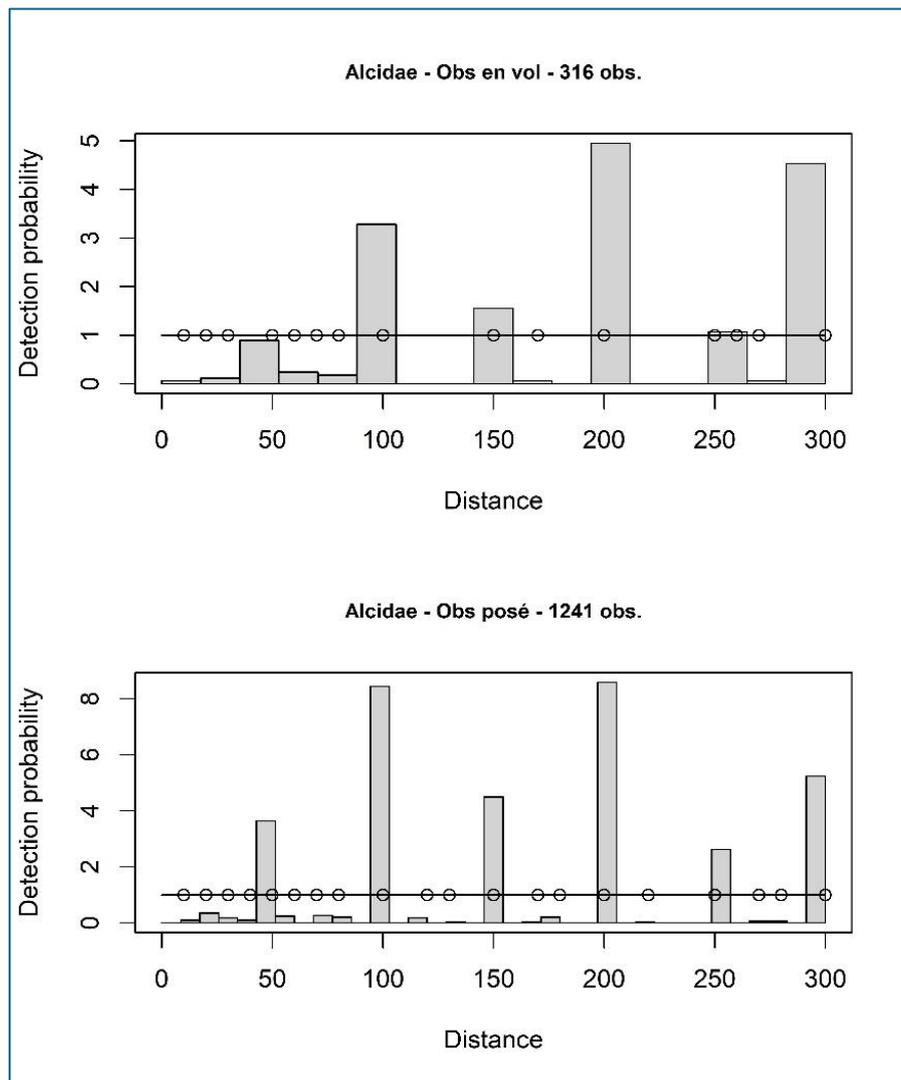


Figure 9. Probabilité de détection des Alcidés selon le protocole Line Transect

- **Les Sulidés**

Les Sulidés (Fous de Bassan) font partie des plus gros oiseaux qu'il est possible d'observer dans la zone d'étude. Un total de 521 observations de fous de Bassan a été détecté ; la majorité des observations étant des oiseaux en l'air (89 %) contre 11% posés. Comme pour les autres familles d'oiseaux précédemment étudiées, la probabilité de détection est maximale et égale à 1, quelle que soit la position des oiseaux et la distance d'observation dans un rayon de 300 mètres devant les observateurs (Figure 6).

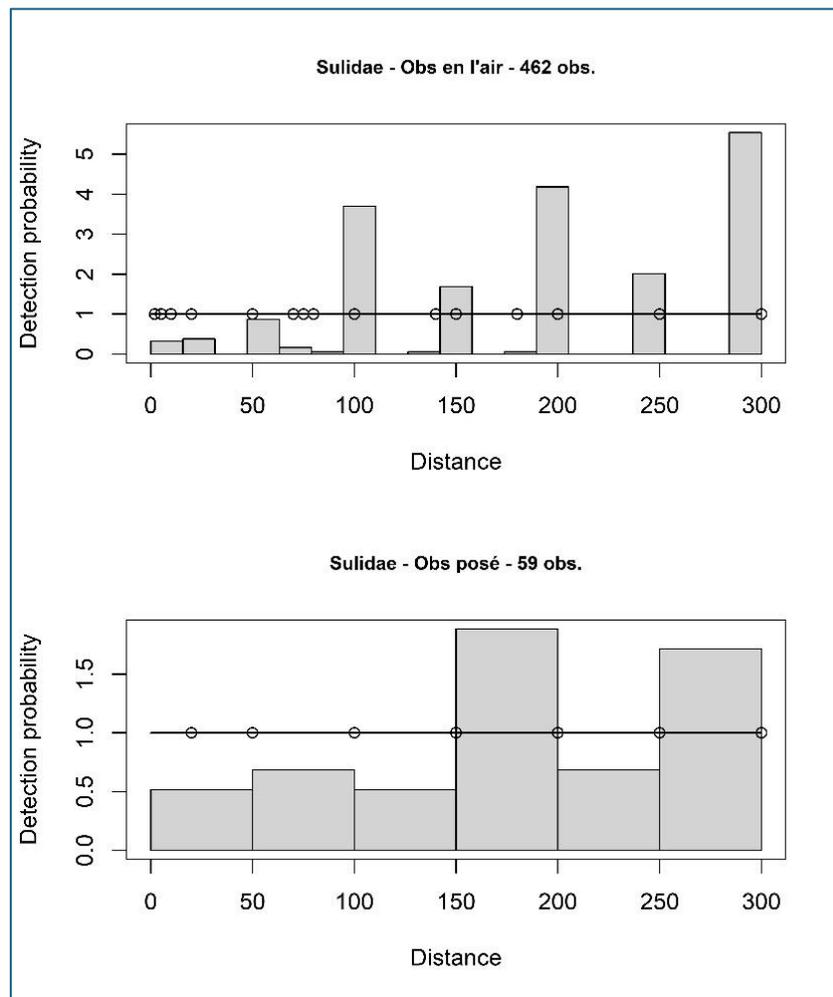


Figure 10. Probabilité de détection des Sulidés selon le protocole Line Transect

- **Les Hydrobatidés**

Les Hydrobatidés font partie des plus petits oiseaux qu'il est possible d'observer dans la zone d'étude. Un total de 222 observations d'Hydrobatidés a été détecté ; la majorité des observations étant des oiseaux en l'air (93 %) contre 7% posés. Comme pour les autres familles d'oiseaux précédemment étudiées, la probabilité de détection est maximale et égale à 1, quelle que soit la position des oiseaux et la distance d'observation dans un rayon de 300 mètres devant les observateurs (Figure 7).

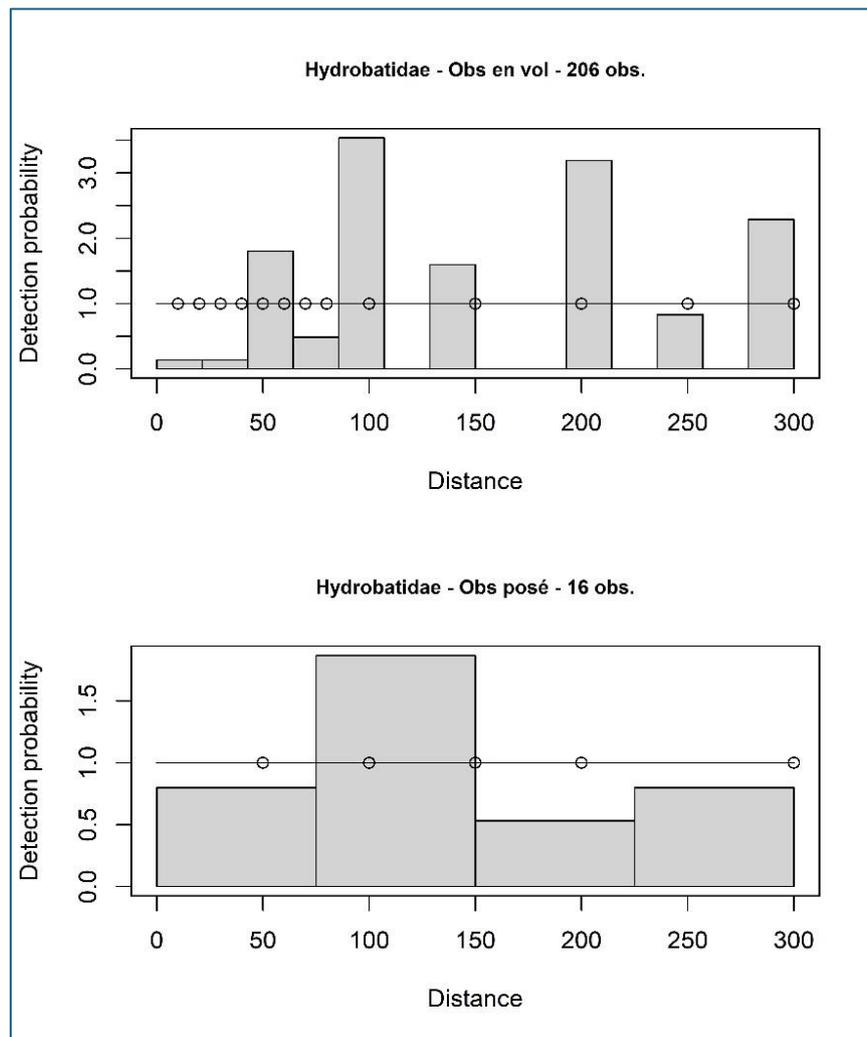


Figure 11. Probabilité de détection des Hydrobatidés selon le protocole Line Transect

## • Les Procellariidés

Un total de 278 observations de Procellariidés a été détecté. Compte tenu de la variabilité de taille des oiseaux observés, l'étude de la probabilité de détection sera réalisée en séparant les « petits puffins » (puffins des Anglais et puffins des Baléares) et les « grands puffins » (puffins majeurs, puffins cendrés et puffins fuligineux).

### ○ Petits puffins

58 observations de petits puffins ont été enregistrées, dont 81% des individus en vol contre 19% posés. La probabilité de détection est maximale et égale à 1, quelle que soit la distance d'observation dans un rayon de 300 mètres devant les observateurs pour les observations d'oiseaux en vol (Figure 8). La probabilité de détection pour les observations d'oiseaux posés diminue avec la distance d'observation, même si ce résultat est à prendre avec précaution compte tenu du faible nombre d'observations.

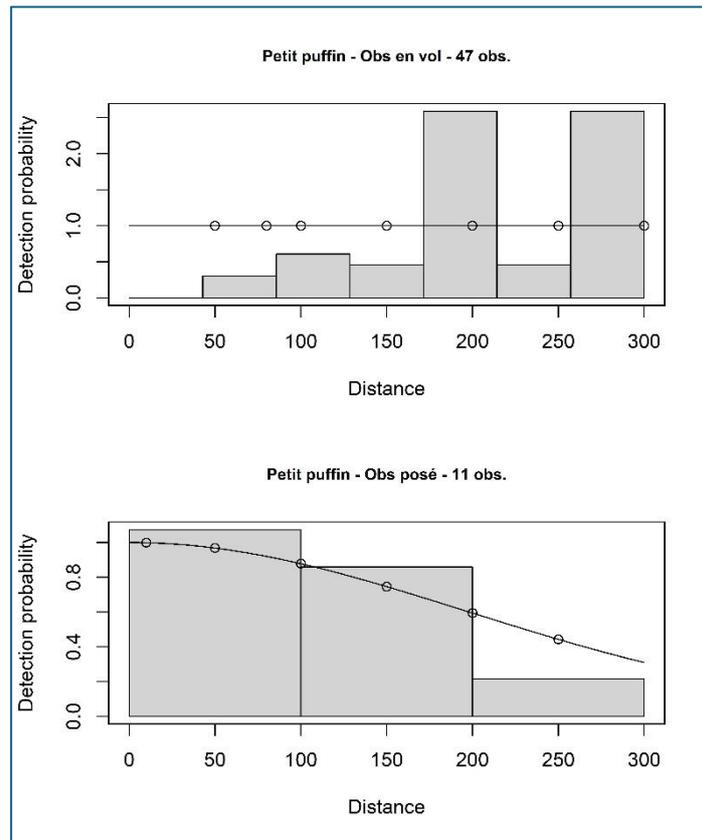


Figure 12. Probabilité de détection des petits puffins selon le protocole Line Transect

○ **Grands puffins**

179 observations de grands puffins ont été enregistrées, dont 85% des individus en vol contre 15% posés. La probabilité de détection est maximale et égale à 1, quelle que soit la position des oiseaux et la distance d'observation dans un rayon de 300 mètres devant les observateurs (Figure 9).

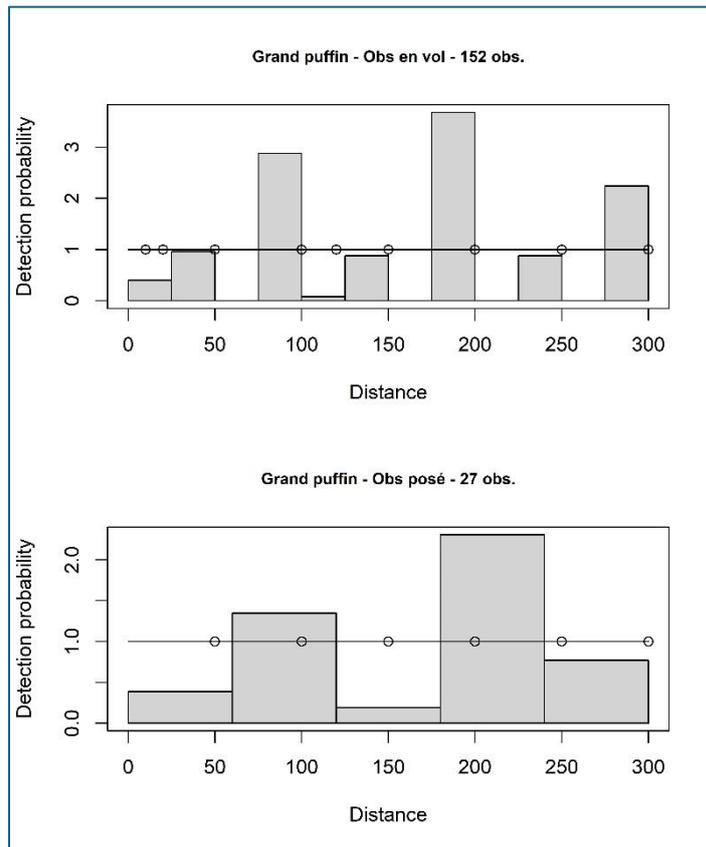


Figure 13. Probabilité de détection des grands puffins selon le protocole Line Transect

## En résumé

Cette étude a permis de démontrer qu'il n'existait pas de différence significative quant à la probabilité de détection des observations dans un rayon de 300 mètres devant les observateurs quelle que soit la famille d'oiseaux observée et la position en vol ou posé, mise à part pour les petits puffins posés (bien que les résultats doivent être pris avec précaution compte tenu du faible nombre d'occurrences rencontrées).

Globalement, les observateurs détectent bien l'ensemble des espèces d'oiseaux, qu'ils soient petits ou gros, posés ou en vol, dans un rayon de 300 mètres devant eux. Ces résultats justifient d'estimer les densités et tailles de population au sein de la zone d'étude par espèce, en regroupant les observations d'oiseaux en vol et posés.

## Conclusion générale

Cette étude a permis d'étudier deux points importants intervenant dans la rédaction du rapport final du parc éolien de Bretagne Sud (AO5) et dans l'acquisition en cours des données pour le parc éolien Atlantique Sud (AO7). A la lumière de ces éléments et des premières conclusions qu'apportent ce travail d'analyse, il est demandé la possibilité :

- De mettre fin au protocole *Snapshot* (acquisition et analyses), ce dernier apportant potentiellement plus de biais statistiques qu'il n'apporte d'intérêt biologique ;
- De combiner les analyses de Distance Sampling communément pour les oiseaux observés en vol et posés sur l'eau afin d'obtenir une estimation moyenne et un intervalle de confiance commun vis-à-vis des densités d'individus et des tailles de population.