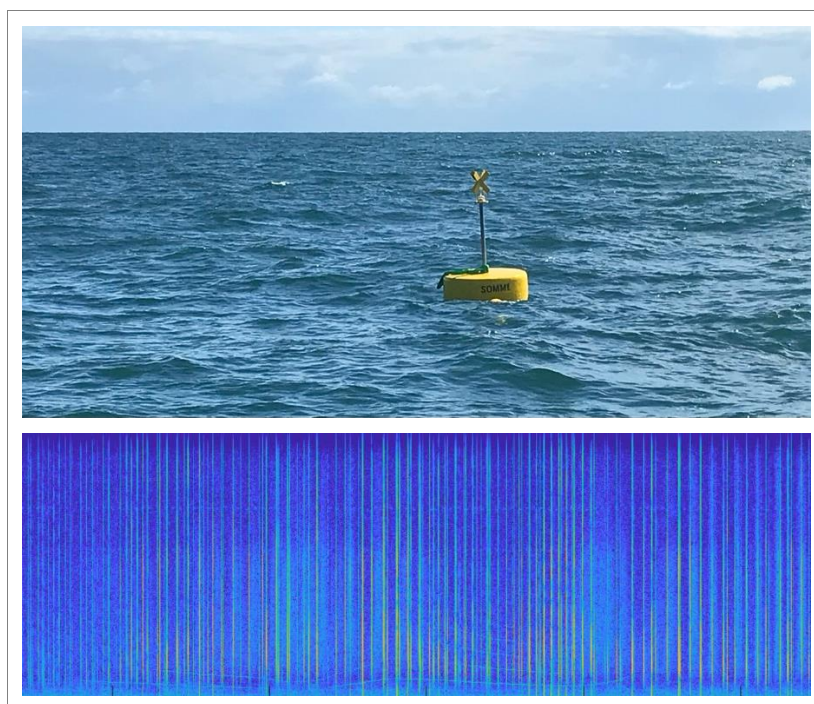


Raccordement second parc éolien en zone Centre Manche (CM2)

État initial de l'environnement :

« Bruit ambiant sous-marin » et « Mammifères marins par acoustique passive »



Société d'Observation Multi-Modale de l'Environnement

12/05/2026



Rapport élaboré le 10/02/2025, à l'attention de :

Pierre Ceccato
RTE

Suivi de rédaction :

Version	Date	Description	Réalisé par	Vérifié par
1	03/09/2024	Version initiale	Romain Foucher et Gaëtan Richard (SOMME)	Delphine Mathias (SOMME)
2	10/02/2025	MAJ avec données août 2024	Romain Foucher et Gaëtan Richard (SOMME)	

Contacts :

SOMME - Société d'Observation Multi-Modale de l'Environnement
Siège social : 2 rue de Suède, Bloc III Porte Océane, 56400 Auray.
Antenne brestoise : 38 rue Jim Sévellec, Technopôle Brest-Iroise, 29200 Brest.

Delphine Mathias, Cheffe de projet et Directrice de SOMME: mathias.somme@orange.fr
Sylvain Chauvaud, Président de SOMME : s.chauvaud@tbm-environnement.com

Ce rapport présente les résultats du suivi acoustique du bruit ambiant et des mammifères marins réalisé dans le cadre de la définition de l'état de référence de l'environnement pour le projet de raccordement du second parc éolien en Centre Manche (CM2).

Ce document est la propriété de RTE.

La méthode appliquée dans cette étude est le fruit de l'activité de recherche et développement menée par le bureau d'étude SOMME. Toute diffusion de ce rapport doit se faire en accord avec SOMME.

Citation :

Foucher R., Richard G., Retailleau E., Mathias D. (2025). Suivi par acoustique passive du bruit ambiant et de la fréquentation des mammifères marins dans le cadre de la définition de l'état initial de l'environnement de la zone maritime prévue pour le raccordement du futur parc éolien au large de la Normandie (CM2). Bureau d'études SOMME, Brest, France.

Table des matières

TABLE DES MATIERES	III
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES TABLEAUX	VI
GLOSSAIRE DES ABREVIATIONS	VIII
1 INTRODUCTION : PRESENTATION DU CONTEXTE DE L'ETUDE	9
2 NOTIONS THEORIQUES EN ACOUSTIQUE SOUS-MARINE	9
2.1 QU'EST-CE QU'UN SON ?.....	9
2.2 LES NIVEAUX SONORES.....	11
2.2.1 Grandeurs physiques.....	11
2.2.2 Les décibels	11
2.2.3 Métriques utilisées pour décrire un son	11
2.2.4 Niveaux à la source.....	12
2.3 COMMENT REPRESENTER UN SON	13
2.4 LA PROPAGATION ACOUSTIQUE	13
2.4.1 Les modèles simplifiés	13
2.4.2 Les modèles complexes.....	15
2.5 LE PAYSAGE SONORE	16
2.6 LES SUIVIS DES MAMMIFERES MARINS PAR ACOUSTIQUE PASSIVE	17
2.6.1 Production sonore des dauphins communs et grands dauphins.....	17
2.6.2 Production sonore des marsouins	20
2.6.3 Production sonore des pinnipèdes.....	21
3 MATERIEL ET METHODES	22
3.1 ÉQUIPE INTERVENANTE	22
3.1.1 SOMME.....	22
3.1.2 Moyen nautique.....	22
3.2 STATION DE MESURE ACOUSTIQUE.....	22
3.2.1 Système d'acquisition acoustique large bande.....	22
3.2.2 Méthode de déploiement.....	23
3.3 LOCALISATION DES STATIONS ACOUSTIQUES.....	24
3.4 PERIODE DE SUIVI	26
3.5 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES	27
3.5.1 Calcul des niveaux sonores	27
3.5.2 Caractérisation du bruit ambiant.....	28
3.5.3 Étude de la fréquentation en cétacés de l'aire d'étude	31
4 RESULTATS	38
4.1 DONNEES ACQUISES.....	38
4.2 CARACTERISATION DU BRUIT AMBIANT	38
4.2.1 Géophonie	41
4.2.2 Anthropophonie.....	42
4.3 FREQUENTATION DE L' AIRE D' ETUDE PAR LES CETACES.....	43
4.3.1 Présence de delphinidés (grands dauphins et dauphins communs)	43
4.3.2 Présence des marsouins	48
5 DISCUSSION	51
5.1 BRUIT AMBIANT.....	52
5.2 FREQUENTATION DE LA ZONE PAR LES CETACES.....	55
5.2.1 Delphinidés	55

5.2.2	Marsouins.....	58
5.2.3	Limites du suivi acoustique des cétacés	60
6	BIBLIOGRAPHIE	61
7	ANNEXES.....	65
7.1	CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES	65
7.2	DETERMINATION DES EVENEMENTS DE PRESENCE DE MAMMIFERES MARINS.....	66
7.3	NIVEAUX $SPL_{RMS(5\%)}$ EN 2023.....	68
7.4	NIVEAUX $SPL_{[50Hz-40kHz]}$ EN 2023 ET EN 2024.....	68
7.5	DETAIL DE LA FREQUENTATION MENSUELLE/SAISONNIERE DES MAMMIFERES MARINS ENTRE LES 3 STATIONS POUR CHAQUE MOIS DE SUIVI	70
7.5.1	Delphinidés	70
7.5.2	Marsouins.....	72

Liste des figures

FIGURE 1. CHAÎNE DE TRANSMISSION ACOUSTIQUE D'UNE SOURCE VERS UN RECEPTEUR (CHAUVAUD, S., CHAUVAUD, L., & JOLIVET, A., 2018; BONNEL, J., CHAUVAUD, S., CHAUVAUD, L., MARS, J., MATHIAS, D., & FREDERIC, O., 2022).....	10
FIGURE 2. REPRESENTATIONS GRAPHIQUES POUR DECRIRE UN SIGNAL ACOUSTIQUE. L'EXEMPLE ICI REPRESENTE DEUX TONALES A 50 ET 100 Hz.	13
FIGURE 3. LES DIFFERENTES SOURCES SONORES CONSTITUANT LES PAYSAGES ACOUSTIQUES.	16
FIGURE 4. SPECTROGRAMMES DE SIFFLEMENTS EMIS PAR DES DAUPHINS COMMUNS. EXTRAIT DE SOLDEVILLA ET AL., 2008	18
FIGURE 5. SPECTROGRAMME (A), OSCILLOGRAMME (B) ET SPECTRE ACOUSTIQUE (C) DE CLICS EMIS PAR UN DAUPHIN COMMUN. FIGURE REALISEE A PARTIR DE DONNEES FOURNIES PAR PAPALE ET AL., 2015.	19
FIGURE 6. SPECTROGRAMME (A), OSCILLOGRAMME (B) ET SPECTRE ACOUSTIQUE (C) DE CLICS EMIS PAR UN MARSOUIN COMMUN. FIGURE REALISEE A PARTIR DE DONNEES INTERNES A SOMME.....	20
FIGURE 7. NAVIRE CERES III.	22
FIGURE 8. SYSTEME D'ACQUISITION ACOUSTIQUE LARGE BANDE (ENREGISTREUR ET HYDROPHONE) DEPORTE DE LA LIGNE DE MOUILLAGE ET PRET A ETRE DEPLOYE (SOURCE : SOMME).....	23
FIGURE 9. PHOTO D'UNE BOUEE DE SIGNALISATION DE SURFACE DEPLOYEE EN 2022	24
FIGURE 10. LOCALISATIONS DES STATIONS ACOUSTIQUES DEPLOYEES EN 2022.	25
FIGURE 11 : DIFFERENTES METRIQUES UTILISEES POUR EVALUER LES NIVEAUX DE BRUIT.	27
FIGURE 12 : COMPARAISON DES NIVEAUX DE BRUITS REÇUS (SPL_{RMS}) EN FONCTION DE LA VITESSE DU COURANT DE SURFACE AVANT SEUILLAGE (A) ET APRES SELECTION DES DONNEES VIA L'APPLICATION D'UN SEUIL DE 0,2M/S (B).....	28
FIGURE 13. DISCRIMINATION DES BRUITS DE MOUILLAGES EN GARDANT 5% DES SPL_{RMS} ESTIME A 1 MS.	29
FIGURE 14. SERIE TEMPORELLE DES NIVEAUX $SPL_{RMS(5\%)}$ (EN NOIR) ET DES NIVEAUX MEDIANS (ROUGE) ESTIMES VIA APPLICATION DU FILTRE MEDIAN D'UNE FENETRE DE 24H.	30
FIGURE 15. CAPTURE D'ECRAN DE L'INTERFACE PAMGUARD INCLUANT LES MODULES DE DETECTION DE CLICS (FLECHES NOIRES) ET DE SIFFLEMENTS (WMD ; COURBES BLEUES).	33
FIGURE 16. EXEMPLES DES SPECTROGRAMMES DE BONNES ET FAUSSES DETECTIONS (DE DAUPHIN A GAUCHE ET MARSOUIN A DROITE) CLASSEES PAR L'ALGORITHME D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE PUIS VERIFIEES PAR UN ACOUSTICIEN SOMME.	34
FIGURE 17. EXEMPLE D'UN SPECTROGRAMME D'UNE MINUTE SUR LA BANDE DE FREQUENCE 1 A 40 KHZ, AVEC PRESENCE DE BUZZES DE DAUPHINS.....	35
FIGURE 18. SCHEMA D'UN DIAGRAMME EN VIOLON EN COMPARAISON AVEC UN DIAGRAMME EN BOITE (BOXPLOT).	37
FIGURE 19. SUIVI TEMPOREL DES NIVEAUX DE BRUIT AMBIANT $SPL_{RMS(5\%)}$ (EN NOIR) ET DU FILTRE MEDIAN (ROUGE) ET VARIATIONS DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES (VITESSE DU VENT ET HAUTEUR DE LA HOULE) SUR LA PERIODE DE SUIVI AUX TROIS STATIONS. LES REPRESENTATIONS DE S1 ET DE S2 SONT DU 23 AVRIL AU 31 AOUT. LA REPRESENTATION DE S3 EST DU 23 AVRIL AU 31 JUILLET.	38
FIGURE 20. COMPARAISONS MENSUELLES DES NIVEAUX DE BRUIT AMBIANT $SPL_{RMS(5\%)}$	39
FIGURE 21. DENSITE SPECTRALE DE PUISSANCE SUR LES TROIS STATIONS	40
FIGURE 22. REGRESSION LINEAIRE ENTRE LES NIVEAUX MEDIANS $SPL_{RMS(5\%)}$ ESTIMES SUR LES TROIS STATIONS ET LES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES ASSOCIEES.	41
FIGURE 23. A) EXEMPLE DE DETECTIONS ACOUSTIQUES DE PASSAGES DE NAVIRE (EN ROUGE), BASEES SUR L'ECART A LA MEDIANE, ET B) VERIFICATION PAR SPECTROGRAMMES DE LA SIGNATURE ACOUSTIQUE D'UN NAVIRE.....	42
FIGURE 24. DETECTION ACOUSTIQUE DE PASSAGES DE NAVIRES AU COURS DES MOIS SUR LES TROIS STATIONS. ..	42
FIGURE 25 . SPECTROGRAMMES DE VOCALISES DE DELPHINIDES INCLUANT DES (A) SIFFLEMENTS ENREGISTRES SUR LA STATION S3 LE 30 AVRIL 2024 ET (B) DES CLICS D'ECHOLOCALISATION (DONT DES « BUZZES ») ENREGISTRES SUR S2 LE 26 JUIN 2024. LES FIGURES C ET D REPRESENTENT RESPECTIVEMENT UN OSCILLOGRAMME (C) ET UN SPECTRE DE PUISSANCE D'UN BUZZ (D).	43
FIGURE 26. OCCURRENCES DES PRESENCES ACOUSTIQUES DE DELPHINIDES SUR LES TROIS STATIONS REPRESENTES PAR LE NOMBRE D'HEURES POSITIVES PAR JOUR (DIAGRAMMES EN BARRE) ET DE LA REPARTITION HORAIRE DES DETECTIONS ACOUSTIQUES (DIAGRAMMES EN ROSACE, HEURE EN UTC, VOIRE ANNEXE 7.5.1 POUR LES REPARTITIONS HORAIRES PAR MOIS).....	44

FIGURE 27. COMPARAISON ENTRE LES STATIONS DU NOMBRE D'ÉVÉNEMENTS DE PRÉSENCE ACOUSTIQUE DE DELPHINIDES PAR HEURES D'ENREGISTREMENT, POUR LES 3 DIFFÉRENTES PÉRIODES JOURNALIÈRES : JOUR, NUIT ET AUBE - CREPUSCULE.	45
FIGURE 28. DENSITÉS DE PROBABILITÉ DES POURCENTAGES DE MINUTES POSITIVES AVEC PRÉSENCE DE BUZZES (ROUGE) ET AVEC PRÉSENCE DE SIFFLEMENTS (BLEU), REPRÉSENTÉES SOUS FORME DE DIAGRAMMES EN VIOLON PAR STATION. CES DIAGRAMMES PERMETTENT DE DÉCRIRE LA DISTRIBUTION DES POURCENTAGES DE MINUTES POSITIVES PAR ÉVÉNEMENT DE PRÉSENCE, AINSI UNE AUGMENTATION DES COURBES REVELENT DONC UNE AUGMENTATION DE LA PROBABILITÉ D'OBSERVER CES VALEURS.	46
FIGURE 29. SPECTROGRAMME (A) D'UN TRAIN DE CLICS DE MARSOUIN ENREGISTRÉS PAR LA STATION S1 LE 1 ^{ER} JUIN 2024. LES FIGURES B ET C PRÉSENTENT RESPECTIVEMENT UN OSCILLOGRAMME (B) ET UN SPECTRE (C) D'UN DES CLICS VISIBLES SUR LE SPECTROGRAMME).	48
FIGURE 30. OCCURRENCES DES PRÉSENCES ACOUSTIQUES DE MARSOUINS SUR LES TROIS STATIONS REPRÉSENTÉES PAR LE NOMBRE D'HEURES POSITIVES PAR JOUR (DIAGRAMMES EN BARRE) ET DE LA REPARTITION HORAIRE DES DÉTECTIONS ACOUSTIQUES (DIAGRAMMES EN ROSACE, HEURE EN UTC, VOIRE ANNEXE 7.5.2 POUR LES REPARTITIONS HORAIRES PAR MOIS).	49
FIGURE 31. COMPARAISON ENTRE LES STATIONS DU NOMBRE D'ÉVÉNEMENTS DE PRÉSENCE ACOUSTIQUE DE MARSOUINS PAR HEURES D'ENREGISTREMENT, POUR LES 3 DIFFÉRENTES PÉRIODES JOURNALIÈRES : JOUR, NUIT ET AUBE - CREPUSCULE.	50
FIGURE 32. COMPARAISON DES LOCALISATIONS DES STATIONS ACOUSTIQUES DE SOMME DÉPLOYÉES ENTRE 2022 ET 2024 ET DE CELLES DE QUIET-OCEANS CITÉES DANS CE RAPPORT (BELLANGER ET AL., 2024), ET DÉPLOYÉES LORS DE L'ÉTAT DE RÉFÉRENCE.	51
FIGURE 33. EMPLACEMENT ET TYPOLOGIE DES VESTIGES MARITIMES INVENTORIÉS EN LIEN AVEC LE DEBARQUEMENT DE NORMANDIE (© CARTOGRAPHIE D. DEGEZ / DRASSM. FONDS CARTOGRAPHIQUES IGN BD ALTI ET SHOM).	55
FIGURE 34. COMPARAISON DES INDICES MENSUELS (C'EST-À-DIRE POURCENTAGE DE JOURS POSITIFS) DE PRÉSENCE DE DELPHINIDES AU NIVEAU DE CHAQUE STATION ACOUSTIQUE DE SOMME DÉPLOYÉES ENTRE 2022 ET 2024 ET DE CELLES DE QUIET-OCEANS CITÉES DANS CE RAPPORT (BELLANGER ET AL., 2024), ET DÉPLOYÉES LORS DE L'ÉTAT DE RÉFÉRENCE. LES ENCADRES REPRÉSENTENT DES STATIONS AYANT ÉTÉ DÉPLOYÉES AUX MEMES ENDROITS (FIGURE 32). LES BARS GRISES REPRÉSENTENT L'ABSENCE DE DONNÉES.	57
FIGURE 35. COMPARAISON DES INDICES MENSUELS (C'EST-À-DIRE POURCENTAGE DE JOURS POSITIFS) DE PRÉSENCE DE MARSOUINS AU NIVEAU DE CHAQUE STATION ACOUSTIQUE DE SOMME DÉPLOYÉES ENTRE 2022 ET 2024 ET DE CELLES DE QUIET-OCEANS CITÉES DANS CE RAPPORT (BELLANGER ET AL., 2024), ET DÉPLOYÉES LORS DE L'ÉTAT DE RÉFÉRENCE. LES ENCADRES REPRÉSENTENT DES STATIONS AYANT ÉTÉ DÉPLOYÉES AUX MEMES ENDROITS (FIGURE 32). LES BARS GRISES REPRÉSENTENT L'ABSENCE DE DONNÉES.	59
FIGURE 36. COMPARAISON DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES POUR LES TROIS STATIONS.	65
FIGURE 37. EXEMPLE DE SÉQUENCES DE DÉTECTIONS DE SONS DE DELPHINIDE AU COURS DU TEMPS ET DÉTERMINATION DE 3 ÉVÉNEMENTS DE PRÉSENCE BASE SUR UN INTERVALLE INTER-DÉTECTION DE 10 MIN (FIGURE 38).	66
FIGURE 38. FRÉQUENCE DES INTERVALLES (MINUTES EN ÉCHELLE LOGARITHMIQUES) INTER-DÉTECTIONS DE SIFFLEMENTS DE DAUPHINS.	67
FIGURE 39. COMPARAISONS MENSUELLES DES NIVEAUX $SPL_{[50Hz-40kHz]}$ EN 2024.	69
FIGURE 40. DÉTAIL DES REPARTITIONS HORAIRES DE DÉTECTION DES VOCALISÉS DE DAUPHINS PAR MOIS ET PAR STATION.	70
FIGURE 41. DÉTAIL DES REPARTITIONS HORAIRES DE DÉTECTION DES CLICS DE MARSOUINS PAR MOIS ET PAR STATION.	72

Liste des tableaux

TABLEAU 1. RÉSUMÉ DES DIFFÉRENTES MÉTRIQUES UTILISÉES POUR DÉCRIRE LES NIVEAUX SONORES.	12
TABLEAU 2. INFORMATION SUR LES DÉPLOIEMENTS DES STATIONS ACOUSTIQUES.	26
TABLEAU 3. PARAMÈTRES UTILISÉS POUR LES DÉTECTEURS DE SIFFLEMENT DES DELPHINIDES (WMD).	33
TABLEAU 4. PARAMÈTRES UTILISÉS POUR LES DÉTECTEURS DE CLICS DE MARSOUINS (CD).	33
TABLEAU 5. DÉFINITION DE LA FRÉQUENTATION PAR LES MAMMIFÈRES MARINS (CHOMPRET ET CLORENNEC 2022).	36
TABLEAU 6. RÉCAPITULATIF DES NIVEAUX MÉDIANS DE BRUIT AMBIANT ($SPL_{RMS(5\%)}$) PAR STATION ET PAR MOIS EN 2024.	39
TABLEAU 7. RÉSUMÉ DES DÉTECTIONS DE DELPHINIDES (VOIR ANNEXE 7.5.1 POUR LES RÉSUMÉS PAR SAISON : PRINTEMPS ET ÉTÉ).	47

TABLEAU 8. RESUME DES DETECTIONS DE MARSOUINS (VOIR ANNEXE 7.5.2 POUR LES RESUMES PAR SAISON : PRINTEMPS ET ETE).....	50
TABLEAU 9. COMPARAISON DES NIVEAUX MEDIANS DE BRUIT AMBIANT ESTIMES DANS CE RAPPORT (POUR LE RACCORDEMENT CM2) AVEC LES NIVEAUX ESTIMES SUR D'AUTRES STATIONS ET A D'AUTRES SAISONS EN ZONE CENTRE MANCHE (FIGURE 32), ENREGISTRES LORS DES ETATS DE REFERENCE DU PARC EOLIEN AU LARGE DE LA NORMANDIE EMMN ($SPL_{50-40000Hz}$, DB RE $1\mu Pa^2$) ET DE SON RACCORDEMENT CM1 (SPL_{RMS} , DB RE $1\mu Pa$),. LES CASES GRISES INDIQUENT DES PERIODES NON SUIVIES, LES CASES JAUNES MONTRENT DES PERIODES SANS DONNEES (CHALUTAGE, PROBLEME D'INSTRUMENTATION) ET LES CASES BLEUES INDIQUENT DES PERIODES EN COURS D'ANALYSE.	54
TABLEAU 10. ECHELLE DE DOUGLAS	65
TABLEAU 11. RECAPITULATIF DES NIVEAUX MEDIANS DE BRUIT AMBIANT ($SPL_{RMS(5\%)}$) PAR STATION ET PAR MOIS EN 2023	68
TABLEAU 12. RECAPITULATIF DES NIVEAUX MEDIANS $SPL_{[50Hz-40kHz]}$ PAR STATION ET PAR MOIS EN 2023.	68
TABLEAU 13. RECAPITULATIF DES NIVEAUX MEDIANS $SPL_{[50Hz-40kHz]}$ PAR STATION ET PAR MOIS EN 2024.	68
TABLEAU 14. TAUX DE DETECTIONS DE DAUPHINS SUR CHAQUE STATION POUR LA PERIODE PRINTANIERE (24 AVRIL AU 20 JUIN).	71
TABLEAU 15. TAUX DE DETECTIONS DE DAUPHINS SUR CHAQUE STATION POUR LA PERIODE PRINTANIERE (21 JUIN AU 31 AOUT).....	71
TABLEAU 16 TAUX DE DETECTIONS DE MARSOUINS SUR CHAQUE STATION POUR LA PERIODE PRINTANIERE (24 AVRIL AU 20 JUIN)	73
TABLEAU 17 TAUX DE DETECTIONS DE MARSOUIN SUR CHAQUE STATION POUR LA PERIODE ESTIVALE (21 JUIN AU 31 AOUT).....	73

Glossaire des abréviations

ABREVIATION	DEFINITION
DSP	« Densité Spectrale de Puissance », répartition fréquentielle de la puissance d'un signal suivant les fréquences qui le composent (permet d'établir un spectre acoustique)
RL	« Received Level », niveau sonore reçu
SE	« Signal Excess », excès de signal généré par une source de bruit par rapport au bruit ambiant
SL	« Source Level », niveau de bruit enregistré à 1 m d'une source sonore
SPL	« Sound Pressure Level », niveau de pression acoustique
TL	« Transmission Loss », perte de transmission acoustique

1 Introduction : présentation du contexte de l'étude

Les principaux objectifs de ce suivi acoustique sont :

- i. De caractériser le bruit ambiant sous-marin (géophonie et anthropophonie) sur l'aire d'étude ainsi que ses variations temporelles saisonnières (hauteur de la houle et vitesse du vent).
- ii. D'évaluer la présence et acquérir des informations permettant de discuter de l'utilisation de la zone par les mammifères marins (cétacés).

Les connaissances acquises lors de ce suivi serviront de base de référence pour évaluer les effets potentiellement induits par les travaux de raccordement (principe BACI - Before After Control Impact).

2 Notions théoriques en acoustique sous-marine

2.1 Qu'est-ce qu'un son ?

Les sons se définissent comme des phénomènes ondulatoires qui résultent de la vibration des molécules mises en mouvement par une perturbation mécanique. Lorsqu'un son est produit, il se caractérise par son niveau sonore à la source, noté ci-après SL (*Source Level*), sa durée, sa fréquence et sa directionnalité. Cette émission sonore se propage de la source vers le récepteur par compressions-dépressions successives des molécules d'eau sur les molécules voisines à une vitesse proche de 1500 m/s. Cette onde de compression se propage au travers du milieu physique constituée de la colonne d'eau, de la surface et du fond qui forment un canal de propagation souvent complexe. Cette propagation en milieu aqueux atténue le niveau sonore émis d'une certaine proportion appelée pertes de transmission (ou pertes de propagation, noté TL) qui dépend des propriétés océano-acoustiques du canal, des positions de la source et du récepteur et des fréquences émises. Ainsi, au niveau d'un récepteur, une onde sera caractérisée, après propagation de sa source d'émission par un niveau sonore reçu, noté ci-après RL (*Received Level*).

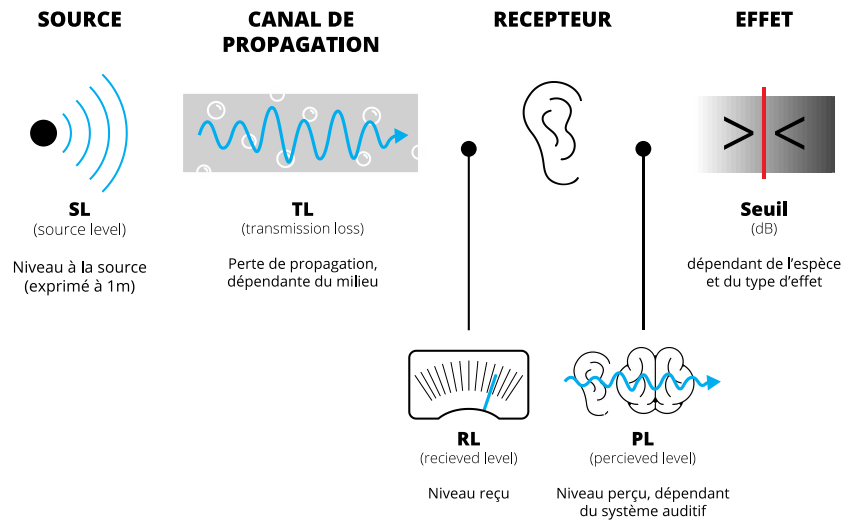


Figure 1. Chaîne de transmission acoustique d'une source vers un récepteur (Chauvaud, S., Chauvaud, L., & Jolivet, A., 2018; Bonnel, J., Chauvaud, S., Chauvaud, L., Mars, J., Mathias, D., & Frédéric, O., 2022).

2.2 Les niveaux sonores

2.2.1 Grandeurs physiques

Un récepteur acoustique placé à une certaine distance d'une source sonore reçoit un niveau sonore (RL, *Received Level*), que l'on peut décrire (ou mesurer) à l'aide de trois grandeurs physiques :

- La pression acoustique P qui se définit comme la force par unité de surface perpendiculaire à la direction de propagation.
- Le mouvement particulaire qui est le déplacement des particules causé par l'onde acoustique par rapport à leur position d'équilibre. La mesure du mouvement particulaire nécessite d'autres types de capteurs (accéléromètre triaxial, géophone...) qui sont encore en phase de développement et non disponibles sur le marché.
- L'intensité acoustique qui se définit comme le flux d'énergie acoustique à travers une unité de surface perpendiculaire à la direction de propagation. L'intensité acoustique est égale au produit de la pression par la vitesse particulaire.

La pression acoustique, généralement privilégiée dans les études d'acoustique sous-marine (Persohn *et al.* 2020 : Guide du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire), est utilisée dans cette étude. Cette grandeur physique est mesurable par des enregistreurs équipés d'hydrophones.

2.2.2 Les décibels

Les décibels constituent une échelle relative de quantification et de représentation de quantités pouvant posséder des ordres de grandeurs très différents, comme c'est le cas en acoustique sous-marine. L'échelle des décibels s'applique aux pressions acoustiques et intensités acoustiques.

2.2.3 Métriques utilisées pour décrire un son

Une onde sonore est décrite par trois données fondamentales, sa durée, son amplitude et sa fréquence :

- **Durée** : c'est l'intervalle de temps pendant lequel la pression acoustique existe. Si la perturbation est brève (un battage de pieux, un clic de dauphins, etc.), on parle de « sons transitoires » ; si la perturbation est continue (bruit de navire, bruit de forage), on parle de « sons continus ».
- **Amplitude** : l'amplitude s'exprime en micropascal. L'amplitude instantanée est l'amplitude existant à l'instant t . L'amplitude efficace (ou *RMS* - *Root Mean Square*) correspond à la racine carrée de la moyenne du carré de l'amplitude d'un signal, sur un intervalle de temps donné (moyenne quadratique). L'amplitude peut également être la pression crête-crête ($Pc-c$ ou $Pp-p$) qui est la pression prise entre le maximum et le minimum de la pression acoustique, et la pression crête ($P0-c$ ou $P0-p$) correspondant à la pression absolue maximale observée. Les pressions crête-crête et crête sont adaptées pour des sources impulsionnelles (sons transitoires de très courtes durées) alors que la pression *RMS* est plus utilisée pour décrire des sources continues.
Pour une onde sonore de durée T , on peut exprimer la dose de puissance sonore reçue durant T en sommant le carré de l'amplitude instantanée $p(t)$ sur cette durée. En exprimant cette somme en dB, on obtient le niveau d'exposition sonore, *SEL* (*Sound Exposure Level*), sur T secondes exprimé en dB re. $1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$.
- **Fréquence** : la fréquence est le nombre d'oscillations de l'amplitude instantanée par seconde. Plus la fréquence est faible (on parle de « basse fréquence »), plus le son est grave ; plus la fréquence est élevée (on parle de « haute fréquence »), plus le son est aigu. Une onde peut être constituée d'une seule composante en fréquence (onde

monochromatique) ou de plusieurs composantes fréquentielles (somme de plusieurs sinus, impulsion, etc.). Le contenu en fréquence est accessible par changement de domaine de représentation de la pression acoustique instantanée mesurée sur une durée T suffisante. En pratique, on calcule la densité spectrale de puissance, qui représente la répartition de la puissance d'un signal suivant les fréquences, c'est le spectre acoustique exprimé en dB re. $1 \mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$. Des niveaux larges bandes (exprimés en dB re $1 \mu\text{Pa}^2$), quantifiant l'intensité totale contenue dans les bandes de fréquences, peuvent être calculés à partir de ces densités spectrales de puissance (intégrations des densités spectrales de puissance sur les bandes de fréquences considérées). Ces niveaux peuvent notamment être calculés par bandes d'octave ou de tiers d'octave.

Différentes métriques peuvent ainsi être calculées pour décrire un son en termes de niveaux sonores. **Ces métriques sont choisies en fonction du type de son étudié (continu ou impulsif)**. Ces niveaux sonores sont classiquement exprimés sous l'abréviation « SPL » pour « Sound Pressure Level », suivi du type de métrique calculée (e.g. SPL_{rms} ou $\text{SPL}_{\text{p-p}}$) à l'exception du « Sound Exposure Level » exprimé « SEL » et calculé sur une durée définie.

Tableau 1. Résumé des différentes métriques utilisées pour décrire les niveaux sonores.

Métrique	Abréviation	Référence (unité)	Type de son
Niveau de pression acoustique efficace	SPL_{rms}	dB re. $1 \mu\text{Pa}$	Continu
Niveau d'exposition sonore	SEL	dB re. $1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$	Impulsif
Niveau large bande	$\text{SPL}_{[\text{Freq1-Freq2}]}$	dB re. $1 \mu\text{Pa}^2$	Continu
Niveau de pression acoustique crête ou crête-crête	SPL_{p} ou $\text{SPL}_{\text{p-p}}$	dB re. $1 \mu\text{Pa}$	Impulsif

2.2.4 Niveaux à la source

Les niveaux à la source ou « niveaux d'émission » d'une source sonore, correspondent aux niveaux reçus (Received Level) à 1 m de la source. Ils peuvent être estimés pour les différentes métriques indicatrices du bruit (niveaux *RMS* ; niveaux larges bandes *etc.*). Les niveaux sources sont classiquement exprimés par l'abréviation « SL » pour « Source Level », suivi du type de métrique pour lequel il est estimé (e.g. SL_{rms}).

2.3 Comment représenter un son

Trois figures sont couramment utilisées pour représenter un signal sonore (*Figure 2*) :

- Les oscillogrammes, montrant l'évolution de l'amplitude du signal sonore dans le temps ;
- Les spectres acoustiques, permettant de visualiser la composition fréquentielle d'un son ;
- Les spectrogrammes, représentant la répartition énergétique du son en fonction du temps et des fréquences.

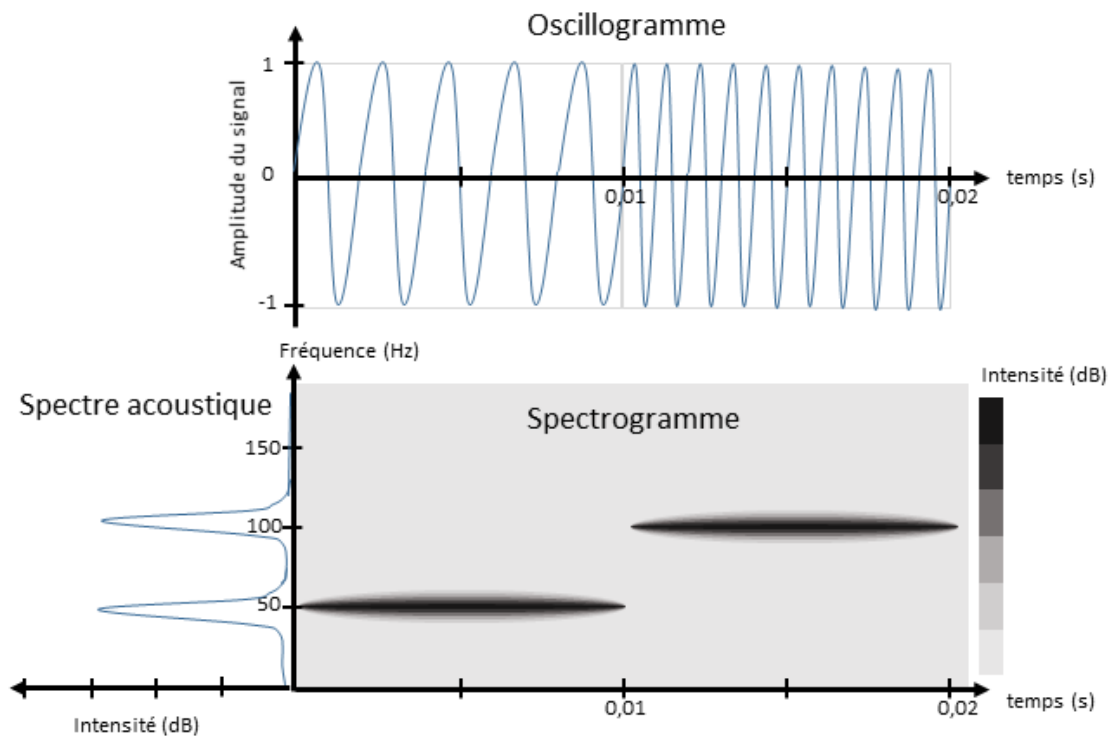


Figure 2. Représentations graphiques pour décrire un signal acoustique. L'exemple ici représente deux tonales à 50 et 100 Hz.

2.4 La propagation acoustique

Les pertes de transmission (TL) quantifient l'atténuation des niveaux sonores lors de la propagation de l'émetteur vers le récepteur sur une distance « r » en mètres. Elles s'expriment en décibels et définissent la relation entre un niveau sonore reçu (RL) et son niveau d'émission à la source (SL):

$$RL(r) = SL @ 1m - TL(r)$$

Les pertes de transmission peuvent être approximées par des modèles simplifiés ou être calculées par des modèles complexes.

2.4.1 Les modèles simplifiés

La transmission d'une onde sonore d'un point source vers un récepteur subit deux processus d'atténuation : les pertes par divergences géométriques et l'amortissement par frottement visqueux. Pour la divergence géométrique, au fur et à mesure que l'onde s'éloigne de la source,

l'énergie acoustique se répartit sur une surface de plus en plus grande entraînant une diminution de l'intensité acoustique avec la distance. Dans un environnement de propagation à symétrie sphérique (cas d'une source ponctuelle dans un milieu infini), l'énergie se répartit sur une surface de $4\pi r^2$ et l'intensité acoustique décroît donc en $1/r^2$ et la pression en $1/r$. Les pertes de propagation dites « sphériques » valent alors $TL_{sphérique} = 20 \times \log(r) [dB]$ (Jensen *et al.*, 2011). Lorsque la propagation est contrainte par la surface et le fond, le son se propage alors selon une symétrie cylindrique sur une surface de $2\pi rH$ (H étant la hauteur de la colonne d'eau). L'intensité acoustique décroît alors en $1/r$ et les pertes de propagation dites « cylindriques » valent alors $TL_{cylindrique} = 10 \times \log(r) [dB]$ (Jensen *et al.*, 2011).

Les pertes par amortissement viennent s'additionner aux pertes géométriques et dépendent des propriétés physico-chimiques du milieu de propagation. Ces pertes résultent en partie du frottement visqueux qui convertit une partie de l'énergie acoustique en chaleur et de la diffusion (dispersion de l'énergie par les hétérogénéités rencontrées dans le milieu). Pour le cas particulier de l'environnement marin, s'ajoute la relaxation chimique de certaines molécules (le sulfate de magnésium et l'acide borique). L'atténuation de l'onde acoustique par amortissement suit une loi de décroissance exponentielle avec la distance et s'exprime sous la forme $TL = ar [dB]$, avec r en m et a en dB/m (Jensen *et al.*, 2011).

2.4.2 Les modèles complexes

Les pertes de transmissions sont très complexes et un calcul réaliste de celles-ci nécessite la prise en compte et la connaissance de la morphologie bathymétrique, des variations spatiales de la vitesse du son dans la colonne d'eau ainsi que des paramètres géo-acoustiques des différentes strates de sédiments dans le fond marin. On a généralement recours à des modèles numériques basés sur la résolution de l'équation d'onde pour répliquer le champ acoustique tel que produit par une source sonore. Les modèles les plus couramment utilisés par la communauté sont : modes normaux comme Kraken (Porter, 1992) et Orca (Westwood *et al.*, 1996), l'intégration du nombre d'onde Scooter, l'équation parabolique RAM (Collins, 1995) et le lancer de rayons Bellhop (Porter et Bucker, 1987 ; Porter et Liu, 1994). Le choix d'un modèle dépend essentiellement de la fréquence de l'onde acoustique, de la hauteur d'eau de l'environnement considéré et de la bathymétrie du fond marin. La précision des calculs dépend en général de la qualité et du degré de connaissances sur l'environnement étudié. Une phase de calibration du modèle de propagation est nécessaire, elle consiste à émettre dans l'environnement des sons connus et de les mesurer à une certaine distance. Une comparaison entre les résultats de la simulation et les mesures permet de régler les paramètres du modèle afin qu'il reproduise bien les mesures.

2.5 Le paysage sonore

L'ensemble des sons générés dans le milieu constituent le paysage acoustique sous-marin et contribuent au bruit ambiant. Ces sons proviennent de sources diverses, que l'on peut classer en trois catégories :

- **La biophonie** : ensemble des sons produits volontairement ou involontairement par les organismes marins pour entre autres, se repérer, communiquer ou s'alimenter (ex : vocalises et clics d'écholocation des cétacés, clics biologiques générés par l'activité de la faune benthique, sons émis par les poissons lors de la reproduction *etc.*) ;
- **La géophonie** : sons dus aux phénomènes physiques naturels (ex : vent, marée, pluie, tremblement de terre *etc.*). L'état de la mer est décrit en fonction de l'échelle de Douglas (Tableau en Annexe) ;
- **L'anthropophonie** : bruit généré par les activités humaines (ex : bruit de navire, travaux de construction *etc.*).

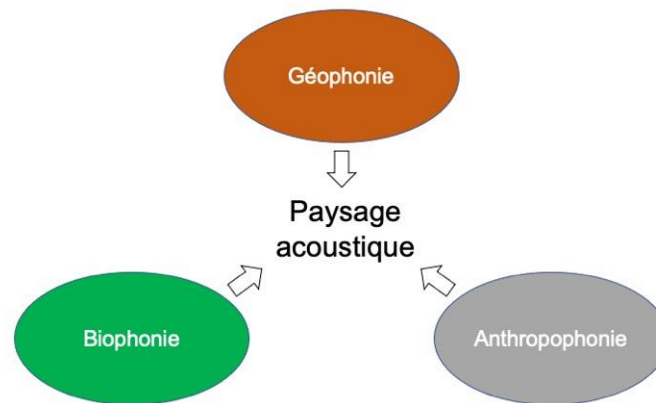


Figure 3. Les différentes sources sonores constituant les paysages acoustiques.

La description de ces paysages sonores sous-marins et de leurs différentes composantes permet d'acquérir des informations sur les écosystèmes étudiés de manière non intrusive, sur de longues périodes (de jour comme de nuit) et dans des zones difficilement accessibles (pour d'autres méthodes d'observation). La connaissance des paysages sonores est nécessaire comme base de référence pour déterminer les changements des niveaux de bruit résultant des activités humaines.

2.6 Les suivis des mammifères marins par acoustique passive

Cette section n'a pas pour objectif de décrire la production sonore de l'ensemble des mammifères marins, mais de fournir des informations de base, nécessaires à la compréhension de ce rapport. Ainsi seule la production sonore des principales espèces vocales potentiellement présentes sur l'aire d'étude est détaillée : les marsouins communs (*Phocoena phocoena* ; famille des Phocoenidés), les dauphins communs et les grands dauphins (*Delphinus delphis* et *Tursiops truncatus* ; famille des Delphinidés,). Ces espèces font parties du sous-ordre des odontocètes, dont la particularité est de générer des clics d'écholocation (décrits ci-dessous). La plupart d'odontocètes produisent également d'autre type de signaux acoustiques, comme des sifflements (leur permettant notamment de communiquer). Il est toutefois important de noter que ces espèces peuvent rester silencieuses et donc seuls les individus émettant des signaux sonores sont détectés, ne permettant pas de suivre des individus passant dans le rayon de détection des stations acoustiques sans émettre de signaux. Il en est donc de même pour les espèces de mammifères marins n'émettant pas ou peu de signaux sonores mais susceptibles de fréquenter la zone (e.g. Phoques gris, *Halichoerus grypus*, et Phoque veau-marin, *Phoca vitulina*).

2.6.1 Production sonore des dauphins communs et grands dauphins

Les delphinidés sont connus pour être acoustiquement très actifs, émettant à la fois des signaux sonores continus (sifflements ; Figure 4) et impulsifs (clics ; Figure 5) dans différents contextes (communication, écholocation ; Caldwell & Caldwell, 1968 ; Richardson *et al.*, 2013 ; Rankin *et al.*, 2017). Les signaux sonores émis par les dauphins communs et les grands dauphins ont des caractéristiques acoustiques similaires. Les sifflements émis par ces espèces sont caractérisés par des bandes de fréquences relativement étroites incluses dans l'intervalle 3 - 28 kHz, et des durées allant de 0,01 à 4 s. Des variations géographiques ont été rapportées dans la structure des sifflements au sein d'une même espèce (différences de durée et fréquences ; Ansmann *et al.*, 2007 ; Henderson *et al.*, 2012 ; Papale *et al.*, 2014 ; Antichi *et al.* 2023). Ces variations peuvent être induites par plusieurs facteurs incluant l'utilisation particulière d'une zone donnée par les dauphins (ex. sociabilisation, cohésion en chasse), ainsi que le bruit ambiant environnant (Ansmann *et al.*, 2007 ; Henderson *et al.*, 2012 ; Papale *et al.*, 2015).

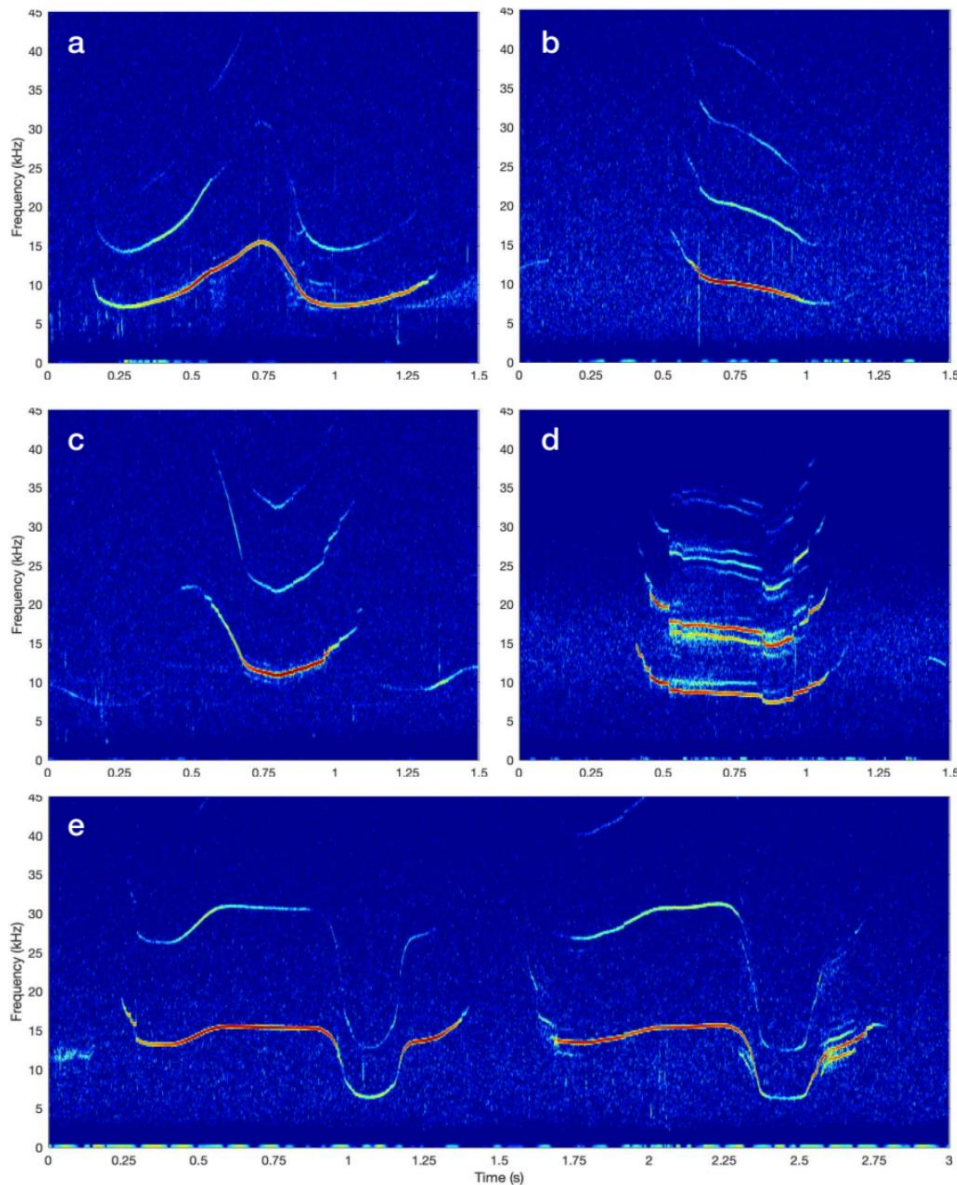


Figure 4. Spectrogrammes de sifflements émis par des dauphins communs. Extrait de Soldevilla *et al.*, 2008

Les delphinidés émettent des trains de clics pour l'écholocation (i.e. visualisation de l'environnement, détection et inspection d'objet par acoustique active ; Houser *et al.*, 1999 ; Au, 2004 ; Soldevilla *et al.*, 2008 ; Rankin *et al.*, 2017). Ces signaux sonores sont caractérisés par une courte durée, une forte directivité ainsi qu'un spectre large bande (Au, 2004 ; Au, 2012). Le nombre de clic émis par série ainsi que l'intervalle inter-clic (ICI) sont variables en fonction de la tâche d'écholocation (ICI proportionnel à la distance dauphin-cible ; Houser *et al.*, 1999 ; Jensen *et al.*, 2009). De même la composition spectrale (fréquences principale et centrale) des clics émis par un même individu varie en fonction de la tâche d'écholocation effectuée, ainsi qu'un contrôle adaptatif répondant à des contraintes physiologiques et environnementales. Seuls quelques delphinidés (fausse orque *Pseudorca crassidens*, dauphin de Risso *Grampus griseus* et dauphin de Gill *Lagenorhynchus obliquidens*) produisent des clics d'écholocation dotés de caractéristiques spectrales distinctes permettant de les différencier au rang de l'espèce (Nakamura, 2003 ; Soldevilla *et al.*, 2008). La plupart d'entre eux, y compris le dauphin commun et le grand dauphin, émettent des clics ayant des spectres semblables (Au,

2004 ; Soldevilla *et al.*, 2008 ; Au, 2012 ; Rankin *et al.*, 2017). Les clics de dauphin commun et de grand dauphin sont caractérisés par une bande de fréquences allant de 0,2 à plus de 150 kHz et des durées comprises entre 50 et 250 μ s (Simmonds *et al.*, 2004 ; Soldevilla *et al.*, 2008 ; Robbins *et al.*, 2016).

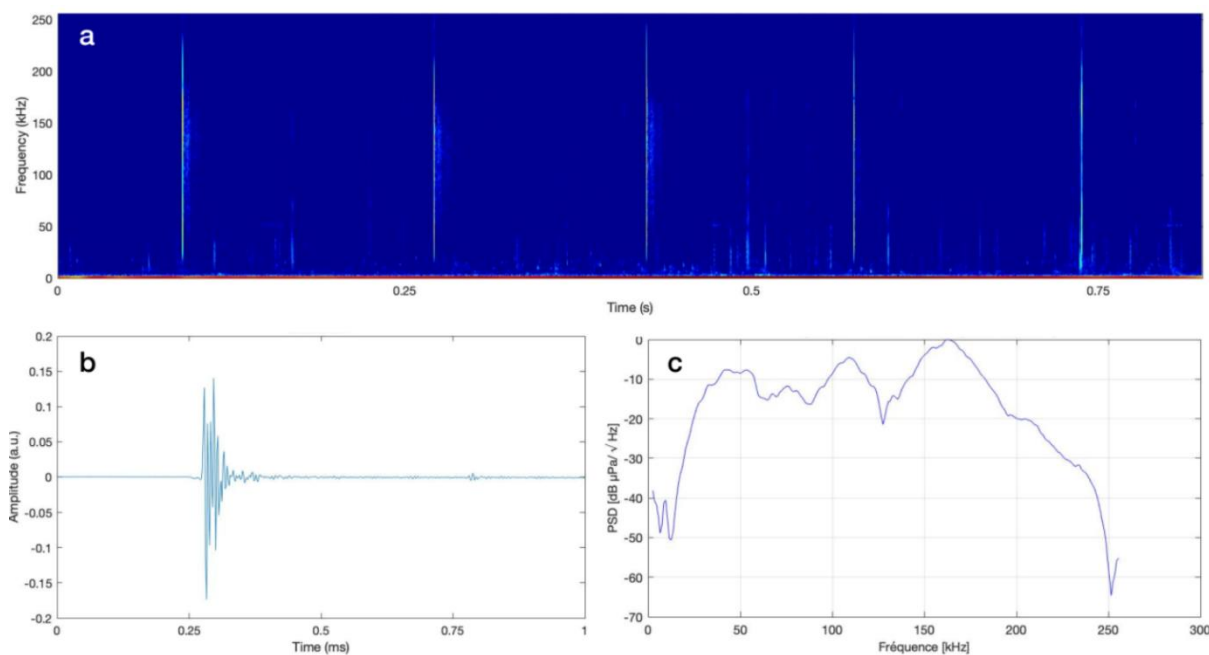


Figure 5. Spectrogramme (a), oscillogramme (b) et spectre acoustique (c) de clics émis par un dauphin commun. Figure réalisée à partir de données fournies par Papale *et al.*, 2015.

La similarité des répertoire acoustique (sifflements et clics d'écholocation) des dauphins communs et des grands dauphins ne permet donc pas de distinguer avec certitude ces deux espèces entre elles sur les enregistrements acoustiques.

Le comportement du dauphin est considéré comme relativement cyclique, alternant principalement des périodes de déplacement et d'alimentation (Petrella *et al.*, 2012). Quatre états comportementaux ont été définis pour caractériser leurs activités (alimentation, repos, déplacement, activité sociale ; Stockin *et al.*, 2009; Henderson *et al.*, 2012). Des études mettant en œuvre des suivis visuels et acoustiques passifs (PAM) ont examiné les comportements associés aux émissions sonores en se basant sur la proportion de clics et de sifflements émis par les dauphins (Goold, 2000 ; Kim *et al.*, 2006 ; Ansmann *et al.*, 2007 ; Henderson *et al.*, 2012 ; Petrella *et al.*, 2012 ; Wiggins *et al.*, 2013). Des comportements différents ont été observés selon les régions. Une densité de sifflement beaucoup plus élevée (nombre de sifflement par seconde) a été enregistrée pendant les phases de recherche de nourriture diurnes, comparée aux phases de déplacement en Nouvelle-Zélande (13 fois plus élevée ; Petrella *et al.*, 2012). Une tendance similaire a été observée en mer Celtique, où l'émission de sifflement augmentait de manière significative lors d'épisodes nocturnes de recherche de nourriture (Goold, 2000). Les auteurs suggèrent que l'intensification des émissions de signaux de communication pourraient être liée au niveau élevé de coordination requis entre les individus recherchant de la nourriture de façon coopérative (Goold, 2000 ; Petrella *et al.*, 2012). Inversement, des études menées en Californie montrent que les enregistrements sont principalement composés de sifflements lors de déplacements diurnes, (Kim *et al.*, 2006 ; Henderson *et al.*, 2012 ; Wiggins *et al.*, 2013) et

deviennent moins fréquents durant la nuit alors que le nombre de clics émis augmente (Wiggins *et al.*, 2013). Les auteurs suggèrent que les sifflements seraient utilisés pour maintenir la cohésion du groupe ainsi qu'une direction commune, tandis que les clics serviraient à localiser leurs proies lors des chasses nocturnes (Kim *et al.*, 2006 ; Wiggins *et al.*, 2013). La production de signaux de communication varie donc en fonction des types d'activités d'interaction sociale ou requérant une coordination entre les individus. Les différences observées entre les populations reflètent probablement différentes écologies : c'est à dire stratégies de chasse différentes en fonction des proies ciblées, d'interaction en fonction des structures sociales ainsi que des environnements sonores différents.

2.6.2 Production sonore des marsouins

Le répertoire acoustique des marsouins communs est plus restreint que celui des dauphins. Il est composé d'un unique signal sonore (clic NBHF ; Figure 6), utilisé à la fois pour l'écholocation et la communication (Goodson & Sturtivant, 1996 ; Clausen *et al.*, 2011 ; Sørensen *et al.*, 2018).

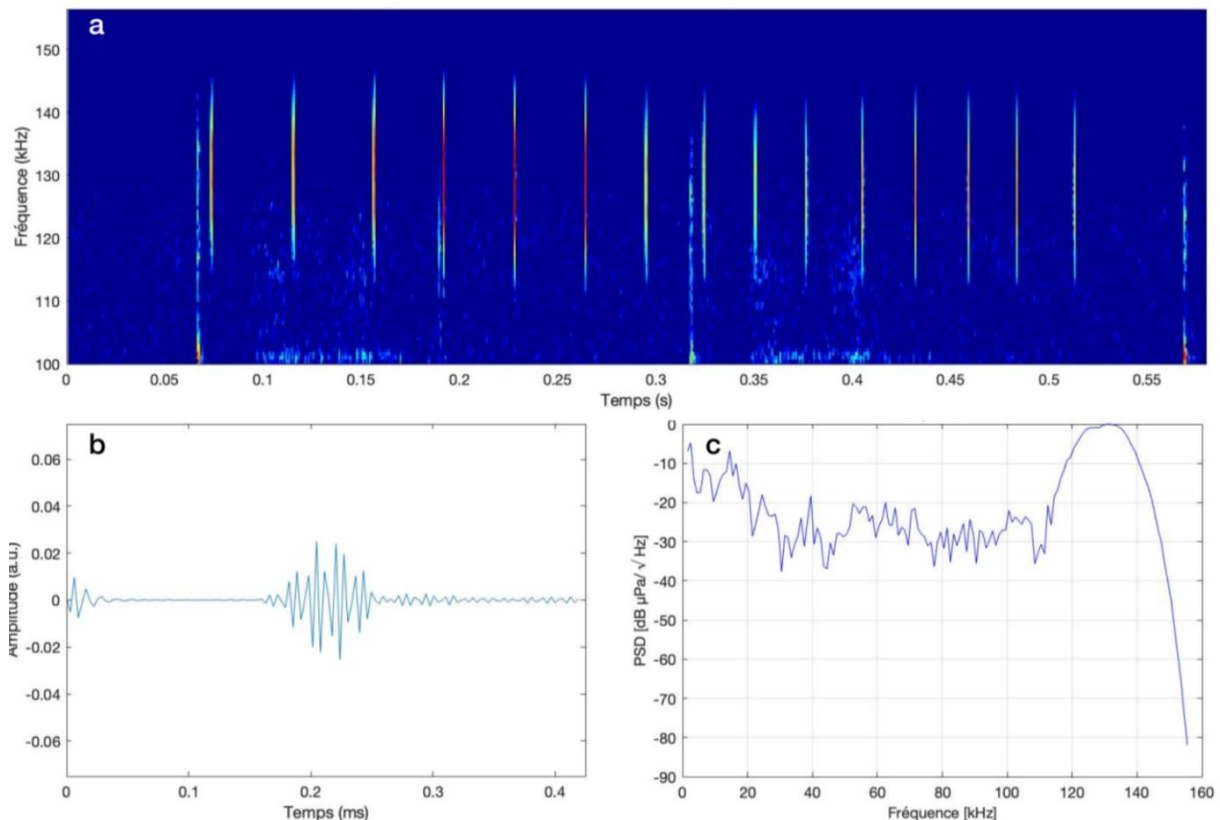


Figure 6. Spectrogramme (a), oscillogramme (b) et spectre acoustique (c) de clics émis par un marsouin commun. Figure réalisée à partir de données internes à SOMME.

Les clics NBHF du marsouin commun peuvent être émis de façon isolée ou en série (Teilmann *et al.*, 2002). Ces signaux comportent une forte composante haute fréquence (HF) comprise entre 110 et 160 kHz et ont des durées allant de 60 à 300 μs . Les clics émis par des marsouins adultes présentent des fréquences principales comprises entre 125 et 140 kHz (Møhl & Andersen, 1973 ; Hatakeyama & Soeda 1990 ; Au *et al.*, 1999), ainsi que des bandes passantes à -3 dB s'étalant sur 15 kHz (Goodson & Sturtivant, 1996 ; Au *et al.*, 1999). Des fréquences

principales plus élevées (autour de 145 kHz) ont été relevées pour des juvéniles, suggérant une relation entre les fréquences émises et la taille du corps (Goodson & Sturtivant, 1996). Fortement directifs, les clics sont émis avec une largeur de faisceau étroite, d'environ 16 ° dans les plans vertical et horizontal (Goodson & Sturtivant, 1996 ; Au *et al.*, 1999 ; Teilmann *et al.*, 2002 ; Villadsgaard *et al.*, 2007 ; Hansen *et al.*, 2008). Le taux de répétition des signaux d'écholocalisation reflète l'échelle de temps à laquelle un animal recueille des informations sur son environnement (Linnenschmidt *et al.*, 2013). En plus d'être utilisés pour l'écholocalisation, des patterns spécifiques de série de clics NBHF ont été corrélés avec des interactions sociales (e.g. contact mère-petit, choix du partenaire, comportement agonistique), indiquant l'utilisation de ce même signal pour la communication (Clausen *et al.*, 2011 ; Sørensen *et al.*, 2018). Cependant, la directivité et la forte absorption des hautes fréquences génèrent un espace actif très limité (Clausen *et al.*, 2011), ne permettant une détection que dans un rayon d'une centaine de mètre d'un enregistreur acoustique

2.6.3 Production sonore des pinnipèdes

Les deux espèces de pinnipèdes fréquentant la baie de Seine, le Phoque gris (*Halichoerus grypus*) et le Phoque veau-marin (*Phoca vitulina*), produisent toutes deux des vocalises sous l'eau (Schevill *et al.* 1963 ; Schusterman *et al.* 1970 ; Terhune, 2019 ; Pozo Galván *et al.* 2024). Le répertoire acoustique des phoques gris est composé de clics (signaux impulsifs) dans la bande fréquentielle allant de 200 à 12 000 Hz ainsi que des vocalisations basses fréquences avec des pics fréquentiels en dessous de 3 kHz (Asselin *et al.*, 1993, Prawirasasra *et al.*, 2021 Pérez *et al.* 2023). Quant aux veaux marins (animaux moins vocaux que les phoques gris), leur répertoire est composé de vocalises semblables à des grognements émis entre 50 et 4000 Hz. (Hanggi and Schusterman, 1994, Hayes *et al.* 2004 ; Pozo Galván *et al.* 2024).

Chez ces deux espèces les vocalises sont essentiellement produites lors d'interactions sociales entre individus et principalement pendant la période de reproduction (Twiss 1991 ; Hanggi and Schusterman, 1994; Van Parijs *et al.* 1997 ; Stirling and Thomas 2003 ; Hayes *et al.* 2004 ; Pérez *et al.* 2023). En effet, lors des périodes de reproduction, les mâles de ces deux espèces vocalisent en général dans des zones où le taux de rencontre avec les femelles est plus élevé, soit à proximité de reposoirs, de sites de mises bas de colonies. Il serait alors possible d'enregistrer des vocalises de veaux marins en baie de Seine entre juin et juillet lors de la période de reproduction dans des zones très côtières, contrairement aux phoques gris qui ne se reproduisent pas dans cette zone (C. Vincent, communication personnelle).

Ainsi, l'activité acoustique restreinte de ces deux espèces de pinnipèdes (limites temporelle et spatiale) en baie de Seine ne permet pas d'étudier leur fréquentation de la zone d'étude par acoustique passive.

3 Matériel et méthodes

3.1 Équipe intervenante

3.1.1 SOMME

Le suivi acoustique a été opéré par les ingénieurs acousticiens de la société SOMME, assurant la mise en place du dispositif de suivi acoustique, l'analyse des données et l'interprétation des résultats.

3.1.2 Moyen nautique

L'ensemble des opérations en mer relatives à ce suivi acoustique (déploiement et récupération des stations de mesure) a été réalisé avec le navire CERES III (MMSI : 354075000 ; Figure 7) de l'entreprise CERES basée à Montfarville dans la Manche (50).



Figure 7. Navire CERES III.

3.2 Station de mesure acoustique

3.2.1 Système d'acquisition acoustique large bande

Les systèmes d'acquisition acoustique utilisés, incluant un enregistreur acoustique associé à un hydrophone large bande, permettent d'enregistrer en continu l'ensemble des composantes du paysage acoustique :

- Anthropophonie : bruit de travaux, navires et autres sons générés par l'homme ;
- Géophonie : pluie, vent, mouvement du sédiment et autres bruits provenant de source naturelle non-vivante ;
- Biophonie : tous les sons générés par la faune marine (mammifères marins, faune benthique, poissons).

3.2.1.1 Caractéristiques de la chaîne d'acquisition de données acoustiques large bande

La chaîne d'acquisition est composée :

- D'un enregistreur autonome de données acoustiques brutes « Sylence-LP » (RTSYS) Figure 8).
- D'un hydrophone large bande omnidirectionnel « HTI-99-HF » ($S_H : -168 \text{ dB re } 1 \text{ V } \mu\text{Pa}^{-1}$)



Figure 8. Système d'acquisition acoustique large bande (enregistreur et hydrophone) déporté de la ligne de mouillage et prêt à être déployé (Source : SOMME).

3.2.1.2 Paramètres d'enregistrements

Les paramètres de programmation des enregistrements sont :

- Cycle d'acquisition (« duty cycle ») : 15 min ON / 5 min OFF. Les enregistrements couvrent ainsi 75% du temps de déploiement ;
- Fréquence d'échantillonnage : 512 kHz, permettant de pouvoir suivre l'ensemble des signaux d'intérêt sur le même enregistrement, incluant les bruits de travaux, le trafic maritime et les signaux des cétacés (dont les clics hautes fréquences émis par les marsouins).

Avec ces paramètres, la capacité de stockage et l'autonomie énergétique des enregistreurs utilisés permettent de réaliser 70 jours de mesure.

3.2.2 Méthode de déploiement

Les systèmes d'acquisition acoustique sont déployés sous des bouées de signalisation (marque spéciale ; Figure 9). Composé majoritairement de cordage textile, le mouillage a été conçu de manière à être le plus silencieux possible (cf. section 3.5.2.1).

Les bouées « marque spéciale » (Figure 9) utilisées ont été spécifiquement conçues dans le cadre de suivi acoustique de projet éolien. Elles comportent :

- Un réflecteur radar intégré dans le flotteur ;
- Une croix de Saint André ;
- Un feu autonome (certification IALA) avec une portée de 2Nm ;
- Un traceur GPS, permettant un suivi en temps réel.

Les hydrophones sont immergés à $\frac{1}{4}$ de la profondeur (LAT^1) associée à chaque site, afin d'assurer la qualité des données en s'éloignant des bruits parasites provenant de la surface (vent, houle, pluie) et du fond (mouvement du sédiment).

¹ Niveau des plus basses mers astronomiques (Lowest Astronomical Tide)



Figure 9. Photo d'une bouée de signalisation de surface déployée en 2022

3.3 Localisation des stations acoustiques

Trois stations de mesure acoustique (décrites précédemment) ont été déployées dans l'aire d'étude rapprochée et à proximité de l'aire d'étude immédiate, du raccordement du futur parc éolien au large de la Normandie, CM2 (Figure 10 et Tableau 2). Ces stations ont été discutées avec le comité des pêches pour limiter les interactions avec leurs activités.

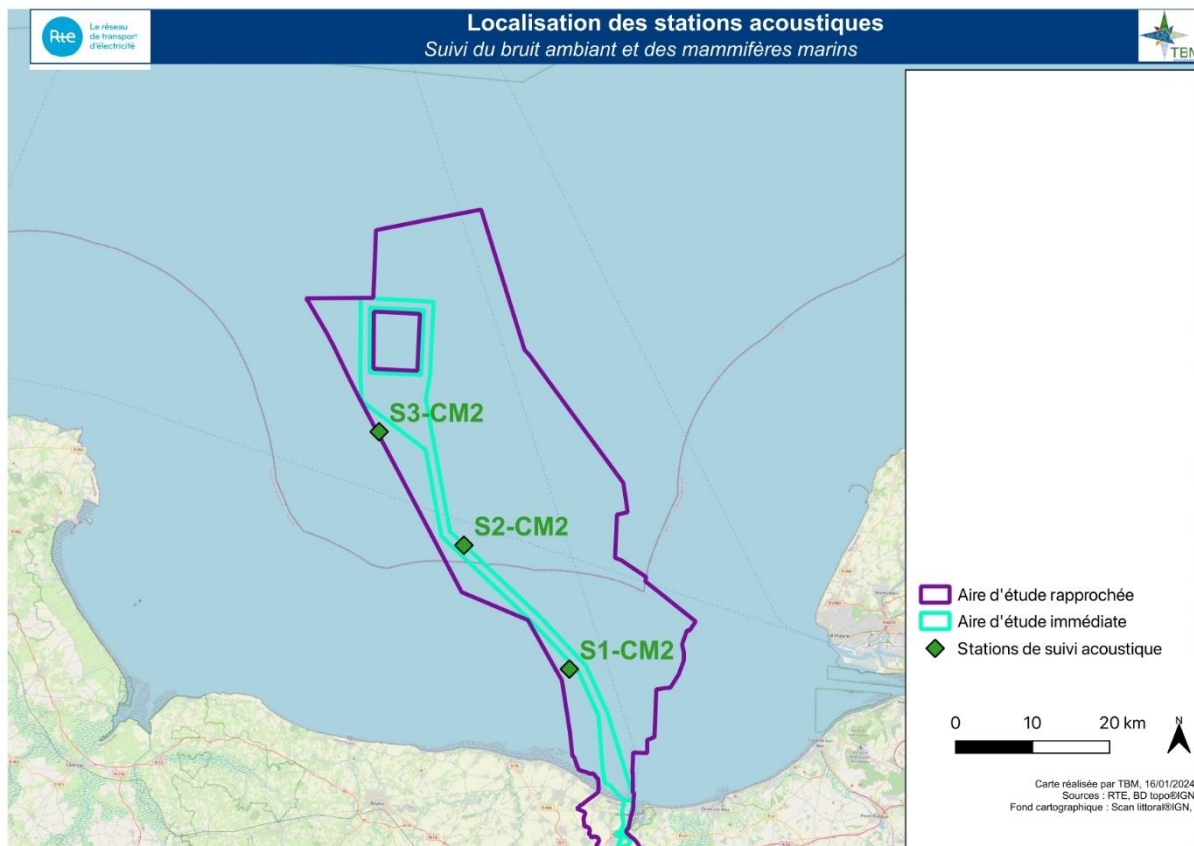


Figure 10. Localisations des stations acoustiques déployées en 2022.

Tableau 2. Information sur les déploiements des stations acoustiques.

Stations	Latitude	Longitude	Profondeur (m)	Date déploiement	Dates récupérations	Période d'enregistrement exploitable	Commentaire
S1 (S1-CM2)	49°26.553'N	0°22.2716'W	21	23/04/2024	Rotation R2 le 25 mai 2024 Rotation R3 le 25 juin 2024 Rotation R4 le 31 juillet 2024	23/04 au 17/06 puis du 25/06 au 20/08	Erreur d'écriture des données entre le 17/06 et le 25/06 (corruption de carte SD) Décrochage (chalutage) de la bouée le 20 août
S2 (S2-CM2)	49°34.8964'N	0°34.1984'W	33	23/04/2024	Rotation R2 le 25 mai 2024 Rotation R3 le 25 juin 2024 Rotation R4 le 31 juillet 2024	23/04 au 15/05 puis du 25/05 au 31/08	Erreur d'écriture des données entre le 15/05 et le 25/05
S3 (S3-CM2)	49°42.5652'N	0°43.9048'W	38	24/04/2024	Rotation R2 le 25 mai 2024 Rotation R3 le 25 juin 2024 Rotation R4 le 31 juillet 2024	23/04 au 31/07	Décrochage (chalutage) de la bouée le 17 août, bouée non récupérée

3.4 Période de suivi

Le second déploiement des stations a été réalisé les 23 et 24 avril 2024 avec une rotation d'enregistreur toutes les quatre à six semaines. La récupération des bouées s'est réalisée le 23 septembre. Les données des rotations entre le 23 avril et le 31 août sont exploités dans ce présent rapport.

3.5 Traitement et analyse des données

3.5.1 Calcul des niveaux sonores

Les données brutes acquises par les enregistreurs acoustiques large bande et les hydrophones (en V) sont converties en données acoustiques (en μPa) en prenant en compte le gain d'acquisition de l'enregistreur (0,78 dB) et la sensibilité des hydrophones (S_H : -168 dB re 1 V μPa^{-1}). Chaque fichier audio enregistré (.wav) est divisé en segments d'une minute, traités individuellement de manière à définir :

- Le temps « t » associé au segment, correspondant au temps central du segment traité.
- Le niveau SPLrms (niveau «Root Mean Square», dB re 1 μPa), quantifiant le niveau de pression acoustique efficace reçu (racine carrée de la moyenne des carrés du signal ; Figure 11 Cette métrique est la plus fréquemment utilisée dans la littérature pour caractériser les sources de bruits continus.
- Des niveaux de pression larges bandes² (dB re 1 μPa^2), noté $\text{SPL}_{[f_{\min}-f_{\max}]}$ quantifiant l'intensité totale contenue dans les bandes de fréquences d'intérêts [f_{\min} - f_{\max}] (cf Figure 11). Dans ce rapport, nous estimerons le niveau de pression sur la bande de fréquence spécifique [50-40 000] Hz utilisée lors de l'état de référence du parc éolien en mer de Normandie, (Bellanger *et al.*, 2022);

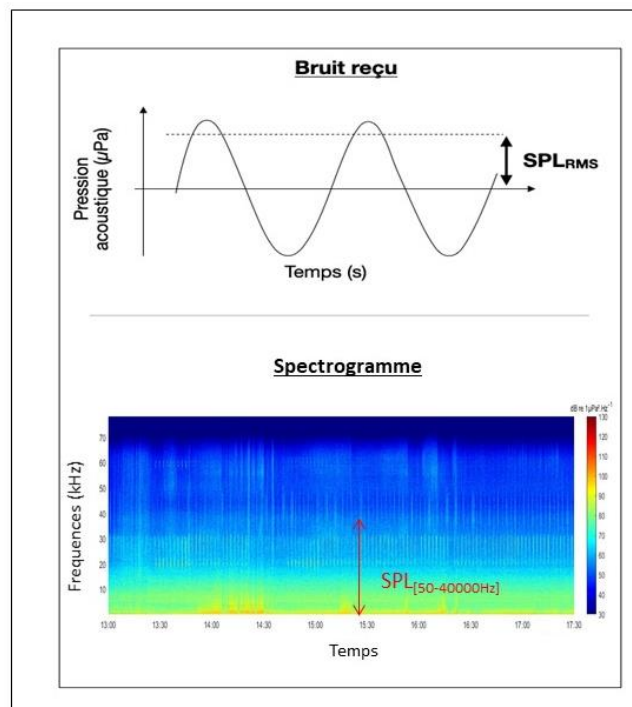


Figure 11 : Différentes métriques utilisées pour évaluer les niveaux de bruit.

² Les niveaux larges bandes sont des intégrations des densités spectrales de puissance sur les bandes de fréquences considérées.

3.5.2 Caractérisation du bruit ambiant

3.5.2.1 Sélection des données

Les enregistrements acoustiques réalisés sous bouée peuvent être influencés par les conditions de courant induisant une potentielle mise en vibration de la ligne de mouillage. Afin de réduire ce phénomène, l'hydrophone a été déporté de la ligne de mouillage (Figure 8). Ce phénomène a été étudié en comparant le bruit reçu (SPL_{rms}) au niveau de chaque station avec les vitesses de courants de surface associées (Figure 12). Les données de courant ont été obtenues à partir du modèle NORGAS-UG estimé à partir des données MARC WaveWatch III³ du Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (LOPS/IFREMER). Afin d'estimer de manière fiable les niveaux de bruit ambiant, les données ont ensuite été sélectionnées avec un seuil de 0,2 m/s, correspondant à la vitesse de courant en dessous de laquelle le courant n'a plus d'influence ($R^2=0$) sur le bruit ambiant (Figure 12).

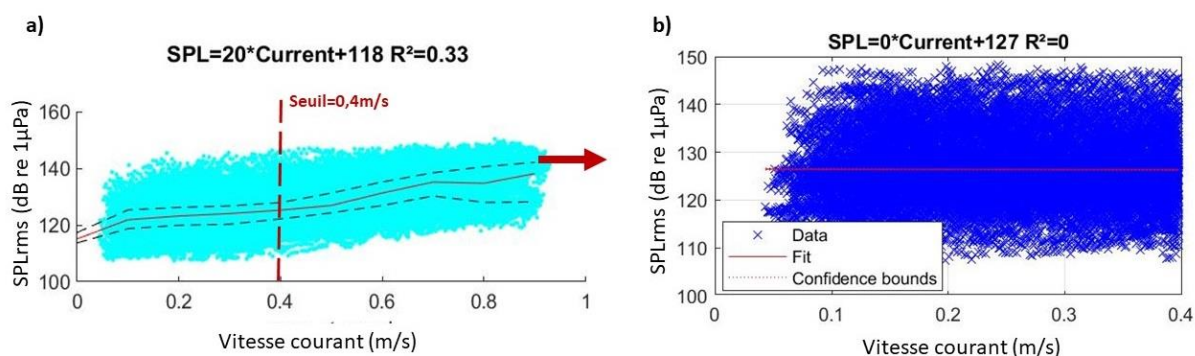


Figure 12 : Comparaison des niveaux de bruits reçus (SPL_{rms}) en fonction de la vitesse du courant de surface avant seuillage (a) et après sélection des données via l'application d'un seuil de 0,2m/s (b).

³https://tds1.ifremer.fr/thredds/dodsC/MARC-MANCHEGASCOGNENORD-WW3_NORGAS_UG-FOR_FULL_TIME_SERIE

3.5.2.2 Estimation des niveaux de bruit ambiant

La sélection des données basée sur la vitesse de courant permet de réduire considérablement le biais associé aux bruits de mouillages (cf section 3.5.2.1), mais ne permet pas de les filtrer intégralement. Des bruits impulsifs ont notamment été observés lors de fortes conditions de mer ; Figure 13). Ainsi, une méthodologie basée sur une approche statistique descriptive et classiquement mise en œuvre par la communauté scientifique (dont des institutions de référence telles que le SHOM) a été appliquée afin d'estimer les niveaux de bruit ambiant (Kinda *et al.*, 2013). Cette approche consiste à calculer des niveaux sonores sur une fenêtre temporelle fine et de conserver les valeurs basses de leur distribution statistique. Dans cette étude, les niveaux SPL_{rms} sont calculés sur une milliseconde (inférieur à l'ordre de grandeur des bruits de mouillage ; Figure 13) puis les niveaux correspondant au 5^{ème} centile de leur distribution statistique associée à chaque minute sont conservés. Nous obtenons ainsi un niveau par minute sur la totalité de la durée du suivi. En procédant ainsi, les bruits impulsifs de forte intensité (caractéristiques des bruits de mouillages) ne sont pas pris en compte dans l'estimation du bruit ambiant (Figure 13). Dans la suite de ce rapport, ces niveaux sont notés $SPL_{rms(5\%)}$.

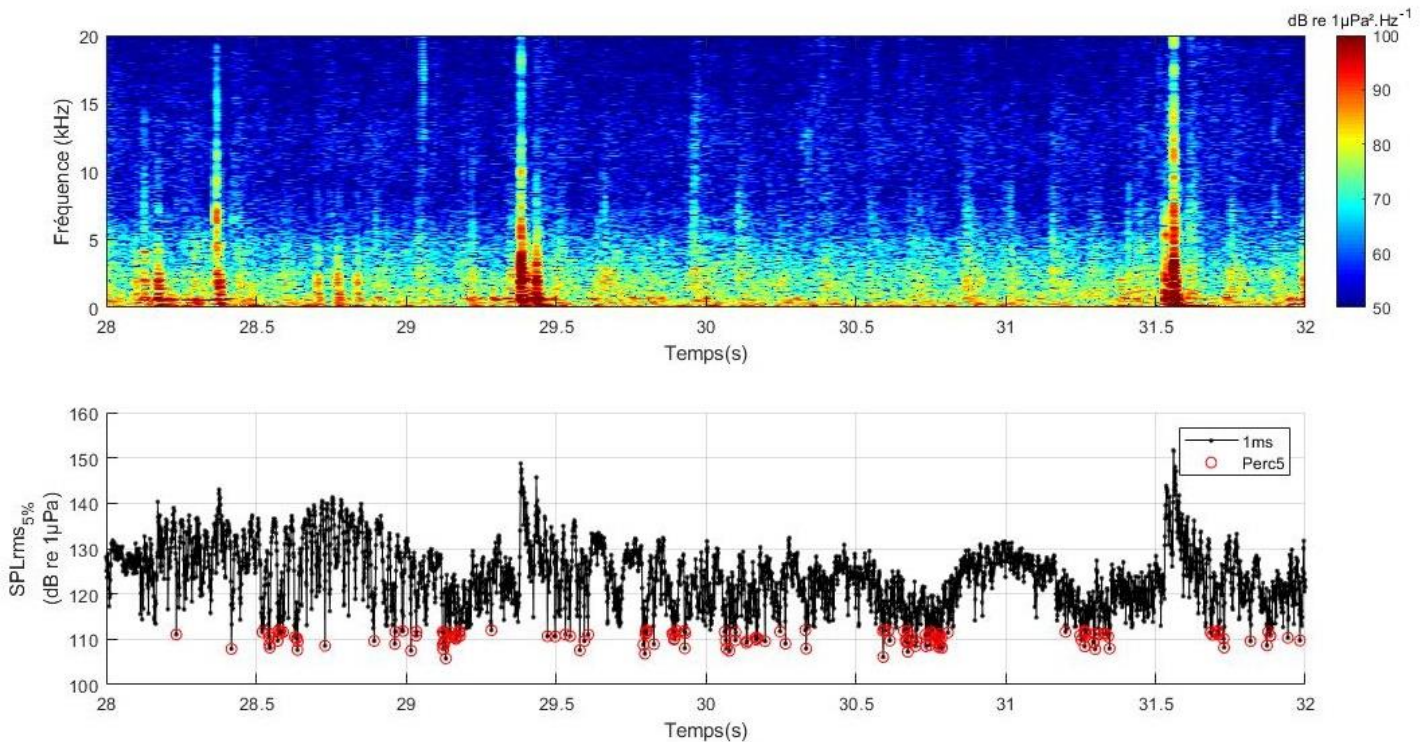


Figure 13. Discrimination des bruits de mouillages en gardant 5% des SPL_{rms} estimé à 1 ms.

3.5.2.3 Caractérisation des paysages sonores.

Les séries temporelles de niveaux sonores précédemment calculés, sont présentées par station. Ces représentations permettent d'observer l'évolution de ces niveaux au cours du temps. Les variations du bruit ambiant peuvent être engendrées par des sources sonores d'origine anthropique (anthropophonie), environnementale (géophonie) ou biologique (biophonie ; cf. section 2.5). Afin d'étudier la contribution de ces différentes composantes au bruit ambiant, un filtre médian (cf Figure 14) est appliqué sur les séries temporelles associées à chaque station. Cette approche permet d'apercevoir les variations long terme du bruit ambiant en écartant les événements acoustiques de forte intensité et de courte durée, comme des passages de navires (composante anthropophonique). La fenêtre du filtre médian a été fixée à 24h, en accord avec les ordres de grandeurs temporelles des variations environnementales (ex : pluie, coup de vent). Les durées des passages de navires sont généralement inférieures, de l'ordre de la dizaine de minutes. Nous obtenons ainsi des séries temporelles de bruit ambiant médian pour chaque station (Figure 14).

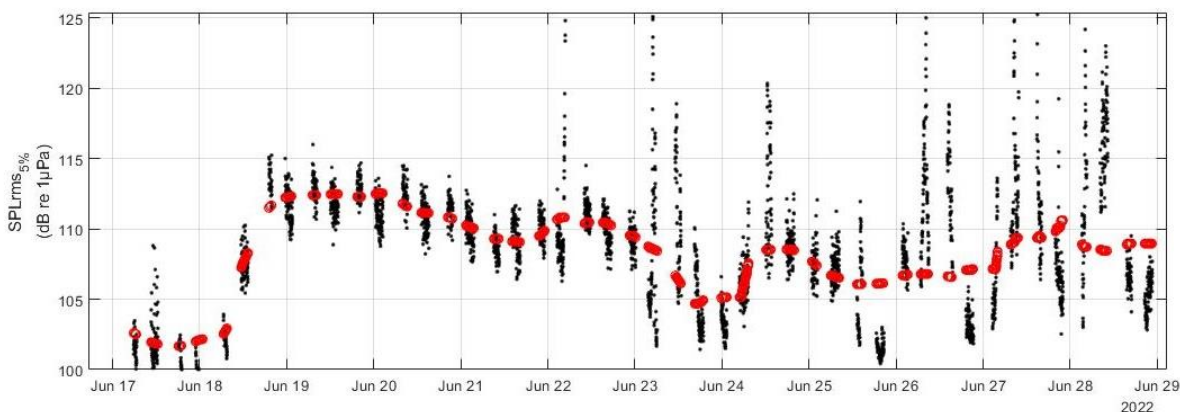


Figure 14. Série temporelle des niveaux $SPL_{rms,5\%}$ (en noir) et des niveaux médians (rouge) estimés via application du filtre médian d'une fenêtre de 24h.

Afin d'étudier la contribution des conditions environnementales au bruit ambiant, des régressions linéaires sont appliquées entre le bruit médian (cf. section 3.5.2.3) et la vitesse du vent et la hauteur de la houle.

Les navires passant à proximité des stations de mesure acoustique, génèrent des sons de durées relativement courtes (plusieurs minutes) et de fortes intensités, se traduisant par une augmentation de l'écart à la médiane (Figure 14). Nous pouvons ainsi les détecter automatiquement en conservant les valeurs extrêmes de la distribution statistique des écarts à la médiane (sur-dispersion des valeurs sur la distribution). Ces valeurs peuvent cependant être associées à d'autres événements acoustiques de fortes intensités. Ainsi chaque passage de navire détecté est systématiquement vérifié en établissant un spectrogramme à fine résolution (cf. Partie 2.3).

3.5.3 Étude de la fréquentation en cétacés de l'aire d'étude

3.5.3.1 Espèces cibles

Différentes campagnes d'observation à grande échelle ont été menées pour étudier la fréquentation de la Manche par les mammifères marins :

- Base de données du Réseau National Échouages de mammifères marins de l'observatoire PELAGIS (France) et du UK-CSIP (Royaume-Uni) ;
- Résultats des programmes d'observation de la mégafaune marine :
 - o MEGASCOPE (Dorémus *et al.* 2022 et années précédentes, rapport annuel) : campagnes réalisées depuis 2015 à bord de navires océanographiques ;
 - o PACOMM-SAMM (Pettex *et al.*, 2014) : campagnes aériennes réalisées en Hiver 2011-2012 et en été 2012 ;
 - o SCANS (Hammond *et al.*, 2017, Hammond *et al.*, 2021) : campagnes aériennes réalisées en 1994 (SCANS I), 2005 (SCANS II) et 2016 (SCANS III).
- Résultats des programmes destinés à acquérir des connaissances sur les grands dauphins fréquentant la mer de la Manche, et plus particulièrement le golfe normand-breton et la baie de Seine occidentale initiés par le GECC.

Trois espèces principales acoustiquement actives ont ainsi été répertoriées en Manche :

- **Le marsouin commun** : La distribution spatiale des marsouins communs en Manche présente une forte variation saisonnière, corrélée avec celles de leurs proies. En hiver, ils sont principalement observés en Manche orientale et mer du Nord avec une forte concentration d'animaux au nord du détroit de Calais. En été, ils s'aventurent en Manche occidentale au large des côtes bretonnes. La taille de la population exploitant le plateau continental de la Manche a été estimée à 17 300 individus suite aux campagnes SCANS III (Eté 2016) et 26 000 individus suite aux campagnes SAMM. **Les marsouins sont ainsi potentiellement présents toute l'année sur l'aire d'étude.**
- **Le dauphin commun** : Le dauphin commun présente une distribution saisonnière marquée. En hiver, ils se trouvent plutôt sur le plateau continental, avec de fortes densités au bord du talus en mer Celtique. Ils sont aussi présents en zone océanique, mais avec des densités un peu plus faibles. En été, ils deviennent plus océaniques, avec une préférence pour le talus continental. Les dauphins communs représentent l'espèce la plus fréquemment observée lors des campagnes MEGASCOPE. Cependant, ces observations ont été réalisées en Manche occidentale uniquement. Les campagnes SAMM mettent en évidence des densités estimées en Manche de plus de 13 000 dauphins communs ou bleu et blanc (regroupés en petits delphinidés) en hiver, contre 1 200 en été. Les campagnes SCANS II et III réalisées en été, rapportent des abondances de 4 900 et 1 800 individus respectivement. Les données d'échouages confirment l'absence de dauphins communs en Manche orientale. Les échouages les plus à l'Est ont été répertoriés sur la côte Est du Cotentin. **L'aire d'étude semble ainsi être en limite de l'aire de répartition de cette espèce.**
- **Le grand dauphin** : Le grand dauphin est une espèce communément observée en Manche. Les campagnes SAMM estiment l'abondance en Manche à 2 300 individus en été contre 1 400 individus en hiver. Cette augmentation est associée à la remontée de groupes d'individus depuis le golfe de Gascogne. Une population de grands dauphins sédentaires est établie dans le golfe Normand-Breton (Ouest Cotentin) et compte parmi les plus grandes populations de grands dauphins résidents et côtiers de la façade Atlantique de l'Europe (hors Méditerranée). Les suivis réalisés entre 2009 et 2017 par le GECC montrent que la population des grands dauphins du golfe Normand-Breton

oscille entre 360 (IC 95% : 334-487) et 471 (IC 95% : 410-539) individus. Bien que principalement observés dans l'ouest Cotentin, au sein d'un triangle qui va du cap de la Hague, au nord, à la baie du Mont Saint-Michel, au sud, et au cap Fréhel, à l'ouest, les campagnes d'observation du GECC montrent que des individus réalisent des excursions en zone côtière à l'Est du Cotentin. **Cette espèce est donc susceptible de fréquenter l'aire d'étude.**

Ces trois espèces constituent les espèces cibles de ce suivi.

Les dauphins communs et grands dauphins sont deux espèces appartenant au groupe des delphinidés, produisant des clics d'écholocation large bande et des sifflements dans la bande de fréquences [5-20] kHz. Ces deux espèces émettent des signaux avec des caractéristiques acoustiques proches (durée, fréquence) et ne peuvent être différenciées par acoustique. Dans cette étude, ces espèces seront donc regroupées sous le taxon « Delphinidés ».

Les marsouins produisent des clics haute fréquence à bande étroite, avec un maximum d'énergie autour de 130 kHz (clics HFNB). Ces signaux sont stéréotypés et ainsi facilement identifiables.

3.5.3.2 Détection automatique des signaux

La détection des signaux de cétacés est automatisée *via* le logiciel d'analyse bioacoustique PAMGuard (Passive Acoustic Monitoring | PAM Open Source Software - PAMGuard⁴).

Deux fonctionnalités (modules) de ce logiciel sont utilisées simultanément :

- Le « Whistle and Moan Detector » (WMD) pour détecter les signaux à modulation de fréquence (sifflements de delphinidés ; Figure 15)
- Le « Click Detector » (CD) pour détecter les sons impulsifs (clics d'écholocation). Ce dernier est paramétré pour détecter les clics de marsouins. Afin d'éviter les fausses détections associées à d'autres bruits impulsifs, ce détecteur est couplé avec un module de détection de train de clics.

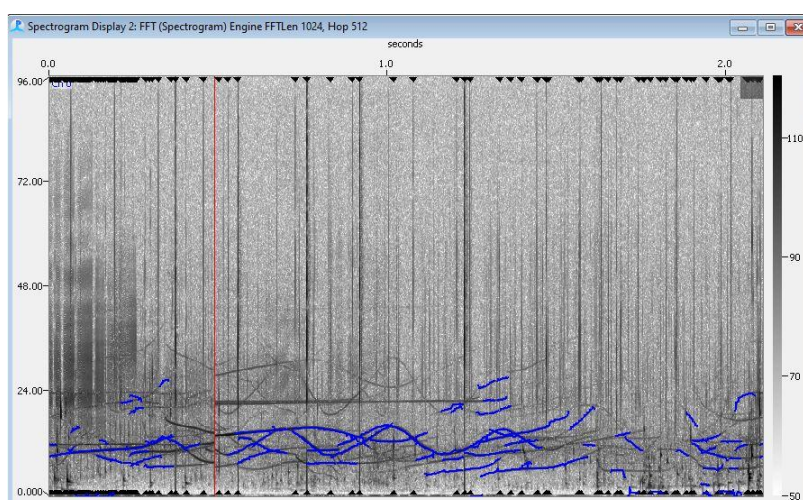


Figure 15. Capture d'écran de l'interface PAMGuard incluant les modules de détection de clics (flèches noires) et de sifflements (WMD ; courbes bleues).

Les détecteurs utilisés sont paramétrés en fonction des caractéristiques des signaux des groupes d'espèces cibles (delphinidés et marsouins, cf. Partie 2.6) issues de la littérature scientifique (Tableau 3 ; Tableau 4).

Tableau 3. Paramètres utilisés pour les détecteurs de sifflement des delphinidés (WMD).

Bande de fréquences de recherche des signaux	3-28 kHz
Durée min	30 ms (15 360 points)

Tableau 4. Paramètres utilisés pour les détecteurs de clics de marsouins (CD).

Bande de fréquences de recherche des signaux	100-150 kHz
Intervalle Inter-Clics min	20 ms (10 240 points)
Durée max	0,3 ms (154 points)

Cette méthodologie de détection est cohérente avec les suivis réalisés lors de l'état de référence et la phase de construction.

⁴ <https://www.pamguard.org>

Vérification et traitement des détections

Un spectrogramme haute résolution est réalisé pour chaque détection. Ces spectrogrammes sont ensuite classés sous les catégories « bonnes » ou « fausses détections » par un algorithme de classification d'image basé sur de l'intelligence artificielle (Figure 16). Les bonnes détections de l'algorithme sont ensuite vérifiées par un acousticien de l'équipe SOMME. Ce procédé assure qu'aucune fausse détection n'est incluse dans les résultats.

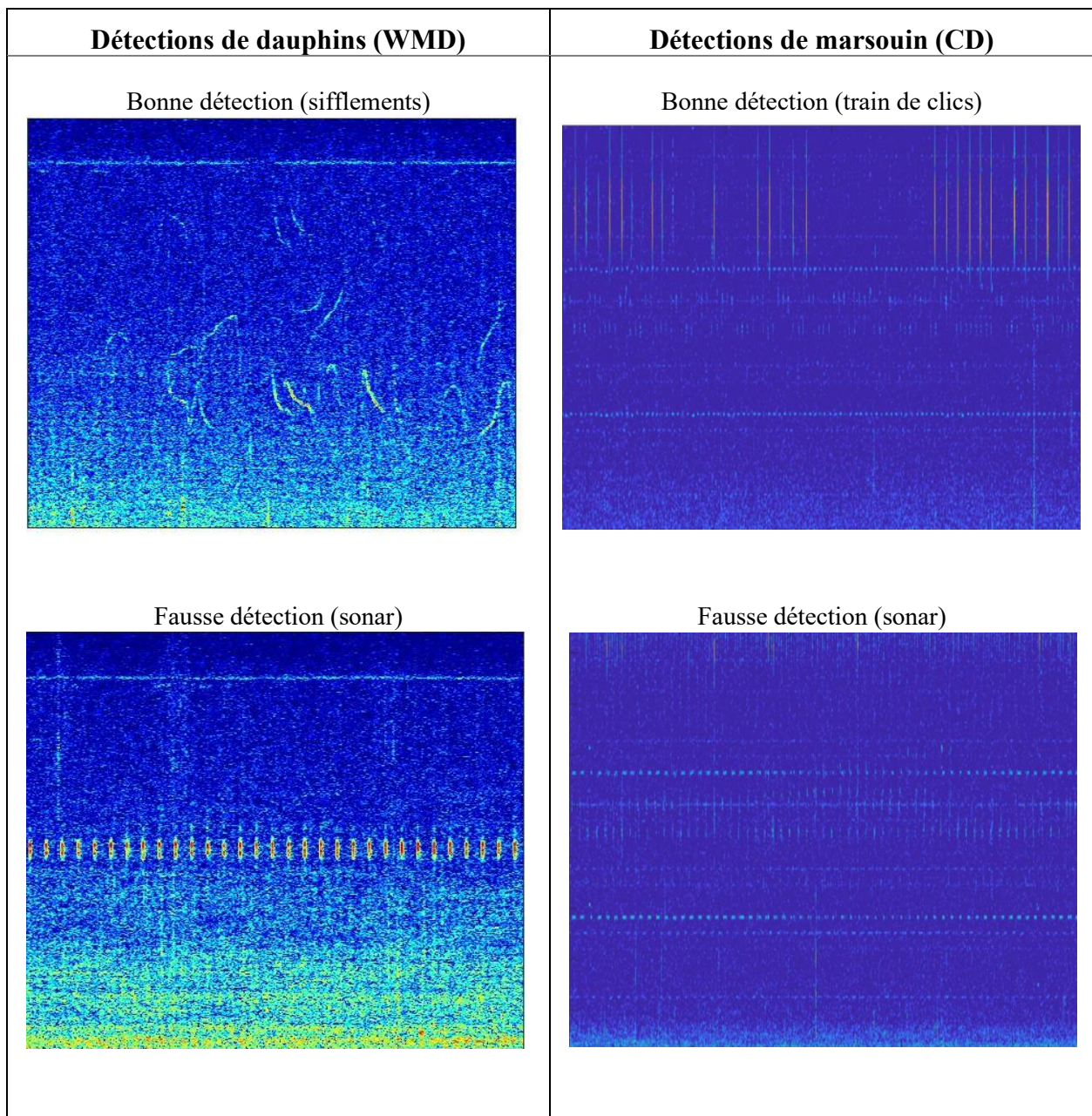


Figure 16. Exemples des spectrogrammes de bonnes et fausses détections (de dauphin à gauche et marsouin à droite) classées par l'algorithme d'intelligence artificielle puis vérifiées par un acousticien SOMME.

3.5.3.3 Détermination des événements de présence

Les détections automatiques constituent des séquences qui peuvent être regroupées en « événement de présence ». Les événements de présence sont déterminés en analysant le temps inter-détections (Richard et al. 2017). En effet, l'absence de sons sur des intervalles relativement courts ne signifie pas systématiquement une véritable absence de l'espèce cible mais elle peut être due au fait que les individus ne vocalisaient pas. Une valeur seuil de temps inter-détections de 10 minutes (en absence de son sur les données continues) a été déterminée automatiquement, par une méthode décrite en Annexe 7.2. Cette durée est estimée comme étant assez longue pour considérer que les nouveaux signaux sont produits par de nouveaux groupes/passages.

À partir de ces événements de présence ainsi définis, des spectrogrammes d'une minute sont réalisés sur la bande de fréquence 1-40 kHz, afin de caractériser la production de clics d'écholocalisation associée et notamment la présence de « buzzes » (Figure 17), décrits comme une accélération des taux de clics (Madsen 2004).

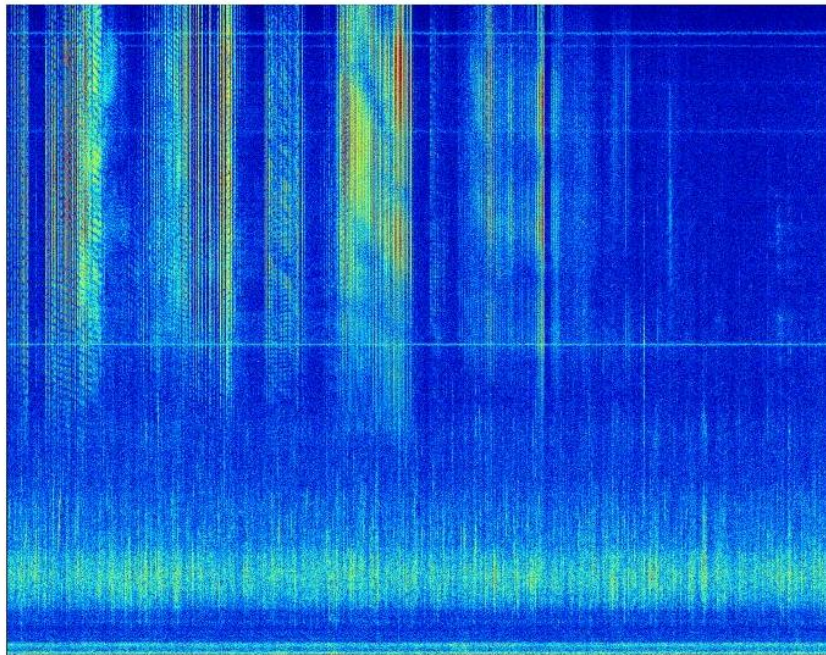


Figure 17. Exemple d'un spectrogramme d'une minute sur la bande de fréquence 1 à 40 kHz, avec présence de buzzes de dauphins.

3.5.3.4 Analyse des données de présence

Les temps de détection sont ensuite convertis en *temps positifs*, c'est-à-dire en nombre d'unité temporelle comprenant une présence (détection ou événement de présence défini, cf. section 7.2), ainsi que le pourcentage (défini comme le ratio entre le nombre d'unité de *temps positifs*/ le nombre d'unité de temps total du déploiement), et ce à différentes échelles temporelles :

- Minutes positives (nombres de minutes comprenant au moins une détection) ;
- Heures positives (nombres d'heures comprenant au moins une détection) ;
- Jours positifs (nombres de jours comprenant au moins une détection).

Ces métriques sont estimées par station, et par groupe d'espèces.

3.5.3.4.1 Fréquentation journalière

Des diagrammes en barre, montrant le nombre d'heures positives par jour, sont réalisés pour illustrer l'occurrence des présences acoustiques enregistrées sur la totalité du suivi au sein de chaque station. La fréquentation de la zone par les marsouins et les delphinidés est ensuite catégorisée via 6 niveaux de présence, définis lors de l'état de référence (Chompret et Clorennec, 2022) :

Tableau 5. Définition de la fréquentation par les mammifères marins (Chompret et Clorennec 2022).

Fréquentation	Caractéristiques	
	Périodes de détections	Taux de présence sur la période d'étude (en % de jours positifs)
Quotidienne	Une période de détections tous les jours (en tolérant quelques absences ponctuelles possibles)	>90%
Fréquente	Une période de détections minimum tous les 2 à 4 jours	70 à 90%
Régulière	Une période de détections minimum tous les 5 jours ou plus	50 à 70%
Occasionnelle	Périodes de détections irrégulières dans le temps	10 à 50%
Exceptionnelle	Une ou deux périodes de détections sur la période d'étude	<10%
Absente	Aucune détection sur la période d'étude	0%

3.5.3.4.2 Fréquentation horaire

Des diagrammes en rosace sont également générés pour décrire de manière relative les heures de la journée durant lesquelles ces vocalises sont enregistrées.

3.5.3.4.3 Description des évènements acoustiques

Enfin, chaque évènement de présence de delphinidés est caractérisé en termes de durée (moyenne \pm écart type, et durée maximale), et de type de vocalises émises (pourcentage de minutes positives avec une production de « buzzes » et pourcentage de minutes positives avec production de sifflements). Les distributions statistiques de ces métriques sont présentées par station, sous forme de diagrammes en violon (Figure 18). Cette représentation illustre la densité de probabilité des pourcentages de minutes positives avec présence de vocalises, permettant ainsi de visualiser la distribution des données. Ce diagramme permet donc de décrire la dispersion des valeurs et de révéler notamment plusieurs modes sur la forme de la distribution (ce qu'un diagramme en boîte, aussi appelé *boxplot*, ne permet pas toujours de révéler, cf. Figure 18).

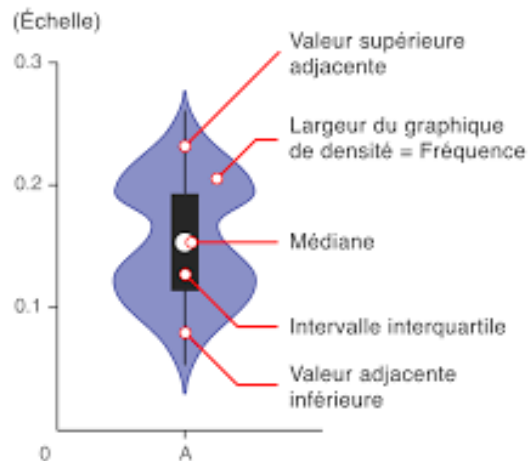


Figure 18. Schéma⁵ d'un diagramme en violon en comparaison avec un diagramme en boîte (boxplot).

Pour chaque évènement est informé à quel moment de la journée la présence a eu lieu parmi les trois périodes suivantes :

- **Jour** : défini à partir du lever du soleil jusqu'au coucher du soleil, soit à partir de 0° vis-à-vis de l'horizon ;
- **Aube ou Crépuscule** nautique : définit lorsque le soleil est situé entre 0° et 12° sous l'horizon ;
- **Nuit** : définit lorsque le soleil se trouve en dessous de 12° sous l'horizon.

Finalement, le nombre d'évènements de présence est estimé en pondérant par le nombre heures d'enregistrement obtenues pour chacune des 3 périodes (nombre d'heures de jour, de nuit et d'aube / crépuscule) au cours du déploiement.

⁵ Figure issue de « *The Data Visualisation Catalogue* »
https://datavizcatalogue.com/FR/methodes/diagramme_en_violon.html

4 Résultats

4.1 Données acquises

Un total de plus de 4 mois de données acoustiques ont actuellement été obtenus pour les 3 stations. Ces données permettent de répondre aux objectifs du second suivi sur la période du 23 avril au 31 août 2024, incluant la description du bruit ambiant et le suivi de la fréquence de la zone par les mammifères marins.

4.2 Caractérisation du bruit ambiant

La Figure 17 présente la série temporelle de bruit ambiant ($SPL_{RMS(5\%)}$) des trois stations ainsi que les variations des conditions environnementales moyen. Les variations des conditions environnementales pour chaque station sont représentées en annexe Figure 36. Les points rouges représentent les niveaux résultants de l'application du filtre médian au niveau basal à une vitesse de courant faible de 0.2 m/s. Les sections grisées sur S1 et S2 représentent l'absence de données provoquées par la corruption des cartes micro SD.

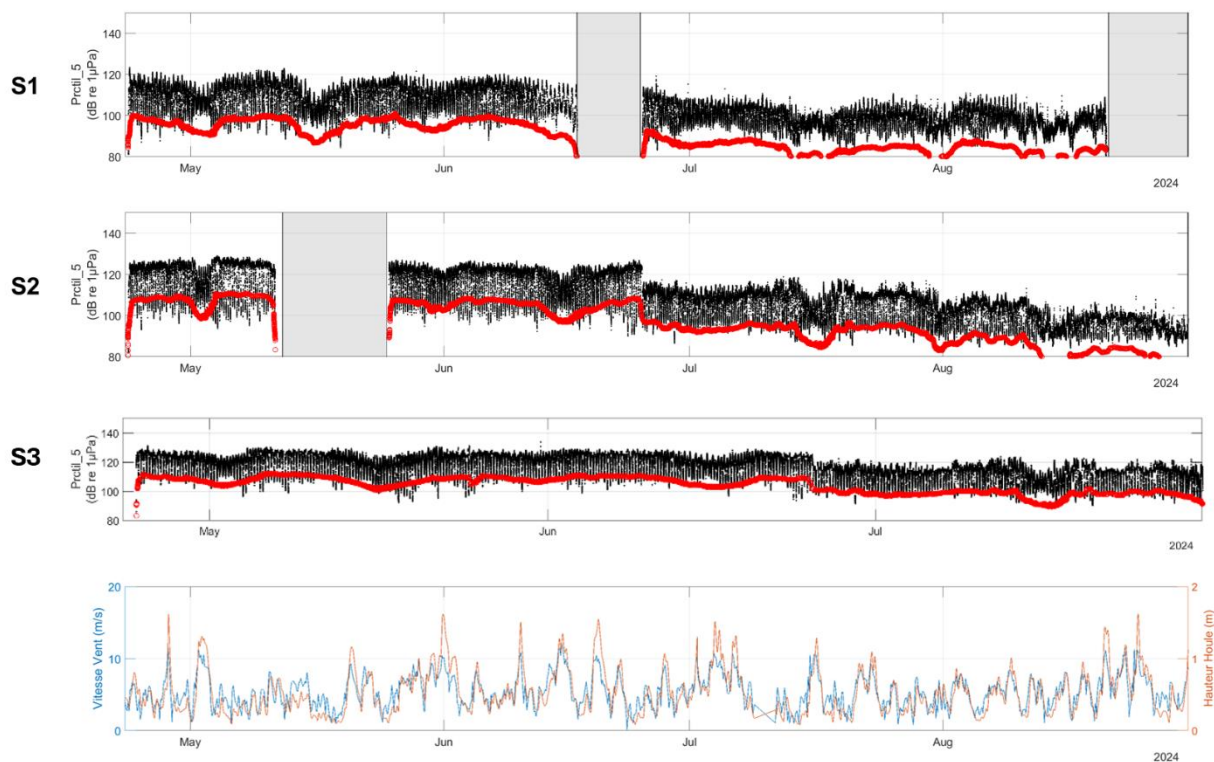


Figure 19. Suivi temporel des niveaux de bruit ambiant $SPL_{rms(5\%)}$ (en noir) et du filtre médian (rouge) et variations des conditions environnementales (vitesse du vent et hauteur de la houle) sur la période de suivi aux trois stations. Les représentations de S1 et de S2 sont du 23 avril au 31 août. La représentation de S3 est du 23 avril au 31 juillet.

Le niveau moyen de bruit ambiant ($SPL_{rms(5\%)}$) est estimé à 112,0 dB re 1 μPa pour la station S1, à 113,0 dB re 1 μPa pour la station S2 et à 112,8 dB re 1 μPa pour la station S3 avec des variations sur les niveaux médians mensuels de bruit ambiant (Tableau 6, Figure 18).

Tableau 6. Récapitulatif des niveaux médians de bruit ambiant ($SPL_{rms(5\%)}$) par station et par mois en 2024.

Niveaux sonores médians (dB re 1μPa)	Avril (8 jours de données)	Mai	Juin	Juillet	Aout	Moyenne par Station
S1	110.7	112.2	111.9	112.9	112.5	112.0
S2	113.4	112.7	112.2	113.8	113.1	113.0
S3	112.0	111.9	113.2	114.1	-	112.8
Moyenne par mois	112.0	112.3	112.4	113.6	112.8	

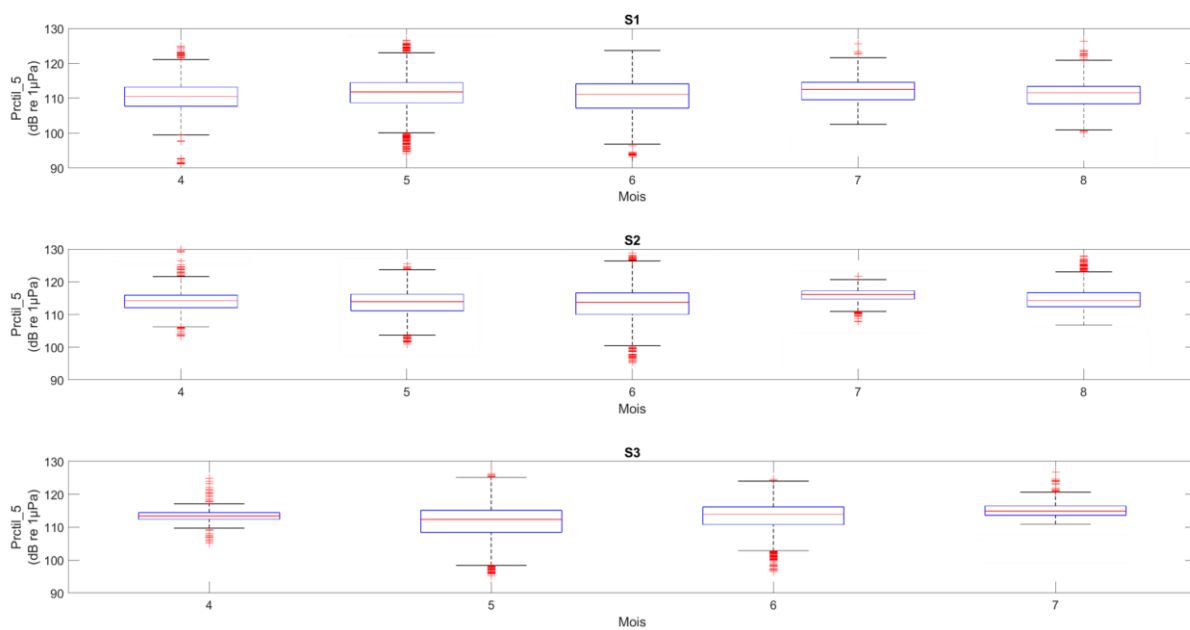


Figure 20. Comparaisons mensuelles des niveaux de bruit ambiant $SPL_{rms(5\%)}$.

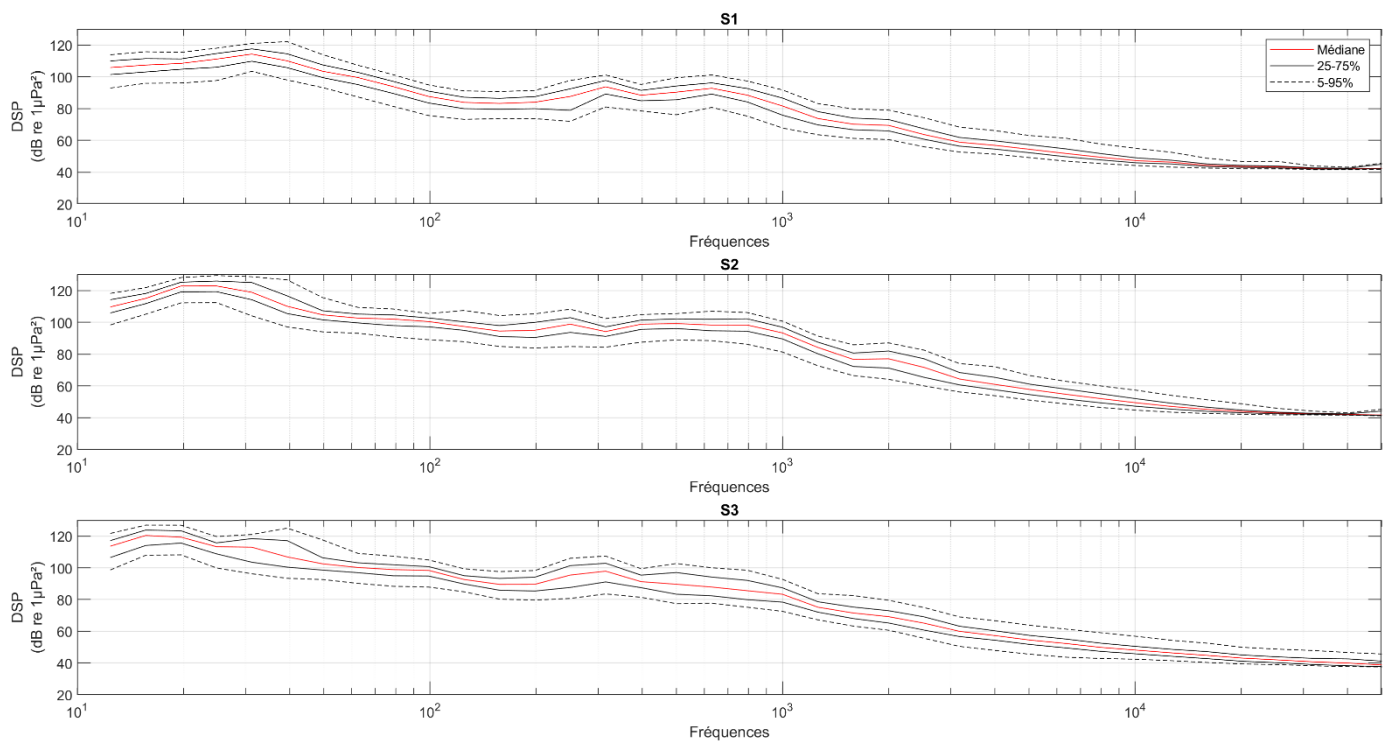


Figure 21. Densité spectrale de puissance sur les trois stations

4.2.1 Géophonie

Les variations temporelles du bruit ambiant médian (filtre médian appliqué au $SPL_{rms(5\%)}$; cf Section 3.5.2.3) visible sur la Figure 19 suivent une tendances similaire aux variations des conditions environnementales (vent et houle) au cours du temps. Cette relation est confirmée par les régressions linéaires entre le bruit ambiant et la vitesse du vent ou la hauteur de la houle sur les stations S1, S2 et S3 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ces régressions révèlent une corrélation positive (pentes positives pour les deux régressions), et indiquent qu'entre 20% et 15% de la variance du bruit médian ambiant est expliqué par ces deux variables environnementales ($R^2=0,20$ pour la hauteur de la houle, et $R^2=0,15$ pour la vitesse du vent, cf (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)).

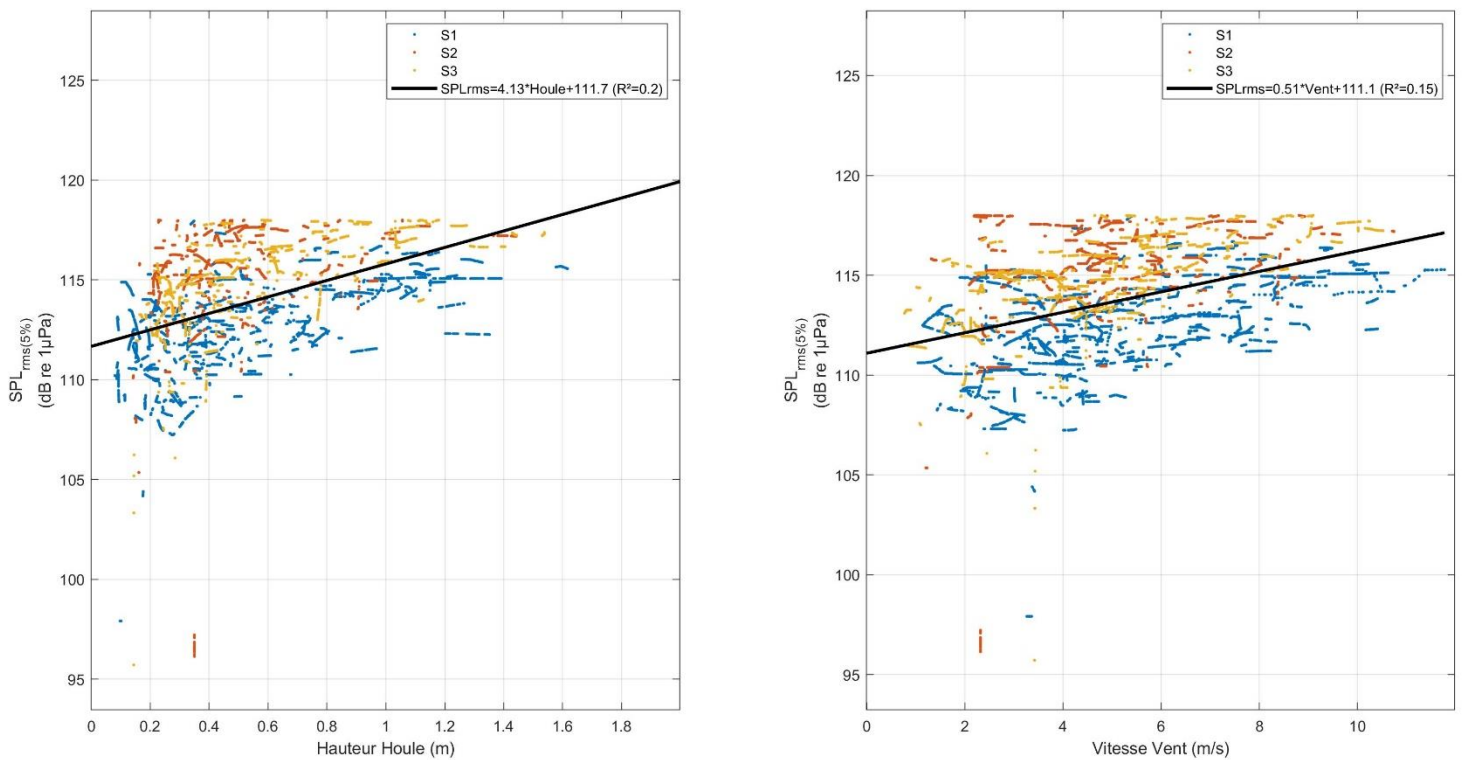


Figure 22. Régression linéaire entre les niveaux médians $SPL_{rms(5\%)}$ estimés sur les trois stations et les conditions environnementales associées.

4.2.2 Anthropophonie

Après une vérification des spectrogrammes, les variations intenses et de courtes durées du bruit ambiant Figure 19 et caractérisées par de forts écarts à la médiane, sont des passages de navires dans plus de 92% des cas (Figure 23 a). 8 % des fausses détections sont induites par la ligne de mouillage lorsque la mer est agitée (houle supérieur à 1.25m). Les bruits de navires détectés sont composés d'un son continu basse fréquence (les fréquences reçues dépendent de la distance au navire) et de sons impulsifs (Figure 21 b).

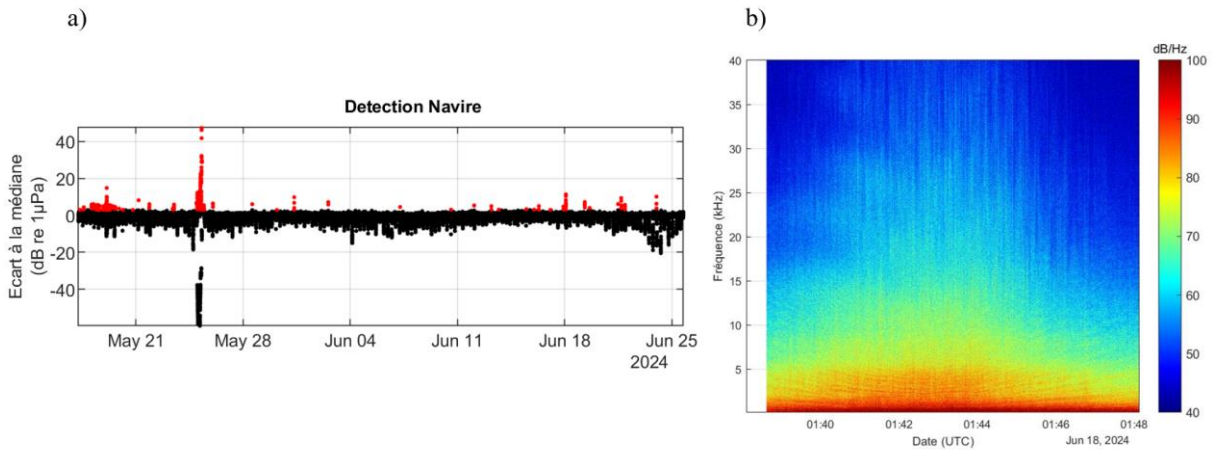


Figure 23. a) Exemple de détections acoustiques de passages de navire (en rouge), basées sur l'écart à la médiane, et b) vérification par spectrogrammes de la signature acoustique d'un navire.

Les taux de détections acoustiques de ces passages de navires varient significativement en fonction des mois (Figure 24), expliquant en partie les variations des niveaux de bruit observées (Figure 18 et Tableau 6). Passé le mois d'avril, les détections sont plus importantes pour les trois stations avec une prédominance dans les détections pour S2 et S3. Cela peut être expliqué par une météo plus propice à la navigation.

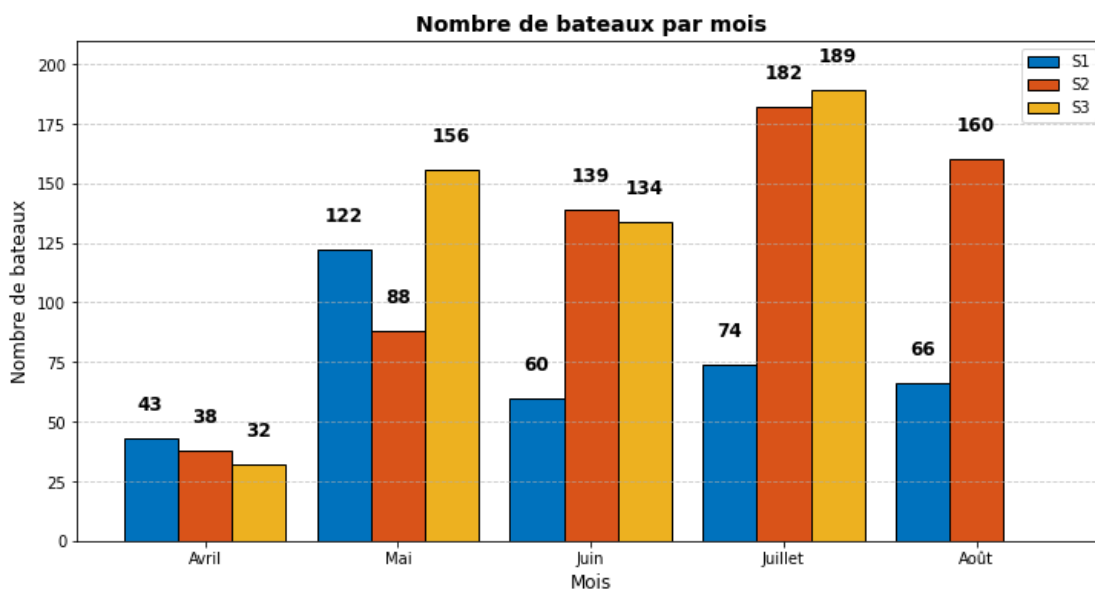


Figure 24. Détection acoustique de passages de navires au cours des mois sur les trois stations.

4.3 Fréquentation de l'aire d'étude par les cétacés

4.3.1 Présence de delphinidés (grands dauphins et dauphins communs)

Des vocalises de delphinidés, incluant des clics et des sifflements (Figure 25), ont été enregistrés sur les 3 stations tout au long de ce suivi (Figure 26).

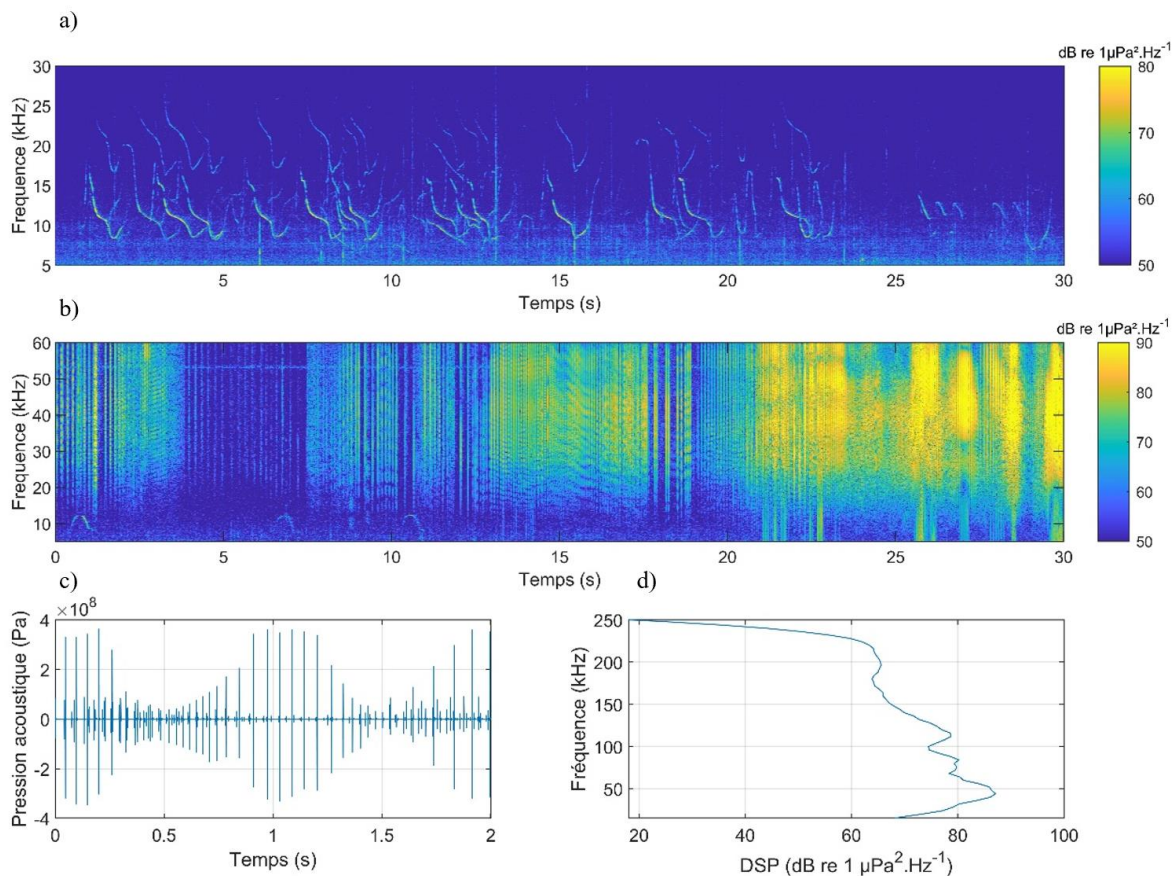


Figure 25 . Spectrogrammes de vocalises de delphinidés incluant des (a) sifflements enregistrés sur la station S3 le 30 avril 2024 et (b) des clics d'écholocation (dont des « buzzes ») enregistrés sur S2 le 26 juin 2024. Les figures c et d représentent respectivement un oscillogramme (c) et un spectre de puissance d'un buzz (d).

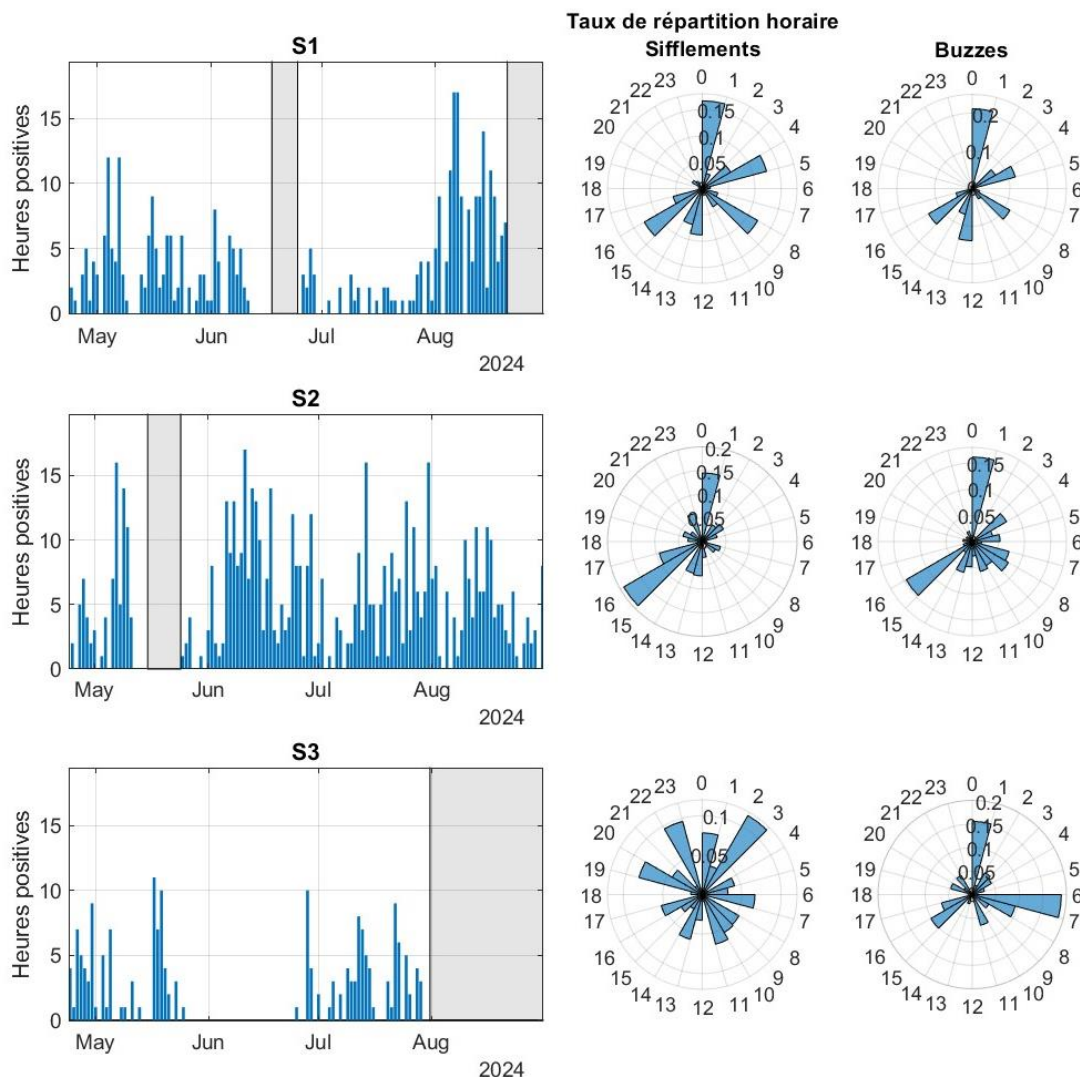


Figure 26. Occurrences des présences acoustiques de delphinidés sur les trois stations représentées par le nombre d'heures positives par jour (diagrammes en barre) et de la répartition horaire des détections acoustique (diagrammes en rose, heure en UTC, voir Annexe 7.5.1 pour les répartition horaires par mois).

Entre 232 et 774 évènements de présence ont été détectés entre les 3 stations avec des durées moyennes variant de 485 à 617 secondes et des durées maximales variant entre 1.5 h et 3.5 heures (Tableau 7). Ces évènements de présences sont répartis sur 72% des jours d'enregistrements pour S1 (soit une fréquentation fréquente) de 87% pour S2 (c.-à-d. fréquentation fréquente) et de 46% pour S3 (c.-à-d. fréquentation occasionnelle). Les nombres d'heures positives par jours révèlent une activité plus forte autour de S2 que sur les autres stations, avec de nombreuses journées dont la présence acoustique dépasse les 12h (soit plus de la moitié de la journée), sauf pour la fin de l'été (en août) ou on observe des taux de présence similaire sur S1 (Figure 26). Sur les stations S1 et S2, la répartition horaire des détections montre une activité acoustique légèrement prédominante la nuit et à l'aube ou au crépuscule que de jour, tandis que sur S3 aucune tendance ne semble se dessiner (Figure 26 et Figure 27). Au cours du suivi, les taux de détections diminuent légèrement sur S1 de avril jusqu'à fin juillet, avec une fréquentation fréquente (73% de jours positifs) sur la période printanière (24 avril au

20 juin), mais remontent en août, présentant ainsi également une fréquentation fréquente (70% de jours positifs) sur la période estivale (21 juin au 31 août, cf. Annexe 7.5.1). Pour la station S2 les taux de détections sont élevés tout au long du suivi avec une fréquentation augmentant légèrement entre le printemps, avec une fréquentation (78% de jours positifs), et l'été où la fréquentation est quotidienne (90% de jours positifs, cf. Annexe 7.5.1). Enfin autour de la station S3, on observe une absence notable de détection en juin, avant le début de l'été, ce qui explique un pourcentage de jours positifs plus faible par rapport aux autres stations. En particulier, la fréquentation au printemps est occasionnelle avec 37 % de jours positifs. En revanche, en été, la fréquentation autour de S3 devient plus régulière, atteignant 56 % de jours positifs (cf. Annexe 7.5.1).

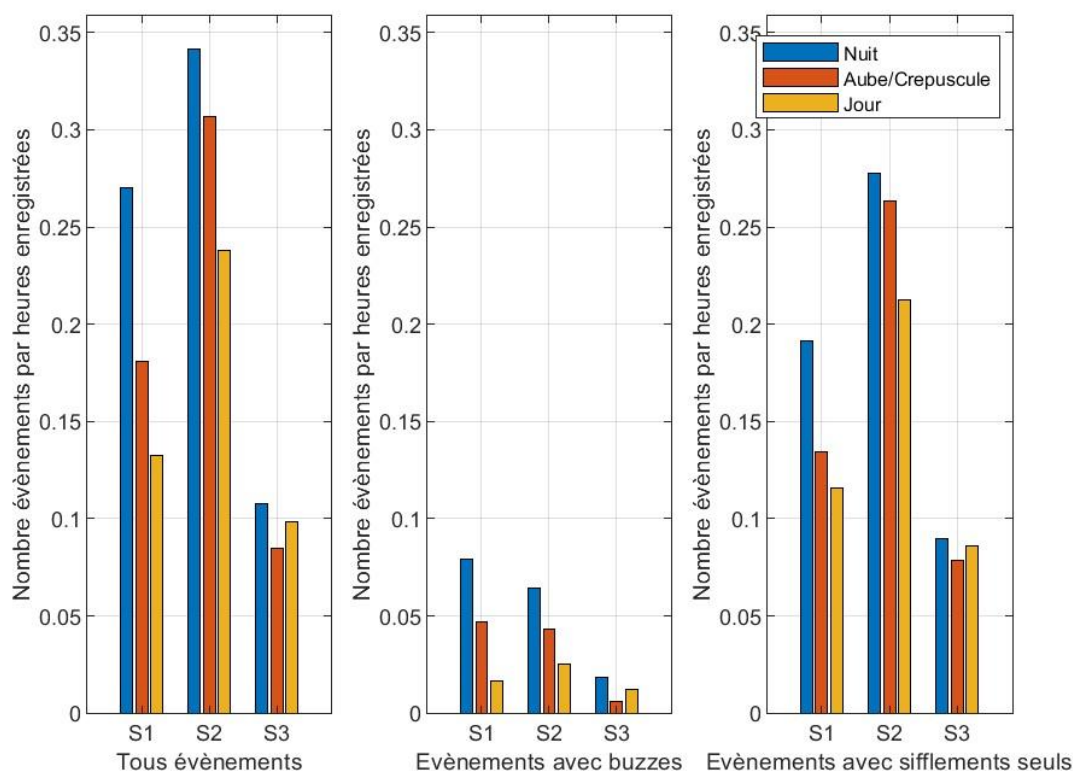


Figure 27. Comparaison entre les stations du nombre d'événements de présence acoustique de delphinidés par heures d'enregistrement, pour les 3 différentes périodes journalières : Jour, Nuit et Aube - Crépuscule.

Concernant les comportements acoustiques, on observe entre de 32% (sur S3) à 64% (sur S2) des événements de présence avec production de buzzes. Toutefois, on observe de manière générale, la même répartition horaire entre la production de buzzes et de sifflements pour les stations S1 et S2, tandis que sur S3 on semble avoir deux périodes prépondérantes pour la production de buzzes : soit dans la nuit (2h, UTC+2), soit en journée 9h (UTC+2), n'entraînant pas de différence jour/nuit (Figure 26 et Figure 27).

En se focalisant par évènement de présence, le taux de production de ces signaux sont relativement faibles (entre 7 et 29 % de minutes positives à produire soient des buzzes soient des sifflements, cf. Tableau 7). On observe en effet sur les densités de probabilité de la Figure 28 que les distributions des pourcentages de minutes positives tendent vers des valeurs faibles avec des modes inférieurs à 25%. Ces modes⁶ correspondent à une forte probabilité d'obtenir des évènements avec moins de 25% du temps passé à produire des signaux (sifflements ou buzzes). Il existe toutefois des modes entre 75 et 100 % de minutes positives correspondant à une augmentation de la probabilité d'obtenir des évènements acoustiques avec de fort taux de production de signaux (essentiellement pour les sifflements, cf. Figure 28).

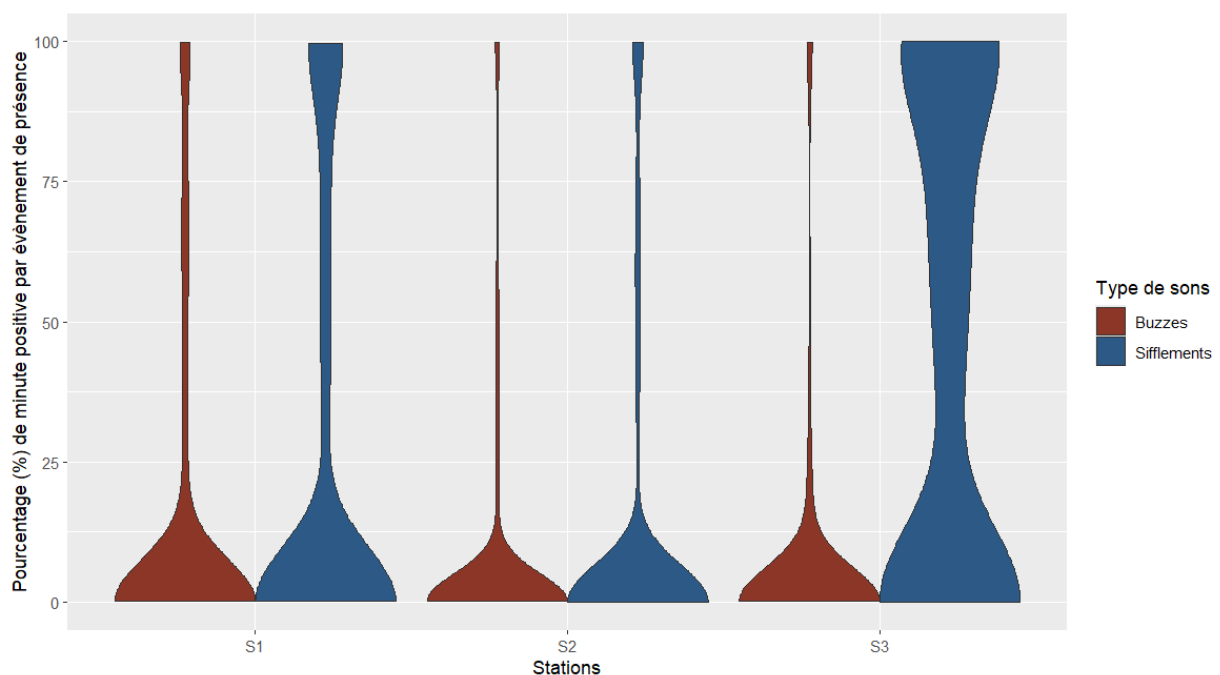


Figure 28. Densités de probabilité des pourcentages de minutes positives avec présence de buzzes (rouge) et avec présence de sifflements (bleu), représentées sous forme de diagrammes en violon par station. Ces diagrammes permettent de décrire la distribution des pourcentages de minutes positives par évènement de présence, ainsi une augmentation des courbes révèle donc une augmentation de la probabilité d'observer ces valeurs.

⁶ Un mode correspond à une augmentation de la densité de probabilité (observable par une largeur du diagramme en violon plus importante), et signifie que ces valeurs (ici pourcentage de minute positive) sont plus fréquentes que pour les autres valeurs (dont le diagramme est moins épais). Ici la présence de deux modes signifie qu'il y a de fortes probabilités d'avoir :

i) soit des évènements avec une forte production de buzzes (>75% de minutes positives à produire des buzzes) ;
ii) soit des évènements avec une production de buzzes quasi nul (<25% de minutes positives) et donc ces évènements seraient plutôt caractérisés par de la production de sifflement.



Tableau 7. Résumé des détections de delphinidés (voir Annexe 7.5.1 pour les résumés par saison : printemps et été).

<i>Station</i>	<i>Minutes Positives⁷</i>	<i>Heures positives</i>	<i>Jours positifs</i>	<i>Nombre d'évènement de présence</i>	<i>Durée moyenne des évènement (± écart type, en secondes)</i>	<i>Durée maximale en minutes</i>	<i>Nombre d'évènement avec buzz (% d'évènement)</i>	<i>Pourcentage de minutes positives avec buzzes lors des évènements</i>	<i>Pourcentage de minutes positives avec sifflements lors des évènements</i>	<i>Fréquentation</i>
S1	4839 (4%)	359 (14%)	80 (72%)	450	586 ± 1116	213	92 (43%)	24%	22%	Fréquente
S2	8735 (7%)	616 (22%)	104 (87%)	774	617± 1127	164	105 (64%)	12%	10%	Fréquente
S3	2107 (2%)	182 (8%)	45 (46%)	232	485±844	92	30 (32%)	7%	29%	Occasionnelle

⁷ Minutes positives de présence des évènements acoustiques comme définies dans la section 3.5.3.3 et l'Annexe 7.2.

4.3.2 Présence des marsouins

Des trains de clics de marsouins ont été enregistrés sur les 3 stations lors de ce suivi (Figure 29.a). Les caractéristiques de ces clics correspondent à celles décrites dans la littérature scientifique avec une fréquence principale avoisinant les 130 kHz (Figure 29.c), une bande de fréquence étroite, et une durée de l'ordre de la centaine de microsecondes (Figure 29.b).

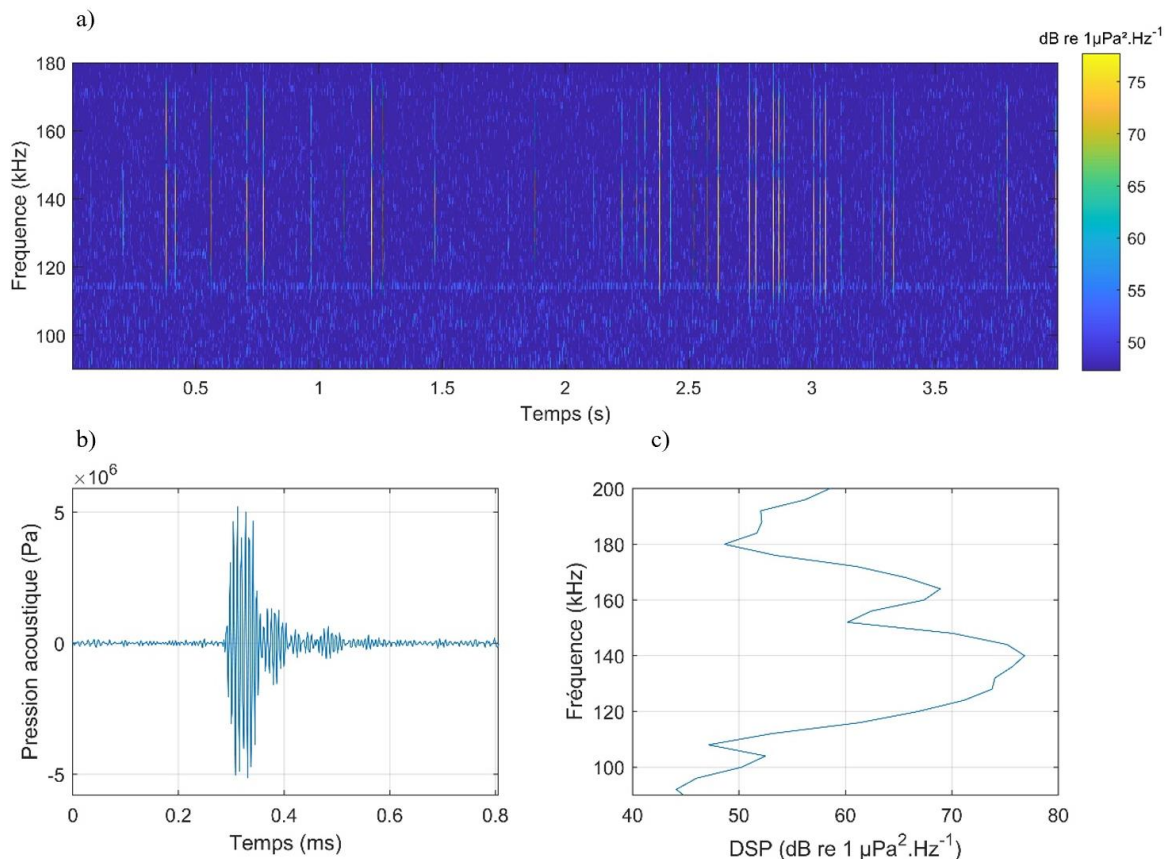


Figure 29. Spectrogramme (a) d'un train de clics de marsouin enregistrés par la station S1 le 1^{er} juin 2024. Les figures b et c présentent respectivement un oscillogramme (b) et un spectre (c) d'un des clics visibles sur le spectrogramme.

Les détections acoustiques de marsouins sont réparties entre 51 et 199 évènements de présence sur les 3 stations, avec des durées moyennes variant de 1 à 2 minutes et des durées maximales variant entre 10 et 32 minutes (Tableau 8). Une fréquentation régulière des marsouins est observée acoustiquement autour de la station S1 et une fréquentation occasionnelle sur les stations S2 et S3 au cours de ce suivi, avec respectivement 54%, 44% et 37% des jours d'enregistrement présentant au moins une détection de train de clics (Tableau 8). La présence journalière est plus élevée sur les deux stations S1 et S2 que sur la station S3, avec notamment un nombre d'heures positives plus importantes au mois de mai que sur les autres mois de suivi. On note en effet des taux de détections acoustiques plus importantes sur la période printanière (avant avril-juin) que sur la période estivale (fin juin-août) pour les stations S1 et S2, avec des fréquentations respectives au printemps : fréquente (71%) et régulière (57% de jours positifs, cf Annexe 7.5.2). Quant à S3 la fréquentation ne varie pas entre les deux périodes et reste ainsi occasionnelle (Annexe 7.5.2). On remarque alors sur la période printanière des taux de détections plus importante quand on s'approche de la côte et plus faible quand on s'en éloigne.

La répartition horaire des détections acoustiques de marsouins indique une légère prédominance de l'activité acoustique dans la nuit entre 2h et 3h (UTC+2) sur S2 et S3 mais aucune tendance ne ressort clairement sur S1 (Figure 30). Toutefois, les détections révèlent une légère prédominance des événements acoustiques à l'aube ou crépuscule que de jour ou de nuit sur S1 (Figure 31). Pour S2 on détecte plus de présence le jour et à l'aube ou crépuscule que de nuit (Figure 31). Quant à S3 les taux de détections sont similaires quelques soient la période de la journée (Figure 31).

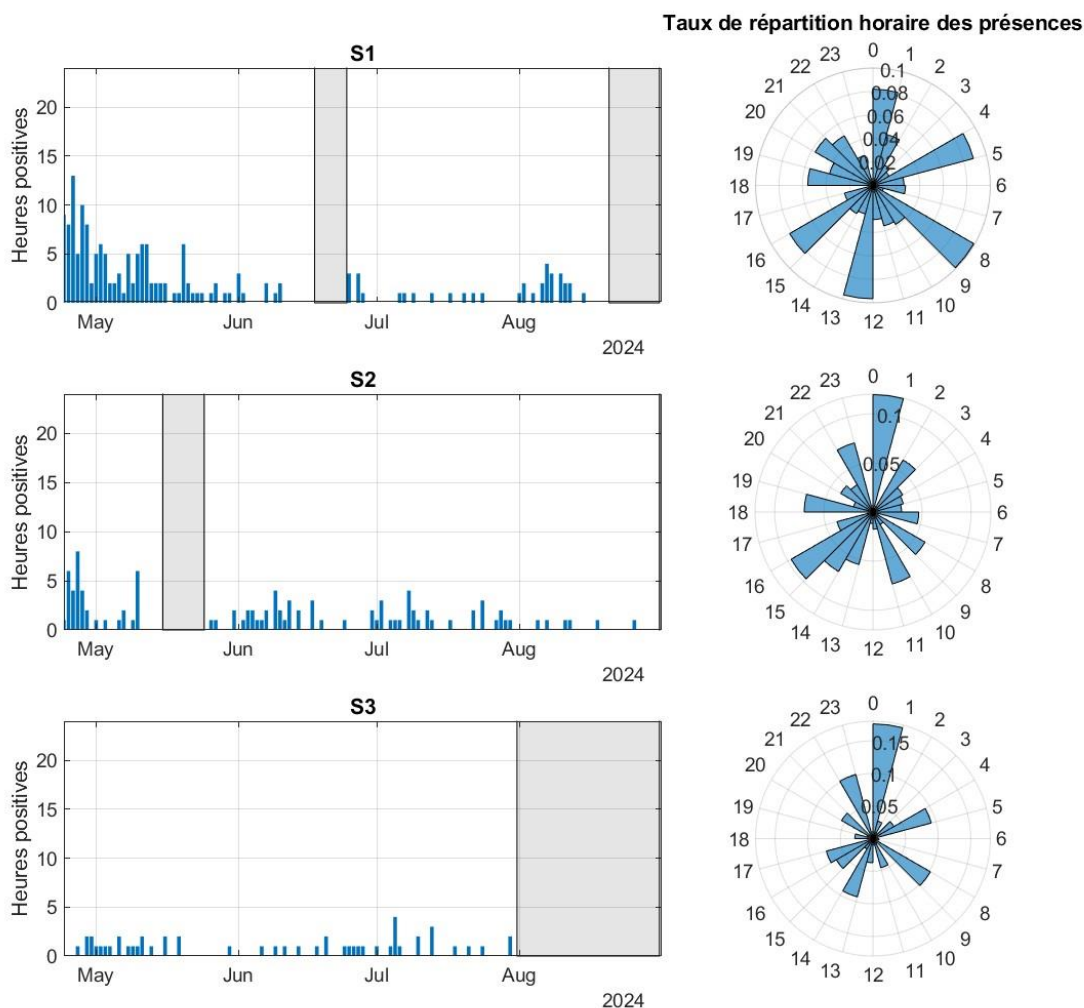


Figure 30. Occurrences des présences acoustiques de marsouins sur les trois stations représentées par le nombre d'heures positives par jour (diagrammes en barre) et de la répartition horaire des détections acoustiques (diagrammes en rosace, heure en UTC, voir Annexe 7.5.2 pour les répartitions horaires par mois).

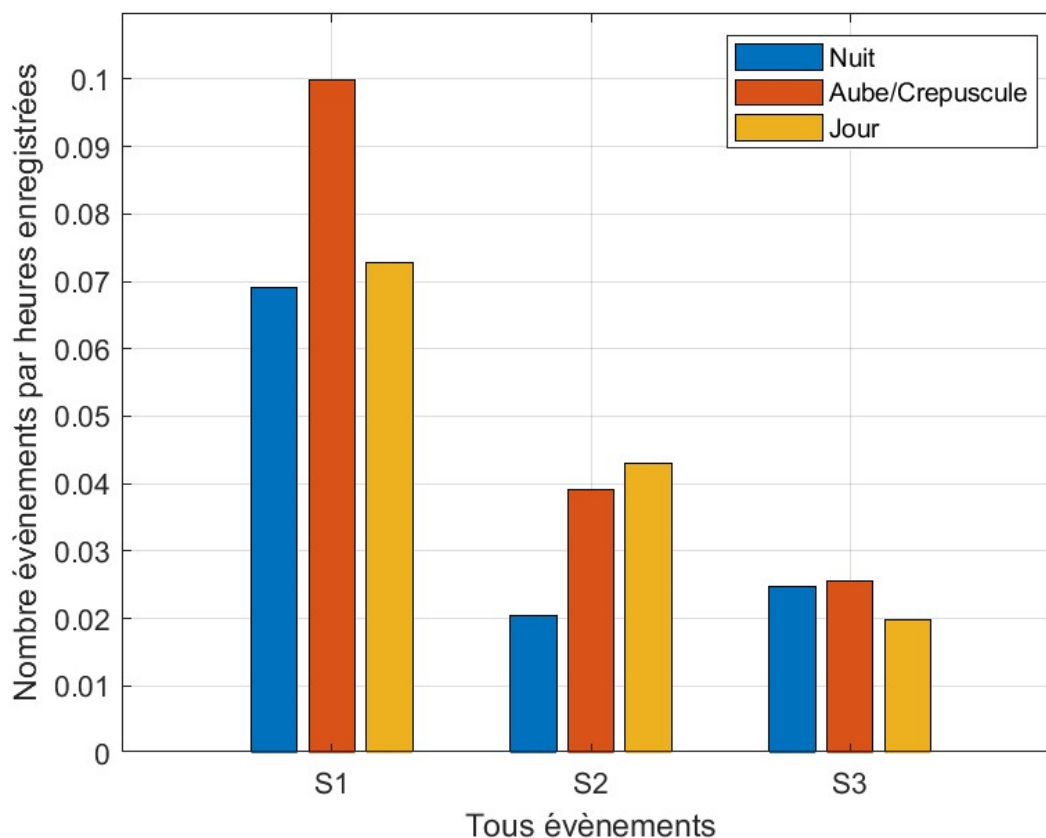


Figure 31. Comparaison entre les stations du nombre d'évènements de présence acoustique de marsouins par heures d'enregistrement, pour les 3 différentes périodes journalières : Jour, Nuit et Aube - Crépuscule.

Tableau 8. Résumé des détections de marsouins (voir Annexe 7.5.2 pour les résumés par saison : printemps et été).

Station	Minutes Positives	Heures positives	Jours positifs	Nombre d'évènement de présence	Durée moyenne des évènement (± écart type, en secondes)	Durée maximale en minutes	Fréquentation
S1	367 (0,3%)	174 (7%)	60 (54%)	199	105 ±230	32	Régulière
S2	183 (0,14%)	103 (4%)	53 (44%)	105	69 ±104	11	Occasionnelle
S3	85 (0,08%)	51 (2%)	37 (37%)	51	75 ±126	13	Occasionnelle

5 Discussion

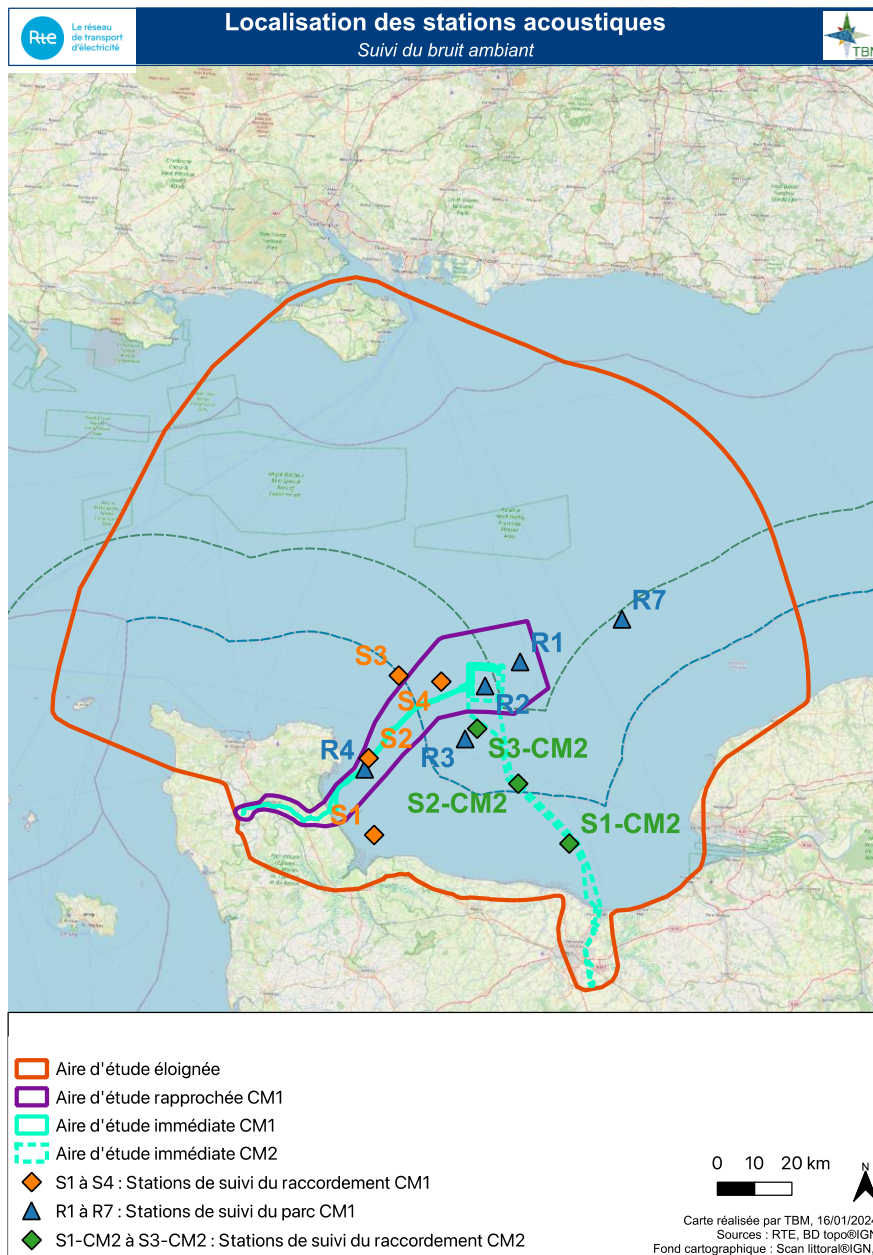


Figure 32. Comparaison des localisations des stations acoustiques de SOMME déployées entre 2022 et 2024 et de celles de Quiet-Oceans citées dans ce rapport (Bellanger et al., 2024), et déployées lors de l'état de référence

5.1 Bruit ambiant

Les niveaux médians de bruit ambiant ($SPL_{rms(5\%)}$) varient entre 112.0 dB pour S1 et 112.8 dB / 113 dB pour les stations S3 et S2. Ces niveaux sont légèrement supérieurs mais restent cohérents avec ceux relevés pour la première mise à l'eau sur la stations S1 qui avait un niveau médian de bruit ambiant ($SPL_{rms(5\%)}$) de 108.6 dB avec un maximum de 110,6 dB en août 2023 (Richard *et al.* 2023, cf. Tableau 11). Cette différence peut être expliquée par des épisodes de mer agitée (supérieur à 1.25 m de hauteur de houle sur l'échelle de Douglas) plus réguliers notamment en juillet (Voir figure 31 en Annexe section 7.1) influant légèrement plus sur le mouillage.

Les variations temporelles des niveaux médians du bruit ambiant s'expliquent par les mêmes sources sonores prédominantes du paysage acoustique décrites dans les différents rapports de la zone (Chompret et Clorennec, 2022, Bellanger *et al.* 2023 ; Retailleau *et al.* 2023), provenant des conditions météorologiques (agitation de surface, vent, pluie) ainsi que des bruits de navires.

Cette dernière composante anthropique semble notamment pouvoir expliquer l'augmentation du niveau de bruit ambiant ($SPL_{rms(5\%)}$) entre avril (110,7 dB re 1 μ Pa) et juillet (112,9 dB re 1 μ Pa) pour S1 avec une augmentation du taux de détection de navire passant de 43 navires par mois en avril à 73 en juillet. Cette augmentation d'activité maritime s'explique notamment par l'augmentation de l'affluence des navires de plaisance en début de période estivale, dont les pêcheurs amateurs explorant les épaves à proximité de S1 (Figure 33). Ce phénomène est également marqué pour S2 et prédominant pour la station S3 avec une augmentation du niveau de bruit ambiant ($SPL_{rms(5\%)}$) entre avril (112,0 dB re 1 μ Pa) et juillet (114,1 dB re 1 μ Pa) avec une augmentation du taux de détection de navire passant de 32 navires par mois en avril à 189 détections de navires en juillet. Le phénomène se maintient pour le mois d'août avec un niveau de bruit ambiant médian de 112.5 dB re 1 μ Pa pour S1 (avec 66 détections de navires) et de 113.1 dB re 1 μ Pa pour S2 (avec 160 détections de navires).

Concernant les différences entre les trois stations, Les stations S2 et S3 présentent généralement des niveaux de bruit ambiant moyen ($SPL_{rms(5\%)}$) pour ces quatre mois relativement similaire avec un niveau de bruit ambiant de 113.0 dB re 1 μ Pa pour S2 et un niveau de bruit ambiant de 112.8 dB re 1 μ Pa S3 contrairement à S1 qui présente un niveau de bruit ambiant moyen plus faible de 112.0 dB re 1 μ Pa. Cette différence est expliquée par les conditions environnementales plus clémente sur S1 (faible bathymétrie) et un trafic maritime plus faible sur cette station.

Les détections acoustiques des passages de navires ne sont pas exhaustives dans ce rapport, les détections étant basées sur des pics d'énergies, seuls les passages en champ proche sont retenus. La détermination d'un rayon de détection nécessiterait l'accès aux positions AIS. Cependant la méthode étant commune entre les enregistrements acoustiques, elle permet une description relative de l'anthropophonie sur les différentes stations et entre les mois de suivi.

Le tableau Tableau 9 présente la comparaison des niveaux médians de bruit ambiant estimés dans ce rapport (pour le raccordement CM2) avec les niveaux estimés sur d'autres stations et à d'autres saisons en zone centre manche. Par souci de cohérence commune, la métrique utilisée est le ($SPL_{50-40000Hz}$, dB re $1\mu Pa^2$).

Ainsi, la station S1 présente un niveau médian de bruit ambiant moyen de 112.7 dB re $1\mu Pa^2$ au printemps et un niveau médian de bruit ambiant moyen de 113.8 dB re $1\mu Pa^2$ en été. Cette dernière valeur est légèrement supérieure à celle mesurée sur cette même station lors de la campagne de mesure de 2023.

La station S2 présente quant à elle un niveau médian de bruit ambiant moyen de 113.5 dB re $1\mu Pa^2$ au printemps et un niveau médian de bruit ambiant moyen de 115.2 dB re $1\mu Pa^2$ en été.

Pour terminer, la station S3 présente un niveau médian de bruit ambiant moyen de 113.8 dB re $1\mu Pa^2$ au printemps et un niveau médian de bruit ambiant moyen de 115.7 dB re $1\mu Pa^2$ en été. Les niveaux sonores mesurés en été pour les stations S2 et S3 sont supérieurs aux niveaux sonores mesurés sur différents sites en centre manche. Les épisodes de mer agité ainsi qu'un trafic maritime relativement important peuvent expliquer ces mesures. En plus de cela, certaines vibrations engendrées par un état de mer agité peuvent provoquer des vibrations sur le mouillage impactant les niveaux sonores sur la bande fréquentielle mesurée de 50Hz-40000Hz. Les niveaux médians par mois de bruit ambiant de cette métrique sont présentés en annexe 7.4 sur le Tableau 13 et la Figure 39.

Tableau 9. Comparaison des niveaux médians de bruit ambiant estimés dans ce rapport (pour le raccordement CM2) avec les niveaux estimés sur d'autres stations et à d'autres saisons en zone centre manche (Figure 32), enregistrés lors des états de référence du parc éolien au large de la Normandie EMMN ($SPL_{50-40000\text{Hz}}$, dB re $1\mu\text{Pa}^2$) et de son raccordement CM1 (SPL_{rms} , dB re $1\mu\text{Pa}$). Les cases grises indiquent des périodes non suivies, les cases jaunes montrent des périodes sans données (chalutage, problème d'instrumentation) et les cases bleues indiquent des périodes en cours d'analyse.

Stations	Niveaux sonores	Hiver 2022	Printemps 2022	Été 2022	Automne 2022	Hiver 2023	Printemps 2023	Été 2023	Automne 2023	Hiver 2024	Printemps 2024	Été 2024
R1-EMMN	$SPL_{50-40000\text{Hz}}$ (dB re $1\mu\text{Pa}^2$)											
R2-EMMN	$SPL_{50-40000\text{Hz}}$ (dB re $1\mu\text{Pa}^2$)	112,9	113,6	112,2	113,2	113,1						
R3-EMMN	$SPL_{50-40000\text{Hz}}$ (dB re $1\mu\text{Pa}^2$)	110,5	110,5	107,2	110,7	111,0						
R4-EMMN	$SPL_{50-40000\text{Hz}}$ (dB re $1\mu\text{Pa}^2$)	104,3	103,3	105,6	106,2	104,5						
R7-EMMN	$SPL_{50-40000\text{Hz}}$ (dB re $1\mu\text{Pa}^2$)	111,5	110,9	111,3	111,6							
S1-CM1	SPL_{rms} (dB re $1\mu\text{Pa}$)		108,9		106,4							
S2-CM1	SPL_{rms} (dB re $1\mu\text{Pa}$)		107	106	107,9							
S3-CM1	SPL_{rms} (dB re $1\mu\text{Pa}$)		109,6	110,5	110,8							
S4-CM1	SPL_{rms} (dB re $1\mu\text{Pa}$)		108	107,1	111,3							
S1-CM2	$SPL_{50-40000\text{Hz}}$ (dB re $1\mu\text{Pa}^2$)							112,4			112,7	113,8
S2-CM2	$SPL_{50-40000\text{Hz}}$ (dB re $1\mu\text{Pa}^2$)										113,5	115,2
S3-CM2	$SPL_{50-40000\text{Hz}}$ (dB re $1\mu\text{Pa}^2$)										113,8	115,7

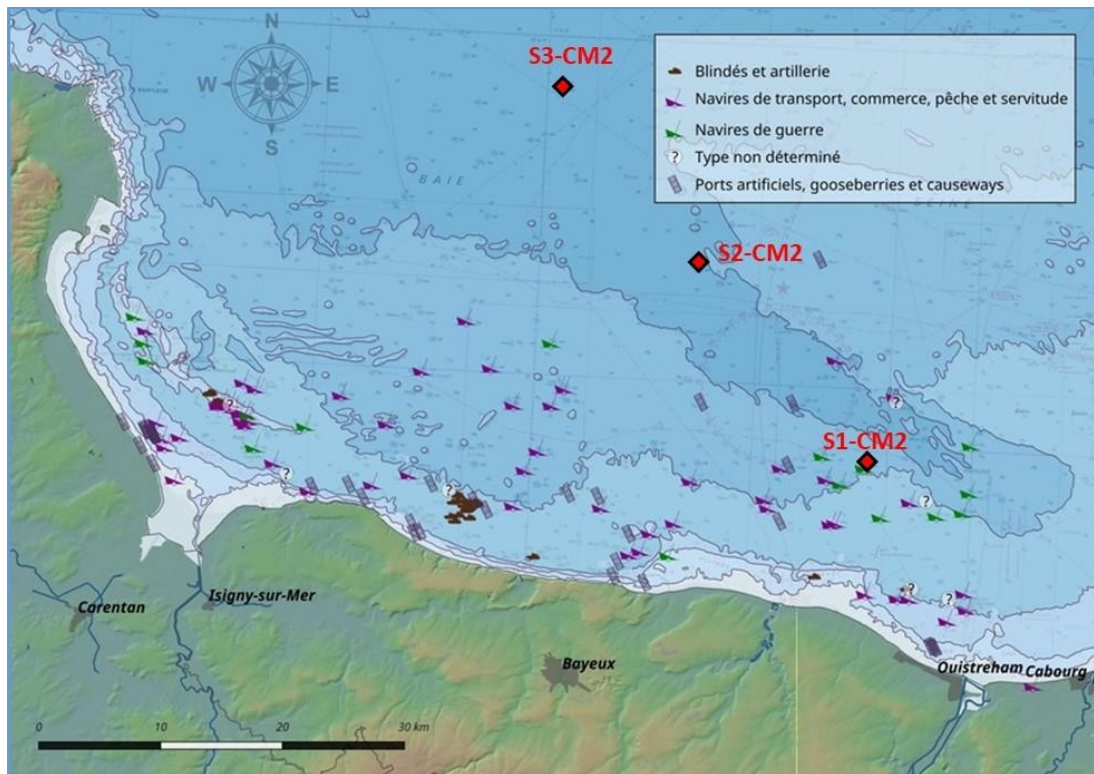


Figure 33. Emplacement et typologie des vestiges maritimes inventoriés en lien avec le Débarquement de Normandie (© Cartographie D. Dégez / DRASSM. Fonds cartographiques IGN BD ALTI et SHOM).

5.2 Fréquentation de la zone par les cétacés

5.2.1 Delphinidés

Les détections acoustiques de delphinidés ont été obtenues tout le long du suivi sur les trois stations, avec de plus fortes fréquentations autour des stations S1 et S2 qu' autour de la station S3 (CM2), avec une légère préférence pour l'habitat un peu plus au large (S2) que la station proche côte (S1).

La station S1-CM2 révèle une fréquentation fréquente sur cette station (la plus proche de la côte). Toutefois, on observe une forte augmentation de la présence à partir d'août, avec une fréquentation qui devient quotidienne (90% de jours positifs) et des jours dont le nombre d'heure positifs majoritairement supérieur à 6h, tandis qu'avant août le nombre d'heure positif est en moyenne inférieur à 6h. Sur cette période estivale on retrouve des niveaux d'occurrence de 70% de jours positifs, soit légèrement supérieur au 51% de jours positifs observé l'été 2023 sur la station S1-CM2 lors du précédent suivi (Richard *et al.* 2024 Figure 34), ainsi qu'aux 45% de jours positifs observés en août 2022 sur la station S2-CM1 (cf. Figure 32 et Figure 34) du suivi par acoustique passive des mammifères marins dans l'état initial de l'environnement pour le raccordement du parc EMMN (Retailleau *et al.* 2023, cf. Figure 34), ainsi que le suivi acoustique pour l'état de référence du projet de parc EMMN, avec un indice de présence mensuelle des delphinidés entre 15 à 30% sur la station R4 (proche de S2-CM1, Figure 32 et Figure 34) entre les mois d'avril et juillet pour 2022 et 2023 (Bellanger *et al.* 2024, cf. Figure 34). Ces observations sont aussi cohérentes avec les observations menées dans le cadre de l'état de référence du parc éolien en mer du Calvados en été et en automne 2021, rapportant une présence acoustique occasionnelle des delphinidés dans la zone d'implantation du parc du Calvados (Chompret et Clorennec, 2022).

La station S2-CM2 présente une forte activité acoustique des delphinidés, avec fréquentation fréquente (quotidienne en été) et avec un nombre d'heures positives par jour plus élevés que sur les autres stations. Les évènements obtenus autour de cette station présentent également des durées moyennes (environ 12 minutes) plus élevées que sur les autres stations et qui aurait lieu préférentiellement de nuit et à l'aube ou au crépuscule. Ces résultats suggèrent un habitat d'intérêt pour les delphinidés autour de cette station. Les observations sur S2 dans ce suivi présentent des taux de présence supérieurs aux observations sur les autres stations des autres suivis aux mêmes périodes (Bellanger et al. 2024, cf. Figure 34), mais déployées dans des zones différentes. Ainsi il serait possible que cette station S2 révèle une préférence spatiale dans cette zone pour la période suivie.

La fréquentation occasionnelle sur la station S3-CM2 de ce suivi est similaire aux taux de détections observées sur les stations R2 et R3 dont les indices de présence sont compris entre 10 et 50 % de jours positifs sur les mêmes mois de suivis (avril-juillet, cf. Figure 34). Cette faible fréquentation s'explique notamment par une absence de détection au mois de juin, tandis qu'en mai et juillet la fréquentation serait plutôt régulière. Il est intéressant de noter sur cette station que le nombre d'évènements acoustique ne varie pas en fonction du jour, de l'aube ou crépuscule et de la nuit. L'absence d'une préférence de période journalière pourrait suggérer que la station S3 serait plutôt sur une zone de passage que sur une zone d'alimentation des delphinidés, d'autant plus que les durées moyennes des évènements de présence acoustiques sont légèrement plus faibles que sur les autres stations.

Les détections acoustiques de delphinidés obtenues dans ce suivi sont également cohérentes avec les observations visuelles réalisées lors du suivi de la mégafaune marine de l'état initial du parc éolien de centre manche (Biotope 2024). En effet, dans l'aire d'étude éloigné (dans laquelle sont localisées les stations acoustiques de ce suivis), des observations de dauphins communs et de grands dauphins ont eu lieu au printemps (notamment en mai) et en été (Biotope 2024).

Lors des évènements de présence de delphinidés, des signaux de communication (sifflements) et des clics d'écholocalisation ont été enregistrés. Ces signaux acoustiques ne peuvent traduire avec certitude le comportement des delphinidés, mais peuvent toutefois être de bons indices sur l'activité potentielle des individus. En effet, les signaux de communication sont des indices pertinents d'activités sociales ou de coordination de groupe (ex. cohésion en chasse). Quant aux clics d'écholocalisation, utilisés comme biosonar actif pour estimer la direction et la distance de cibles sous l'eau (Au, 1993 ; Backus & Schevill, 1966 ; Griffin, 1958 ; Simmons *et al.*, 1979 ; Zimmer, 2011), ils peuvent être associées à des individus prospectant dans leur environnement (déplacement, interactions sociales et chasse). Les individus augmentent leurs taux de clics d'écholocalisation pour appréhender plus finement leur environnement, comme lorsqu'ils s'approchent d'une proie, ce qui se traduit par des sons perçus comme des "buzzes". Ces signaux peuvent être considérés comme de bons indicateurs d'épisodes de recherche alimentaire, voir même de tentatives de capture (Fais *et al.*, 2016 ; Goold & Jones, 1995 ; Holt *et al.*, 2019 ; Johnson *et al.*, 2004 ; L. A Miller *et al.*, 1995 ; P. J. O. Miller *et al.*, 2004 ; Wisniewska *et al.*, 2014). Ainsi, en associant les buzzes comme des indices de tentatives de capture, on peut supposer que certains évènements de présence acoustique observés sur les stations pourraient être des évènements de chasse.

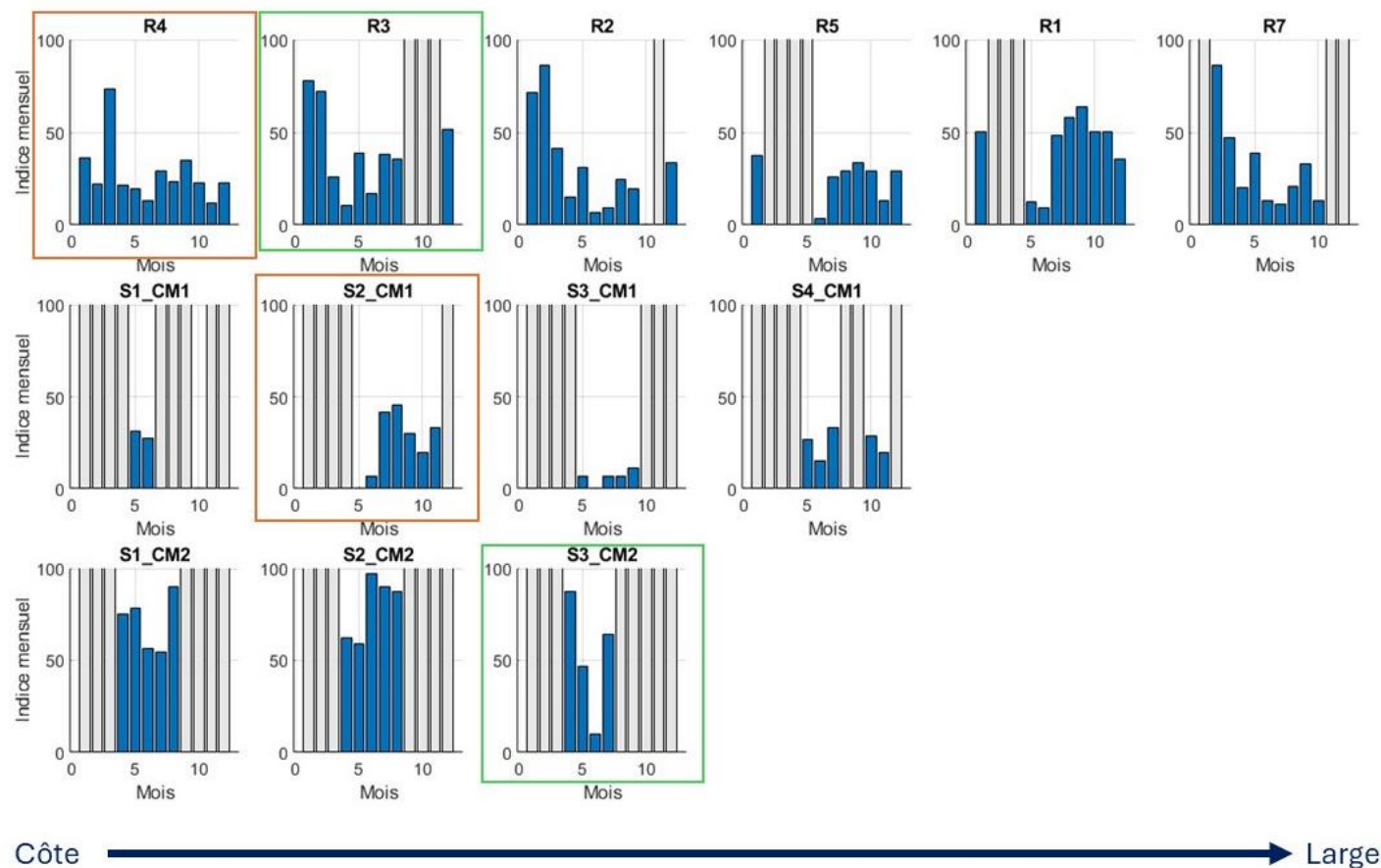


Figure 34. Comparaison des indice mensuel (c'est-à-dire pourcentage de jours positifs) de présence de delphinidés au niveau de chaque station acoustique de SOMME déployées entre 2022 et 2024 et de celles de Quiet-Oceans citées dans ce rapport (Bellanger et al., 2024), et déployées lors de l'état de référence. Les encadrés représentent des stations ayant été déployés aux mêmes endroits (Figure 32). Les bars grises représentent l'absence de données.

5.2.2 Marsouins

L'activité acoustique des marsouins a été observée tout le long de ce suivi sur les 3 stations mais avec une présence acoustique plus importante sur la période printanière (24 avril au 21 juin) et avec un gradient spatial de taux de détection, croissant de la côte vers le large. Ce léger gradient semble correspondre aux observations visuelles réalisées lors du suivi de la mégafaune marine de l'état initial montrant une répartition spatiale des marsouins un peu plus concentrée au Sud d'une diagonale Sud-Ouest /Nord-Est au printemps et en été (Biotope 2024).

Les niveaux estimés dans ce rapport sont cohérents avec les taux de détections obtenus sur les stations R2 et R4 de l'état de référence de la fréquentation des mammifères marins dans le cadre du parc éolien en mer de Normandie (Bellanger et al. 2024, cf. Figure 35) pour la même période. Cependant, les taux de détection trouvés sur la station S3 (dans ce rapport) avec 37% de jours positifs sont plus faibles que la station R3 située à proximité dans l'état de référence, présentant des taux de plus de 50% de jours positifs sur les mêmes périodes (Figure 35). Toutefois, nos observations sont cohérentes avec l'occurrence estivale de l'activité acoustique des marsouins en 2022 décrite dans l'état initial de l'environnement pour le raccordement du parc éolien EMMN (Retailleau *et al.* 2023) et on retrouve la même fréquentation occasionnelle sur S1 lors de cette période estivale 2024 que lors du précédent suivi à la fin de l'été 2023 (Richard *et al.* 2024).

Les plus forts taux de détections sur la période printanière (notamment sur S1 et S2) sont également cohérents avec les estimations de densité et d'abondance réalisées en Manche, qui s'avèrent plus élevés entre l'automne et le printemps, tandis qu'en été ces cétacés sont moins présents (Virgili *et al.* 2018, Biotope 2024). En effet les événements acoustiques sont plus longs lors de cette période printanière, avec des nombres d'heures positives par jour pouvant atteindre 10 à 12h en mai (sur S1-CM2), qu'en été où les présences journalières sont plus courtes avec 1 à 4 heures positives en été. Bien que les événements de présence acoustique détectés sur les enregistreurs soient majoritairement de courtes durées (entre 1 à 2 minutes) une présence de 30 minutes a pu être détectée autour de la station S1. L'observation d'événements de présence plus longue dans une zone restreinte à environ 100 m autour de l'hydrophone (c.-à-d. le rayon de détection d'un clic de marsouin), laisse supposer une activité locale plus ciblée comme par exemple une activité de chasse sur une ressource peu mobile, plutôt qu'une activité de déplacement, qui se traduirait par un événement de présence de courte durée (Dorfman *et al.* 2022). De plus, la station S1 est caractérisée par la présence d'une épave (Figure 33), qui pourrait constituer un habitat privilégié pour des proies de marsouins. Ainsi, le nombre d'événements acoustiques est plus élevé à l'aube et au crépuscule que pendant la nuit et le jour pourrait suggérer une activité des marsouins en lien avec les cycles nyctéméraux de certaines proies.

Il est toutefois difficile de conclure sur les comportements des marsouins étant donné que leur répertoire acoustique se limite à la production de clics, que ce soit pour communiquer ou pour écholocaliser (Goodson & Sturtivant, 1996 ; Clausen *et al.*, 2011 ; Sørensen *et al.*, 2018).

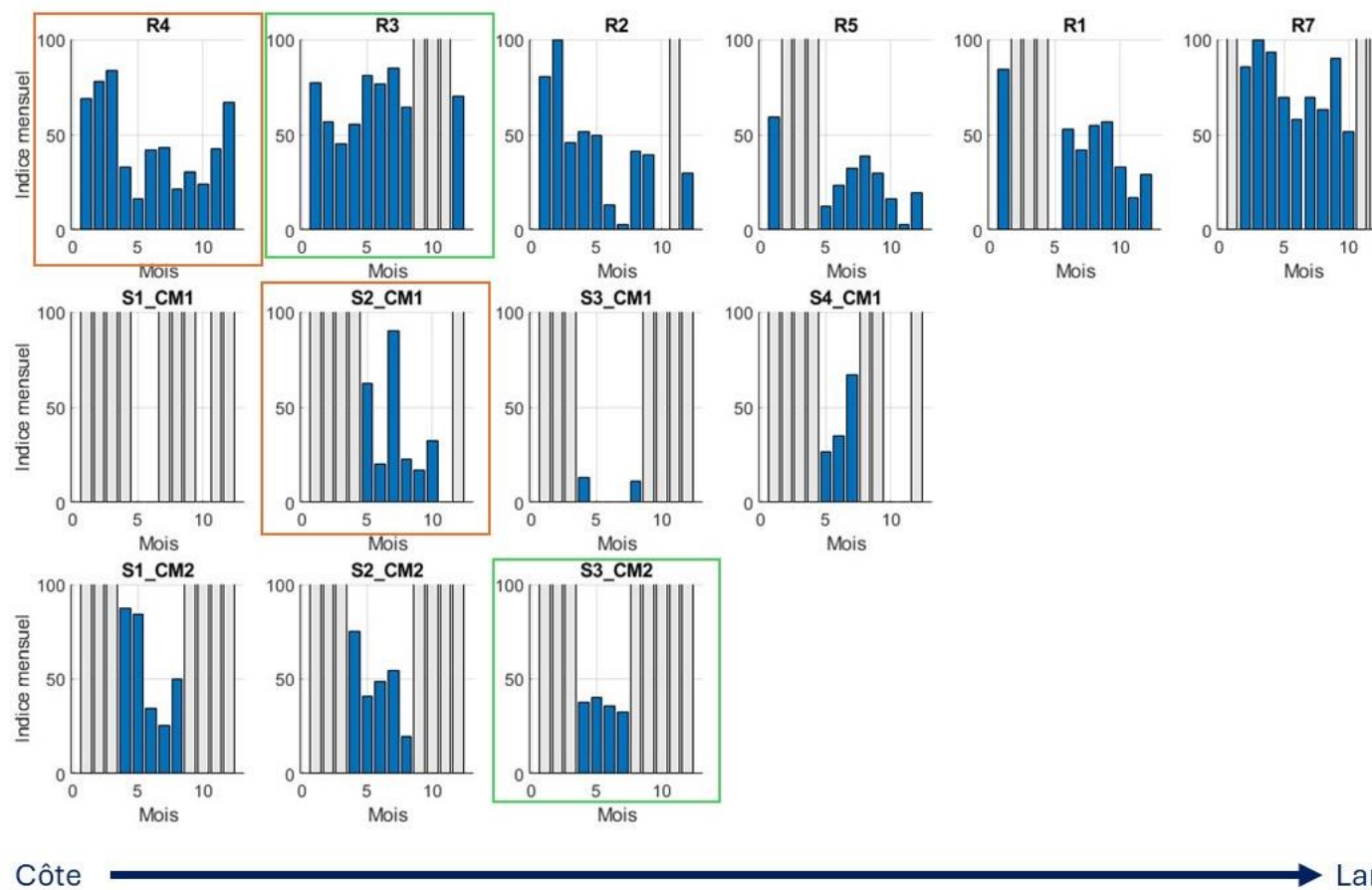


Figure 35. Comparaison des indice mensuel (c'est-à-dire pourcentage de jours positifs) de présence de marsouins au niveau de chaque station acoustique de SOMME déployées entre 2022 et 2024 et de celles de Quiet-Oceans citées dans ce rapport (Bellanger et al., 2024), et déployées lors de l'état de référence. Les encadrés représentent des stations ayant été déployés aux mêmes endroits (Figure 32). Les bars grises représentent l'absence de données.

5.2.3 Limites du suivi acoustique des cétacés

Afin d'interpréter convenablement les résultats de cette étude, il est important d'être conscient que les suivis acoustiques présentent certaines limites :

- Les rayons de détection sont variables selon les espèces. A titre d'exemple, les clics émis à de hautes fréquences (100-150 kHz) par les marsouins sont associés à une forte directivité et sont rapidement atténués dans le milieu (perte de propagation par absorption). Leur rayon de détection (de l'ordre de la centaine de mètres ; Kyhn *et al.*, 2012, Clausen *et al.*, 2019) est donc faible par rapport aux delphinidés (de l'ordre du kilomètre). De plus, un bruit ambiant élevé peut diminuer le rayon de détection des signaux des cétacés cibles.
- Seuls les individus émettant des signaux acoustiques sont détectés, ainsi il ne peut pas être exclu que des individus silencieux soient passés dans un rayon de détection autour de la station acoustique.
- Les suivis par acoustique passive ne sont pas adaptés aux espèces de mammifères marins n'émettant pas ou peu de signaux sonores (e.g. phoques gris et phoque veau-marin).
- L'identification au rang de l'espèce des delphinidés est impossible à ce jour, au vu des caractéristiques acoustiques similaires de leurs émissions sonores (section 2.6.1). Bien que certaines études montrent de fines variations interspécifiques sur des populations éloignées (Californie), aucune étude de référence n'a été menée en Atlantique. Or, il a été montré que les signaux émis varient selon les populations (notamment en fonction du bruit ambiant).
- De la même manière, le manque d'étude de référence empêche une caractérisation fiable des comportements réalisés à partir des signaux acoustiques détectés seuls. Les signaux acoustiques ne peuvent donc traduire avec certitude le comportement des espèces cibles, mais peuvent toutefois être de bons indices sur l'activité potentielle des individus détectés acoustiquement (ex. signaux de communication ou clics d'écholocalisation utilisés comme biosonar).

6 Bibliographie

- Ansmann, I. C., Goold, J. C., Evans, P. G., *et al.* (2007). Variation in the whistle characteristics of short-beaked common dolphins, *Delphinus delphis*, at two locations around the British Isles. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87(1), 19-26.
- Antichi, S., Austin, M., May-Collado, L. J., Urbán R, J., Martínez-Aguilar, S., & Vilorio-Gómora, L. (2023). Differences in the whistles of two ecotypes of bottlenose dolphins from the Gulf of California. *JASA Express Letters*, 3(5).
- Asselin, S., Hammill, M. O., & Barrette, C. (1993). Underwater vocalizations of ice breeding grey seals. *Canadian Journal of Zoology*, 71(11), 2211-2219.
- Asselin, S.; Hammill, M.O.; Barrette, C. Underwater vocalizations of ice breeding grey seals. *Can. J. Zool.* 1993, 71, 2211–2219
- Au, W. W., Kastelein, R. A., Rippe, T., & Schooneman, N. M. (1999). Transmission beam pattern and echolocation signals of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 106(6), 3699-3705.
- Au, W. W. (2004). Echolocation signals of wild dolphins. *Acoustical Physics*, 50(4), 454-462.
- Au, W. W. (2012). *The sonar of dolphins*. Springer Science & Business Media.
- Bellanger J., Chompret J., Clorennec D., Ringelstein J., Caillat M. (2024), Suivi par acoustique passive du bruit ambiant et de la fréquentation des mammifères marins dans le cadre du parc éolien en mer de Normandie, Etat de référence, numéro QO.20210225.10.RAP.001.11A, Quiet-Oceans, Brest, France
- Biotope, 2024 – Rapport final de l'état initial - Zone de développement éolien en mer Centre Manche - Suivis de la mégafaune marine - DREAL Normandie - MTE - 592 p.
- Bonnel, J., Chauvaud, S., Chauvaud, L., Mars, J., Mathias, D., & Frédéric, O. (2022). Effets des sons anthropiques sur la faune marine : Cas des projets éoliens offshore. Quae.
- Chauvaud, S., Chauvaud, L., & Jolivet, A. (2018). Impacts des sons anthropiques sur la faune marine. Editions Quae. (Nouvelle édition en cours de publication).
- Chompret J., Clorennec D. (2022), Suivi acoustique passif du bruit ambiant et des mammifères marins dans le cadre du parc éolien en mer de Courseulles, Etat de référence, numéro QO.20200818.10.RAP.001.02A, Quiet-Oceans, Brest, France
- Clausen, K. T., Wahlberg, M., Beedholm, K., *et al.* (2011). Click communication in harbour porpoises *Phocoena phocoena*. *Bioacoustics*, 20(1), 1-28.
- 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.
- Collins, M. D. (1995). User's Guide for RAM Versions 1.0 and 1.0 p. *Naval Research Lab, Washington, DC*, 20375, 14.
- Dorémus G., Blanchard A., Sanchez T., Peltier H., Van Canneyt O., Genu M., Chabrolle A. 2022. MEGASCOPE : Suivi de la distribution de la mégafaune marine en Manche, Atlantique et Méditerranée en 2021. Rapport scientifique de l'Observatoire Pelagis.
- Dorfman, A., Hills, T.T. and Scharf, I. (2022), A guide to area-restricted search: a foundational foraging behaviour. *Biol Rev*, 97: 2076-2089. <https://doi.org/10.1111/brv.12883>
- Douglas, B. C., Global sea rise: a redetermination, *Surveys in Geophys.*, **18**, 279–292, 1997.
- Fais, A., Johnson, M., Wilson, M., Aguilar Soto, N., & Madsen, P T. (2016). Sperm whale predator-prey interactions involve chasing and buzzing, but no acoustic stunning. *Scientific Reports*, 6, 28562. <https://doi.org/10.1038/srep28562>
- Goodson, A. D., & Sturtivant, C. R. (1996). Sonar characteristics of the harbour porpoise (*Phocoena phocoena*): source levels and spectrum. *ICES Journal of Marine Science*, 53(2), 465-472.
- Goold, J. C., & Jones, S. E. (1995). Time and frequency domain characteristics of sperm whale clicks. *Journal of the Acoustical Society of America*, 98(3), 1279–1291. <https://doi.org/10.1121/1.413465>
- Goold, J. C. (2000). A diel pattern in vocal activity of short-beaked common dolphins, *Delphinus*

- delphis*. *Marine Mammal Science*, 16(1), 240–244.
- Hammond, P.S *et al.* (2017). Estimates of cetacean abundance in European Atlantic waters in summer 2016 from the SCANS-III aerial and shipboard surveys. SCANS-III project report 2.
- Hammond, P.S *et al.* (2021). Estimates of cetacean abundance in European Atlantic waters in summer 2016 from the SCANS-III aerial and shipboard surveys. SCANS-III project report 3.
- Hanggi, E.B.; Schusterman, R.J. Underwater acoustic displays and individual variation in male harbour seals, *Phoca vitulina*. *Anim. Behav.* 1994, 48, 1275–1283
- Hansen, M., Wahlberg, M., & Madsen, P. T. (2008). Low-frequency components in harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) clicks: communication signal, by-products, or artifacts?. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(6), 4059-4068.
- Hatakeyama, Y., & Soeda, H. (1990). Studies on echolocation of porpoises taken in salmon gillnet fisheries. In *Sensory abilities of cetaceans* (pp. 269-281). *Springer, Boston, MA*.
Anim. Behav. 1994, 48, 1275–1283
- Hayes, S.A.; Costa, D.P.; Harvey, J.T.; LeBouef, B.J. Aquatic mating strategies of the male Pacific harbor seal (*Phoca vitulina richardii*): Are males defending the hotspot? *Mar. Mammal Sci.* 2004, 20, 639–656
- 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/10.1111/j.1748-7692.2011.00498.x>
- Holt, M. M., Hanson, M. B., Emmons, C. K., Haas, D. K., Giles, D. A., & Hogan, J. T. (2019). Sounds associated with foraging and prey capture in individual fish-eating killer whales, *Orcinus orca*. *Journal of the Acoustical Society of America*, 146(5), 3475–3486. <https://doi.org/10.1121/1.5133388>
- Houser, D. S., Helweg, D. A., & Moore, P. W. (1999). Classification of dolphin echolocation clicks by energy and frequency distributions. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 106(3), 1579–1585.
- Jensen, F. H., Bejder, L., Wahlberg, M., *et al.* (2009). Biosonar adjustments to target range of echolocating bottlenose dolphins (*Tursiops* sp.) in the wild. *Journal of Experimental Biology*, 212(8), 1078-1086.
- Jensen, F., Kuperman, W., Porter, M. and Schmidt, H. (2011) *Computational Ocean Acoustics*. 2nd Edition, Springer-Verlag, New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8678-8>
- Johnson, M., Madsen, P. T., Zimmer, W. M. X., Aguilar de Soto, N., & Tyack, P. L. (2004). Beaked whales echolocate on prey. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 271, S383–S386. <https://doi.org/10.1098/sbl.2004.0208>
- Kinda, B.G., Simard, Y., Gervaise, C., Mars, J. I., & Fortier, L. (2013). Under-ice ambient noise in Eastern Beaufort Sea, Canadian Arctic, and its relation to environmental forcing. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(1), 77-87. <https://doi.org/10.1121/1.4808330>
- Kim, K. H., Hursky, P., Porter, M. B., Hildebrand, J. A., Elizabeth, E., & Wiggins, S. M. (2006). *Automated passive acoustic tracking of dolphins in free-ranging pods*. 6.
- Kyhn, L. A., Tougaard, J., Thomas, L., Duve, L. R., Stenback, J., Amundin, M., ... & Teilmann, J. (2012). From echolocation clicks to animal density—Acoustic sampling of harbor porpoises with static dataloggers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(1), 550-560.
- Linnenschmidt, M., Teilmann, J., Akamatsu, T., *et al.* (2013). Biosonar, dive, and foraging activity of satellite tracked harbor porpoises (*Phocoena phocoena*). *Marine Mammal Science*, 29(2), E77-E97.
- Miller, P. J. O., Johnson, M. P., & Tyack, P. L. (2004). Sperm whale behaviour indicates the use of echolocation click buzzes “creaks” in prey capture. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 271(1554), 2239–2247. <https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2863>
- Møhl, B., & Andersen, S. (1973). Echolocation: high-frequency component in the click of the Harbour Porpoise (*Phocoena ph. L.*). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 54(5), 1368-1372.
- Nakamura, K. (2003). Comparison of click characteristics among odontocete species. *Advances in the Study of Echolocation in Bats and Dolphins*.
- Papale, E., Azzolin, M., Cascao, I., *et al.* (2014). Macro-and micro-geographic variation of short-beaked common dolphin’s whistles in the Mediterranean Sea and Atlantic Ocean. *Ethology Ecology & Evolution*, 26(4), 392-404.

- Papale, E., Gamba, M., Perez-Gil, M., Martin, V. M., & Giacoma, C. (2015). Dolphins Adjust Species-Specific Frequency Parameters to Compensate for Increasing Background Noise. *PLOS ONE*, 10(4), e0121711. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121711>
- Pettex A. *et al.* (2014). Final results of aerial surveys conducted in winter 2011/12 and summer 2012 for the French Marine Protected Area Agence and the French Ministry of Ecology.
- Petrella, V., Martinez, E., Anderson, M. G., & Stockin, K. A. (2012). Whistle characteristics of common dolphins (*Delphinus* sp.) in the Hauraki Gulf, New Zealand. *Marine Mammal Science*, 28(3), 479–496. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2011.00499.x>
- Pérez Tadeo, M.; Gammell, M.; O'Brien, J (2023). First Steps towards the Automated Detection of Underwater Vocalisations of Grey Seals (*Halichoerus grypus*) in the Blasket Islands, Southwest Ireland. *J. Mar. Sci. Eng.* 2023, 11, 351. <https://doi.org/10.3390/jmse11020351>.
- Porter, M. B. (1992). *The KRAKEN normal mode program*. Naval Research Lab Washington DC.
- Porter, M. B., & Bucker, H. P. (1987). Gaussian beam tracing for computing ocean acoustic fields. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 82(4), 1349-1359.
- Porter, M. B., & Liu, Y. C. (1994). Finite-element ray tracing. *Theoretical and computational acoustics*, 2, 947-956.
- Pozo Galván, Y. P., Pérez Tadeo, M., Pommier, M., & O'Brien, J. (2024). Static Acoustic Monitoring of Harbour (*Phoca vitulina*) and Grey Seals (*Halichoerus grypus*) in the Malin Sea: A Revolutionary Approach in Pinniped Conservation. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(1), 118
- Prawirasasra, M. S., Mustonen, M., & Klauson, A. (2021). The underwater soundscape at Gulf of Riga marine-protected areas. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8), 915.
- Rankin, S., Archer, F., Keating, J. L., *et al.* (2017). Acoustic classification of dolphins in the California Current using whistles, echolocation clicks, and burst pulses. *Marine Mammal Science*, 33(2), 520-540.
- Retailleau E., Richard G., Mathias D. (2023). Suivi par acoustique passive du bruit ambiant et de la fréquentation des mammifères marins dans le cadre de la définition de l'état de référence de l'environnement de la zone maritime prévue pour le raccordement du futur parc éolien au large de la Normandie (CM1). *Bureau d'études SOMME, Brest, France*
- Richard, G., Filatova, O. A., Samarra, F. I., Fedutin, I. D., Lammers, M., & Miller, P. J. (2017). Icelandic herring-eating killer whales feed at night. *Marine biology*, 164, 1-13.
- Robbins, J. R., Brandecker, A., Cronin, M., *et al.* (2016). Handling dolphin detections from CPODs, with the development of acoustic parameters for verification and the exploration of species identification possibilities. *Bioacoustics*, 25(2), 99-110.
- Schusterman, R. J., Balliet, R. F., & St. John, S. (1970). Vocal displays under water by the gray seal, the harbor seal, and the steller sea lion. *Psychonomic Science*, 18(5), 303–305
- Schevill, W.E.; Watkins, W.A.; Ray, C. Underwater sounds of pinnipeds. *Science* 1963, 141, 50–53.
- Sibly RM, Nott HMR, Fletcher DJ (1990) Splitting behaviour into bouts. *Anim Behav* 39:63–69. doi:10.1016/S0003-3472(05)80726-2
- Simmonds, M., Dolman, S., & Weilgart, L. (2004). Oceans of noise: A WDCS science report Whale and Dolphin Conservation Society, 23-36.
- Slater PJB, Lester NP (1982) Minimising errors in splitting behaviour into bouts. *Behaviour* 79:153–161. doi:10.1163/156853982X00229
- Soldevilla, M. S., Henderson, E. E., Campbell, G. S., *et al.* (2008). Classification of Risso's and Pacific white-sided dolphins using spectral properties of echolocation clicks. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(1), 609-624.
- Sørensen, P. M., Wisniewska, D. M., Jensen, F. H., *et al.* (2018). Click communication in wild harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *Scientific reports*, 8(1), 9702.
- Stirling, I., & Thomas, J. A. (2003). Relationships between underwater vocalizations and mating systems in phocid seals. *Aquatic Mammals*, 29(2), 227-246.
- Stockin, K. A., Binedell, V., Wiseman, N., *et al.* (2009). Behavior of free-ranging common dolphins (*Delphinus* sp.) in the Hauraki Gulf, New Zealand. *Marine Mammal Science*, 25(2), 283-301.
- Teilmann, J., Miller, L. A., Kirketerp, T., *et al.* (2002). Characteristics of echolocation signals used by

- a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in a target detection experiment. *Aquatic Mammals*, 28(3), 275-284.
- Terhune, J.M (2019). The underwater vocal complexity of seals (Phocidae) is not related to their phylogeny. *Canadian Journal of Zoology*. 97(3): 232-240.
- Twiss, S.D. (1991) Behavioural and Energetic Determinants of Individual Mating and Success in Male Grey Seals (*Halichoerus grypus*). Ph.D. Thesis, University of Glasgow, Glasgow, UK,.
- Van Parijs, S. M., Thompson, P. M., Tollit, D. J., & Mackay, A. N. N. (1997). Distribution and activity of male harbour seals during the mating season. *Animal Behaviour*, 54(1), 35-43.
- Villadsgaard, A., Wahlberg, M., & Tougaard, J. (2007). Echolocation signals of wild harbour porpoises, *Phocoena phocoena*. *Journal of Experimental Biology*, 210(1), 56-64.
- Virgili A., Authier, M., Dars C., Dorémus G., Laran S., Van Canneyt O, et Spitz J. (2018). Levée des risques pour l'appel d'offres éolien au large de Dunkerque par observation aérienne. Programme DUNKRISK - Campagne LEDKOA. Rapport d'analyses. Observatoire Pelagis / Agence Française pour la Biodiversité
- Westwood, E. K., Tindle, C. T., & Chapman, N. R. (1996). A normal mode model for acousto-elastic ocean environments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 100(6), 3631-3645.
- 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>
- Wisniewska, D. M., Johnson, M., Nachtigall, P. E., & Madsen, P. T. (2014). Buzzing during biosonar-based interception of prey in the delphinids *Tursiops truncatus* and *Pseudorca crassidens*. *Journal of Experimental Biology*, 217(24), 4279–4282. <https://doi.org/10.1242/jeb.113415>

7 Annexes

7.1 Conditions environnementales

Tableau 10. Echelle de Douglas

Échelle	État de la mer	Hauteur de la houle (en mètres)
0	calme	0
1	ridée	0 à 0.1
2	belle	0.1 à 0.5
3	peu agitée	0.5 à 1.25
4	agitée	1.25 à 2.5
5	forte	2.5 à 4
6	très forte	4 à 6
7	grosse	6 à 9
8	très grosse	9 à 14
9	énorme	14 et plus

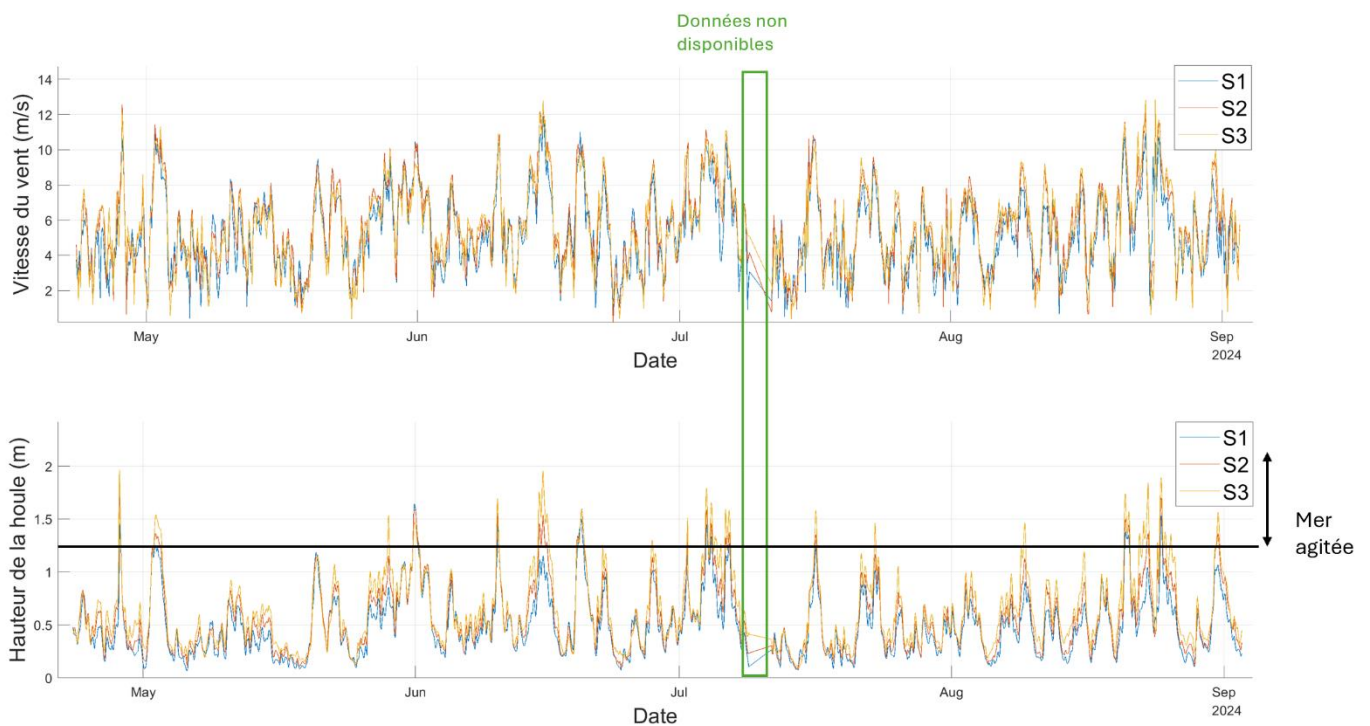


Figure 36. Comparaison des condition environnementales pour les trois stations

7.2 Détermination des événements de présence de mammifères marins.

Les spectrogrammes de 10 secondes contenant des vocalises de mammifères marins produisent des séquences de présence semblant se produire par épisodes (Figure 37). L'absence de sons peut être due à une véritable absence des individus ou au fait que les delphinidés ne vocalisent pas. Nous avons cherché à définir objectivement un seuil d'intervalle de temps entre les détections permettant d'établir un « événement de présence » (Richard *et al.*, 2017). Pour cela, nous avons réalisé une analyse par séquence sur la distribution des intervalles inter-détection (Slater & Lester 1982 ; Sibly *et al.*, 1990). Nous avons estimé la probabilité relative des intervalles inter-détection estimée en minutes, pour les 3 stations d'intérêt (Figure 38). En appliquant une fonction de lissage sur ces probabilités en fonction des intervalles inter-détections, on observe sur la Figure 38 que la probabilité relative par durée diminue rapidement avec l'augmentation des durées inter-événements, jusqu'à atteindre un plateau, c'est-à-dire qu'au-delà d'un temps d'inter-détections toutes les valeurs ont la même probabilité d'avoir lieu mais sont peu fréquentes (faible probabilité relative). Avant ce plateau les durées inter-événement sont plus courtes et plus commune (forte probabilité relative).

On obtient alors une durée seuil de 10 minutes entre deux détections acoustiques pour déterminer un nouvel « événement de présence » (Figure 38).

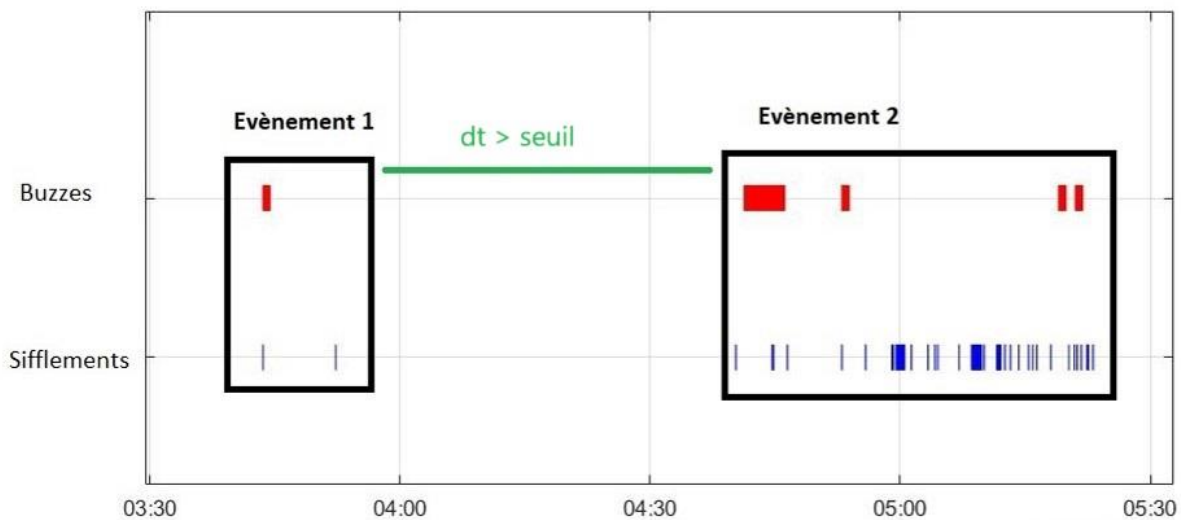


Figure 37. Exemple de séquences de détections de sons de delphinidés au cours du temps et détermination de 3 événements de présence basé sur un intervalle inter-détection de 10 min (Figure 38).

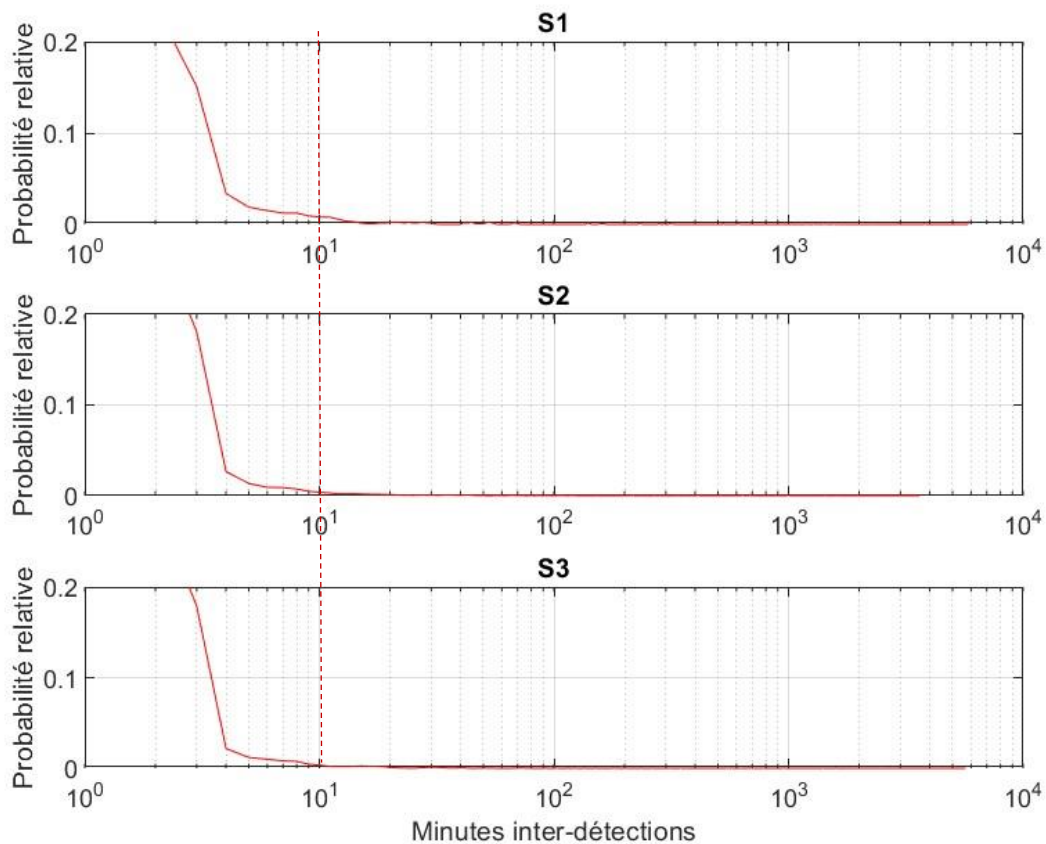


Figure 38. Fréquence des intervalles (minutes en échelle logarithmiques) inter-détections de sifflements de dauphins.

7.3 Niveaux $SPL_{rms(5\%)}$ en 2023

Tableau 11. Récapitulatif des niveaux médians de bruit ambiant ($SPL_{rms(5\%)}$) par station et par mois en 2023

Niveaux sonores médians (dB re 1 μ Pa)	Aout	Septembre	Octobre	Moyenne par station
S1	110,6	104,4	109,3 ⁸	108,6
S2	-	-	-	-
S3	-	-	-	-

7.4 Niveaux $SPL_{[50Hz-40kHz]}$ en 2023 et en 2024

Tableau 12. Récapitulatif des niveaux médians $SPL_{[50Hz-40kHz]}$ par station et par mois en 2023.

Niveaux sonores médians (dB re 1 μ Pa ²)	Aout	Septembre	Octobre	Moyenne par station
S1	115,1	111,3	110,9 ⁵	112,4
S2	-	-	-	-
S3	-	-	-	-

Tableau 13. Récapitulatif des niveaux médians $SPL_{[50Hz-40kHz]}$ par station et par mois en 2024.

Niveaux sonores médians (dB re 1 μ Pa ²)	Avril (8 jours de données)	Mai	Juin	Juillet	Aout	Moyenne par Station
S1	112.1	113.4	112.7	113.8	114.0	113.2
S2	114.6	113.8	113.2	115.4	115.2	114.4
S3	113.3	113.3	114.8	115.9	-	114.3
Moyenne par mois	113.3	113.5	113.7	115	114.6	

⁸ Le niveau médian $SPL_{rms5\%}$ pour le mois d'octobre est estimé sur 4 jours seulement et donc la valeur est à considérer avec précaution, n'étant pas très représentatif de l'ensemble du mois.

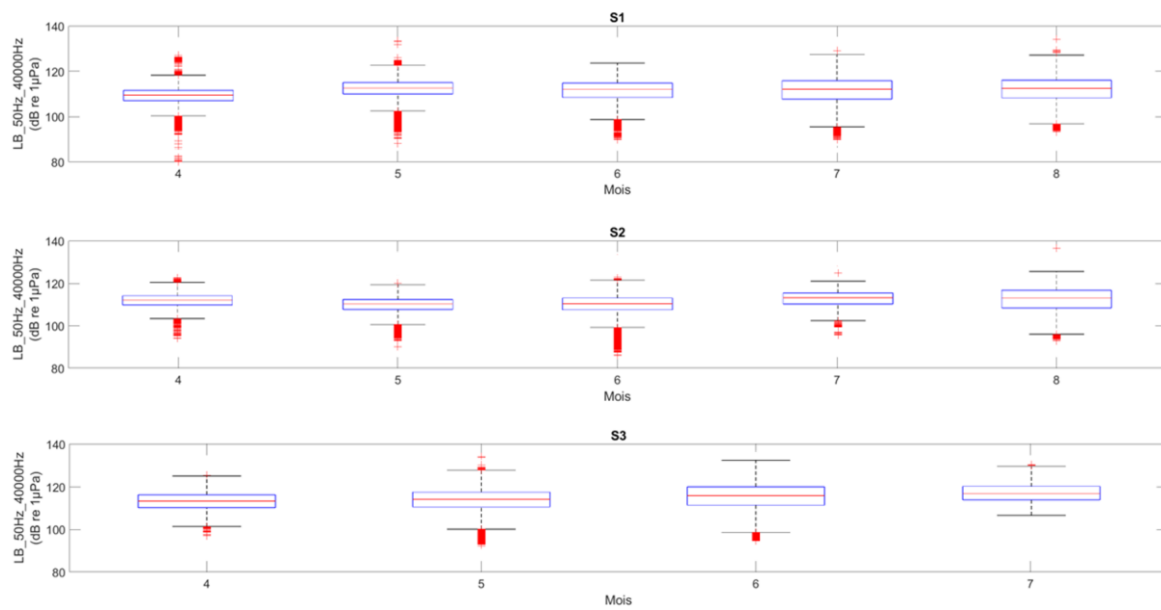


Figure 39. Comparaisons mensuelles des niveaux $SPL_{[50Hz-40kHz]}$ en 2024.

7.5 Détail de la fréquentation mensuelle/saisonnnière des mammifères marins entre les 3 stations pour chaque mois de suivi.

7.5.1 Delphinidés

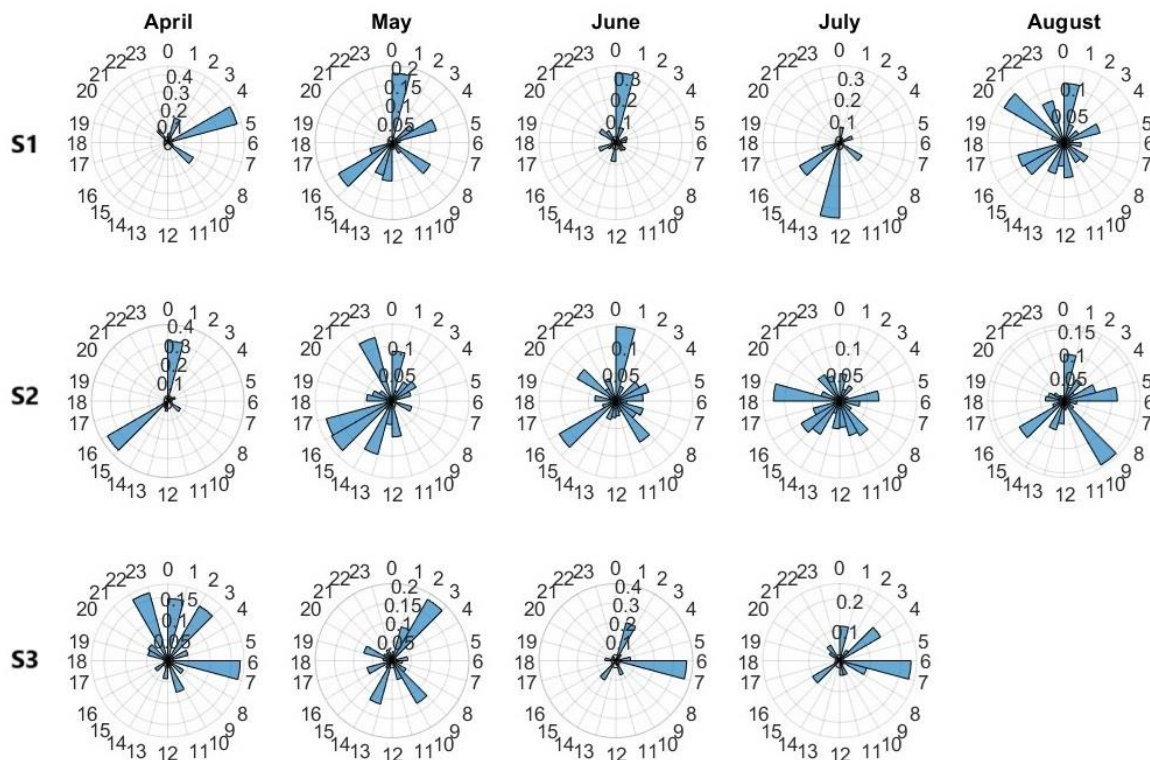


Figure 40. Détail des répartitions horaires de détection des vocalises de dauphins par mois et par station.

Tables des taux de détections sur chaque station et détaille entre la période printanière (24 avril au 20 juin) et estivale (21 juin-31 juillet) :

Tableau 14. Taux de détections de dauphins sur chaque station pour la période printanière (24 avril au 20 juin).

Printemps 2024 (24 avril-20 juin)	Jours positifs	Nombre d'évènement de présence	Durée moyenne des évènement (± écart type, en secondes)	Durée maximale en minutes	Fréquentation
S1	40 (73%)	177	647 ±1363	213	Fréquente
S2	38 (78%)	100	734 ±1170	123	Fréquente
S3	22 (37%)	51	401 ±599	64	Occasionnelle

Tableau 15. Taux de détections de dauphins sur chaque station pour la période printanière (21 juin au 31 août).

Eté 2024 (21 juin - 31 août)	Jours positifs	Nombre d'évènement de présence	Durée moyenne des évènement (± écart type, en secondes)	Durée maximale en minutes	Fréquentation
S1	40 (70%)	254	539 ±879	78	Fréquente
S2	65 (90%)	450	550 ±1102	164	Quotidienne
S3	23 (56%)	108	582 ±1052	92	Régulière

7.5.2 Marsouins

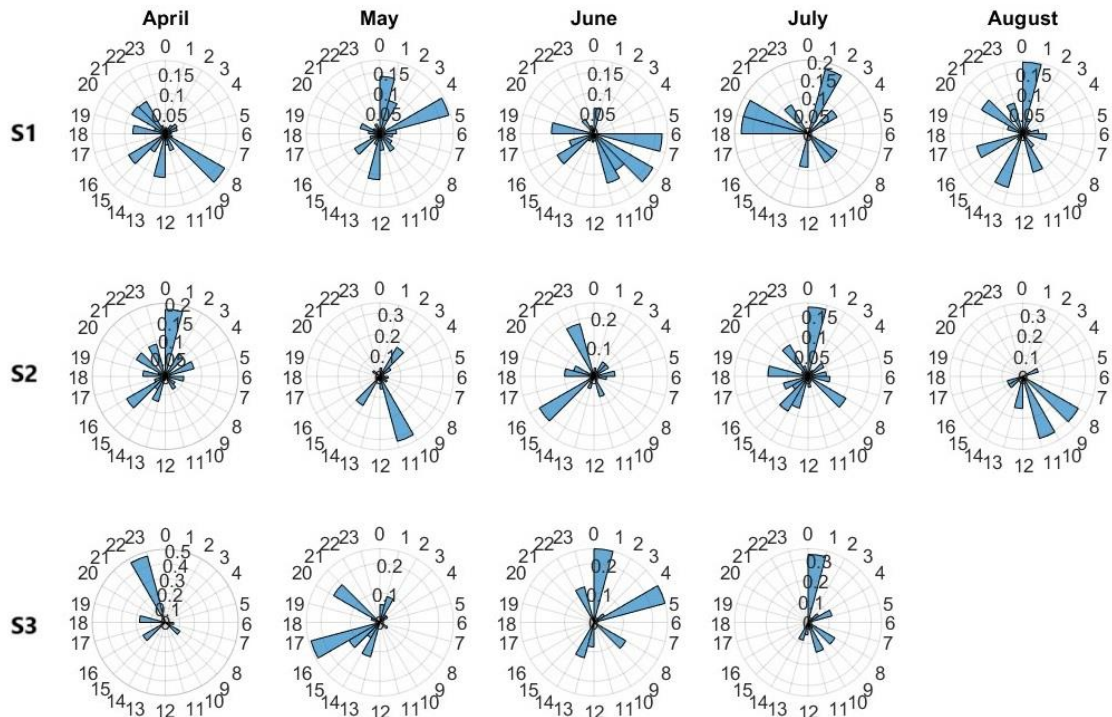


Figure 41. Détail des répartitions horaires de détection des clics de marsouins par mois et par station.

Tableau 16 Taux de détections de marsouins sur chaque station pour la période printanière (24 avril au 20 juin)

<i>Printemps 2024</i> (24 avril-20 juin)	<i>Jours positifs</i>	<i>Nombre d'évènement de présence</i>	<i>Durée moyenne des évènements (± écart type, en secondes)</i>	<i>Durée maximale en minutes</i>	<i>Fréquentation</i>
S1	39 (71%)	162	117 ±253	32	Fréquente
S2	28 (57%)	69	58 ±82	9	Régulière
S3	22 (37%)	30	47 ±57	4	Occasionnelle

Tableau 17 Taux de détections de marsouin sur chaque station pour la période estivale (21 juin au 31 août)

<i>Eté 2024</i> (21 juin - 31 août)	<i>Jours positifs</i>	<i>Nombre d'évènement de présence</i>	<i>Durée moyenne des évènements (± écart type, en secondes)</i>	<i>Durée maximale en minutes</i>	<i>Fréquentation</i>
S1	21 (37%)	37	54 ±56	4	Occasionnelle
S2	25 (35%)	36	90 ±137	11	Occasionnelle
S3	15 (37%)	21	114 ±179	13	Occasionnelle