

Suivi acoustique passif du bruit ambiant et des mammifères marins dans le cadre du parc éolien en mer de Saint-Nazaire

Etat de référence

Identification du document

Référence du document	QO.20180622.01.RAP.05A
Donneur d'ordre	Société « Parc du Banc de Guérande »
Client	Société « Parc du Banc de Guérande »
Reference du contrat	

PROJET	DOC	CHRONO	VER	IND	CLIENT	ACRO	DATE	TYPE	CLASS
QO.20180622.01	RAP	001	05	A	PBG	SNA	20.08.2020	PROD	DR



Ocean Noise Forecasting Monitoring & Mitigation



Historique du document

Ver	Ind.	Responsable	Date	Vérification	Validation	Transmission	Description
01	A	J. Chompret	12.09.2019	D. Clorennec	T. Folegot	30.11.2019	Version initiale suivi estival
02	A	J. Chompret	06.12.2019	D. Clorennec	T. Folegot	06.12.2019	Corrections de la conclusion
03	A	J. Chompret	05.05.2020	D. Clorennec	T. Folegot	17.06.2020	Insertion des résultats du suivi hivernal
04	A	J. Chompret	05.07.2020	D. Clorennec	T. Folegot	20.07.2020	Prise en compte des commentaires Client
05	A	J. Chompret	18.08.2020	D. Clorennec	T. Folegot	20.08.2020	Prise en compte des commentaires Client

Citation

J. Chompret, D. Clorennec et T. Folegot (2019), Suivi acoustique passif du bruit ambiant et des mammifères marins dans le cadre du parc éolien en mer de Saint-Nazaire, Etat de référence, numéro QO.20180622.01.RAP.001.05A, Quiet-Oceans, Brest, France

Table des matières

Table des matières	4
Liste des figures	5
Liste des tableaux	9
Lexique des mots techniques	10
Chapitre I. Présentation de l'étude	13
Chapitre II. Introduction	14
II.1. La problématique du bruit sous-marin	14
II.2. Qu'est-ce que le chorus sonore sous-marin	15
II.3. Approche retenue pour l'évaluation de l'état de référence	17
Chapitre III. Protocole de mesures acoustiques	18
III.1. Les systèmes de mesure	19
III.2. Campagne Eté	22
III.3. Campagne Hiver	25
III.4. Synthèse des données collectées	28
Chapitre IV. Analyse des niveaux sonores mesurés	29
IV.1. Analyse du bruit ambiant large bande	29
IV.2. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquences	33
Chapitre V. Cartographie du bruit	37
V.1. Bathymétrie	38
V.2. Océanographie	39
V.3. Nature des fonds	39
V.4. Vague, vent et houle	41
V.5. Marée	42
V.6. Sources de bruit	43
V.7. Calibration	45
V.8. Cartographie du bruit existant	47
Chapitre VI. Détection des signaux biologiques	52
VI.1. Connaissance biologique a priori du site	52
VI.2. Portée de détection des enregistreurs acoustiques	57
VI.3. Procédé de traitement bioacoustique	59
VI.4. Résultats	60
VI.5. Limites et difficultés rencontrées	82
Chapitre VII. Conclusions	85
VII.1. Campagne été 2019	86
VII.2. Campagne hiver 2020	86
VII.3. Synthèse à l'échelle du projet	88
Bibliographie	90

Liste des figures

Figure 1 : Contexte géographique de l'étude.....	13
Figure 2 : Echelle qualitative des niveaux de bruits sous-marins émis à un mètre dans une bande basse fréquence de quelques kHz.	14
Figure 3 : Composition du chorus sonore sous-marin.....	15
Figure 4 : Synthèse des niveaux de bruit typiques en fonction de la fréquence et de la nature de la source de bruit. Ces valeurs peuvent être très dépendantes du site, de la saison, et du contexte (Dosits.org, 2016).....	16
Figure 5 : Définition des zones de mesure.	19
Figure 6 : Cage équipée d'un enregistreur acoustique autonome.....	20
Figure 7 : Illustration d'un système C-POD.....	22
Figure 8 : Protocole de mesure durant la saison estivale.	23
Figure 9 : Détail du positionnement des détecteurs C-POD et de l'enregistreur acoustique durant la saison estivale. La distance entre deux détecteurs C-POD placés sur la périphérie est de 1.9 km et la distance séparant un détecteur C-POD périphérique du détecteur C-POD central est de 1,5 km.	23
Figure 10 : Protocole de mesure durant la saison hivernale.....	26
Figure 11 : Détail du positionnement des détecteurs C-POD et de l'enregistreur acoustique durant la saison hivernale. La distance entre deux détecteurs C-POD placés sur la périphérie est de 1.9 km et la distance séparant un détecteur C-POD périphérique du détecteur C-POD central est de 1,5 km.	26
Figure 12 : Niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) en fonction de la zone de mesure durant la saison estivale.....	30
Figure 13 : Niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) en fonction de la zone de mesure durant la saison hivernale.....	31
Figure 14 : Spectrogrammes illustrant un épisode de pluie (partie supérieure) et le passage d'un navire en phase nocturne (partie inférieure) dans la zone Sud-Est.	31
Figure 15 : Statistiques de niveaux sonores en fonction de la fréquence, de la saison et de la zone.	34
Figure 16 : Statistiques de la variation horaire du bruit par bande de fréquence durant la saison estivale.....	35
Figure 17 : Statistiques de la variation horaire du bruit par bande de fréquence durant la saison hivernale.	36
Figure 18 : Illustration du fonctionnement de la plateforme Quonops®.....	37
Figure 19 : Bathymétrie utilisée pour la modélisation acoustique autour de la zone d'étude (en pointillé).	38
Figure 20 : a) : exemples de distribution de célérité de surface au 05 juillet 2019 fournie par CMEMS. b) : profils de célérité du son en fonction de la profondeur et en fonction de la semaine en été 2019 (figure de gauche) et en hiver 2020 (figure de droite)	39
Figure 21 : Cartographie du fond.	40
Figure 22 : Hauteur de vague significative le 15 juillet 2019 du modèle Wave Watch III utilisée pour modéliser la propagation du son.....	41
Figure 23 : Vitesse du vent le 12 juillet 2019 (source CMEMS) utilisée pour modéliser le bruit environnemental.	42
Figure 24 : Statistique de marnage au port de l'Herbaudière, à 35 km du futur parc éolien.	42
Figure 25 : Gabarit des niveaux de bruit émis par les navires en fonction de la fréquence et de leur catégorie.....	45
Figure 26 : Comparaison des courbes statistiques entre mesure et prédiction.	46
Figure 27 : Corrélation entre la vitesse du vent et le bruit permanent à la fréquence de 1250 Hz dans la zone Nord-Ouest durant la saison hivernale.	46
Figure 28 : Cartographie du bruit durant la saison estivale (emplacement du parc éolien en pointillé blanc).	49
Figure 29 : Cartographie du bruit durant la saison hivernale (emplacement du parc éolien en pointillé blanc).	51
Figure 30 : Schéma de la classification scientifique des espèces océaniques et marines de mammifères. Source : Quiet-Oceans.....	53

Figure 31 : Famille des Delphinidés – Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>). Source : EcoOcéan Institut.	54
Figure 32 : Famille des Phocoenidés - Groupe de Marsouins communs (<i>Phocoena phocoena</i>). Source : GREMM.	54
Figure 33 : Sifflements de Delphinidés émis entre 2 kHz et 25 kHz. Source : Quiet-Oceans.	54
Figure 34 : Clics de Delphinidés émis entre 10 kHz et 180 kHz. Source : Quiet-Oceans.	54
Figure 35 : Spectrogramme illustrant des clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , émis dans la bande fréquentielle allant de 110 à 150 kHz.....	56
Figure 36 : Spectrogramme illustrant des clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , lors d’une activité de chasse (clics d’écholocalisation).	56
Figure 37 : Evolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée recueillie par l’enregistreur acoustique dans la zone Nord-Ouest du 20 juin au 24 juillet 2019. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.....	61
Figure 38 : Clics d’écholocalisation de Delphinidés (20 à 192 kHz) détectés sur la journée du 25 juin 2019 vers 01h00 UTC à proximité de la zone Nord-Ouest.....	61
Figure 39 : Evolution du nombre de clics de Delphinidés détectés par les systèmes autonomes C-POD (indice de confiance élevé) dans la zone Nord-Ouest du 20 juin au 30 octobre 2019.	62
Figure 40 : Evolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée audio recueillie par l’enregistreur acoustique dans la zone Sud-Ouest du 20 juin au 24 juillet 2019. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.....	63
Figure 41 : Probable épisode de chasse observé lors de l’analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone Sud-Ouest. Journée du 27 juin 2019 vers 21h30 UTC.	63
Figure 42 : Evolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée audio recueillie par l’enregistreur acoustique dans la zone Sud-Est du 24 juillet au 26 août 2019. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.....	64
Figure 43 : Clics de communication de Delphinidés (15 à 80 kHz) détectés sur la journée du 30 juillet 2019 vers 00h50 UTC à proximité de la zone Sud-Est.....	64
Figure 44 : Clics d’écholocalisation de Delphinidés (15 à 180 kHz) détectés sur la journée du 06 août 2019 vers 22h50 UTC à proximité de la zone Sud-Est.....	65
Figure 45 : Evolution du nombre de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés dans la donnée recueillie par l’enregistreur acoustique dans la zone Nord-Ouest entre le 20 juin et 24 juillet 2019. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.....	65
Figure 46 : Clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , de faible intensité entre 115 et 160 kHz détectés sur la journée du 18 juillet 2019 vers 18h00 UTC à proximité de la zone Nord-Ouest.	66
Figure 47 : Evolution du nombre de clics de Marsouins communs (<i>Phocoena phocoena</i>) détectés par les systèmes autonomes C-POD (indice de confiance élevé) dans la zone Nord-Ouest du 20 juin au 30 octobre 2019.	66
Figure 48 : Evolution du nombre de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés dans la donnée recueillie par l’enregistreur acoustique situé dans la zone Sud-Ouest entre le 20 juin et 24 juillet 2019. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.....	67
Figure 49 : Trains de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 150 kHz sur la journée du 05 juillet 2019 vers 18h50 UTC à proximité de la zone Sud-Ouest.....	67
Figure 50 : Train de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 160 kHz et traduisant un probable comportement de chasse avec un ICI d’environ 1 ms. Journée du 16 juillet 2019 vers 20h00 UTC.....	68

Figure 51 : Sifflements émis par le Dauphin commun (<i>Delphinus delphis</i>) entre 8 et 15 kHz, le 23 juin 2019 à 06h52 UTC à proximité de la zone Sud-Ouest.....	69
Figure 52 : Sifflements émis par le Dauphin commun (<i>Delphinus delphis</i>) entre 8 et 18 kHz, le 06 août 2019 à 22h51 UTC à proximité de la zone Sud-Est.....	69
Figure 53 : Sifflements probablement émis par le Grand Dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>) entre 6 et 17 kHz, le 28 juin 2019 à 20h50 UTC à proximité de la zone Sud-Ouest.	69
Figure 54 : Evolution du nombre de clics de Delphinidés détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Nord-Ouest du 25 janvier au 25 février 2020.	71
Figure 55: Clics d'écholocalisation de Delphinidés (15 à 180 kHz) détectés sur la journée du 26 janvier 2020 vers 04h30 UTC à proximité de la zone Nord-Ouest.	72
Figure 56 : Signaux impulsifs émis par un SONAR actif (50 kHz) observés sur la journée du 05 février 2020 vers 10h00 UTC à proximité de la zone Nord-Ouest.....	72
Figure 57 : Evolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée audio recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Sud-Ouest du 25 janvier au 25 février 2020.	73
Figure 58 : Episode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone Sud-Ouest. Journée du 26 janvier 2020 à 05h31 UTC.	73
Figure 59 : Evolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée audio recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Sud-Est du 25 janvier au 25 février 2020.	74
Figure 60 : Clics d'écholocalisation de Delphinidés (15 à 180 kHz) détectés sur la journée du 01 février 2020 vers 19h40 UTC à proximité de la zone Sud-Est.	74
Figure 61 : Clics de communication de Delphinidés (15 à 80 kHz) détectés sur la journée du 21 février 2020 vers 04h22 UTC à proximité de la zone Sud-Est.....	74
Figure 62 : Evolution du nombre de clics de Delphinidés détectés par les systèmes autonomes C-POD (indice de confiance élevé) dans la zone Sud-Est du 24 janvier au 18 mai 2020.	75
Figure 63 : Evolution du nombre de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Nord-Ouest entre le 25 janvier et 25 février 2020. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.....	76
Figure 64 : Clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , de faible intensité entre 110 et 150 kHz détectés sur la journée du 27 janvier 2020 vers 17h50 UTC à proximité de la zone Nord-Ouest.	76
Figure 65 : Evolution du nombre de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique situé dans la zone Sud-Ouest entre le 25 janvier et 25 février 2020. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.....	77
Figure 66 : Train de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 150 kHz sur la journée du 02 février 2020 vers 08h00 UTC à proximité de la zone Sud-Ouest.	77
Figure 67: Train de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 145 kHz sur la journée du 26 février 2020 à 21h40 UTC au niveau de la zone Sud-Ouest. L'évolution de l'intervalle de temps entre chaque clic permet de supposer un épisode de chasse.	77
Figure 68 : Evolution du nombre de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique situé dans la zone Sud-Est entre le 25 janvier et 25 février 2020. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.....	78
Figure 69 : Trains de clics émis entre 110 et 170 kHz par les Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , durant un épisode de chasse sur la journée du 26 janvier 2020 vers 10h20 UTC à proximité de la zone Sud-Est.	78

Figure 70 : Trains de clics émis entre 105 et 180 kHz par les Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , durant un épisode de chasse sur la journée du 19 février 2020 vers 15h50 UTC à proximité de la zone Sud-Est.	79
Figure 71 : Evolution du nombre de clics de Marsouins communs (<i>Phocoena phocoena</i>) détectés par les systèmes autonomes C-POD (indice de confiance élevé) dans la zone Sud-Est du 24 janvier au 18 mai 2020.	79
Figure 72 : Sifflements émis par le Dauphin commun (<i>Delphinus delphis</i>) entre 5 et 10 kHz, le 31 janvier 2020 à 05h22 UTC à proximité de la zone Sud-Ouest.	80
Figure 73 : Sifflements émis par le Dauphin commun (<i>Delphinus delphis</i>) entre 5 et 12 kHz, le 21 février 2020 à 06h10 UTC à proximité de la zone Sud-Est.	81
Figure 74: Unique sifflement de faible intensité observé sur l'enregistrement du 26 janvier 2020 à 04h52 UTC ne permettant la classification de ce dernier.	81

Liste des tableaux

Tableau 1 : Zones d'implantation du suivi acoustique	18
Tableau 2 : Caractéristiques techniques de l'enregistreur SM3M.	20
Tableau 3 : Synthèse des déploiements des systèmes C-POD durant la saison estivale.	24
Tableau 4 : Synthèse de données acoustiques collectées durant la saison estivale.....	25
Tableau 5 : Synthèse des déploiements des systèmes C-POD durant la saison hivernale.....	27
Tableau 6 : Synthèse des données acoustiques collectées durant la saison hivernale.	27
Tableau 7 : Synthèse des mesures acoustiques collectées.	28
Tableau 8 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Nord-Ouest (exprimés en dB ref 1 μ Pa ²) durant la saison estivale.....	32
Tableau 9 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Ouest (exprimés en dB ref 1 μ Pa ²) durant la saison estivale.....	32
Tableau 10 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Est (exprimés en dB ref 1 μ Pa ²) durant la saison estivale.	32
Tableau 11 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Nord-Ouest (exprimés en dB ref 1 μ Pa ²) durant la saison hivernale.	32
Tableau 12 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Ouest (exprimés en dB ref 1 μ Pa ²) durant la saison hivernale.	32
Tableau 13 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Est (exprimés en dB ref 1 μ Pa ²) durant la saison hivernale.	33
Tableau 14 : Synthèse des données environnementales utilisées pour la modélisation acoustique.....	38
Tableau 15 : Table de conversion des paramètres géo-acoustiques utilisés pour la modélisation.....	40
Tableau 16 : Densité du trafic (échelle logarithmique) au large de la zone d'étude obtenue par traitement des données AIS.	44
Tableau 17 : Synthèse des données concernant les mammifères marins susceptibles d'être présents au large de Saint-Nazaire à proximité des zones d'étude.....	53
Tableau 18 : Exemple de la diversité de sifflements émis par les Delphinidés avec le spectrogramme des émissions des espèces supposées communes au large de Saint-Nazaire.....	55
Tableau 19 : Synthèse des portées de détection pour chaque zone d'étude en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes en mer de Saint-Nazaire (saison estivale 2019).	58
Tableau 20 : Synthèse des portées de détection pour chaque zone d'étude en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes en mer de Saint-Nazaire (saison hivernale 2020). .	58
Tableau 21 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant la saison estivale, entre le 20 juin et 30 octobre 2019.....	70
Tableau 22 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant la saison hivernale, entre le 25 janvier et 25 février 2020.....	82
Tableau 23 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant les périodes estivale et hivernale, au niveau des zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est.....	88

Lexique des mots techniques

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

Acoustique active

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

Acoustique passive

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

AIS

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

Chorus sonore

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

CPA

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

Décibel

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

Empreinte sonore

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

Energie acoustique reçue

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

Fréquence sonore

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

Gabarit de bruit

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

Hydrophone

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

ICI

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

IPI

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

Mitigation

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

Octave

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

Marnage

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

Niveau d'exposition sonore

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

PAM (Passive Acoustic monitoring).

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

Percentile, ou centile, quantile

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

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

Pertes de propagation

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

Pression acoustique crête à crête

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

Pression acoustique émise

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

Pression acoustique reçue

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

Profil de célérité

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

Quantile

Voir percentile.

Spectrogramme

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

Chapitre I. Présentation de l'étude

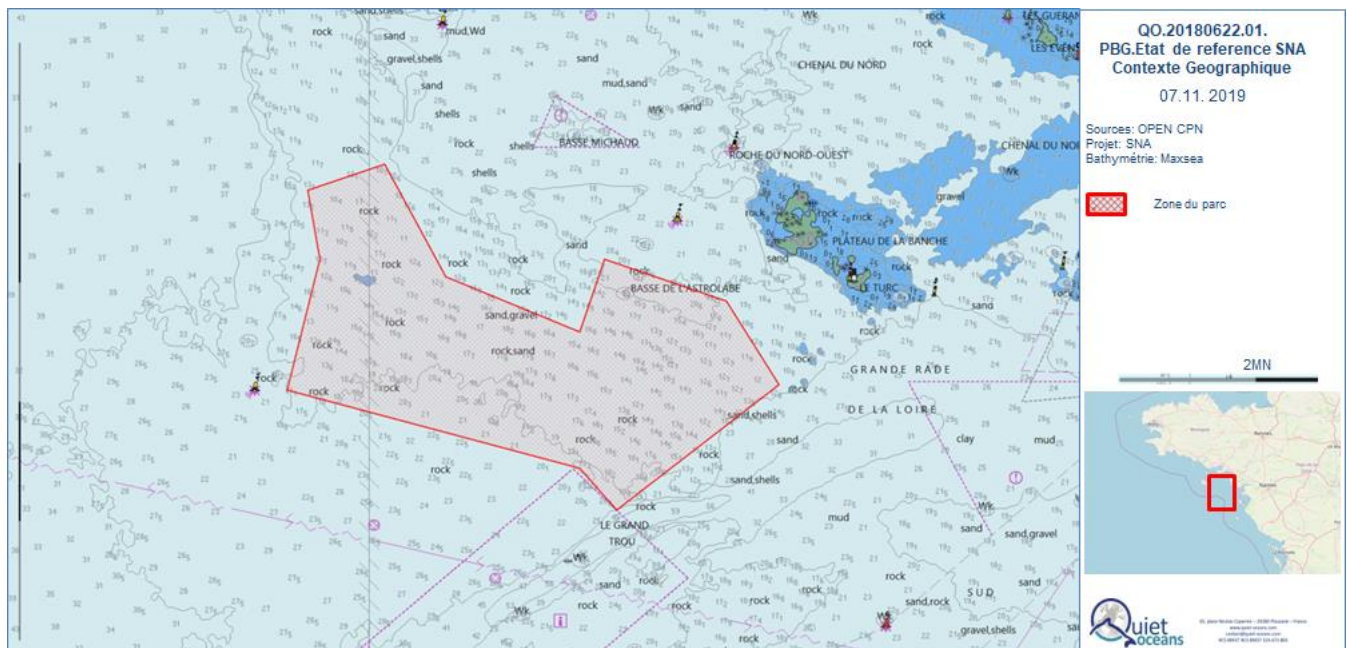
La société Parc du Banc de Guérande (PBG) s'est vue, lors du premier appel d'offres éolien en mer, attribuer le site au large de Saint-Nazaire pour le développement et l'exploitation d'un parc éolien en mer de 80 éoliennes pour une puissance de 480 MW (Figure 1).

La société Parc du Banc de Guérande (PBG) bénéficie depuis le 17 mars 2016 d'un arrêté autorisant, au titre de l'article L214-3 du code de l'environnement, l'aménagement et l'exploitation d'un parc éolien en mer au large de Saint-Nazaire. L'article 2.5 de cet arrêté décrit les suivis des effets du projet sur l'environnement. Ces suivis concernent plusieurs compartiments et doivent être réalisés selon le principe BACI avant et pendant les travaux d'installation du projet éolien, puis pendant la phase d'exploitation du projet.

Les objectifs de l'état de référence sont :

- ✓ De mettre en œuvre un suivi acoustique à l'aide d'enregistreurs acoustiques autonomes et de C-POD ;
- ✓ De traiter les données mesurées afin de déterminer le bruit ambiant sous-marin ainsi que la fréquentation et le comportement des mammifères marins.
- ✓ De caractériser le bruit ambiant de référence avant la phase de travaux ;
- ✓ De caractériser la fréquentation du site par les mammifères marins avant la phase de construction.

Figure 1 : Contexte géographique de l'étude.



Chapitre II. Introduction

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

II.1. La problématique du bruit sous-marin

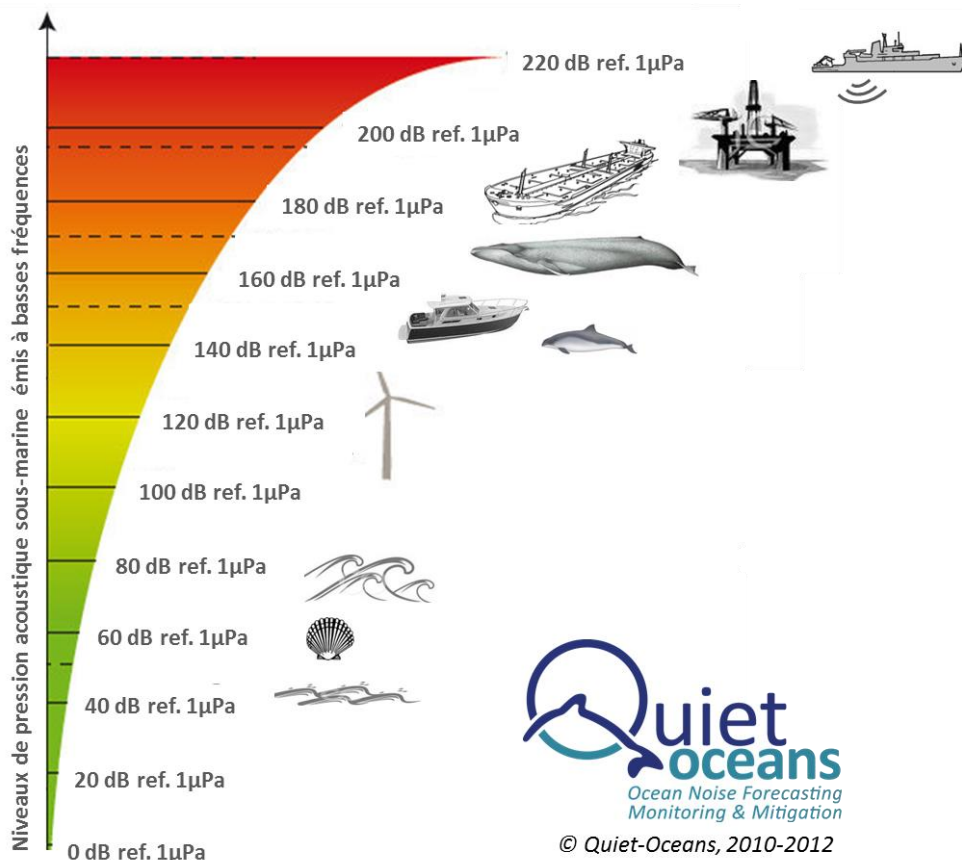
Le monde sous-marin est tout sauf silencieux, et est composé d'un chœur sonore regroupant trois familles de bruit : les bruits naturels (vagues, craquements sismiques...), les bruits biologiques (mammifères marins et autre biodiversité marine), et les bruits anthropiques (activités humaines, trafic maritime...).

Ces bruits sont de nature bien différente selon les endroits, les saisons, les conditions climatiques, l'heure de la journée, etc. Ainsi, le bruit sous-marin constitue une composante physique à évaluer dans un contexte géographique donné, et dont les modifications peuvent potentiellement avoir des conséquences sur l'écosystème et certains organismes marins sensibles à la pression.

Les niveaux de bruit sous-marin ne sont pas à comparer avec les niveaux de bruit aérien. En effet, le niveau de référence est de 1 μPa en acoustique sous-marine, contre 20 μPa dans l'air. De plus, avec une densité environ 1000 fois plus élevée que l'air, le milieu océanique est considéré comme un milieu de propagation incompressible contrairement à l'air. Ainsi, toute comparaison est à proscrire.

La Figure 2 donne, à titre illustratif, une échelle de niveaux sonores émis typiques, soit par les activités humaines, soit par la faune marine, soit par les conditions environnementales.

Figure 2 : Echelle qualitative des niveaux de bruits sous-marins émis à un mètre dans une bande basse fréquence de quelques kHz.



Source : Quiet-Oceans

II.2. Qu'est-ce que le chorus sonore sous-marin

Le bruit sous-marin est un véritable chorus sonore où des bruits de différentes natures et origines se mélangent :

- ✓ Les bruits naturels ou géophonie regroupent les bruits issus des craquements de la Terre, des déplacements des sédiments marins, du déferlement des vagues, des précipitations, etc. ;
- ✓ Les bruits biologiques ou biophonie regroupent les bruits d'origine biologique générés par la faune marine ;
- ✓ Les bruits anthropiques, ou anthropophonie, sont les bruits d'origine humaine générés par les activités maritimes.

Tous ces bruits interagissent les uns avec les autres, se dominant les uns par rapport aux autres pour former le contexte sonore d'une aire d'étude (Figure 3). La Figure 4 synthétise les niveaux sonores typiques en dB ref $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ en fonction de leur origine (anthropique, environnementale ou biologique) et en fonction de la gamme de fréquence (Dosits.org, 2016). L'ensemble des sources sonores contribue au bruit ambiant avec une prédominance très variable en fonction de la fréquence, des conditions environnementales, des activités humaines et du contexte local.

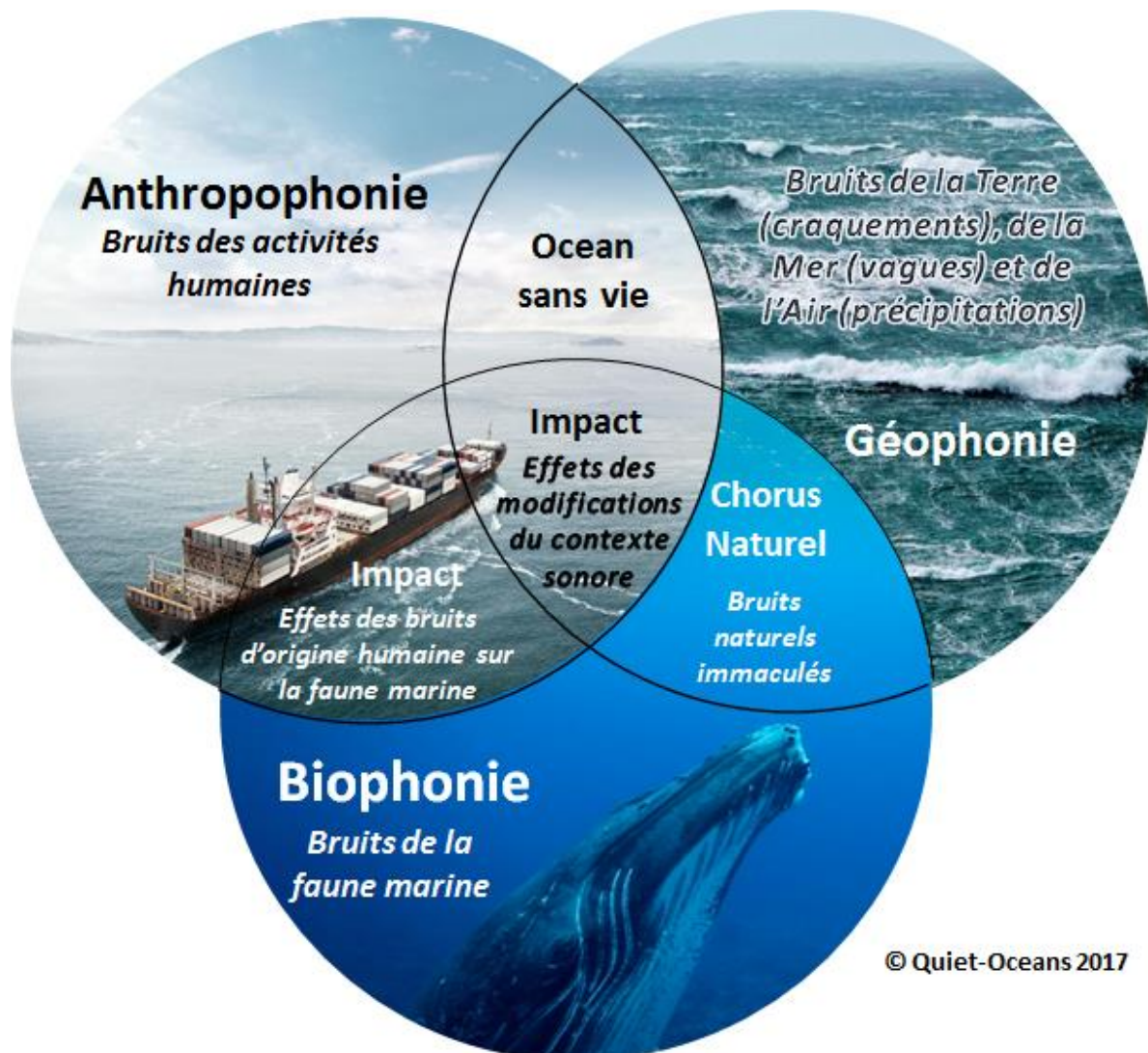


Figure 3 : Composition du chorus sonore sous-marin.

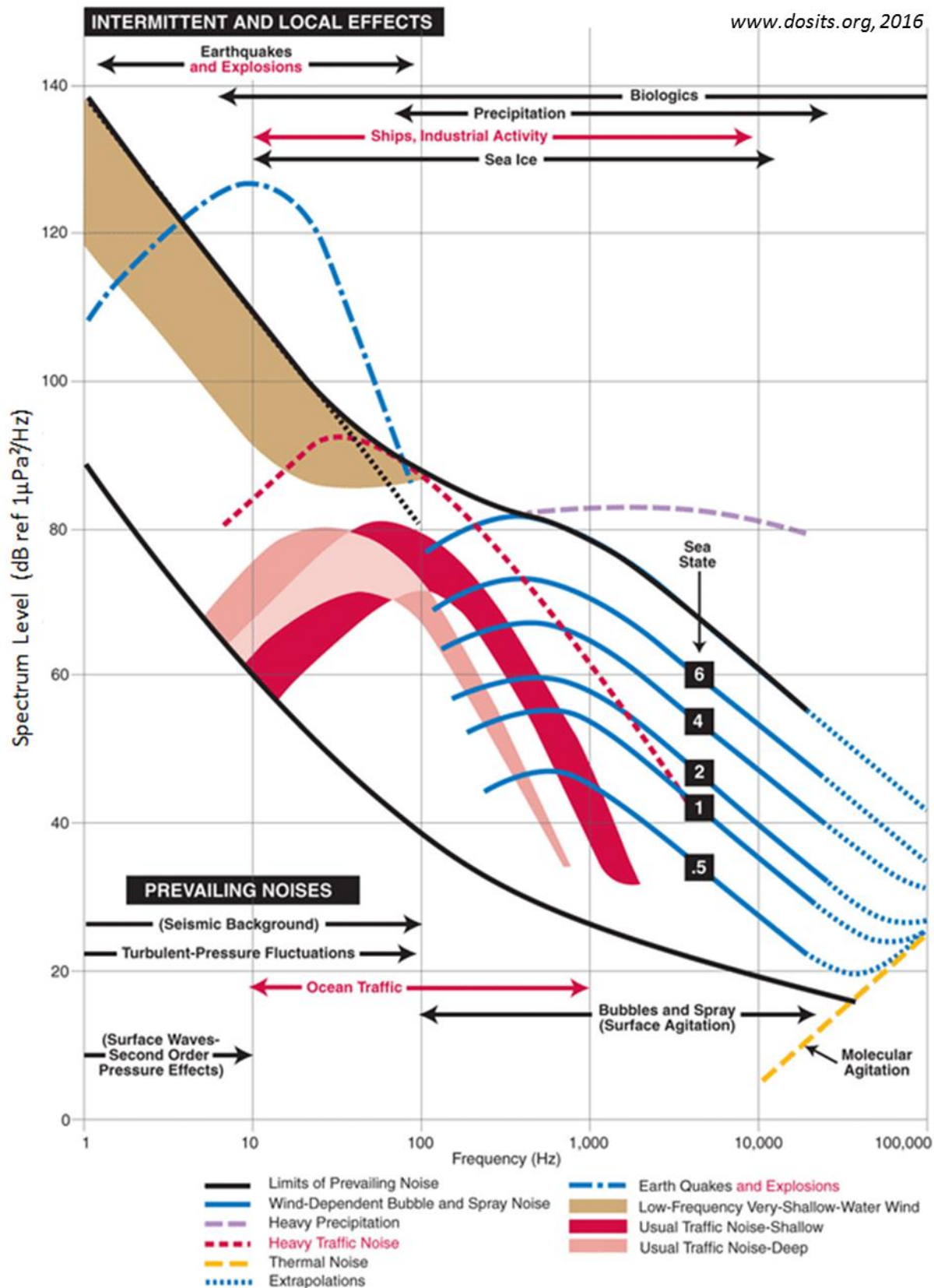


Figure 4 : Synthèse des niveaux de bruit typiques en fonction de la fréquence et de la nature de la source de bruit. Ces valeurs peuvent être très dépendantes du site, de la saison, et du contexte (Dosits.org, 2016).

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

La méthodologie proposée repose sur quatre étapes :

- ✓ La mesure du bruit à l'aide d'enregistreurs acoustiques durant deux saisons (été et hiver) ;
- ✓ L'analyse de la fréquentation de la zone par les mammifères marins à l'aide d'enregistreurs acoustiques et de systèmes C-POD ;
- ✓ La cartographie statistique du bruit existant lié à la fois aux vagues et à l'état de mer, et aux activités maritimes existantes. Cela constitue une évaluation de l'état sonore initial.

Chapitre III. Protocole de mesures acoustiques

Le protocole de suivi acoustique a été défini en concertation avec le donneur d'ordre et les parties prenantes. Ce protocole impose des mesures par acoustique passive durant les saisons estivale et hivernale.

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

- ✓ Le déploiement de trois cages équipées d'un enregistreur acoustique autonome posées sur le fond de la mer pendant une durée de 30 jours ;
- ✓ Le déploiement de six systèmes autonomes C-POD dans la colonne d'eau pendant une durée de 90 jours.

Le Tableau 1 indique les dénominations associées des zones d'implantation du suivi acoustique pour l'état de référence. La Figure 5 illustre la position de ces différentes zones de mesures acoustiques (Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est). Chaque cercle rouge définit la zone d'implantation des instruments. Durant la saison estivale, les six systèmes C-POD sont déployés dans la zone Nord-Ouest et durant la saison hivernale, les six systèmes C-POD sont déployés dans la zone Sud-Est. A chaque saison, un enregistreur acoustique est déployé dans chaque zone.

Tableau 1: Zones d'implantation du suivi acoustique

	Type de suivi	Dénomination de la zone géographique
Zone	Suivi spécifique Eté	Nord-Ouest
	En dehors périmètre	Sud-Ouest
	Suivi spécifique Hiver	Sud-Est

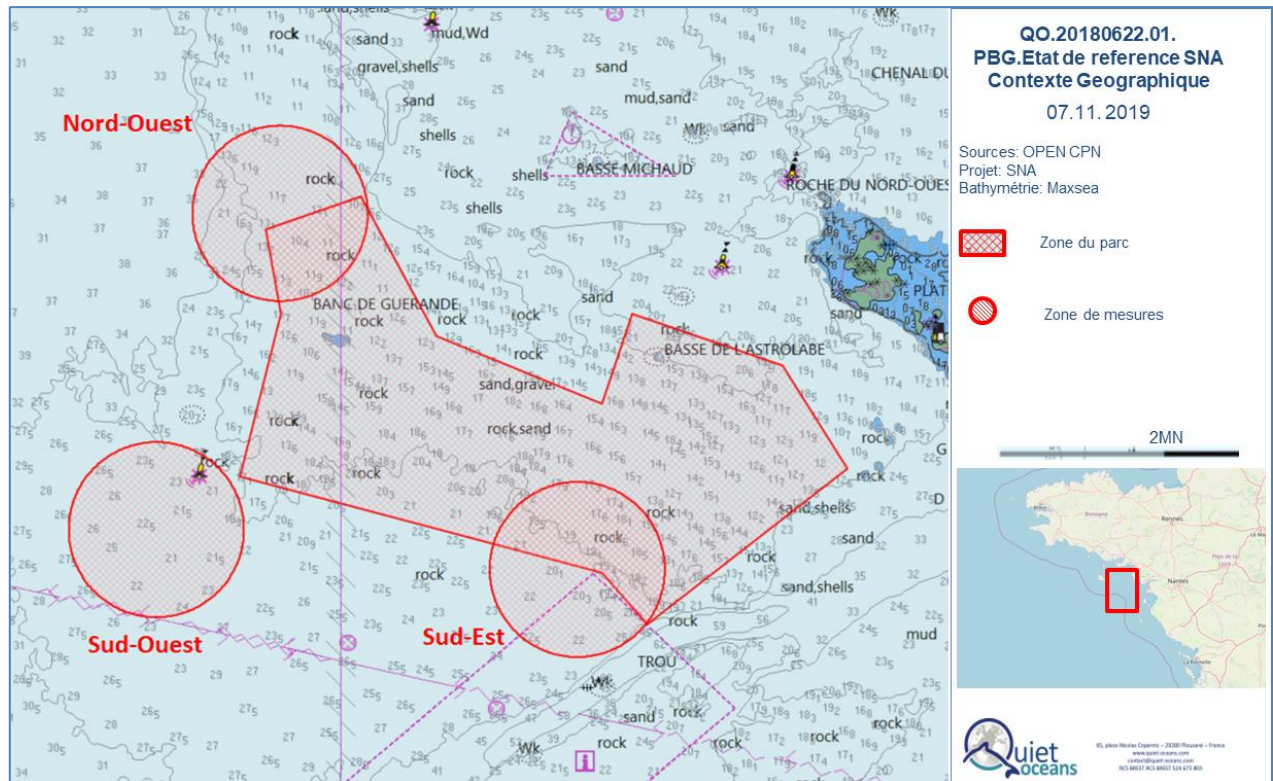


Figure 5 : Définition des zones de mesure.

III.1. Les systèmes de mesure

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

Uniquement dédié à l'estimation de la fréquentation des mammifères marins, le système C-POD détecte automatiquement les clics émis par les Delphinidés et les marsouins.

III.1.1. Enregistreur acoustique

Les enregistreurs acoustiques sont du type SM3M produits par la société Wildlife Acoustics et sont intégrés dans une cage de fond (Figure 6 et Tableau 2). Les enregistreurs mesurent le signal acoustique sur une bande de fréquences jusqu'à 180 kHz, suffisante pour caractériser :

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

La sauvegarde des signaux bruts dans un disque de grande capacité du SM3M permet de stocker l'équivalent de 30 jours de mesures continues. Ses caractéristiques techniques sont adaptées à l'étude des bruits biologiques sur la zone de Saint-Nazaire, comme démontré lors de la mise en œuvre lors de l'étude d'impact. Un tel système d'acquisition permet de collecter, sur une large plage temporelle et une sur une large gamme de fréquence, la diversité des bruits présents dans la zone d'étude (bruits anthropiques, bruits naturels et bruits biologiques). Les traitements, détectations et analyses effectués en laboratoire sur cette donnée brute peuvent être vérifiés et validés par un opérateur spécialisé.

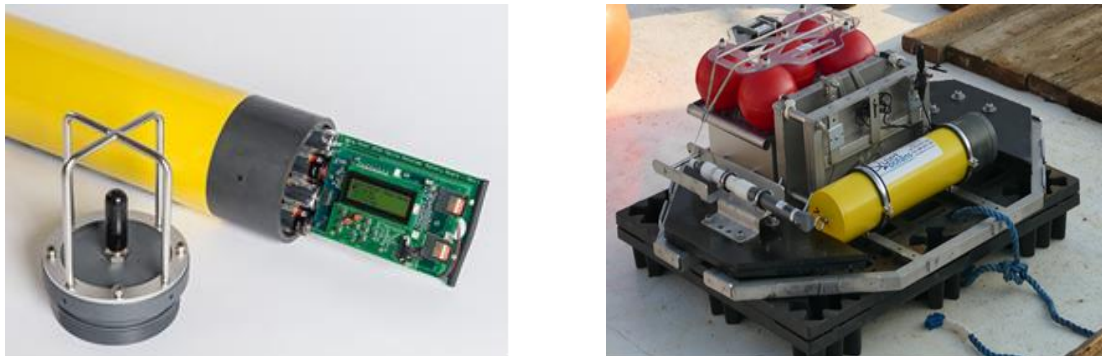


Figure 6 : Cage équipée d'un enregistreur acoustique autonome.

Tableau 2 : Caractéristiques techniques de l'enregistreur SM3M.

Hydrophone	HTI99HF, omnidirectionnel
Bande de fréquence	10Hz-180kHz (10 Hz à 80 kHz dans une bande +/- 2 dB)
Fréquence d'échantillonnage	256 kHz
Sensibilité	-165 dB ref. 1V/ μ Pa
Gain	12 dB
Audio files format	Wac
Longueur	79,4 cm
Diamètre	16,5 cm
Poids	13,5 kg avec 32 piles
Profondeur maximale	200 m
Plage de températures	-20°C to 50°C

III.1.2. Détecteur C-POD

Le détecteur C-POD (*Cetacean PORpoise Detector*, fabriqué par Chelonia Limited) est un instrument spécialisé pour la détection automatique des clics de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*) et des clics de Delphinidés dans la bande de fréquence allant de 9 à 170 kHz. Il détecte également les signaux des SONARS opérants dans cette gamme de fréquence.

Cet instrument comprend un hydrophone omnidirectionnel, un système de traitement du signal et une carte mémoire insérés dans un tube étanche. Constitué d'un capteur qui enregistre les sons du milieu marin et d'un algorithme de détection interne, son fonctionnement repose sur la comparaison directe de l'énergie présente entre une bande de fréquence de référence et celle des signaux d'intérêts. Lorsqu'un bruit est en phase avec ces critères, alors l'instant auquel le signal d'intérêt recherché a eu lieu et sa durée sont enregistrés, dans un fichier, comme un évènement.

Avant La mise à l'eau, la configuration des paramètres de détection tels que la fréquence de coupure du filtre passe-haut et du nombre maximal de clics détectés par minute sont programmés dans le système. Ces paramètres conditionnent la qualité des détections et l'occupation de l'espace mémoire.

A partir des différents tests effectués en laboratoire et de la connaissance acquise sur site en 2013 (acquisitions acoustiques réalisées durant l'étude d'impact), les paramètres utilisés pour ce site et pour ces campagnes sont les suivants :

- ✓ Une fréquence de coupure du filtre passe-haut à 40 kHz ;
- ✓ Un maximum de 4096 clics/min.

Dans la cadre du projet, une répartition spécifique des systèmes C-POD est effectuée en fonction de la saison. Durant la saison estivale, les 6 systèmes C-POD sont uniformément répartis spatialement afin de couvrir l'ensemble de la zone Nord-Ouest (Figure 9). Durant la saison hivernale, les 6 systèmes C-POD sont disposés dans la zone Sud-Est (Figure 11). La distance entre deux détecteurs C-POD placés sur la périphérie est de 1.9 km et la distance séparant un détecteur C-POD périphérique du détecteur C-POD central est de 1,5 km. Afin d'évaluer la qualité de ce système automatique, un enregistreur acoustique est placé à moins de 100 m d'un système autonome C-POD en particulier. Cette configuration de déploiement permet une inter-comparaison des systèmes du point de vue bioacoustique exclusivement.

Le système C-POD présente des avantages certains, tels que le coût réduit de l'instrumentation, la facilité de traitement des données (semi-automatisé) et la durée d'autonomie importante en fonctionnement continu. Toutefois, cet instrument souffre de quelques limitations :

- ✓ Le fonctionnement en continu n'est pas réel car, chaque minute, la détection peut s'arrêter au bout d'un certain nombre de secondes si le nombre maximal de détections par minute est atteint. En cas de positionnement dans un environnement générateur de clics ressemblant à ceux des cétacés, comme par exemple une activité benthique soutenue, la capacité de détection des cétacés peut être très réduite (et faussée) au profit d'autres sons jusqu'à atteindre la limite d'enregistrement ;
- ✓ Les activités de vocalises des cétacés ne sont pas détectées : leur présence ne peut pas être détectée, notamment pendant les périodes de socialisation lorsque les cétacés vocalisent mais n'émettent pas de clics ;
- ✓ L'efficacité du détecteur varie selon les études. L'étude de Reyes-Zamudio (2005), réalisée dans la Zone Spéciale de Conservation de Cardigan Bay en Ecosse, a permis de montrer que 11% des clics émis par le Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*) ont été détectés contre 82% pour une étude de la même espèce dans l'estuaire de Shannon en Irlande (Philpott et al. 2007). Une autre étude, dont le but était de comparer (1) les détections visuelles et acoustiques des Grands Dauphins et, (2) la probabilité de détection par les systèmes C-POD et par un enregistreur acoustique embarqué sur un bateau, a démontré que les systèmes C-POD n'ont pas détecté tous les clics d'écholocation des Grands Dauphins enregistrés par bateau. De plus, les systèmes C-POD n'ont pas systématiquement détectés les Delphinidés lorsqu'ils étaient observés visuellement (Bailey et al. 2010). Enfin, une étude comparant les résultats de deux systèmes C-POD côte à côte a fait apparaître des différences de détection jusqu'à 50% (Béseau et al. 2017) ;
- ✓ Le système C-POD agit comme une boîte noire sur laquelle les opérateurs n'ont pas de prise et dont ils ne peuvent connaître la fiabilité. Le signal original attestant la présence de l'évènement ainsi que les signaux non reconnus comme d'intérêt par l'algorithme ne sont pas conservés. Bien que ce fonctionnement permette d'économiser du stockage et ainsi de déployer le système sur de plus longues périodes, une vérification ou un contrôle qualité sont quant à eux rendus impossibles. Dans un contexte similaire, la donnée brute (clip du son) n'est pas enregistrée, et l'algorithme qui détecte et classe les signaux n'a pas été publié. L'algorithme est mis à jour régulièrement, impliquant alors que différentes séances d'acquisition qui utilisent des versions différentes ne sont pas vraiment directement comparables ;
- ✓ En l'absence de détection de vocalises, les clics ne permettent pas de renseigner sur l'activité ni sur les cinématiques des cétacés ;
- ✓ Le système C-POD ne renseigne pas sur le bruit ambiant et par conséquent, ne permet pas de calibrer la modélisation acoustique ni d'informer sur les activités anthropiques (à l'exception de certains sonars).



Figure 7 : Illustration d'un système C-POD.

Dans le cadre de cette étude, les paragraphes suivants font état des données collectées par les différents systèmes acoustiques déployés pour les deux saisons préférentielles (été 2019 et hiver 2020).

III.2. Campagne Eté

Durant la période estivale, six systèmes C-POD ont été déployés dans la zone Nord-Ouest du 20 juin au 30 octobre 2019 et un enregistreur acoustique a été déployé dans chaque zone du 20 juin au 24 juillet 2019. La Figure 8 et la Figure 9 illustrent le positionnement des systèmes C-POD et des enregistreurs acoustiques. Le système C-POD fonctionne en continu sur toute la période de mesure tandis que l'enregistreur acoustique collecte 3 minutes de données toutes les 10 minutes, soit des acquisitions périodiques qui permettent de couvrir au total 30% du temps.

Le Tableau 3 synthétise pour chaque système C-POD les informations de localisation et les périodes d'enregistrement. Le système C-POD3-E est fractionné en deux parties car il a été procédé à un relevage intermédiaire afin de contrôler le bon fonctionnement du dispositif et la validité des réglages. Mis à part le système C-POD2-E, l'ensemble des systèmes ont collecté de la donnée sur une durée unitaire de 127 jours (environ 4 mois) soit une durée supérieure de 37 jours à la période désirée. L'absence de donnée à l'emplacement du système C-POD2 -E n'impacte pas de manière significative l'ensemble des résultats généraux à l'échelle de la zone Nord-Ouest.

Le Tableau 4 synthétise les données collectées par les enregistreurs acoustiques dans les trois zones. La durée unitaire pour chaque enregistreur est de 35 à 39 jours. En raison d'aléas technique et climatique, l'enregistreur acoustique situé dans la zone Sud-Est a subi un décalage de période durant la saison estivale.

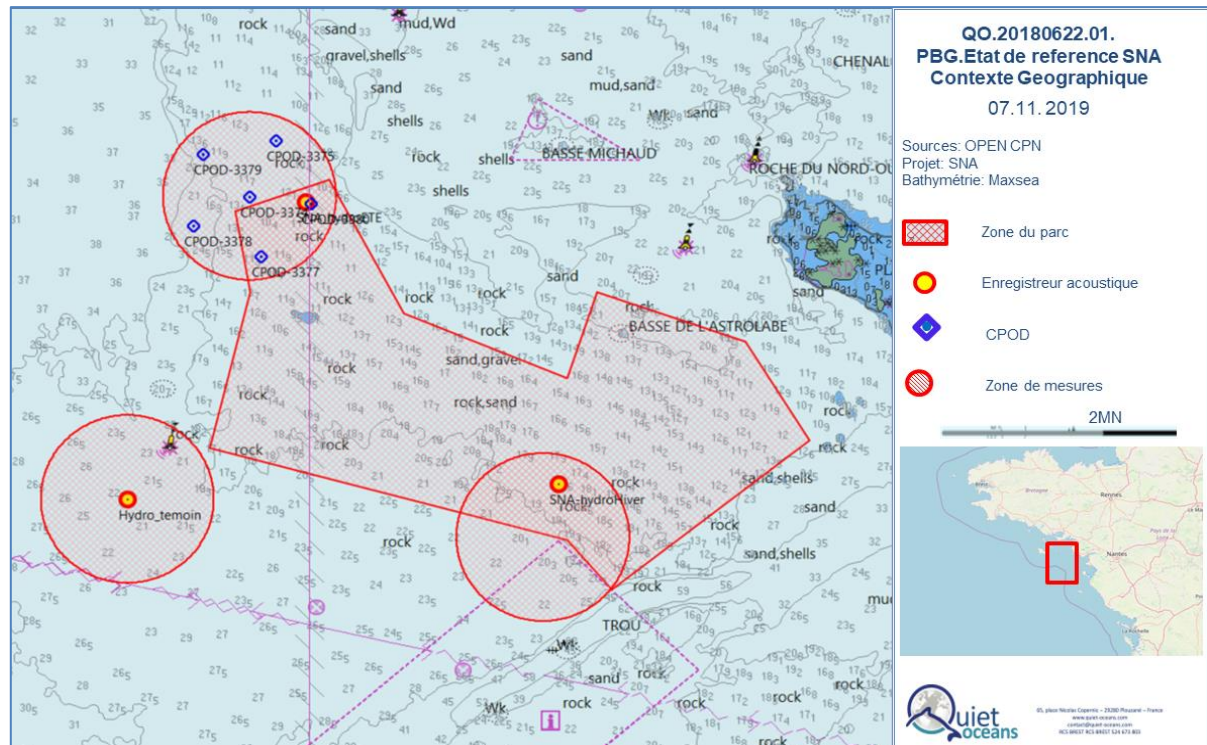


Figure 8 : Protocole de mesure durant la saison estivale.

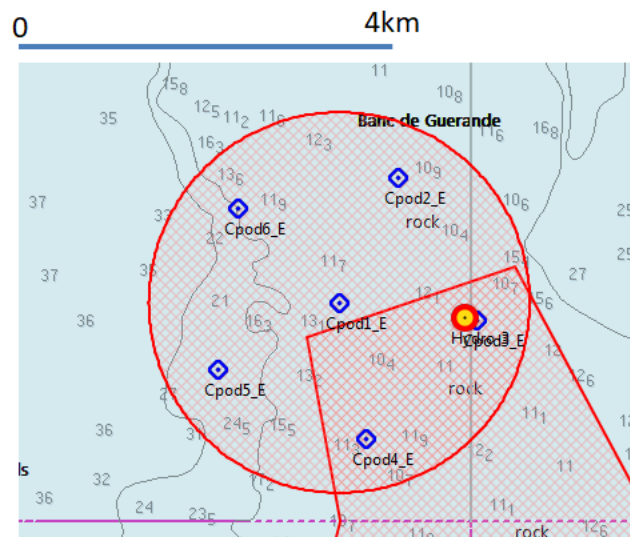


Figure 9 : Détail du positionnement des détecteurs C-POD et de l'enregistreur acoustique durant la saison estivale. La distance entre deux détecteurs C-POD placés sur la périphérie est de 1.9 km et la distance séparant un détecteur C-POD périphérique du détecteur C-POD central est de 1,5 km.

Tableau 3 : Synthèse des déploiements des systèmes C-POD durant la saison estivale.

	C-POD1-E	C-POD2-E	C-POD3-E		C-POD4-E	C-POD5-E	C-POD6-E
Référence C-POD	3374	3375	3376	3380	3377	3378	3379
Type C-POD	C-POD-V1	C-POD-V1	C-POD-V1	C-POD-V1	C-POD-V1	C-POD-V1	C-POD-V1
Campagne	ETE	ETE	ETE	ETE	ETE	ETE	ETE
Longitude (Deg Min)	02°41.2164' W	02°40.6787' W	02°39.9754' W	02°39.9640' W	02°40.9828' W	02°42.3389' W	02°42.1467' W
Latitude (Deg Min)	47°12.3546' N	47°13.1456' N	47°12.2529' N	47°12.2499' N	47°11.5120' N	47°11.9400' N	47°12.9515' N
Hauteur d'eau CM (m)	15	16	16	16	16	20	30
Position capteur /fond	1.7m	1.7m	1.7m	1.7m	1.7m	1.7m	1.7m
Date de mouillage	20.06.2019	20.06.2019	20.06.2019	24.07.2019	20.06.2019	20.06.2019	20.06.2019
Date de relevage	30.10.2019	30.10.2019	24.07.2019	30.10.2019	30.10.2019	30.10.2019	30.10.2019
Durée campagne (jour)	127	127	34	93	127	127	127
Validité des mesures (jour)	127	0	34	93	127	127	127

Tableau 4 : Synthèse de données acoustiques collectées durant la saison estivale.

Zone	Nom enregistreur	Date de début	Date de fin	Durée campagne	Durée enregistrement (j)	Nb de fichiers	Quantité donnés (go) ¹	Longitude	Latitude	Immersion système/fond (m)	Hauteur d'eau CM (m)
Nord-Ouest	ENR-015	19/06/2019	24/07/2019	35	22.6	2301	713	02°40.0826' W	47°12.2810' N	0.5	16
Sud-Ouest	ENR-012	19/06/2019	24/07/2019	35	22.6	2508	763	02°43.6975' W	47°08.0850' N	0.5	21
Sud-Est	ENR-013	19/06/2019	24/07/2019	35	Données non valides			02° 34.9802'W	47° 08.2957'N	0.5	27
	ENR-012	24/07/2019	01/08/2019	9	5.1	565	174	02° 34.9802'W	47° 08.2957'N	0.5	27
	ENR-015	01/08/2019	01/09/2019	30	21.1	2337	769	02° 34.9802'W	47° 08.2957'N	0.5	27

III.3. Campagne Hiver

Durant la période hivernale, six systèmes C-POD ont été déployés dans la zone Sud-Est du 24 janvier au 18 mai 2020 et un enregistreur acoustique a été déployé dans chaque zone du 25 janvier au 25 février 2020. La Figure 10 et la Figure 11 illustrent le positionnement des systèmes C-POD et des enregistreurs acoustiques sur cette période hivernale. Le système C-POD fonctionne en continu sur toute la période de mesure tandis que l'enregistreur acoustique collecte 3 minutes de données toutes les 10 minutes, soit des acquisitions périodiques qui permettent de couvrir au total 30% du temps. Le Tableau 5 synthétise pour chaque système C-POD les informations de localisation et les périodes d'enregistrement. Les systèmes ont collecté de la donnée sur une durée unitaire de 124 jours (environ 4mois) soit une durée supérieure de 34 jours à la période désirée. Le système C-POD2-H, pour une raison indéterminée a stoppé son enregistrement des détections 5 jours avant la durée désirée. Cette légère perte d'information n'entraîne aucune conséquence quant aux résultats généraux pour la zone Sud-Est.

Le Tableau 6 synthétise les données collectées par les enregistreurs acoustiques dans les trois zones. La durée unitaire pour chaque enregistreur est d'environ 40 jours.

¹ Les fichiers sont au format audio de type FLAC.

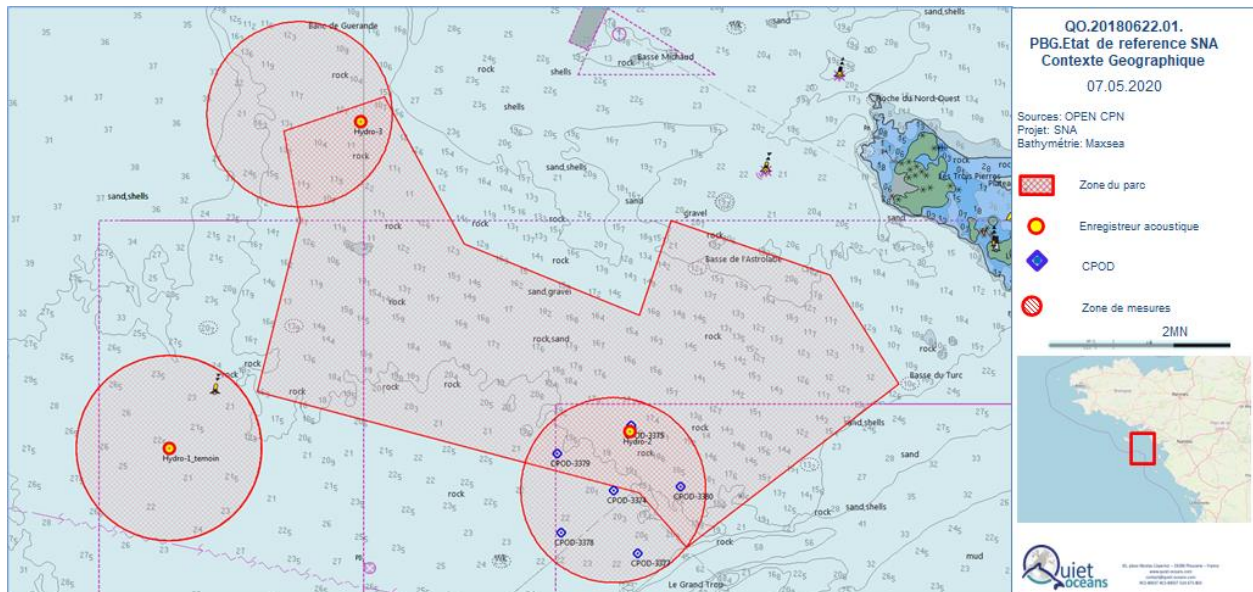


Figure 10 : Protocole de mesure durant la saison hivernale.

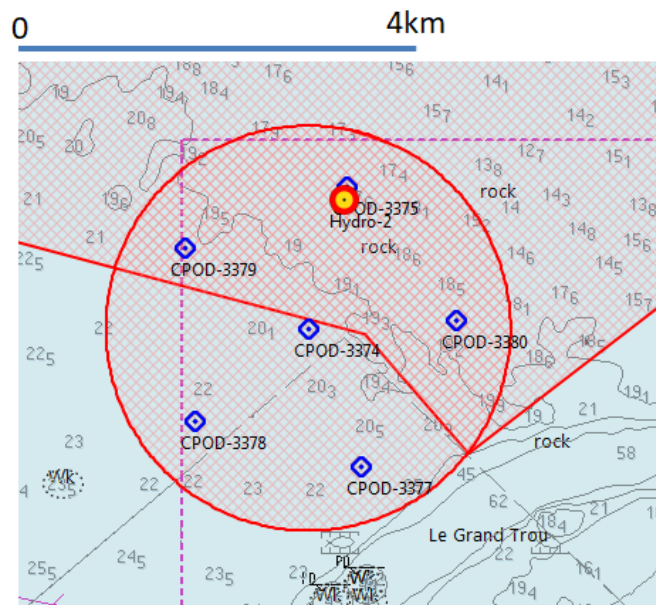


Figure 11 : Détail du positionnement des détecteurs C-POD et de l'enregistreur acoustique durant la saison hivernale. La distance entre deux détecteurs C-POD placés sur la périphérie est de 1.9 km et la distance séparant un détecteur C-POD périphérique du détecteur C-POD central est de 1,5 km.

Tableau 5 : Synthèse des déploiements des systèmes C-POD durant la saison hivernale.

	C-POD1-H	C-POD2-H	C-POD3-H	C-POD4-H	C-POD5-H	C-POD6-H
Référence C-POD	3374	3375	3380	3377	3378	3379
Type C-POD	C-POD-V1	C-POD-V1	C-POD-V1	C-POD-V1	C-POD-V1	C-POD-V1
Campagne	HIVER	HIVER	HIVER	HIVER	HIVER	HIVER
Longitude (Deg Min)	02°35.2974'W	02°34.9602'W	2°34.0520'W	2°34.8182'W	2°36.2649'W	2°36.3635'W
Latitude (Deg Min)	47°07.5563'N	47°08.3618'N	47°07.5648'N	47°06.7370'N	47°06.9908'N	47°08.0027'N
Hauteur d'eau CM (m)	23	20	21.6	25.4	25	20.5
Position capteur/fond (m)	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
Date de mouillage	24.01.2020	24.01.2020	24.01.2020	24.01.2020	24.01.2020	24.01.2020
Date de relevage	18.05.2020	19.05.2020	19.05.2020	18.05.2020	18.05.2020	18.05.2020
Durée campagne (jour)	123	85	124	124	124	124
Validité des mesures (jour)	123	85	124	124	124	124

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

Zone	Nom enregistreur	Date de début	Date de fin	Durée campagne	Durée enregistrement (j)	Nb de fichiers	Quantité donnés (go) ²	Longitude	Latitude	Immersion/fond	Hauteur d'eau CM (m)
Nord-Ouest	ENR-012	24/01/2020	05/03/2020	41	26.6	2959	996	02°40.0826' W	47°12.2810' N	0.5m	16
Sud-Ouest	ENR-015	23/01/2020	05/03/2020	41.8	27.2	3008	1005	02°43.6660' W	47°08.0928' N	0.5m	27
Sud-Est	ENR-018	24/01/2020	04/03/2020	40	25.7	2885	1001	02° 35.0031'W	47° 08.3033'N	0.5m	21

² Les fichiers sont au format audio de type FLAC.

III.4. Synthèse des données collectées

Une synthèse des mesures acoustiques acquises pour chaque saison et chaque zone est fournie dans le Tableau 7. Ce tableau met en évidence la complétude des données acquises par les enregistreurs acoustiques SM3M vis-à-vis des exigences de l'état de référence. Concernant les systèmes C-POD, tous les systèmes ont collectés plus d'information (en moyenne 37 jours) que les exigences de l'étude (90 jours). Seul un seul système n'a pas fonctionné durant toute la campagne estivale dans la zone Nord-Ouest (système C-POD2-E). A l'échelle de la zone, cette absence de donnée n'entraîne pas de modifications majeures quant aux conclusions générales concernant la fréquentation de cette zone Nord-Ouest par les mammifères marins.

Tableau 7 : Synthèse des mesures acoustiques collectées.

Saison	Zone	Système	Date de début	Date de fin	Nb de jours
Eté	Nord-Ouest	C-POD1-E	20/06/2019	30/10/2019	127
	Nord-Ouest	C-POD2-E	20/06/2019	30/10/2019	0
	Nord-Ouest	C-POD3-E	20/06/2019	30/10/2019	127
	Nord-Ouest	C-POD4-E	20/06/2019	30/10/2019	127
	Nord-Ouest	C-POD5-E	20/06/2019	30/10/2019	127
	Nord-Ouest	C-POD6-E	20/06/2019	30/10/2019	127
	Nord-Ouest	SM3M	19/06/2019	24/07/2019	35
	Sud-Ouest	SM3M	19/06/2019	24/07/2019	35
	Sud-Est	SM3M	24/07/2019	01/09/2019	38
Hiver	Sud-Est	C-POD1-H	24/01/2020	18/05/2020	123
	Sud-Est	C-POD2-H	24/01/2020	19/05/2020	85
	Sud-Est	C-POD3-H	24/01/2020	19/05/2020	124
	Sud-Est	C-POD4-H	24/01/2020	18/05/2020	124
	Sud-Est	C-POD5-H	24/01/2020	18/05/2020	124
	Sud-Est	C-POD6-H	24/01/2020	18/05/2020	124
	Nord-Ouest	SM3M	24/01/2020	05/03/2020	26.6
	Sud-Ouest	SM3M	23/01/2020	05/03/2020	27.2
	Sud-Est	SM3M	24/01/2020	04/03/2020	25.7

Chapitre IV. Analyse des niveaux sonores mesurés

Une analyse des niveaux sonores de l'état de référence est établie à partir des données collectées par les hydrophones dans les trois zones et pour les deux saisons (été 2019 et hiver 2020) (Figure 8 & Figure 10).

IV.1. Analyse du bruit ambiant large bande

Le niveau sonore large bande mesuré (courbes bleues) par l'enregistreur acoustique autonome pendant la période estivale 2019, (Figure 12) et pendant la saison hivernale 2020 (Figure 13) montre la superposition :

- ✓ D'un bruit permanent ou pied de bruit (courbe rouge) présentant une variabilité d'environ 7 à 8dB en raison des variations jour/nuit quelle que soit la zone de suivi durant la saison estivale. Cette variation est quasi inexistante durant la saison hivernale. Sur la période de mesure estivale, le signal présente peu de variation journalière. Toutefois dans la zone Sud-Est, trois évènements d'une durée unitaire de 2 à 3 jours engendrent une élévation du niveau sonore permanent. Ces évènements se caractérisent par des chocs en basse fréquence et des épisodes de pluie dans la bande de 1 à 30 kHz (Figure 14). Durant la saison hivernale, en raison des conditions météorologiques, un déplacement sédimentaire régulier engendre des chocs très fréquents sur le capteur acoustique et de ce fait des bruits basses fréquences.
- ✓ De bruits forts dominant le bruit permanent pendant des durées de l'ordre de 5 à 15 minutes, représentatifs du passage de navires à proximité de l'hydrophone (Figure 14). Durant la saison estivale, dans les zones Nord-Ouest et Sud-Est, la fréquentation moyenne du site par les navires engendrant une émergence de 15 dB au-dessus du bruit permanent (courbe rouge) s'établit à un navire par jour tandis qu'à proximité de la zone Sud-Ouest, cette fréquentation moyenne passe à 2,2 navires par jour. Ces évènements anthropiques se situent essentiellement pendant la période diurne. Durant la saison hivernale, très régulièrement, les bruits engendrés par le déplacement sédimentaire masquent le bruit induit par les passages des navires à proximité de la zone des mesures. Ces bruits intenses et fréquents sont engendrés très probablement par le contact des particules sédimentaires sur l'hydrophone.

Les Tableau 8, Tableau 9 et Tableau 10 donnent la répartition statistique du bruit large bande (entre 20Hz et 40 kHz) durant la saison estivale pour chaque zone. De manière similaire, les Tableau 11, Tableau 12 et Tableau 13 donnent cette répartition statistique durant la saison hivernale. Chaque tableau donne le niveau sonore en fonction du percentile. La distinction jour/nuit permet de mettre en évidence l'augmentation significative du bruit permanent durant la période nocturne quelle que soit la zone.

Durant la saison estivale, l'écart le plus significatif est observable dans la zone Sud-Ouest avec une différence de 4.2 dB quant à la valeur médiane. Cette augmentation du bruit est engendrée par l'activité des organismes benthiques. Entre les différentes zones de mesure, la zone Nord-Ouest apparaît significativement plus bruyante en valeur médiane (de +10 dB en comparaison de la zone Sud-Ouest et de +6,5 dB en comparaison de la zone Sud-Est). En comparaison des valeurs mesurées au centre du parc éolien lors de l'étude d'impact (Clorennec, 2014), les mesures actuelles montrent une augmentation médiane du bruit de +3,8dB. Cette augmentation peut provenir essentiellement du positionnement en un point de mesure différent de celui utilisé durant l'étude d'impact et dans une seconde mesure du changement de système de mesure.

Durant la période hivernale, la statistique des résultats met en évidence l'absence de différence de niveaux sonores entre les périodes diurnes et nocturnes quelle que soit la zone. En comparaison de la saison estivale, cette saison hivernale donne des niveaux médians très proches sur les deux zones Nord-Ouest (-2dB) et Sud-Est (+1dB). La variation plus significative (+4.5dB) s'observe dans la zone Sud-Ouest. Cette zone est plus sensible aux conditions météorologiques et en particulier au vent.

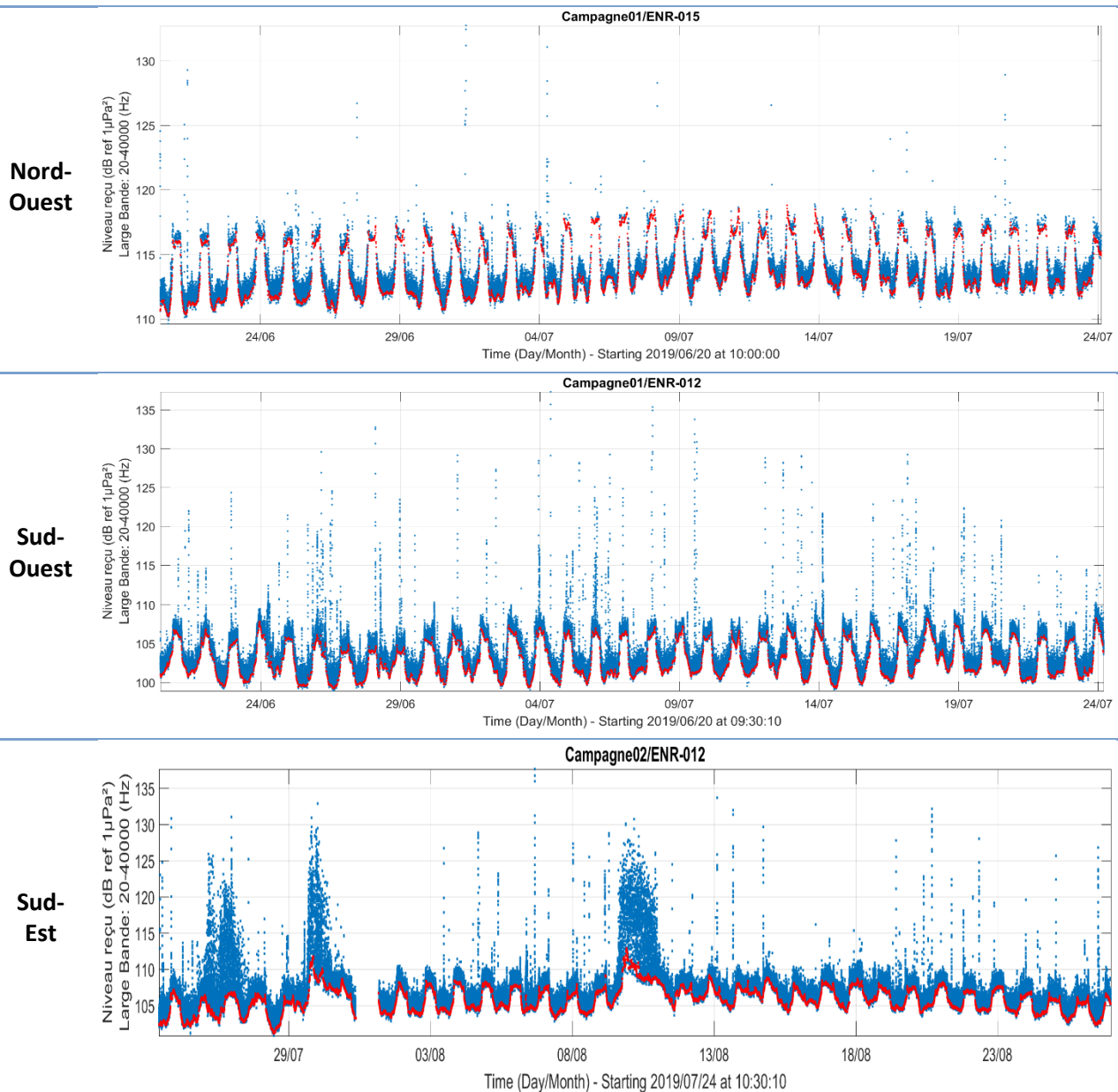


Figure 12 : Niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) en fonction de la zone de mesure durant la saison estivale.

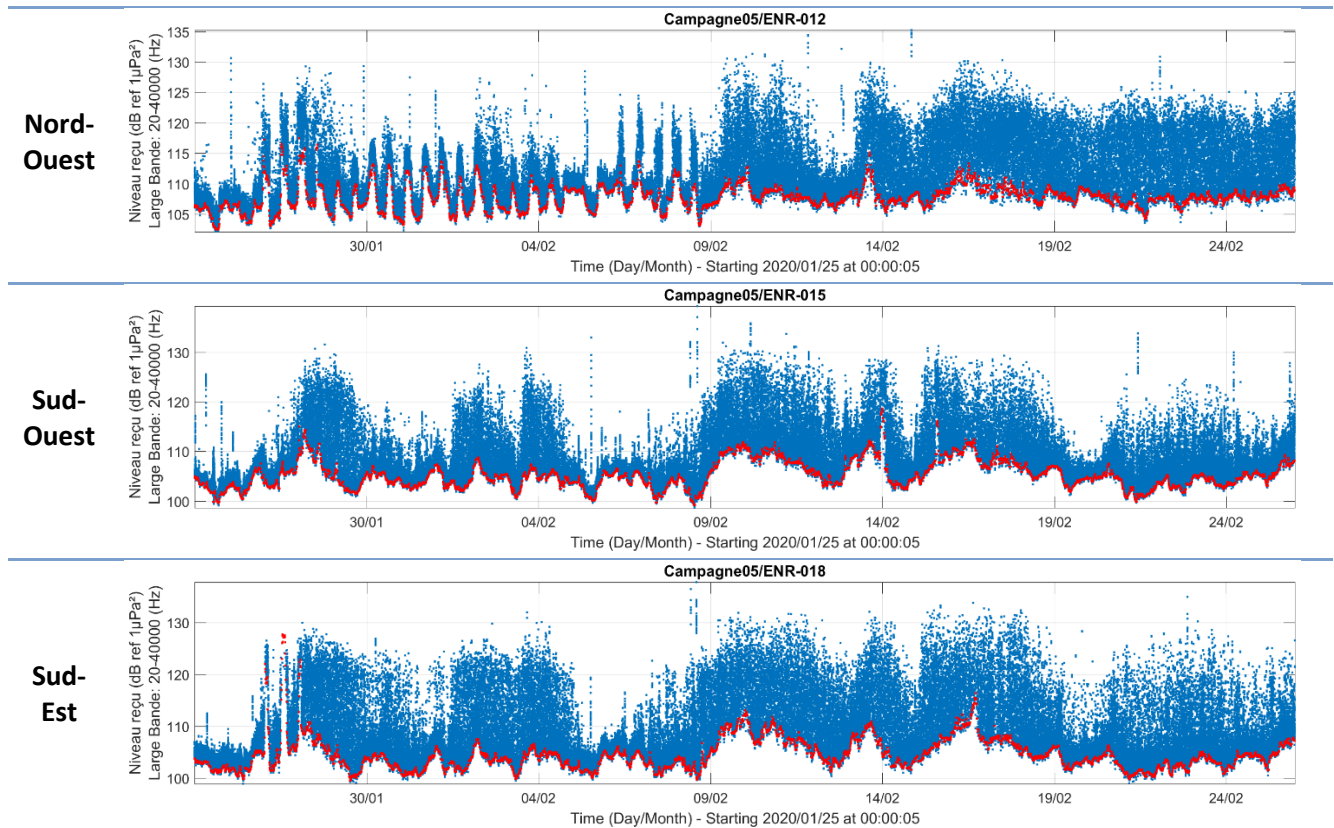


Figure 13 : Niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) en fonction de la zone de mesure durant la saison hivernale.

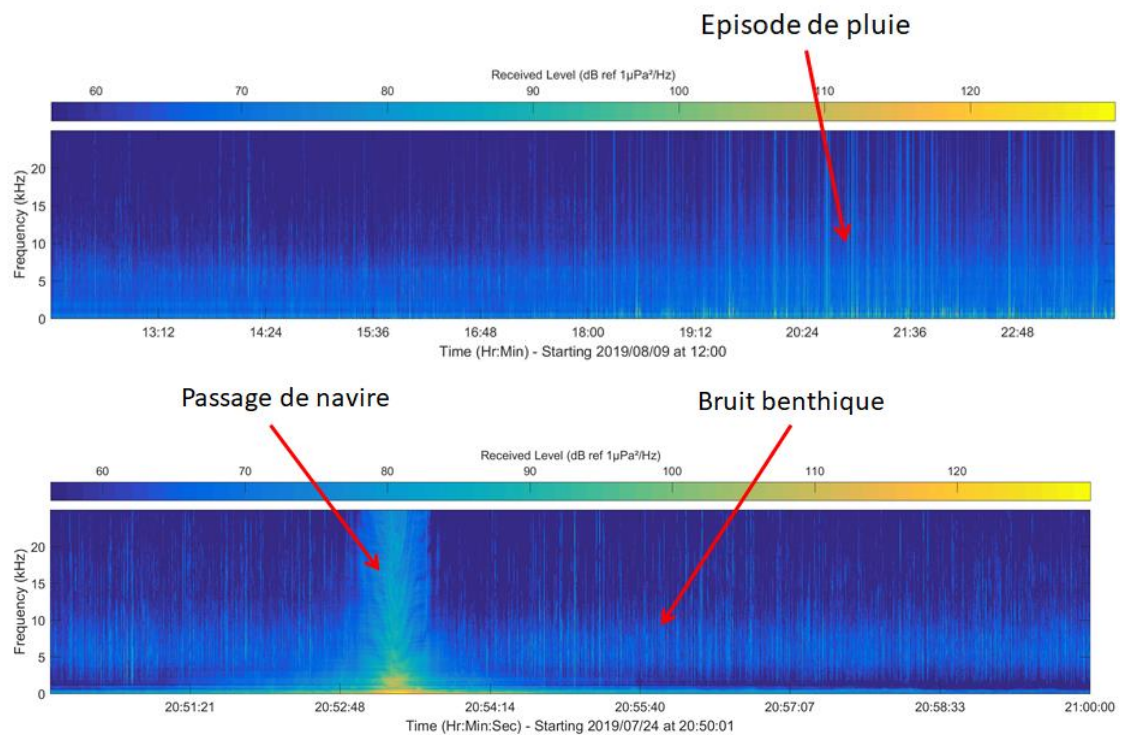


Figure 14 : Spectrogrammes illustrant un épisode de pluie (partie supérieure) et le passage d'un navire en phase nocturne (partie inférieure) dans la zone Sud-Est.

Tableau 8 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Nord-Ouest (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) durant la saison estivale.

	Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
Zone Nord-Ouest	Toute la période	109,6	110,9	111,8	112,3	113	113,7	114,6	117,5	132,8
	Jour	109,6	110,9	111,8	112,3	112,9	113,5	114,1	115,3	132,8
	Nuit	114,3	114,8	115,5	116,1	116,6	117,1	117,5	118,4	121,5
	Ecart Jour/Nuit	-4,7	-3,9	-3,7	-3,8	-3,7	-3,6	-3,4	-3,1	11,3

Tableau 9 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Ouest (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) durant la saison estivale.

	Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
Zone Sud-Ouest	Toute la période	98,9	100	101	101,8	103,1	105,6	106,9	109,8	137,3
	Jour	98,9	99,9	100,8	101,4	102,3	103,2	104,2	107,9	137,3
	Nuit	103,2	104,1	105,2	105,9	106,5	107,2	107,8	114,3	135,3
	Ecart Jour/Nuit	-4,3	-4,2	-4,4	-4,5	-4,2	-4,0	-3,6	-6,4	2,0

Tableau 10 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Est (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) durant la saison estivale.

	Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
Zone Sud-Est	Toute la période	100,8	102,8	104,4	105,3	106,5	107,9	109	118	137,3
	Jour	100,8	102,6	104,1	104,9	105,7	106,7	107,9	117,2	137,3
	Nuit	103,4	105,5	106,4	107,2	107,9	108,7	109,5	119	133,7
	Ecart Jour/Nuit	-2,6	-2,9	-2,3	-2,3	-2,2	-2,0	-1,6	-1,8	3,6

Tableau 11 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Nord-Ouest (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) durant la saison hivernale.

	Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
Zone Nord-Ouest	Toute la période	102,1	104,4	106,6	108,1	110,6	114,7	118,6	123,7	135,2
	Jour	102,1	104,3	106,4	108	110,6	114,5	118,5	123,6	135,2
	Nuit	102,4	105,1	107,1	108,5	110,6	115,1	118,9	123,8	130,9
	Ecart Jour/Nuit	-0,3	-0,8	-0,7	-0,5	0	-0,6	-0,4	-0,2	4,3

Tableau 12 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Ouest (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) durant la saison hivernale.

	Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
Zone Sud-Ouest	Toute la période	98,6	101,1	103,4	104,9	106,9	110,7	115,6	124,1	139,3
	Jour	98,6	101	103,1	104,7	106,8	110,8	115,7	124,2	139,3
	Nuit	100,3	102,8	104,2	105,4	107,1	110,5	115,3	123,7	135,8
	Ecart Jour/Nuit	-1,7	-1,8	-1,1	-0,7	-0,3	0,3	0,4	0,5	3,5

Tableau 13 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) dans la zone Sud-Est (exprimés en dB ref 1 μ Pa²) durant la saison hivernale.

	Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
Zone Sud-Est	Toute la période	98,9	101,1	102,9	104,4	106,7	112,3	118,3	125,4	137,8
	Jour	98,9	101,1	102,8	104,2	106,7	112,3	118,3	125,4	137,8
	Nuit	99	101,5	103,4	104,7	106,8	112,1	118,2	125,4	132,8
	Ecart Jour/Nuit	-0,1	-0,4	-0,6	-0,5	-0,1	0,2	0,1	0	5

IV.2. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquences

La répartition fréquentielle de l'énergie sonore (Figure 15) illustre la signature spécifique de l'activité benthique dans la bande de 1 à 20 kHz durant la saison estivale. Le niveau maximum de cette activité est engendré à la fréquence de 4 à 5 kHz avec un niveau courant proche de 70 dB ref 1 μ Pa²/Hz. Dans la zone Nord-Ouest, cette activité des organismes benthiques est significativement plus intense avec un niveau proche de 80 dB ref 1 μ Pa²/Hz. Durant l'hiver, cette activité existe mais est significativement masquée par les bruits d'origine environnementale tels que le vent et la houle.

Pour les fréquences inférieures à 1 kHz, une compétition existe entre le bruit environnemental (vagues et vent) et le bruit anthropique. En comparaison des courbes de bruit environnemental proposé par le modèle de Wenz (trait pointillé gris), les niveaux mesurés mettent en évidence une faible anthropisation du site. Dans cette bande de fréquence, le bruit est majoritairement dominé par le bruit environnemental et est maximum en intensité pour les fréquences comprises entre 200 et 1000 Hz durant l'été. Statistiquement, les contributions anthropiques sont observables à partir du percentile 1%. En d'autres termes, la probabilité de mesurer une contribution d'origine anthropique est de l'ordre de 1%. Cette valeur est en accord avec la fréquence de passage des navires à proximité des zones de mesure. Durant l'hiver, des niveaux sonores forts sont perçus régulièrement pour les fréquences inférieures à 50 Hz. Ces bruits sont issus des déplacements sédimentaires engendrés par le courant, la houle et le vent. Les particules viennent très probablement percuter l'hydrophone et n'ont donc pas d'origine physique. Ce bruit est inhérent aux conditions de mesure.

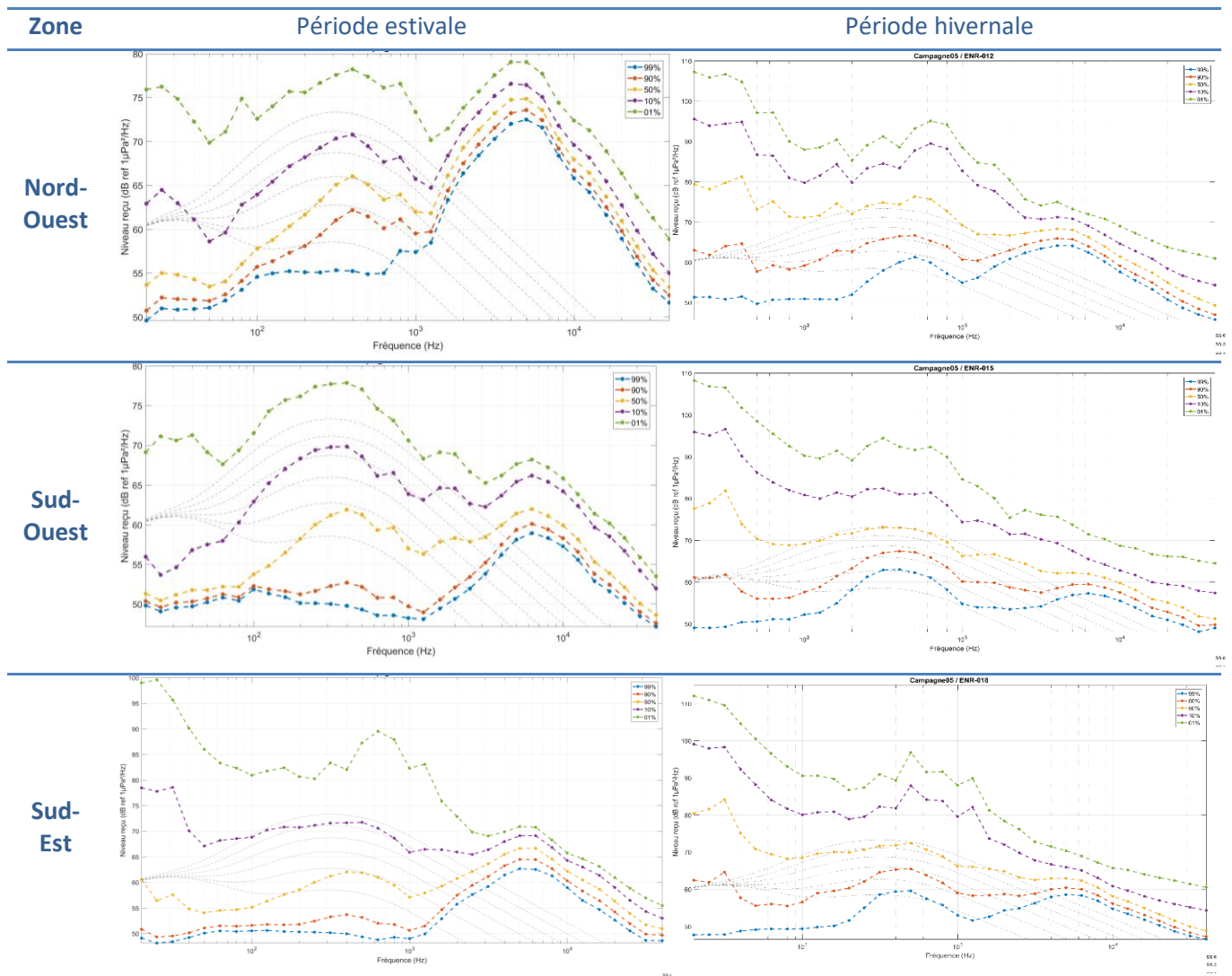


Figure 15 : Statistiques de niveaux sonores en fonction de la fréquence, de la saison et de la zone.

Durant la saison estivale 2019, la Figure 16 illustre, en fonction de la bande de fréquence, la variation horaire du bruit au percentile 50% pour chacune des zones de suivi. Quelle que soit la zone, la période nocturne entre 19h et 5h UTC engendre une augmentation relative de l'ordre de 4 à 5dB correspondant aux activités des organismes benthiques dans la bande de fréquence autour 4 kHz. Cette variation horaire s'observe également dans la bande de fréquence autour de 80 Hz. La zone Nord-ouest met en évidence une distribution uniforme du bruit au cours de la journée témoignant de l'usage de la zone par les activités anthropiques indépendamment de la période horaire. A contrario, les zones Sud-est et sud-Ouest montrent un minimum d'activité entre 10h et 15h UTC.

Durant la saison hivernale 2020 (Figure 17), ces tendances ne sont pas conservées. Aux basses fréquences, les bruits les plus intenses s'observent d'une part entre 01 et 06h UTC et d'autre part entre 13 et 18h UTC quelle que soit la zone. Au maximum, la variation horaire peut atteindre 4dB. Dans la bande de 710 à 790Hz, les tendances sont similaires à celles observées aux basses fréquences en dehors de la zone Sud-Ouest qui met en évidence très peu de variation horaire dans cette bande de fréquence. Dans la bande autour de 4 kHz, les variations horaires montrent une faible activité d'origine benthique entre 18 h et 02h UTC (augmentation de l'ordre de +1dB). En comparaison de la saison estivale, cette différence plus faible peut s'expliquer par un phénomène de masquage par les bruits d'origine environnementale.

L'ensemble des analyses statistiques sont disponibles dans l'interface en ligne dédiée à ce projet <https://qos.quiet-oceans.com>

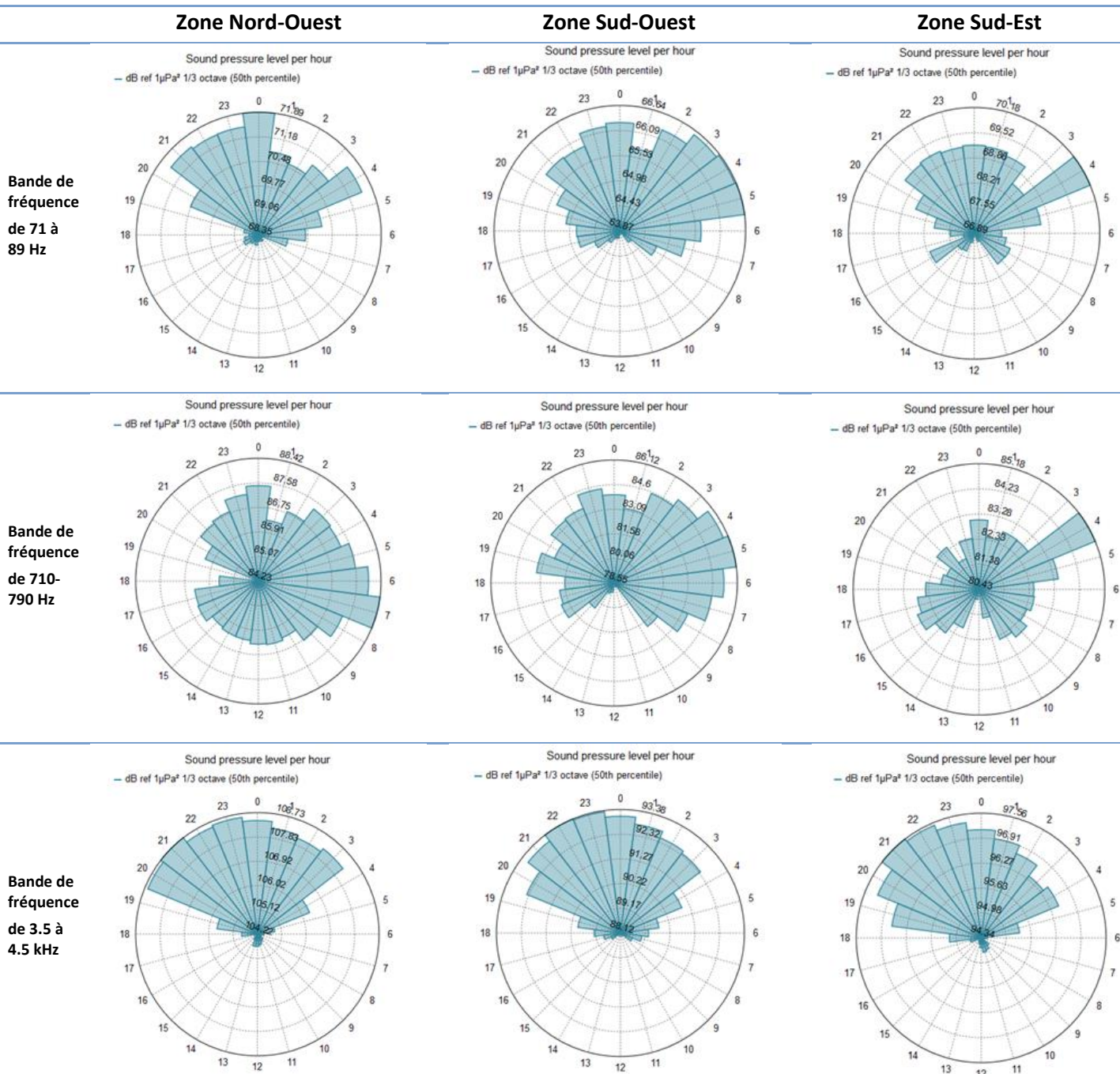


Figure 16 : Statistiques de la variation horaire du bruit par bande de fréquence durant la saison estivale

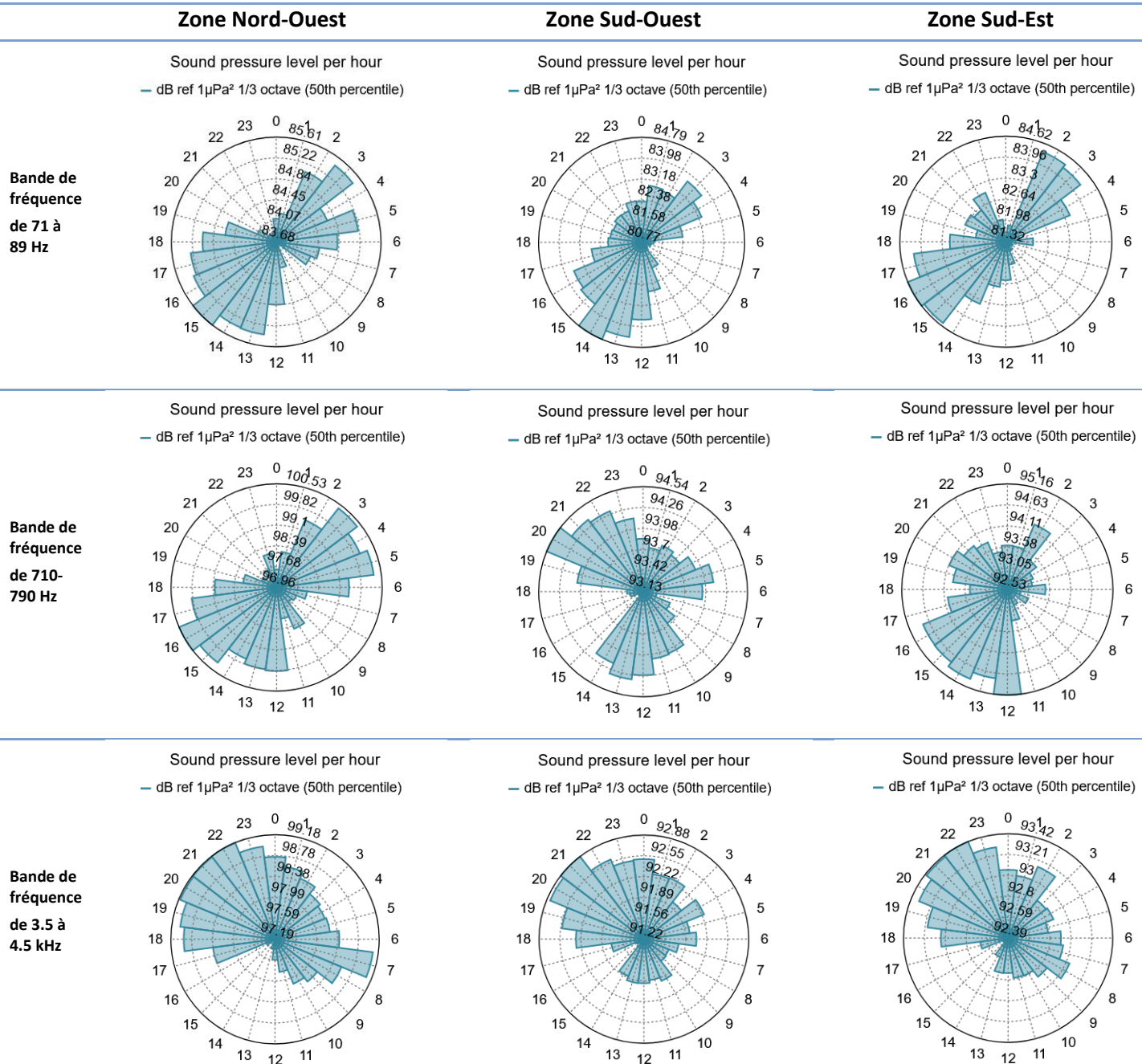


Figure 17 : Statistiques de la variation horaire du bruit par bande de fréquence durant la saison hivernale.

Chapitre V. Cartographie du bruit

La propagation du bruit et les niveaux de bruit ambiants sont principalement conditionnés par (Figure 18):

- ✓ La bathymétrie ;
- ✓ La nature du fond ;
- ✓ Les conditions océanographiques, telles que la température et la salinité, les courants, la marée ;
- ✓ Les conditions météorologiques, telles que le vent (et par conséquent les vagues).

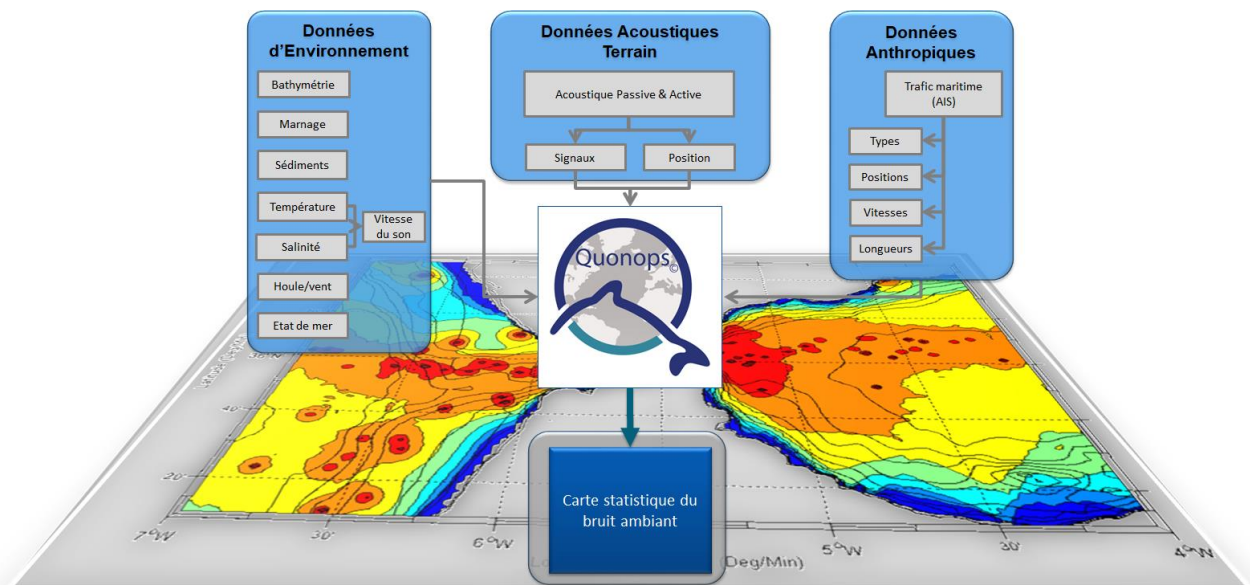


Figure 18 : Illustration du fonctionnement de la plateforme Quonops®.

D'autres paramètres affectent la propagation et le niveau de bruit, mais dans une moindre mesure. Les pertes de propagation sont d'autant plus importantes que la profondeur de l'eau (effet cumulatif de la bathymétrie et de la marée) est faible. Ceci est lié à l'interaction des ondes sonores avec les interfaces des guides d'ondes océaniques (surface et fond) (Jensen, Kuperman, Porter, & Schmidt, 2000). Cependant, plus le niveau de l'eau est bas, plus le déferlement des vagues est favorisé et la contribution du bruit des vagues au bruit ambiant est importante. Les pertes de propagation sont d'autant plus importantes que les fonds sont mous et le grain fin (le limon absorbe plus les ondes acoustiques que le gravier à titre d'exemple). Cependant, plus le sédiment est dense, plus il est réverbérant.

Le vent favorise la génération des vagues. Les vagues diffusent et absorbent d'autant mieux les ondes acoustiques par mer forte (Wenz, 1962). Cependant, les ondes, en déferlant, génèrent un bruit propre qui a pour effet d'élever le niveau de bruit ambiant. Dans des conditions de mer forte, le bruit naturel des vagues augmente lorsque les autres sources de bruit se propagent moins bien.

Sous l'effet du courant et / ou des vagues dans les faibles profondeurs (une dizaine de mètres), les déplacements de sédiment génèrent du bruit, les niveaux étant d'autant plus importants que les sédiments sont grossiers et que leurs mouvements sont rapides.

La distribution verticale de la température et de la salinité stratifie la colonne d'eau. Les ondes acoustiques sont très sensibles à cette stratification verticale et, dans une moindre mesure, à la stratification horizontale (Guiesse & Sabathié, 1964). En effet, un gradient vertical négatif de température / salinité aura pour effet de réfracter les ondes acoustiques vers le bas, rendant prédominante l'influence de la nature des sédiments. Au

contraire, en l'absence de stratification (milieu homogène), certains chemins acoustiques peuvent ne pas interagir avec les interfaces (surface et /ou fond) et avoir des étendues plus grandes.

Les précipitations ont une influence marginale sur la propagation acoustique sous-marine, mais génèrent du bruit et contribuent à augmenter le niveau de bruit environnemental (géophonie).

La plupart des paramètres de l'environnement physique ont des effets croisés sur la propagation du bruit et leur niveau de contribution au bruit de fond naturel. Il est donc difficile d'avoir des règles de dépendance universelles justifiant l'utilisation de modèles.

Il est important de noter que lorsque la propagation du bruit d'une activité du projet est favorisée, la propagation des autres bruits anthropiques existants est également favorisée (bruit du trafic maritime, activités de plaisance ou de pêche, par exemple), contribuant également à l'augmentation du niveau de bruit ambiant.

Tableau 14 : Synthèse des données environnementales utilisées pour la modélisation acoustique.

Couche	Source	Resolution spatiale		Resolution Temporelle
Bathymétrie	Emodnet	lon 33.9 (m)	lat 49.4 (m)	-
Profile de célérité	CMEMS	lon 2117.0 (m)	lat 3088.0 (m)	24 h
Nature du fond	SHOM	lon 1325.9 (m)	lat 1852.0 (m)	-
Hauteur de vague	CMEMS	lon 2117.0 (m)	lat 3088.0 (m)	6 h
Marée	IOC	Le port le plus proche		5 min

V.1. Bathymétrie

La donnée bathymétrique LAT utilisée pour toutes les modélisations (Figure 19) est issue de la donnée européenne EMODNET (European Marine Observation and Data Network) (EMODnet, 2012) avec une résolution 1/8 de minute (~230m). Dans la zone d'étude, la bathymétrie LAT est comprise entre 12 et 39 m.

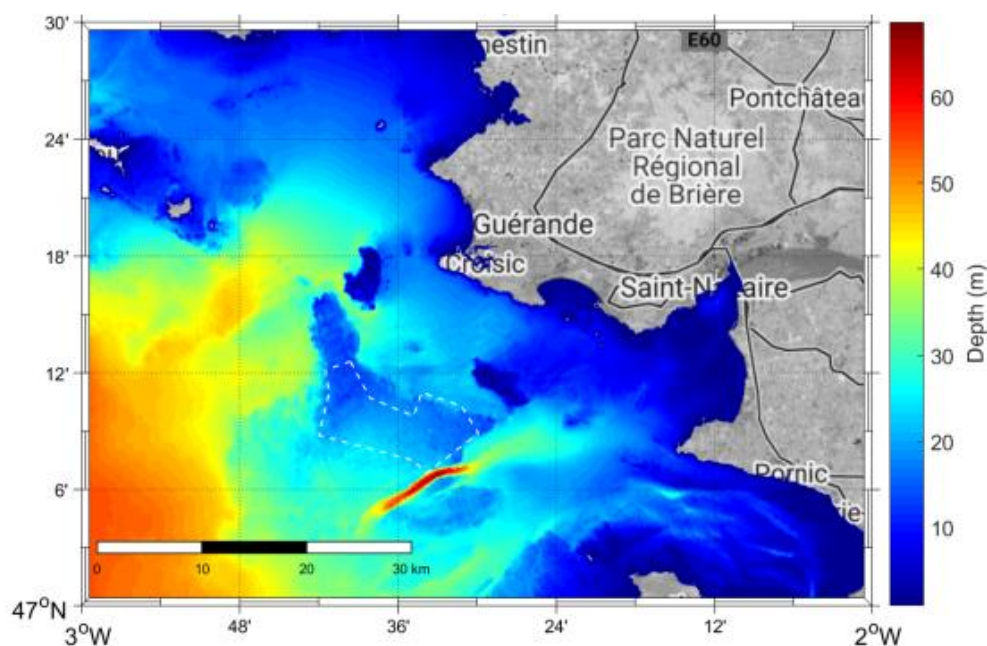


Figure 19 : Bathymétrie utilisée pour la modélisation acoustique autour de la zone d'étude (en pointillé).

V.2. Océanographie

La propagation du son dans les océans dépend en grande partie des conditions océanographiques locales, notamment de la température, de la profondeur et, dans une moindre mesure, de la salinité. La combinaison de ces trois paramètres physiques permet de déterminer la vitesse du son dans l'océan. Ce sont en particulier les gradients du profil de vitesse verticale (évolution de la vitesse du son dans la colonne d'eau (Figure 20) qui tendent à orienter les rayons acoustiques vers la surface en hiver ou vers le fond en été. De plus, les ondes sonores dans l'eau se propagent très rapidement (typiquement 1500 m/s) et sur des distances allant de quelques kilomètres à quelques centaines de kilomètres, d'autant plus que les fréquences sont basses et que les fonds sont importants. La répartition du niveau de bruit dans la colonne d'eau dépend principalement des sources sonores modélisées, des conditions bathymétriques, des conditions de température et de salinité, de la nature du fond et de l'état de la mer.

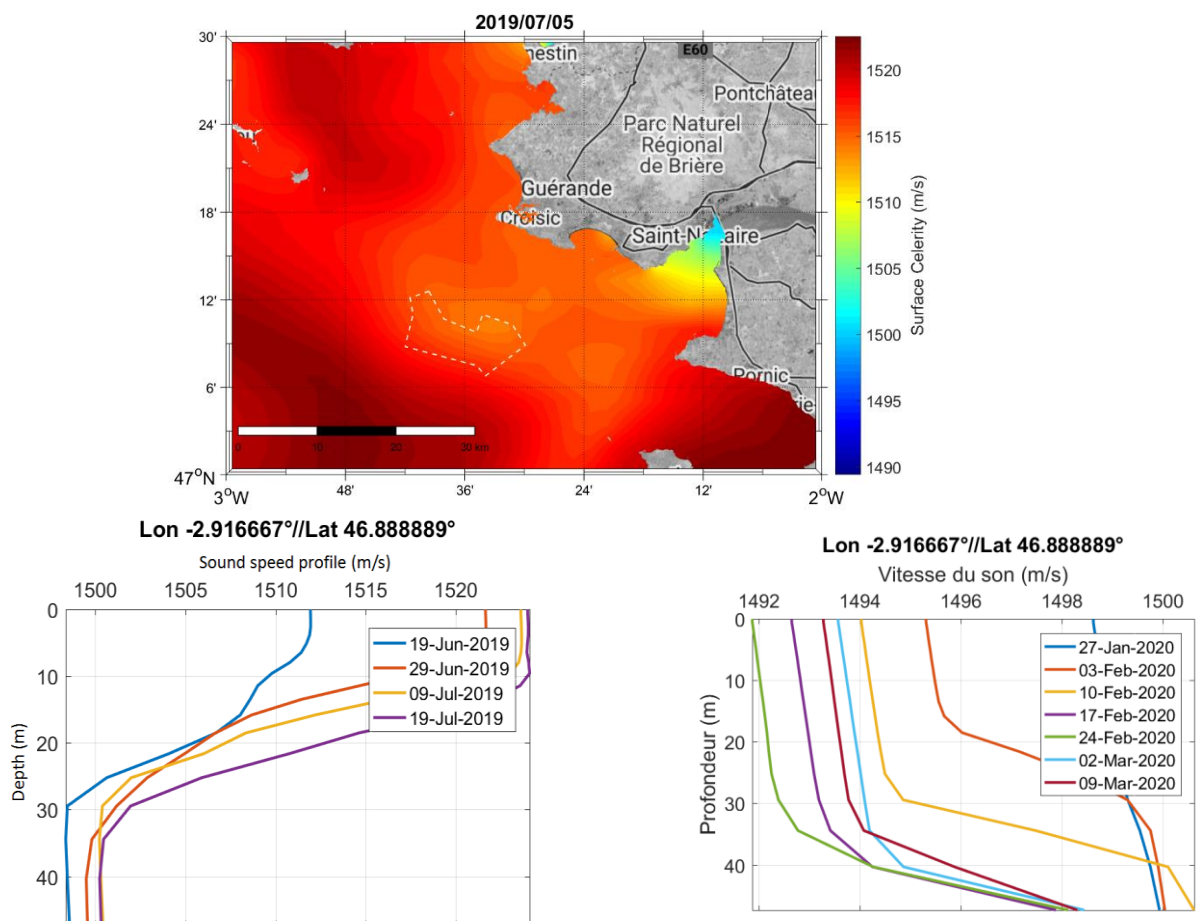


Figure 20 : a) : exemples de distribution de célérité de surface au 05 juillet 2019 fournie par CMEMS. b) : profils de célérité du son en fonction de la profondeur et en fonction de la semaine en été 2019 (figure de gauche) et en hiver 2020 (figure de droite)

V.3. Nature des fonds

Les données sur les sédiments du fond sont fournies par la cartographie sédimentologique globale du SHOM (Service hydrographique et océanographique de la marine) et représenté à la Figure 21. À l'emplacement de la zone d'étude immédiate, le fond est assimilable à des fonds rocheux susceptible de réverbérer localement de l'énergie acoustique. En dehors de la zone d'étude immédiate, la zone à l'ouest est composée d'un mélange sable-gravier favorisant également la propagation des sons. Dans la majeure partie de la zone d'étude élargie, le fond est proche d'un fond de type sable ou de gravier, propice à la propagation du son et à la réverbération.

Sous l'effet du courant et / ou des vagues dans les faibles profondeurs (environ une dizaine de mètres), la poussée des sédiments et de déplacement des particules sédimentaires génèrent du bruit, les niveaux étant d'autant plus importants que les sédiments sont grossiers et que leurs mouvements sont rapides. Ces données sont intégrées à Quonops © pour la modélisation.

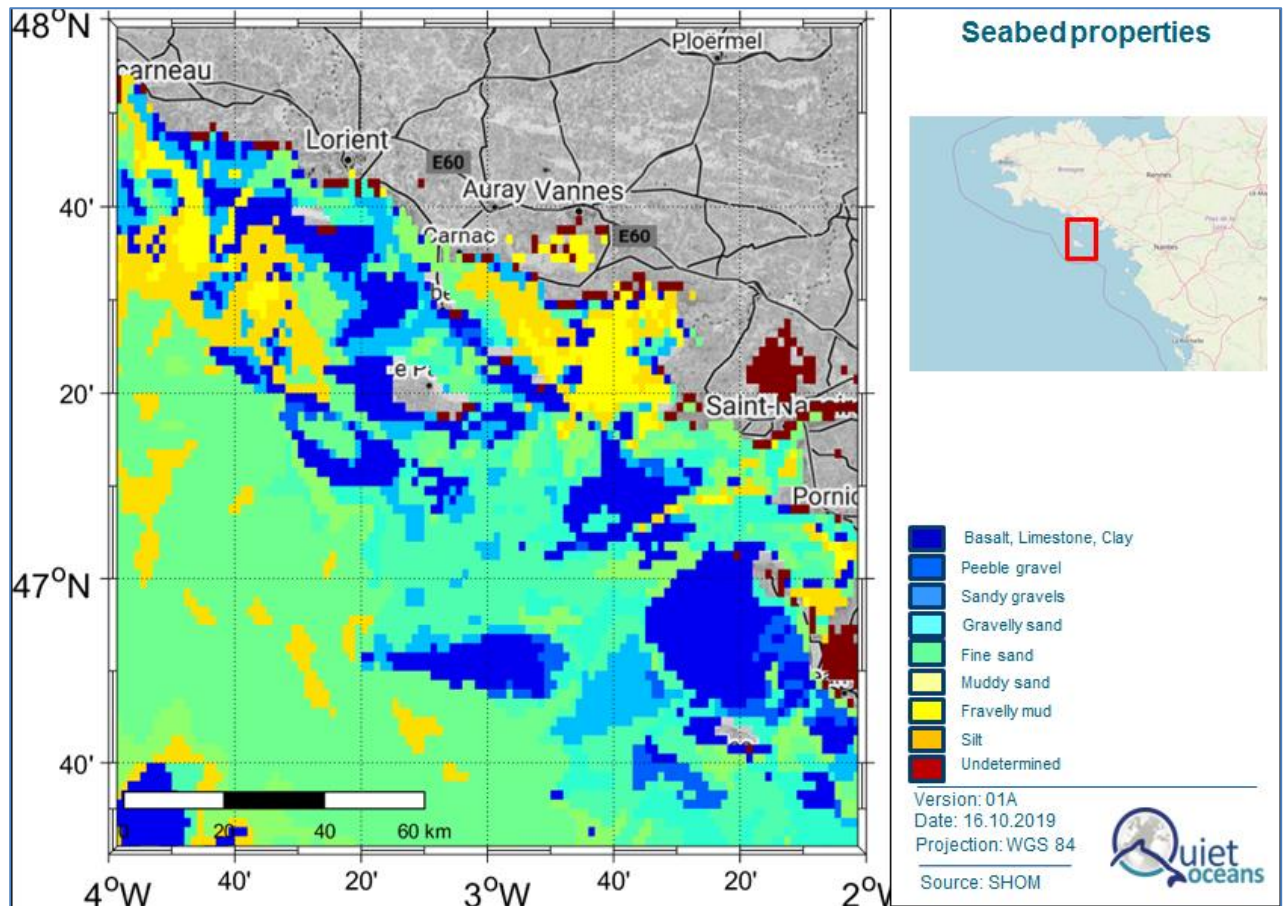


Figure 21 : Cartographie du fond.

Tableau 15 : Table de conversion des paramètres géo-acoustiques utilisés pour la modélisation.

Nature du fond	Vase	limon	Vase sableuse	Sable fin	Sable gravier	Gravier sableux	Cailloutis sableux	Calcaire	Basalte	Roche
Vitesse de compression (m/s)	1500	1550	1600	1700	1800	2000	2500	3000	5250	6500
Atténuation (dB/λ)	0.01	0.4	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Denisté (T/m ³)	1.5	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.4	2.7	2.8

V.4. Vague, vent et houle

Les hauteurs de vagues significatives autour de la zone du projet ont été extraites du modèle de prévision des vagues Wave Watch III (WW3) à une résolution d'arc de 30 minutes et à une résolution temporelle de 3h. À titre d'exemple, la Figure 22 montre les valeurs de hauteur de vague significative dans la zone au 2019/07/15. Cette donnée participe d'une part à la propagation du son et d'autre part à la prédiction du bruit environnemental.

La donnée de vent autour de la zone du projet est issue du modèle de prévision CMEMS à une résolution de 0.5° et à une résolution temporelle de 3h. À titre d'exemple, la Figure 20 illustre les valeurs de vent dans la zone au 2019/07/12. Cette donnée participe majoritairement et exclusivement à la prédiction du bruit environnemental.

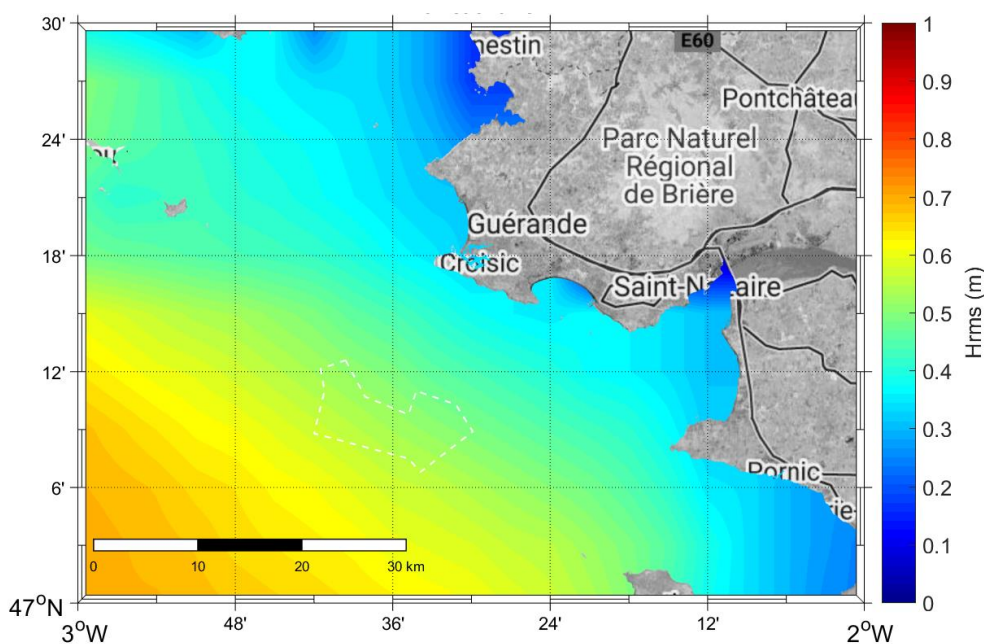


Figure 22 : Hauteur de vague significative le 15 juillet 2019 du modèle Wave Watch III utilisée pour modéliser la propagation du son.

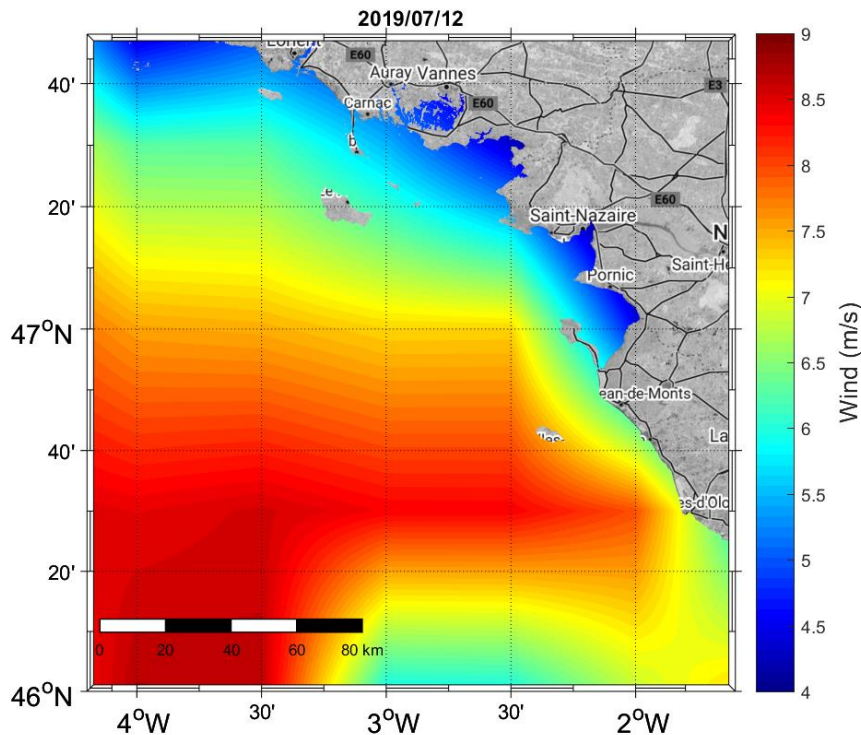


Figure 23 : Vitesse du vent le 12 juillet 2019 (source CMEMS) utilisée pour modéliser le bruit environnemental.

V.5. Marée

Les données concernant les marées sont fournies par le SHOM (Service hydrographique et océanographique de la Marine) du service de la COI (Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO). L'amplitude des marées se situe entre 1 et 6m au niveau du port de L'Herbaudière, situé à 35 km du futur parc éolien. Les marées sont décrites comme une distribution statistique de l'élévation de l'eau, comme l'illustre la Figure 24. La marée modifie le niveau d'eau disponible pour la propagation du bruit. Plus elle est importante, plus la propagation des basses fréquences est favorable. Les marnages observés sont susceptibles d'introduire une variabilité très significative des niveaux de bruit. Ces données sont utilisées pour l'élaboration de cartes de bruit obtenues par modélisation.

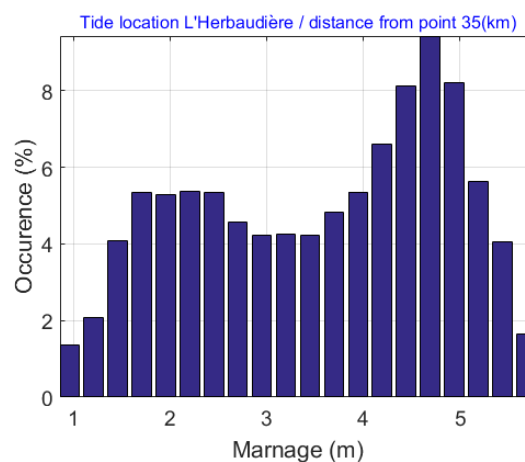


Figure 24 : Statistique de marnage au port de l'Herbaudière, à 35 km du futur parc éolien.

V.6. Sources de bruit

Le vent (indirectement les vagues) et les activités maritimes existantes sont source de bruit. La méthodologie de cartographie du bruit existant exploite :

- ✓ Les données de vent issues de Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) et illustrées au V.4. ;
- ✓ Les données descriptives issues de l'acquisition des données *Automated Identification System* (AIS). L'AIS est un système à bord des navires qui transmet à un réseau d'observation leurs identifications et leurs localisations en quasi temps-réel (International Maritime Organisation, 2004). Différentes stations réceptrices permettent ainsi de surveiller le trafic maritime. La couverture maximale peut atteindre 30 milles nautiques des côtes en fonction des conditions climatiques. Les navires non équipés d'un système d'identification et de localisation AIS ne sont pas pris en compte dans cette étude.

V.6.1. Sources de bruit liés au vent

Les données de vent sont converties en niveau de bruit grâce aux formules de conversion de Ainslie (Ainslie, 2010) pour chaque fréquence avec une résolution spatiale de 0.5° et une résolution temporelle de 3 heures sur la période. Ce bruit est ajouté au bruit des activités maritimes préexistantes au voisinage de la zone projet.

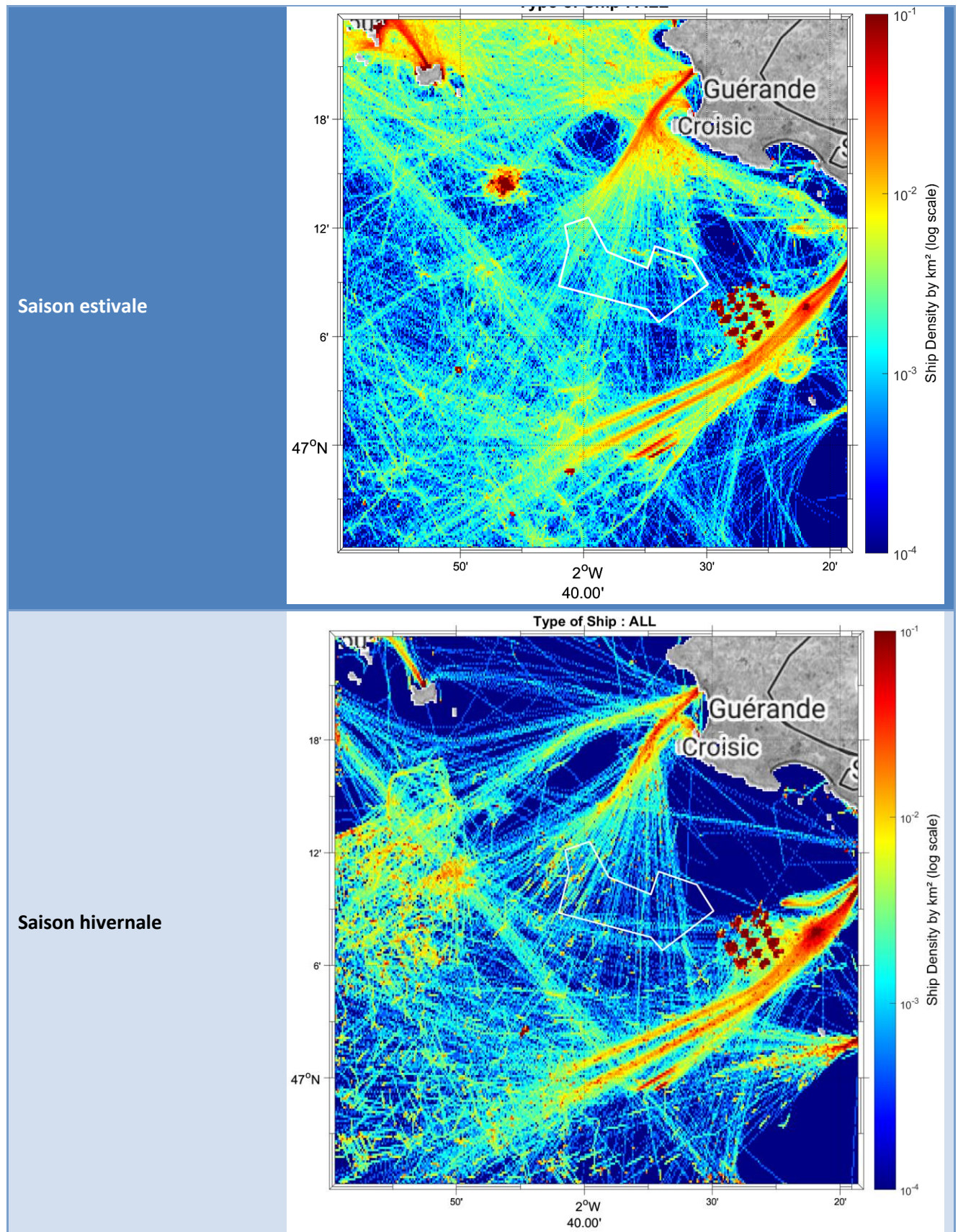
V.6.2. Activités maritimes présentes dans la zone projet

La Figure 18 illustre la densité de trafic maritime, sans distinction de la nature de l'activité, issue du traitement des données AIS acquises pour le mois de juillet 2019 à la résolution de 15 minutes. Ces données de trafic sont directement exploitées dans l'élaboration des cartes de bruit initial grâce à l'outil de modélisation du bruit sous-marin Quonops®. Ces trafics correspondent au passage :

- ✓ De tanker et de cargo pour le trafic commercial ;
- ✓ De navires de passagers ;
- ✓ De navires de plaisance et pêche ;
- ✓ De navires effectuant des travaux maritimes (opérations de dragage, remorquage, etc.).

La carte met en évidence la prédominance d'une route de circulation principale menant au port de Saint-Nazaire et d'une vaste zone d'attente située à l'est du parc éolien. Le périmètre de la zone éolienne est fréquemment traversé par des bateaux de pêche et de plaisance en provenance ou à destination des ports du Croisic et de la Turballe.

Tableau 16 : Densité du trafic (échelle logarithmique) au large de la zone d'étude obtenue par traitement des données AIS.
(Trait blanc : limite de la zone projet).



V.6.3. Sources de bruit émis par les activités maritimes présentes dans la zone projet

Les bruits générés par le trafic maritime existant dépendent du type de navire, de leur vitesse instantanée et de leur longueur. Chaque navire fréquentant la zone est une source de bruit. Le bruit émis par chaque navire, autrement appelés gabarits sonores moyens et exprimés en dB réf. $1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ @1m est précis pour chaque catégorie de navires avec un écart-type de 3 dB. Ces niveaux émis sont illustrés en fonction de la fréquence (Figure 25). En pratique, dans la modélisation mise en œuvre selon un procédé breveté (Folegot, 2009), chaque navire est associé à un niveau sonore moyen en fonction de la fréquence issu de la littérature (Wagstaff, 1973) (Breeding, 1996) et corrigé en fonction des caractéristiques propres aux navires (longueur et vitesse) selon le modèle de RANDI. L'écart-type de 3dB sur chaque gabarit permet de traduire la variabilité du bruit des navires. Le modèle de cartographie du bruit Quonops® mis en œuvre dans cette étude prend en compte ces caractéristiques qui sont mis à disposition grâce aux données AIS acquises pour les besoins de l'étude à la résolution temporelle de 15 minutes. La modélisation des cartes du bruit existant repose sur un ensemble de situations instantanées par saison.

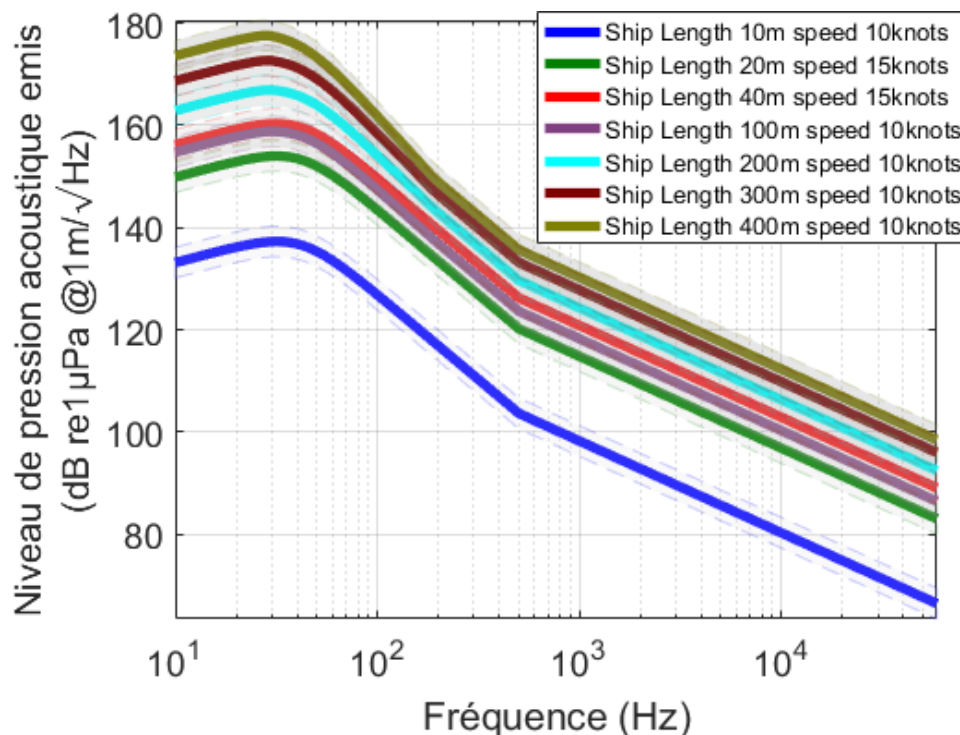


Figure 25 : Gabarit des niveaux de bruit émis par les navires en fonction de la fréquence et de leur catégorie.

V.7. Calibration

A partir des données mesurées, un ajustement est effectué afin de calibrer les cartes de bruit. La Figure 26 illustre la comparaison des courbes statistiques du bruit entre les données mesurées et les données prédites par la plateforme Quonops. A titre d'illustration, cette comparaison est effectuée pour l'hydrophone situé dans la zone Sud-Ouest à la fréquence de 250 Hz. Les courbes bleue et rouge sont les statistiques respectivement du bruit mesuré sur la période complète ou partielle. La courbe mauve donne la statistique de prédiction du bruit engendré par le vent et la courbe jaune la statistique de prédiction du bruit engendré par les navires et le vent simultanément. Ces courbes montrent d'une part un bon accord entre mesure et prédiction, et d'autre part que le bruit des navires prédomine systématiquement le bruit engendré par le vent à cette fréquence.

En complément, la Figure 27 illustre la forte dépendance du bruit permanent à la composante du vent à la fréquence de 1250 Hz. Cette figure illustre la corrélation parfaite entre les variations du bruit permanent et la variation de vitesse du vent.

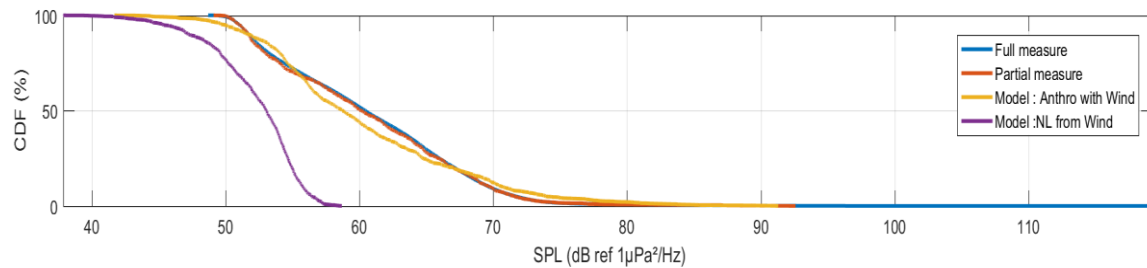


Figure 26 : Comparaison des courbes statistiques entre mesure et prédiction.

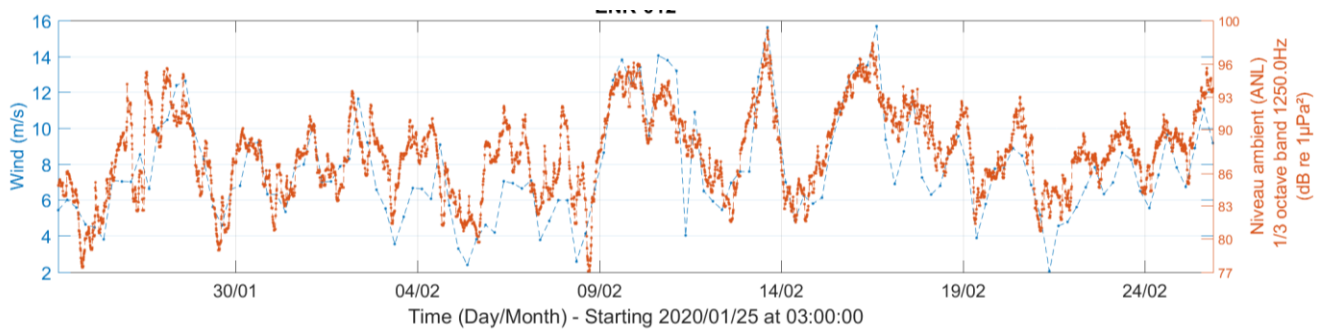
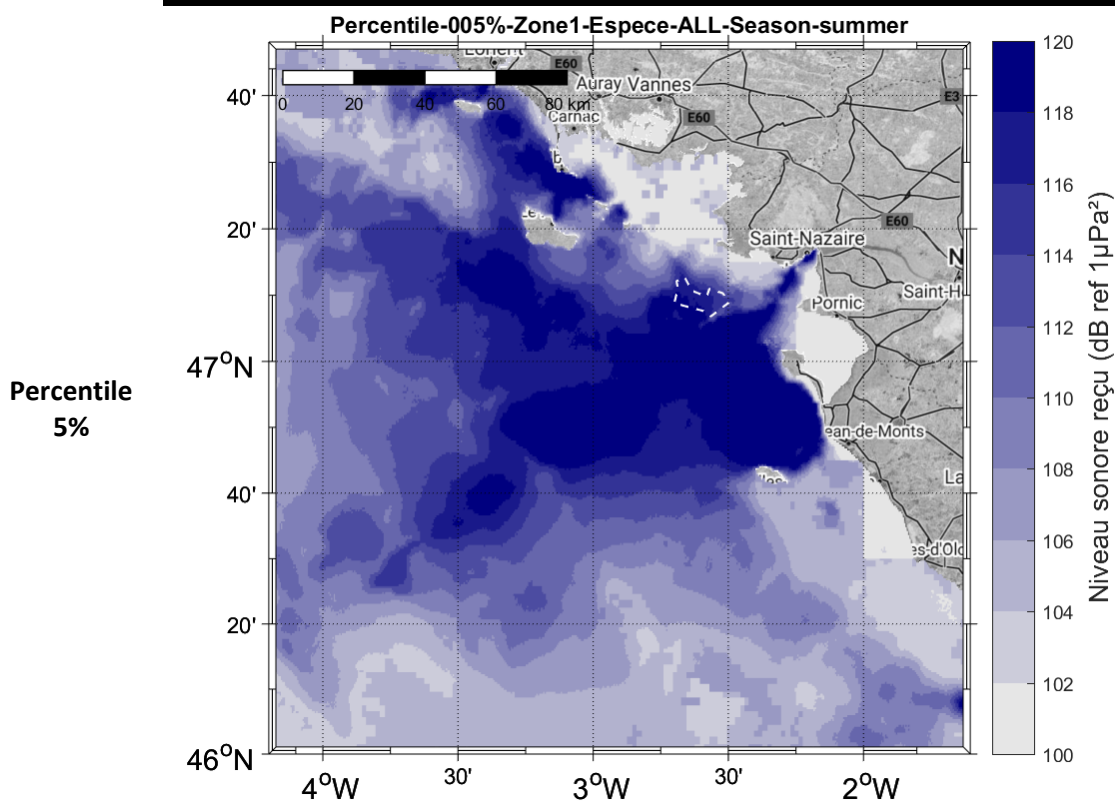


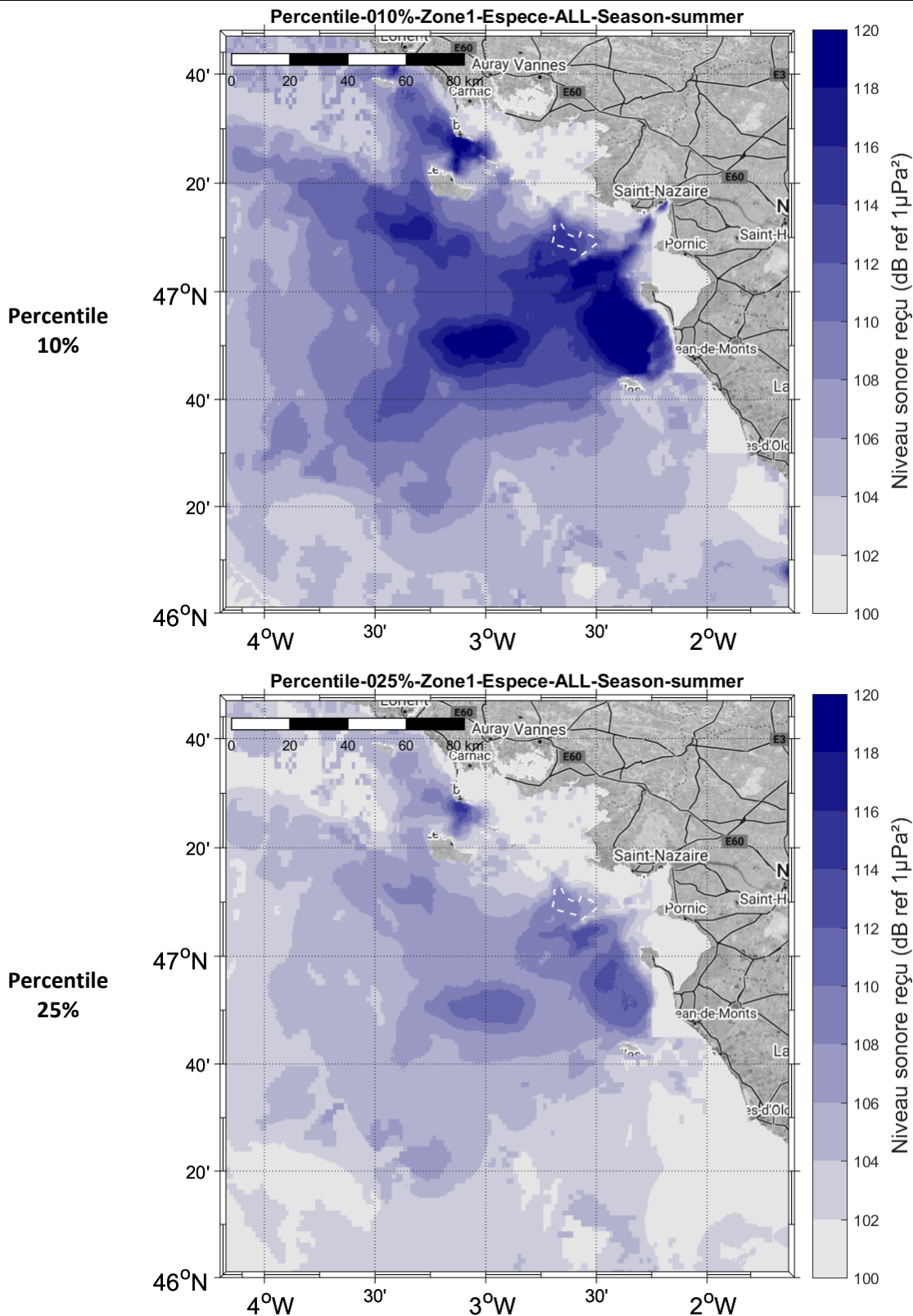
Figure 27 : Corrélation entre la vitesse du vent et le bruit permanent à la fréquence de 1250 Hz dans la zone Nord-Ouest durant la saison hivernale.

V.8. Cartographie du bruit existant

Les Figure 28 & Figure 29 illustrent la cartographie des niveaux de bruit ambiant large bande résultants actuellement présents autour du futur parc éolien offshore pour les 50^{ème}, 25^{ème}, 10^{ème} et 5^{ème} percentiles pour respectivement les deux saisons préférentielles (été et hiver). Le 50^{ème} percentile est la valeur médiane, ce qui signifie que les niveaux indiqués sur la carte sont atteints la moitié du temps. La carte du 10^{ème} percentile décrit les niveaux de bruit atteints pendant 10% de la période, par exemple dans ce cas, 10% de l'été 2019 ou hiver 2020.

Ces cartes mettent en évidence une légère augmentation du bruit médian (percentile 50%) dans la partie Sud-Ouest de la zone du parc éolien en raison des conditions favorables issues des propriétés du fond (couche sédimentaire de surface rocheuse entraînant des réverbérations) et des niveaux de vent plus forts. Aux percentiles inférieurs à 10% (niveaux sonores moins courants et plus intenses), les cartes montrent une augmentation significative de la production sonore en sortie du port de Saint-Nazaire et des directions sud-ouest et nord-ouest. Le futur parc éolien est donc limitrophe des axes du bruit engendré par le trafic maritime commercial.





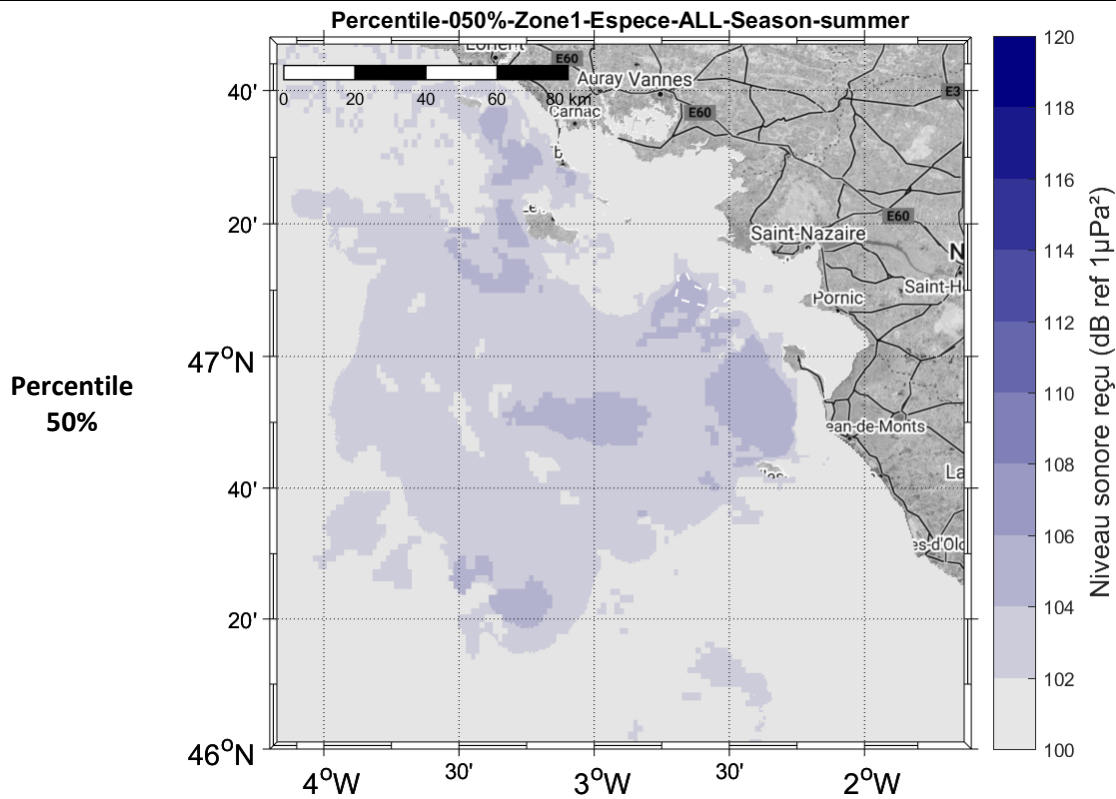
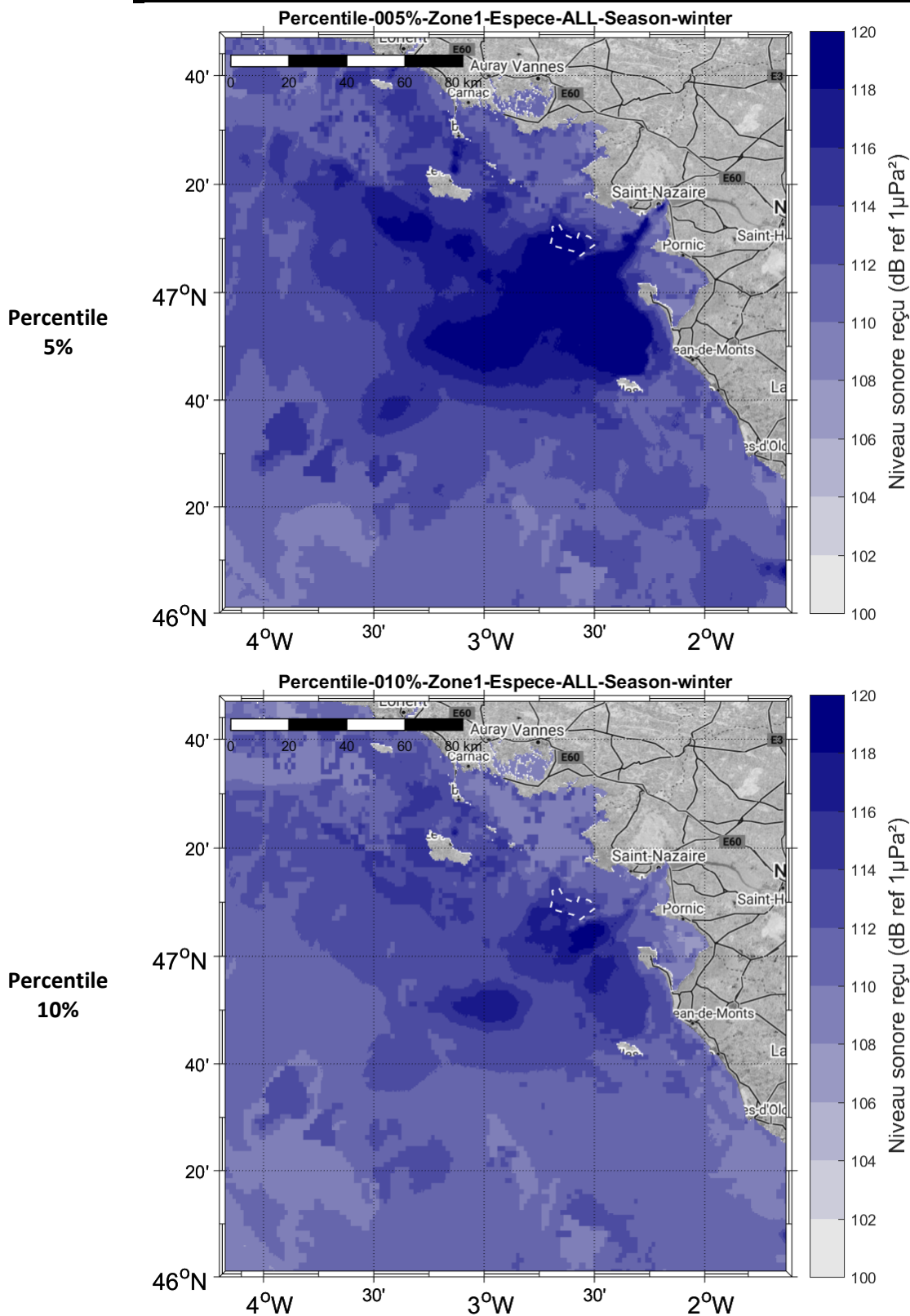


Figure 28 : Cartographie du bruit durant la saison estivale (emplacement du parc éolien en pointillé blanc).



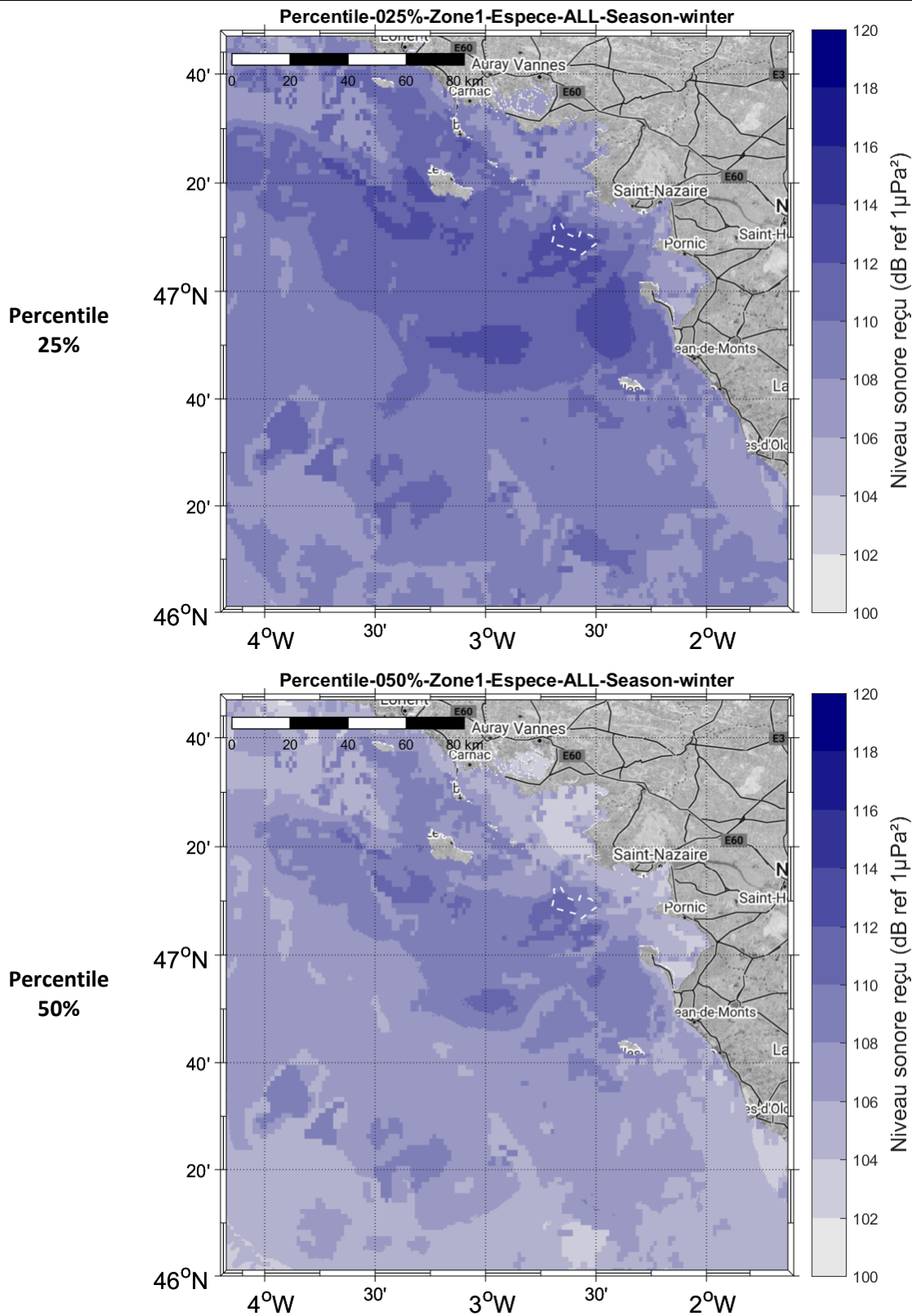


Figure 29 : Cartographie du bruit durant la saison hivernale (emplacement du parc éolien en pointillé blanc).

Chapitre VI. Détection des signaux biologiques

Une analyse bioacoustique de la donnée recueillie par les enregistreurs acoustiques et les systèmes C-POD a été réalisée afin de déterminer la fréquentation des mammifères marins couramment présents à proximité des zones d'étude mais également de déterminer le comportement des espèces identifiées.

VI.1. Connaissance biologique a priori du site

VI.1.1. Classification scientifique des espèces

La classification scientifique des espèces océaniques et marines de mammifères est répartie selon trois ordres : les Cétacés, les Pinnipèdes et les Siréniens (Figure 30).

L'ordre des Cétacés est divisé selon le sous-ordre des Mysticètes (cétacés à fanons) et le sous-ordre des Odontocètes (cétacés à dents). Chacun de ces sous-ordres comporte des familles dans lesquelles sont réparties les différentes espèces de mammifères marins :

- ✓ Sous-ordre des Mysticètes
 - Famille des Balénidés regroupant les espèces de Baleine franche ;
 - Famille des Balénoptéridés regroupant les espèces de Rorquals et la Baleine à bosse ;
 - Famille des Eschrichtiidés ne comportant qu'une seule espèce, la Baleine grise (*Eschrichtius robustus*) ;
- ✓ Sous-ordre des Odontocètes
 - Famille des Delphinidés regroupant les espèces de Dauphins, d'Orques et de Globicéphales ;
 - Famille des Kogiidés ne comportant que deux espèces, le Cachalot pygmé (*Kogia breviceps*) et le Cachalot nain (*Kogia simus*) ;
 - Famille des Monodontidés ne comportant que deux espèces, le Béluga (*Delphinapterus leucas*) et le Narval (*Monodon monoceros*) ;
 - Famille des Phocoenidés regroupant les espèces de Marsouins ;
 - Famille des Physétéridés ne comportant qu'une seule espèce, le Cachalot macrocéphale (*Physeter macrocephalus*) ;
 - Famille des Ziphiidés regroupant les espèces de Baleines à bec.

L'ordre des Pinnipèdes est composé de trois familles. La famille des Odobénidés dont la seule espèce caractéristique est le Morse (*Odobenus rosmarus*), la famille des Otariidés qui regroupe les espèces d'Otaries et le Lion de mer, et la famille des Phocidés qui regroupe les espèces de Phoque et l'éléphant de mer (*Mirounga sp.*).

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

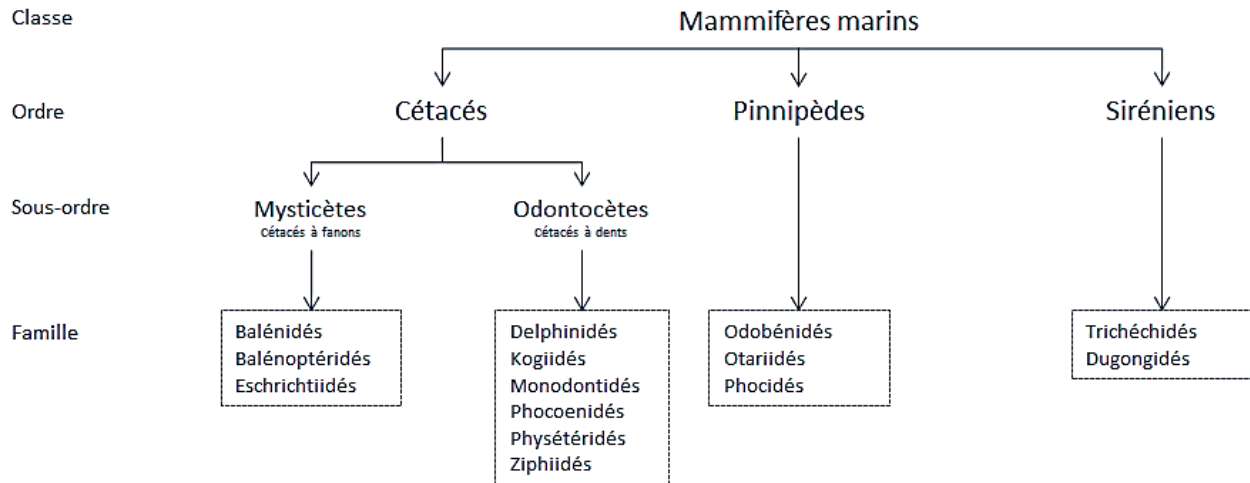


Figure 30 : Schéma de la classification scientifique des espèces océaniques et marines de mammifères. Source : Quiet-Oceans.

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

Le Tableau 17 synthétise les informations concernant les mammifères marins susceptibles d'être rencontrés au large de Saint-Nazaire, à proximité des zones étudiées (Chapitre III). Les dix espèces de mammifères marins recensées par Biotopie via des données bibliographiques et des campagnes d'observations, ont été classées selon la famille à laquelle elles appartiennent (VI.1.1.), c'est-à-dire la famille des Delphinidés, Phocoenidés, Balénoptéridés et Phocidés.

Sur le recensement de ces espèces, cinq espèces de mammifères marins sont communément présentes dans la zone d'étude : Grand Dauphin, Dauphin commun, Dauphin de Risso, Globicéphale noir et Marsouin commun. Bien que des observations visuelles de Dauphin bleu-et-blanc, Petit Rorqual et Phoque gris aient lieu chaque année, la présence de ces trois espèces reste très occasionnelle dans un rayon de 50 km à proximité des zones d'études.

Tableau 17 : Synthèse des données concernant les mammifères marins susceptibles d'être présents au large de Saint-Nazaire à proximité des zones d'étude.

Famille	Espèce		Fréquentation
	Nom Usuel	Nom Latin	
Delphinidés	Grand dauphin	<i>Tursiops truncatus</i>	Commune
	Dauphin bleu-et-blanc	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Occasionnelle
	Dauphin commun	<i>Delphinus delphis</i>	Commune
	Dauphin de Risso	<i>Grampus griseus</i>	Commune
	Globicéphale noir	<i>Globicephala melas</i>	Commune
	Orque	<i>Orcinus orca</i>	Occasionnelle
	Lagénorhynque à flanc blanc	<i>Lagenorhynchus acutus</i>	Occasionnelle
Phocoenidés	Marsouin commun	<i>Phocoena phocoena</i>	Commune
Balénoptéridés	Petit Rorqual	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Occasionnelle
Phocidés	Phoque gris	<i>Halichoerus grypus</i>	Occasionnelle



Figure 31 : Famille des Delphinidés – Grand dauphin (*Tursiops truncatus*). Source : EcoOcéan Institut.



Figure 32 : Famille des Phocoenidés - Groupe de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*). Source : GREMM.

VI.1.3. Signature acoustique des cétacés

Chaque famille de mammifères marins se caractérise par des émissions sonores, transitoires et/ou impulsives, qui dans le cadre d'un suivi par acoustique passive permettent l'identification des espèces ainsi qu'un suivi de la fréquentation du site par ces derniers.

VI.1.3.a. Sons émis par les Delphinidés

Les Delphinidés se caractérisent acoustiquement par des émissions de sifflements (signaux transitoires) et de clics (signaux impulsifs) représentés respectivement par la Figure 33 et la Figure 34.

Les sifflements, utilisés pour la communication entre les différents individus (but social), sont émis dans une bande fréquentielle allant généralement de 2 à 25 kHz. Chaque espèce de Delphinidés a sa propre gamme d'émissions caractéristique pour une grande diversité de sifflements émis (Tableau 18). Il est possible à partir des caractéristiques acoustiques de ces signaux, d'identifier les espèces de Delphinidés émettrices. Toutefois, la similarité de ces caractéristiques pour certaines espèces peut complexifier l'exercice de leur classification³.

Les clics émis dans la bande fréquentielle allant de 10 à 85 kHz servent également à la communication, tandis que ceux émis entre 10 et 180 kHz sont utilisés pour l'écholocation⁴. A noter que les ensembles de 100 à 1 000 clics par secondes sont nommés « buzz » et sont particulièrement émis durant les activités de chasse.

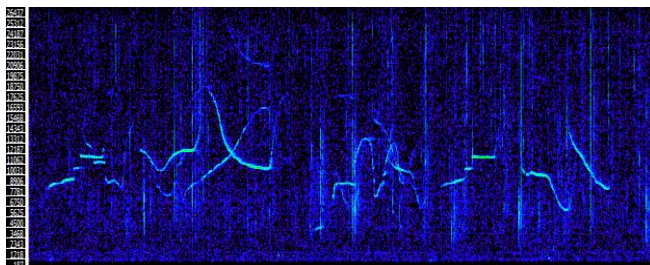


Figure 33 : Sifflements de Delphinidés émis entre 2 kHz et 25 kHz. Source : Quiet-Oceans.

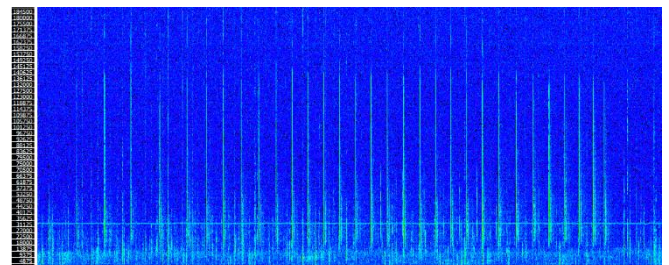
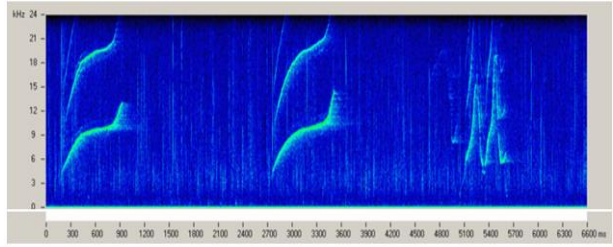
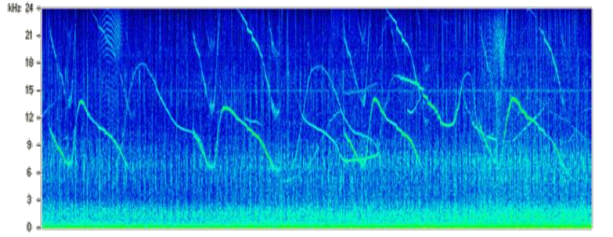
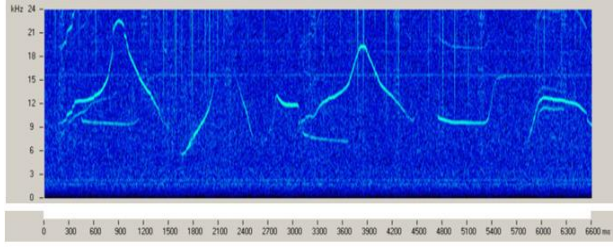
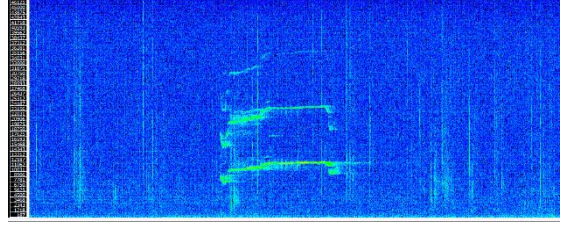
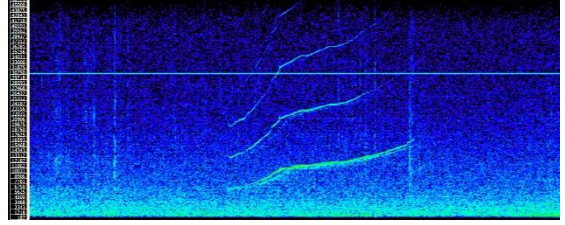


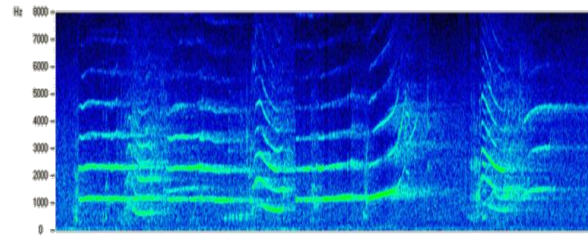
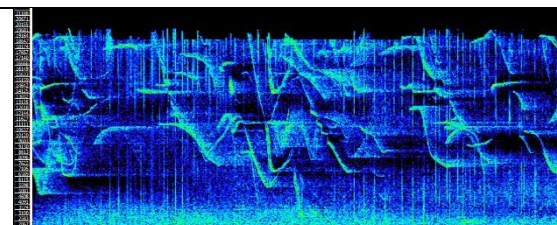
Figure 34 : Clics de Delphinidés émis entre 10 kHz et 180 kHz. Source : Quiet-Oceans.

³ La classification permet d'associer l'espèce animale correspondante à un signal biologique.

⁴ Evènement renseignant les Delphinidés sur le milieu dans lequel ils évoluent mais également indicateur d'une quête de nourriture.

Tableau 18 : Exemple de la diversité de sifflements émis par les Delphinidés avec le spectrogramme des émissions des espèces supposées communes au large de Saint-Nazaire.

Espèce	Bande de fréquence	Spectrogramme
Grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>)	5 à 25 kHz	 http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html
Dauphin bleu-et-blanc (<i>Stenella coeruleoalba</i>)	3.5 à 28.5 kHz	 http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html
Dauphin commun (<i>Delphinus delphis</i>)	Variation géographique mais en moyenne entre 5 et 20 kHz	 http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html
Dauphin de Risso (<i>Grampus griseus</i>)	4 à 22 kHz	 Source : Quiet-Oceans
Globicéphale noir (<i>Globicephala melas</i>)	4.2 à 8.9 kHz	 Source : Quiet-Oceans

Espèce	Bande de fréquence	Spectrogramme
Orque (<i>Orcinus orca</i>)	1 à 20 kHz	 http://www-3.unipv.it/cibra/edu_occasional_uk.html
Lagénorhynque à flanc blanc (<i>Lagenorhynchus acutus</i>)	6 à 15 kHz	 https://www.nefsc.noaa.gov/psb/acoustics/sounds.html

VI.1.3.b. Sons émis par les Phocoenidés

Les caractéristiques d'émission acoustique du Marsouin commun, *Phocoena phocoena*, sont des clics (signaux impulsifs) hautes fréquences dont la bande fréquentielle d'émission est concentrée dans la bande allant de 110 à 150 kHz. Les clics durent en moyenne 0.1 ms. Ces émissions sonores ont un double rôle, elles sont utilisées pour la communication (Figure 35) mais également pour l'écholocalisation (Figure 36).

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

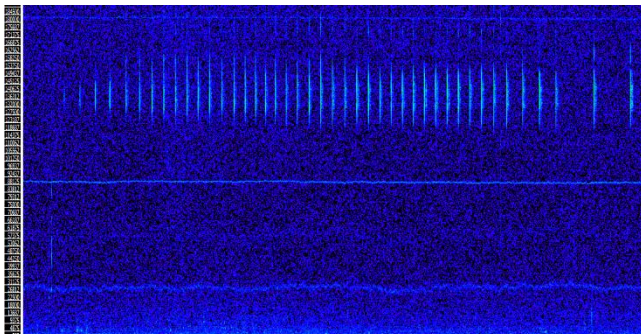


Figure 35 : Spectrogramme illustrant des clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, émis dans la bande fréquentielle allant de 110 à 150 kHz.

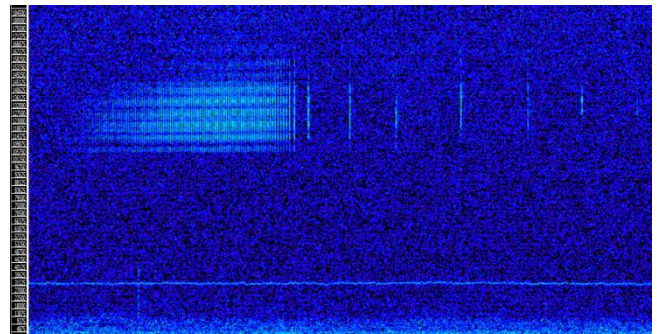


Figure 36 : Spectrogramme illustrant des clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, lors d'une activité de chasse (clics d'écholocalisation).

VI.2. Portée de détection des enregistreurs acoustiques

Comme énoncé dans la partie VI.1.2. , le recensement réalisé par Biotope renseigne sur la présence commune ou occasionnelle de différentes espèces de cétacés au large de Saint-Nazaire. Pour certaines des espèces recensées, les caractéristiques acoustiques de leurs émissions (sifflements) sont disponibles dans la littérature (Richardson et al., 2013) :

- ✓ Le Grand dauphin (*Tursiops truncatus*) émet des sifflements à des niveaux sonores compris entre 125 et 173 dB ref. 1 μ Pa @1m dans la bande de fréquence [800 Hz - 24 kHz] ;
- ✓ Le Dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*) émet des sifflements à des niveaux sonores de l'ordre de 130 dB ref. 1 μ Pa @1m dans la bande de fréquence [6 kHz - 24 kHz] ;
- ✓ Le Dauphin commun (*Delphinus delphis*) émet des sifflements à des niveaux sonores de l'ordre de 172 dB ref. 1 μ Pa @1m dans la bande de fréquence [5 kHz - 20 kHz] ;
- ✓ Le Globicéphale noir (*Globicephala melas*) émet des sifflements à des niveaux sonores de l'ordre de 180 dB ref. 1 μ Pa @1m dans la bande de fréquence [2 kHz – 8 kHz].

La portée acoustique de détection des individus est fonction du bruit ambiant instantané, des caractéristiques acoustiques d'émission des espèces et des conditions de propagation autour de l'hydrophone. En effet, plus le bruit environnant est élevé, plus il est difficile de capter un son lointain. De même, plus l'espèce émet un son élevé, plus il sera possible de capter ses sons à de grandes distances. Enfin, plus la propagation des sons des mammifères marins est entravée par le milieu, plus il sera difficile de capter un son lointain. La connaissance de ces paramètres permet donc le calcul des portées de détection pour chacune des espèces énoncées précédemment.

Les Tableau 19 & Tableau 20 synthétisent les statistiques des distances de détection respectives aux périodes estivale et hivernale. Les portées de détection sont fournies pour différentes proportions du temps et pour chaque zone d'étude (Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est). Les résultats mettent en évidence une différence significative de portée de détection entre les différentes espèces de Delphinidés. Cette différence peut être expliquée d'une part, par l'écart du niveau d'émission entre chaque espèce et d'autre part, par l'intensité du bruit existant dans la bande de fréquence spécifique du signal bioacoustique. En particulier le Dauphin bleu et blanc montre une portée de détection très faible en raison d'un bruit benthique particulièrement fort au voisinage de 6 kHz.

Le calcul des portées de détection quant aux émissions de clics par les mammifères marins n'a pas pu être réalisé faute d'informations suffisantes sur leurs caractéristiques acoustiques. Toutefois, la littérature renseigne sur la portée de détection des clics de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*). Ces derniers émettent des clics très haute fréquence, entre 110 et 150 kHz, qui sont généralement audibles dans un rayon de 200 à 300 m autour de l'enregistreur acoustique (Bailey et al., 2010; Tougaard et al., 2006).

Tableau 19 : Synthèse des portées de détection pour chaque zone d'étude en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes en mer de Saint-Nazaire (saison estivale 2019).

Famille	Espèce	Zone	Portée de détection (m)				
			Proportion du temps (%)				
			95	75	50	25	5
Delphinidés	Grand dauphin <i>Tursiops truncatus</i>	Nord-Ouest	628	795	1094	1310	1529
		Sud-Ouest	190	229	311	353	402
		Sud-Est	379	587	702	835	1008
	Dauphin bleu et blanc <i>Stenella coeruleoalba</i>	Nord-Ouest	76	97	140	161	183
		Sud-Ouest	28	33	46	52	59
		Sud-Est	60	78	92	109	132
	Dauphin commun <i>Delphinus delphis</i>	Nord-Ouest	8971	11374	16301	18887	21576
		Sud-Ouest	2910	3449	4798	5391	6101
		Sud-Est	6715	8676	10301	12201	14761
	Globicéphale noir <i>Globicephala melas</i>	Nord-Ouest	22686	29233	39525	47394	56289
		Sud-Ouest	5684	6840	9082	10355	11830
		Sud-Est	13993	19185	22931	27139	32940

Tableau 20 : Synthèse des portées de détection pour chaque zone d'étude en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes en mer de Saint-Nazaire (saison hivernale 2020).

Famille	Espèce	Zone	Portée de détection (m)				
			Proportion du temps (%)				
			95	75	50	25	5
Delphinidés	Grand dauphin <i>Tursiops truncatus</i>	Nord-Ouest	146	378	573	710	884
		Sud-Ouest	210	579	887	1081	1410
		Sud-Est	128	440	882	1114	1412
	Dauphin bleu et blanc <i>Stenella coeruleoalba</i>	Nord-Ouest	57	85	105	124	150
		Sud-Ouest	43	109	137	158	195
		Sud-Est	67	128	154	175	205
	Dauphin commun <i>Delphinus delphis</i>	Nord-Ouest	6169	8988	11011	13043	15762
		Sud-Ouest	5061	12711	16117	18577	23172
		Sud-Est	7597	14347	17186	19761	23445
	Globicéphale noir <i>Globicephala melas</i>	Nord-Ouest	9425	15346	19361	23055	28407
		Sud-Ouest	9452	22745	33233	40920	54870
		Sud-Est	9657	23472	32159	39194	49699

VI.3. Procédé de traitement bioacoustique

Le traitement bioacoustique des données a été réalisé pour cinq espèces de mammifères marins, appartenant à la famille des Delphinidés et des Phocoenidés, communément présentes dans la zone d'étude (VI.1.2.) : Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*), Dauphin commun (*Delphinus delphis*), Dauphin de Risso (*Grampus griseus*), Globicéphale noir (*Globicephala melas*) et Marsouin commun (*Phocoena phocoena*). Ce traitement bioacoustique analyse indépendamment d'une part les données collectées par les enregistreurs acoustiques et d'autre part, les données collectées par les systèmes autonomes C-POD.

VI.3.1. Données issues d'un enregistreur acoustique

VI.3.1.a. Algorithmes de détection et d'identification des évènements sonores

La détection automatique des signaux biologiques dans les enregistrements sonores a été réalisée par le logiciel PAMGuard développé par le laboratoire *Sea Mammal Research Unit* (SMRU) de l'Université de Saint-Andrews en Ecosse. Il s'agit d'un logiciel libre d'utilisation qui a été développé dans le but de fournir une interface universelle pour la détection, la classification et la localisation des signaux émis par les mammifères marins. Bien qu'ayant une portée biologique, un détecteur tel que celui proposé par PAMGuard appuie sa recherche sur des signaux physiques, spécifiques au type de signal à détecter.

i. Détection des signaux biologiques transitoires

Un détecteur de signaux transitoires a été créé et calibré afin de permettre la détection de signaux transitoires d'origine biologique de type « sifflement » émis par les Delphinidés. Ce détecteur permet la détection de signaux transitoires allant d'une fréquence minimum de 2 kHz à une fréquence maximum de 20 kHz – bande fréquentielle couvrant les différentes variétés d'émissions de sifflements par les Delphinidés (VI.1.3.a.).

ii. Détection des signaux biologiques impulsifs

La détection automatique des signaux impulsifs se base sur l'émergence de leur énergie sonore dans la bande d'émission préférentielle de chaque famille de mammifères marins. Deux détecteurs spécifiques ont donc été créés et calibrés afin d'obtenir une détection optimale des signaux de type « clics » émis par les Delphinidés entre 25 et 85 kHz (VI.1.3.a.), et les Phocoenidés entre 100 et 150 kHz (VI.1.3.b.).

VI.3.1.b. Validation des évènements sonores

Afin de mesurer la justesse et la cohérence des résultats issus des algorithmes de détection automatique, une validation manuelle (visuelle et auditive) a été réalisée par l'experte bioacoustique de Quiet-Oceans. Cette validation permet d'une part de qualifier l'ensemble des résultats de la détection automatique et d'autre part d'analyser finement le comportement des espèces détectées.

VI.3.2. Données issues d'un système autonome C-POD

Comme décrit dans la partie III.1.1. , un détecteur C-POD est un système autonome enregistrant les signaux impulsifs présents dans la colonne d'eau et pouvant procéder à la classification de ces derniers grâce à un algorithme interne comparant directement l'énergie présente entre une bande de fréquence de référence et celle des signaux d'intérêts.

Les fichiers bruts obtenus en sortie d'instrument sont traités via un logiciel spécifique fourni par le constructeur Chelonia Limited. Ce logiciel permet d'une part d'analyser la durée et la fréquence des évènements détectés et d'autre part, d'identifier la source des évènements selon quatre catégories :

- ✓ Cétacés Haute Fréquence (NBHF), pour les Phocoenidés ;
- ✓ Delphinidés ;
- ✓ SONAR ;

- ✓ Autres signaux impulsifs.

Un indice de confiance est attribué à chaque classification réalisée par le logiciel : élevé, modéré, faible ou très faible. Ces résultats permettent une analyse de la fréquentation des zones d'étude par les Delphinidés et Phocoenidés. Il est important de préciser que le système autonome C-POD ne conserve pas de fichier audio brut et ne permet donc pas la vérification manuelle des détections.

VI.4. Résultats

La fréquentation de chaque zone par les mammifères marins est catégorisée selon cinq niveaux de référence :

- ✓ Présence fréquente / quotidienne correspondant à une détection minimum tous les 1 à 4 jours ;
- ✓ Présence régulière correspondant à une détection minimum tous les 5 jours ou plus ;
- ✓ Présence occasionnelle correspondant à des détections irrégulières dans le temps ;
- ✓ Présence exceptionnelle ;
- ✓ Absence.

Concernant les systèmes autonomes C-POD, l'analyse des résultats bioacoustique a été réalisée sur les détections ayant un indice de confiance élevé (VI.3.2.). Les détections avec un indice de confiance modéré à faible n'ont pas été prises en compte dans le cadre de cette étude. A noter que la distance d'espacement entre chaque système autonome C-POD (environ 1.5 km), distance significativement plus grande que les portées de détection théorique des signaux bioacoustiques recherchés, encourage la réalisation d'une inter-comparaison spatiale des détecteurs C-POD dans les zones Nord-Ouest et Sud-Est.

VI.4.1. Campagne été 2019

Pour rappel, un déploiement de six systèmes C-POD a été réalisé dans la zone spécifique Nord-Ouest du 20 juin au 30 octobre 2019 et un déploiement d'un enregistreur acoustique a été réalisé dans chaque zone du 20 juin au 24 juillet 2019 (Chapitre III).

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

i. Famille des Delphinidés

Zone Nord-Ouest

Enregistreur acoustique

Suite à la vérification manuelle des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard, la Figure 37 représente l'évolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Nord-Ouest pour la période allant du 20 juin au 24 juillet 2019. Il apparaît que les Delphinidés sont présents sur les journées du 24 et 25 juin 2019 respectivement aux alentours de 05h30 UTC et 01h00 UTC, ainsi que sur la journée du 03 juillet 2019 vers 18h20 UTC. Leur présence acoustique est par conséquent considérée comme exceptionnelle, avec seulement 3 jours de présence sur un total de 34 jours de mesure.

Les détections réalisées supposent que les Delphinidés sont simplement de passage à proximité de la zone Nord-Ouest avec, toutefois, une communication intense sur la journée du 25 juin 2019 traduite par la présence de nombreux clics d'écholocalisation (Figure 38) détectés sur une durée d'environ 03 minutes. Cette communication intense peut être associée soit au sondage de l'environnement dans lequel les cétacés évoluent soit à une quête de nourriture opportuniste.

Toutefois, il apparaît qu'un pic de fausses alarmes ait été recensé sur la journée du 20 juin 2019. Ces fausses alarmes correspondent à la détection de signaux émis par un SONAR actif aux alentours de 10h00 UTC. Ces détections anthropiques mettent en avant les limites de la méthode automatique et la nécessité d'une vérification manuelle des résultats (se référer à la partie concernant les limites de la méthode automatique, VI.5.3.).

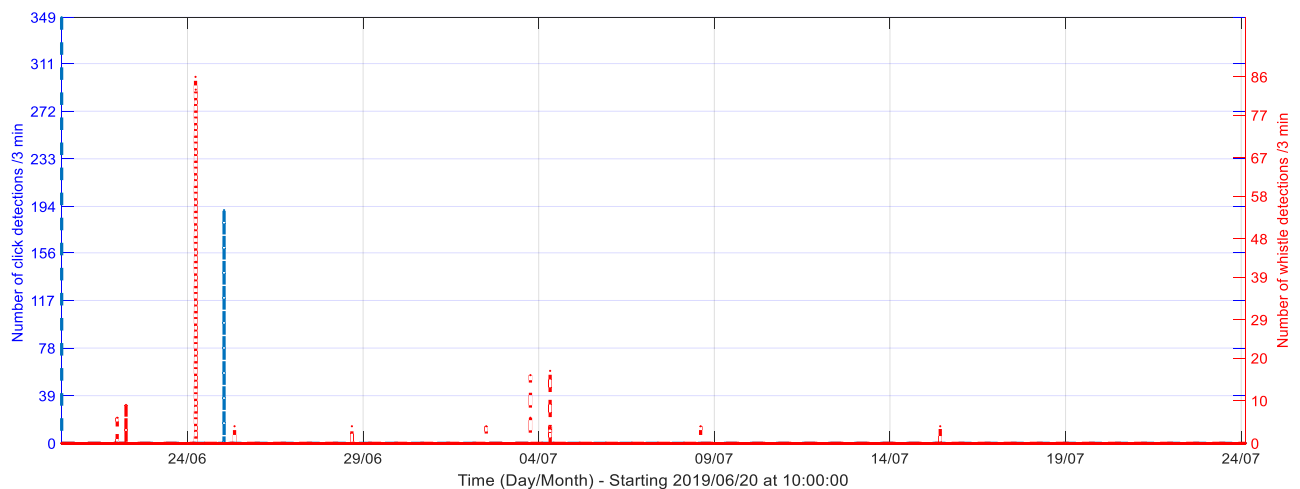


Figure 37 : Evolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Nord-Ouest du 20 juin au 24 juillet 2019. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.

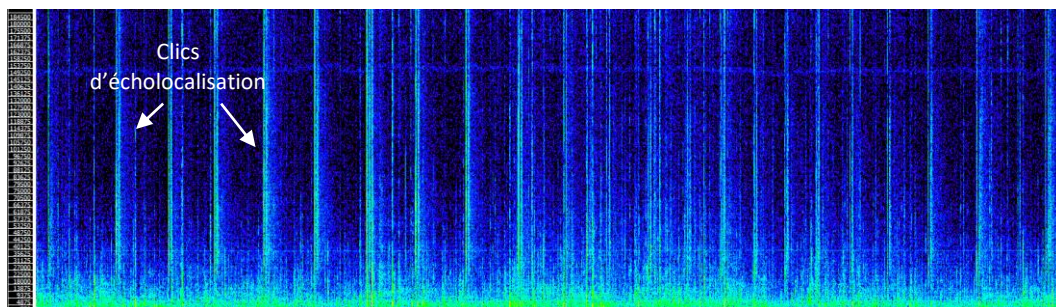


Figure 38 : Clicks d'écholocation de Delphinidés (20 à 192 kHz) détectés sur la journée du 25 juin 2019 vers 01h00 UTC à proximité de la zone Nord-Ouest.

Systèmes autonomes C-POD

La Figure 39 représente l'évolution du nombre de clics de Delphinidés détectés par les systèmes autonomes C-POD dans la zone Nord-Ouest pour la période allant du 20 juin au 30 octobre 2019. De manière globale, l'ensemble des détections réalisées par les systèmes autonomes C-POD permettent de noter une présence acoustique quotidienne des Delphinidés sur l'ensemble de la période, entre juin et octobre 2019, avec au minimum, une détection de clics tous les 1 à 4 jours.

Les détections réalisées par chaque système autonome C-POD⁵ permettent de noter une différence de fréquentation à l'intérieur même de la zone Nord-Ouest (III.2. , Figure 8) :

- ✓ Fréquentation occasionnelle au niveau des C-POD 3374 et 3377 ;
- ✓ Fréquentation régulière, avec une détection tous les 1 à 8 jours, au niveau du C-POD 3378 ;
- ✓ Fréquentation quotidienne, avec une détection tous les 1 à 4 jours, au niveau du C-POD 3379 ;
- ✓ Fréquentation considérée exceptionnelle au niveau du C-POD 3380.

Ces résultats mettent en évidence une présence acoustique plus intense des Delphinidés à l'Ouest de la zone de déploiement des systèmes C-POD, elle-même située au Nord -Ouest de la zone projet (C-POD 3378 et 3379).

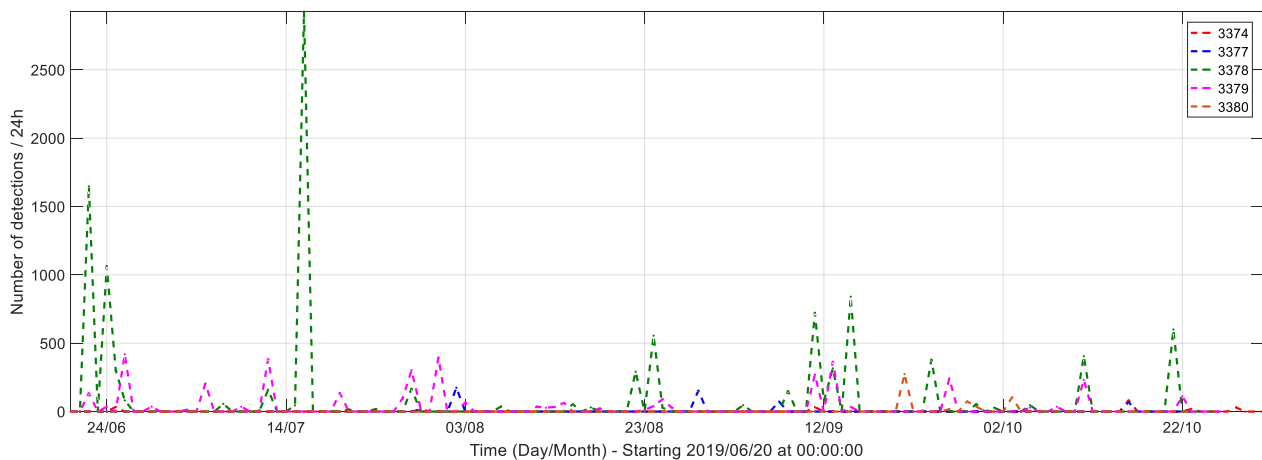


Figure 39 : Evolution du nombre de clics de Delphinidés détectés par les systèmes autonomes C-POD (indice de confiance élevé) dans la zone Nord-Ouest du 20 juin au 30 octobre 2019.

Inter-comparaison des systèmes

Dans cette zone, la proximité du système autonome C-POD 3380 avec l'enregistreur acoustique (III.2. ,Figure 8) se trouvant à 150 m de distance, permet l'inter-comparaison de ces deux systèmes qui ont été utilisés pour déterminer la fréquentation des Delphinidés par acoustique passive. Pour rappel, le système C-POD attribue un indice de confiance à chaque classification (confiance élevée, modérée, faible ou très faible). Pour cette inter-comparaison, tous les indices de confiance ont été pris en compte.

Suite à l'analyse des résultats obtenus sur la période commune aux deux systèmes, c'est-à-dire entre le 20 juin et 24 juillet 2019, il est possible de noter une période unique de présence acoustique avérée de Delphinidés dans la donnée de l'enregistreur acoustique et l'absence totale de détection automatique de clics de Delphinidés via le système autonome C-POD 3380.

Zone Sud-Ouest

La Figure 40 représente l'évolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Sud-Ouest pour la période allant du 20 juin au 24 juillet 2019. Après vérification manuelle de ces résultats, la grande majorité des pics de détections de clics et sifflements montrent des présences acoustiques avérées de Delphinidés.

Il apparaît que les Delphinidés sont quotidiennement présents à proximité de la zone Sud-Ouest jusqu'au 12 juillet 2019. Les détections de clics et sifflements observées sur cette période permettent de distinguer des

⁵ Absence de données sur le C-POD 3375

passages des Delphinidés plusieurs fois dans la journée, tous les 1 à 2 jours. Entre le 12 et 24 juillet 2019, la présence acoustique des Delphinidés est considérée comme régulière avec des détections de clics et sifflements, plus ou moins importantes, tous les 2 à 4 jours.

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

Lors de l'analyse bioacoustique des résultats, plusieurs caractéristiques des signaux acoustiques détectés ont permis de noter quelques comportements de communication acoustique intense supposant des épisodes de chasse (Figure 41) :

- ✓ Détections d'un nombre important de clics ;
- ✓ Détections de « buzzs » et cris pulsés ;
- ✓ Détections de clics d'écholocalisation parfois intense entre 15 et 192 kHz ;
- ✓ Un ICI variable (plus ou moins court) pour chaque train de clics détectés.

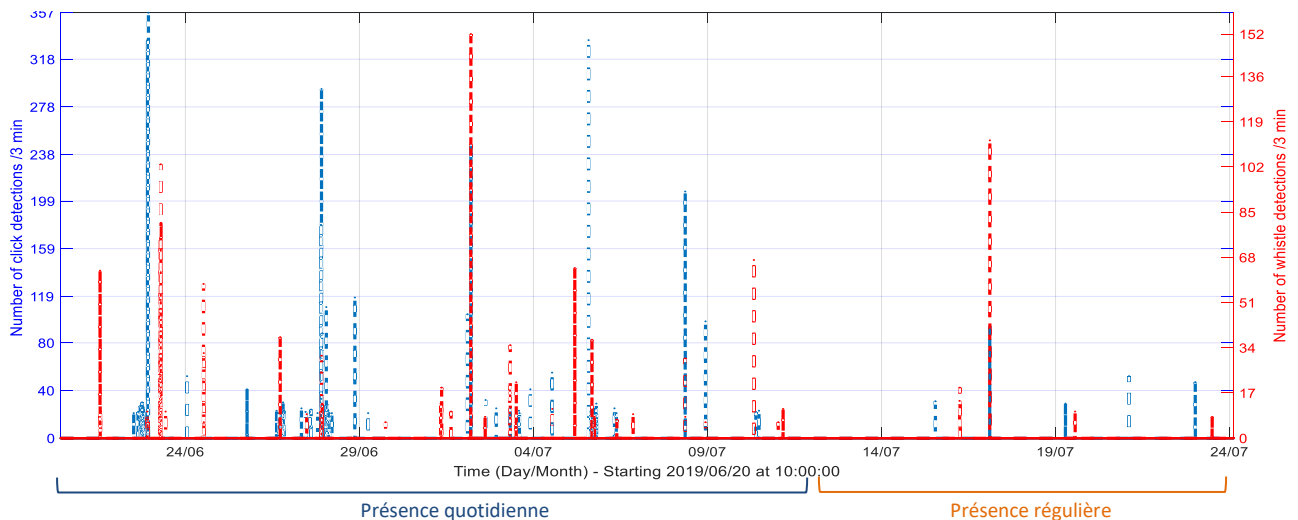


Figure 40 : Evolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée audio recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Sud-Ouest du 20 juin au 24 juillet 2019. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.

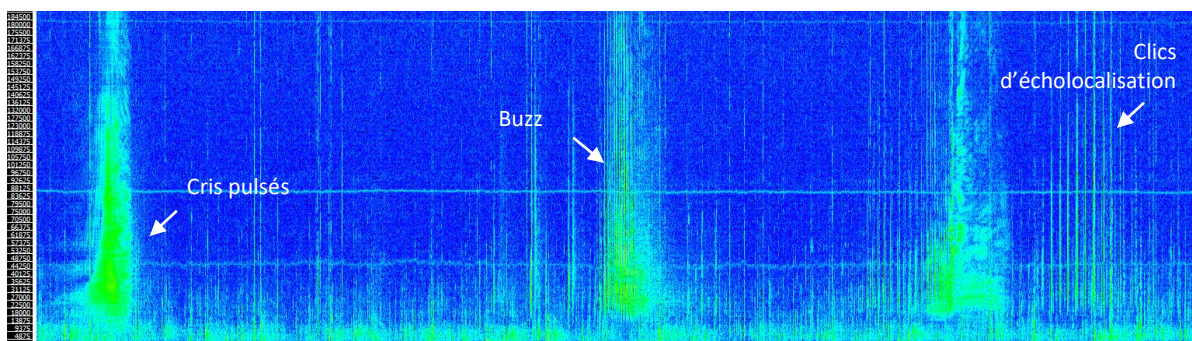


Figure 41 : Probable épisode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone Sud-Ouest. Journée du 27 juin 2019 vers 21h30 UTC.

Zone Sud-Est

La Figure 42 représente l'évolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Sud-Est pour la période allant du 24 juillet au 26 août 2019.

A la vue des résultats, deux périodes de fréquentation de la zone par les mammifères marins peuvent être distinguées. Entre le 24 juillet et le 01^{er} août 2019, les Delphinidés sont présents de manière fréquente à proximité de la zone Sud-Est avec 7 jours de présence pour 9 jours de mesure, les détections de clics et sifflements sont considérées comme quotidiennes. Entre le 01^{er} et 26 août 2019, les Delphinidés sont présents occasionnellement avec 9 jours de présence pour 26 jours de mesure.

Sur l'ensemble de la période, du 24 juillet au 26 août 2019, les détections de clics et sifflements ont principalement été relevées durant la nuit, c'est-à-dire entre 21h00 UTC et 05h00 UTC, avec quelques détections en fin de journée/début de soirée entre 17h00 UTC et 19h30 UTC. Les signaux acoustiques détectés ont permis de noter principalement un comportement de communication avec des clics émis dans une bande fréquentielle allant de 15 à 80 kHz (Figure 43). Toutefois, quelques trains de clics d'écholocalisation ont pu être observés, comme sur la journée du 06 août 2019 aux alentours de 22h50 UTC (Figure 44).

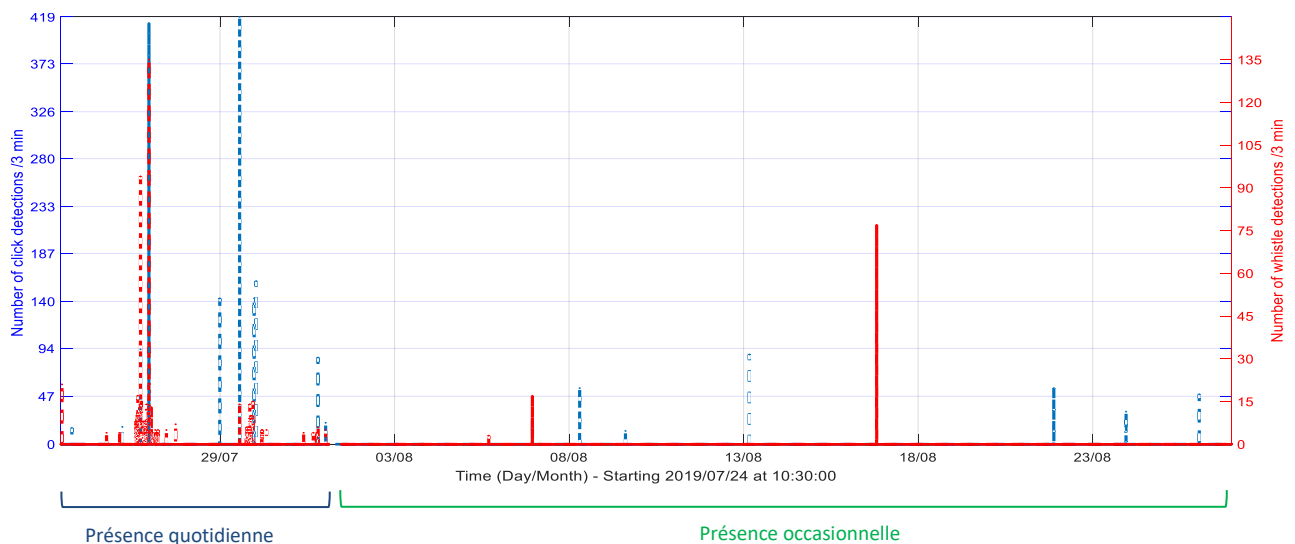


Figure 42 : Evolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée audio recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Sud-Est du 24 juillet au 26 août 2019. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.

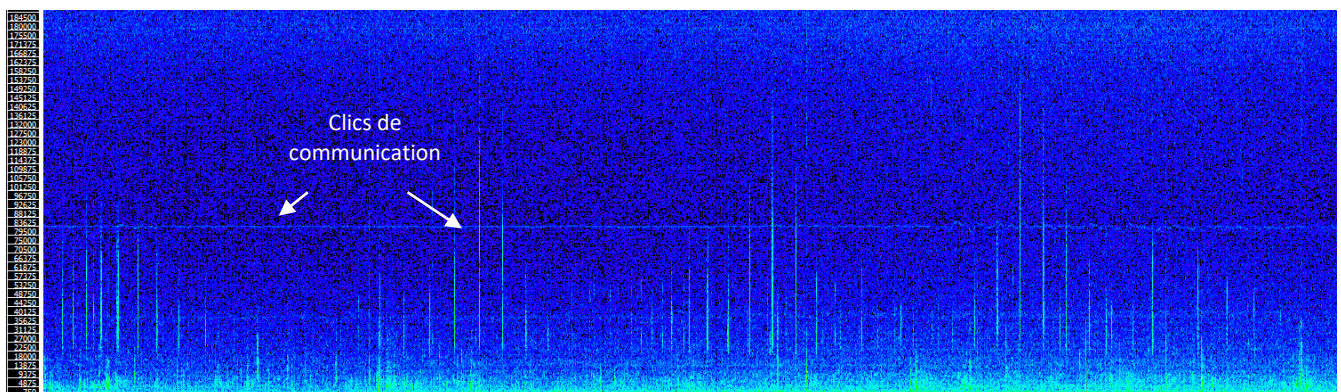


Figure 43 : Clics de communication de Delphinidés (15 à 80 kHz) détectés sur la journée du 30 juillet 2019 vers 00h50 UTC à proximité de la zone Sud-Est.

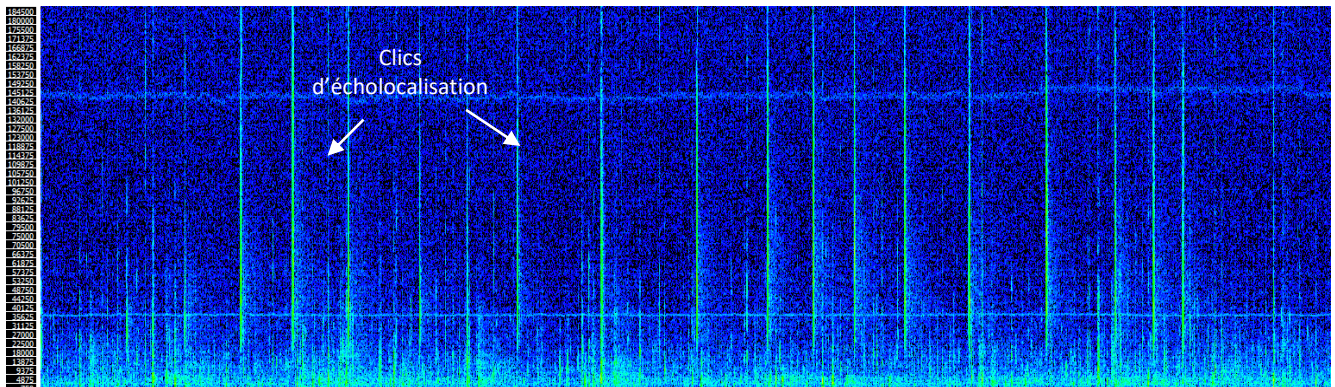


Figure 44 : Clics d'écholocalisation de Delphinidés (15 à 180 kHz) détectés sur la journée du 06 août 2019 vers 22h50 UTC à proximité de la zone Sud-Est.

ii. Famille des Phocoenidés

Zone Nord-Ouest

Enregistreur acoustique

La Figure 45 représente l'évolution du nombre de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Nord-Ouest pour la période allant du 20 juin au 24 juillet 2019. Il apparaît que les Marsouins communs sont exceptionnellement présents sur cette période avec la détection unique de quelques clics sur la journée du 18 juillet 2019 aux alentours de 18h00 UTC (Figure 46). Les clics étant peu nombreux sur cette journée et de très faible intensité, il est supposé que les Marsouins communs étaient assez éloignés de la zone Nord-Ouest au moment de leur passage.

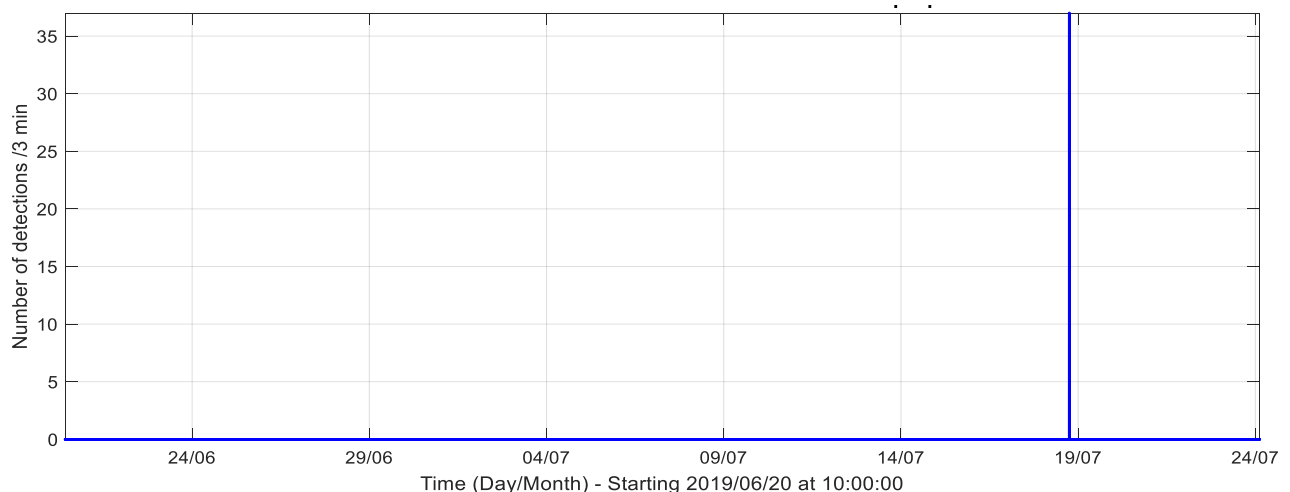


Figure 45 : Evolution du nombre de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Nord-Ouest entre le 20 juin et 24 juillet 2019. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.

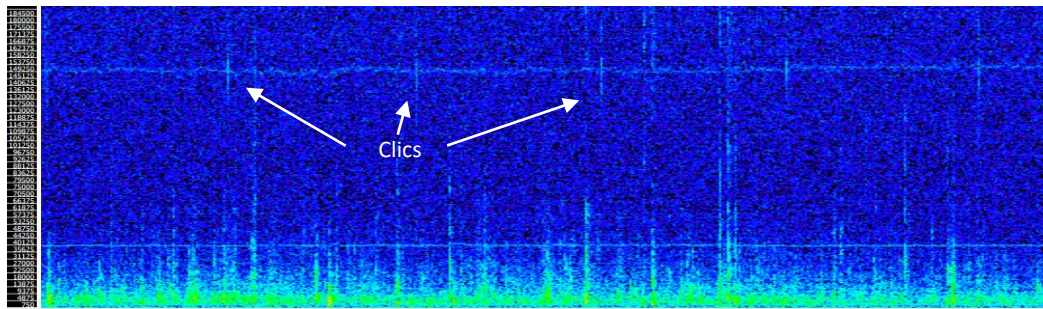


Figure 46 : Clips de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, de faible intensité entre 115 et 160 kHz détectés sur la journée du 18 juillet 2019 vers 18h00 UTC à proximité de la zone Nord-Ouest.

Systèmes autonomes C-PODs

La Figure 47 représente l'évolution du nombre de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés par les systèmes autonomes C-POD dans la zone Nord-Ouest pour la période allant du 20 juin au 30 octobre 2019. De manière générale, l'ensemble des détectations réalisées par les systèmes autonomes C-POD permettent de noter une présence acoustique quotidienne de juin à septembre 2019, et une baisse de fréquentation à partir du mois d'octobre 2019.

Une analyse détaillée des résultats permet de mettre en évidence une différence de fréquentation à l'intérieur même de la zone Nord-Ouest de déploiement des systèmes C-POD, chacun espacé d'environ 1.5 km. Les Marsouins communs sont quotidiennement présents à l'Ouest de cette zone (C-POD 3378 et 3379) avec une détection tous les 1 à 2 jours, tandis que leur présence est exceptionnelle au centre, au Sud et à l'Est de la zone (C-POD 3374, 3377 et 3380).

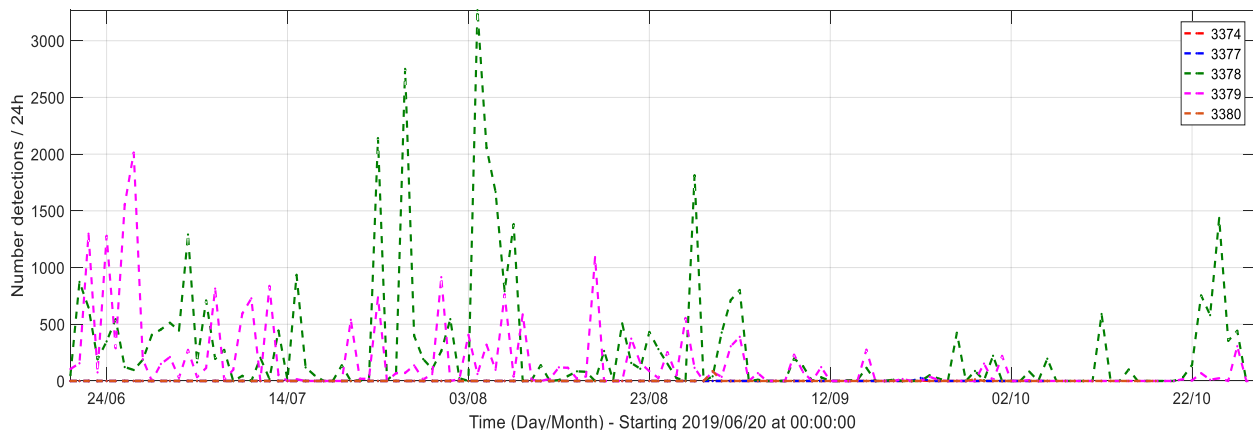


Figure 47 : Evolution du nombre de clics de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*) détectés par les systèmes autonomes C-POD (indice de confiance élevé) dans la zone Nord-Ouest du 20 juin au 30 octobre 2019.

Inter-comparaison des systèmes

Sur la période allant du 20 juin au 24 juillet 2019, l'analyse conjointe des résultats obtenus via l'enregistreur acoustique et le système autonome C-POD 3380 permet de noter une unique période de présence acoustique avérée de Marsouins communs dans la donnée de l'enregistreur acoustique et l'absence totale de détection automatique de clics de Marsouins communs via le système autonome C-POD 3380.

Zone Sud-Ouest

La Figure 48 représente l'évolution du nombre de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique situé dans la zone Sud-Est pour la période allant du 20 juin au 24 juillet 2019. Après vérification de ces résultats, les pics de détections de clics montrent des présences acoustiques avérées de Marsouins communs.

Les Marsouins communs sont régulièrement présents sur toute la période de mesure, du 20 juin au 24 juillet 2019 avec des détections de clics tous les 3 à 6 jours. De manière générale, les clics de cette espèce (Figure 49) ont été détectés à toutes heures du jour et de la nuit. Bien que le comportement dominant mis en évidence par les détections de clics entre 110 et 150 kHz soit un comportement de socialisation/communication, quelques rares détections de trains de clics permettent de supposer un comportement de chasse suite à l'observation d'un intervalle entre chaque clic (ICI) de courte durée, soit d'environ 1 ms (Figure 50).

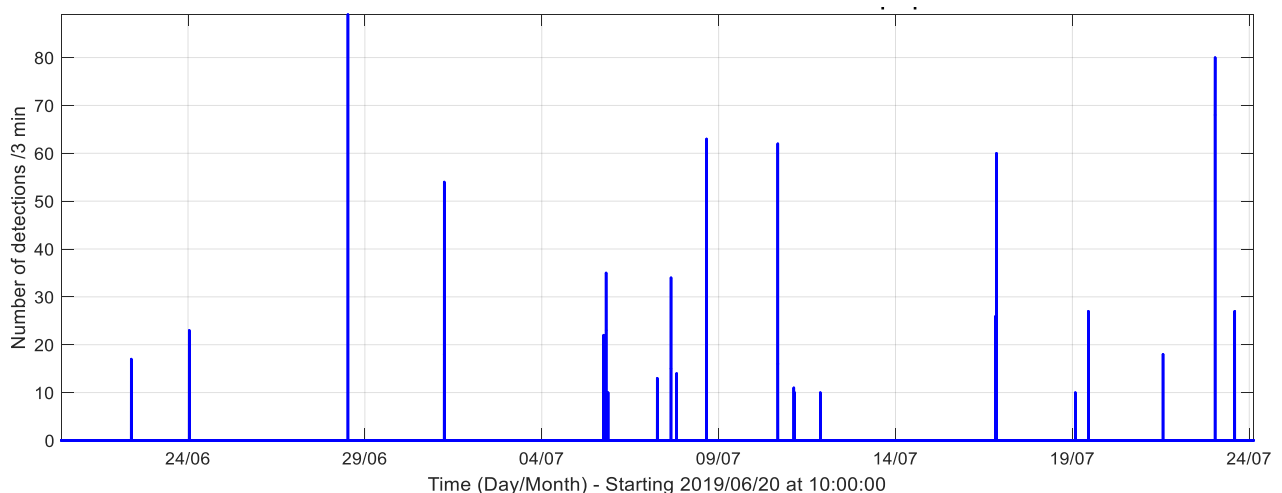


Figure 48 : Evolution du nombre de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique situé dans la zone Sud-Ouest entre le 20 juin et 24 juillet 2019. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.

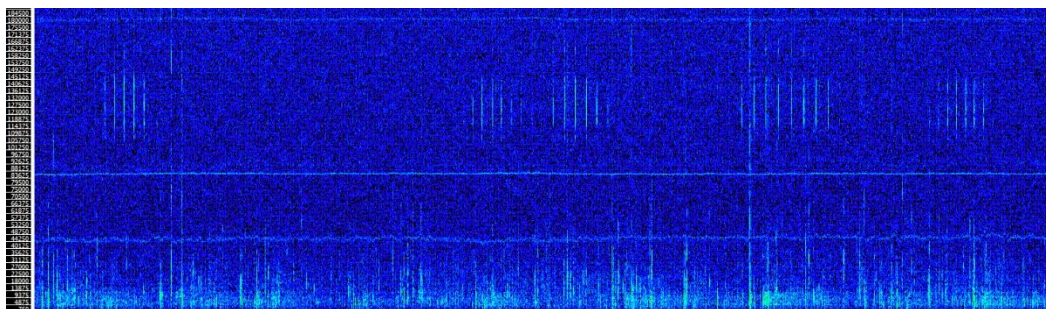


Figure 49 : Trains de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 150 kHz sur la journée du 05 juillet 2019 vers 18h50 UTC à proximité de la zone Sud-Ouest.

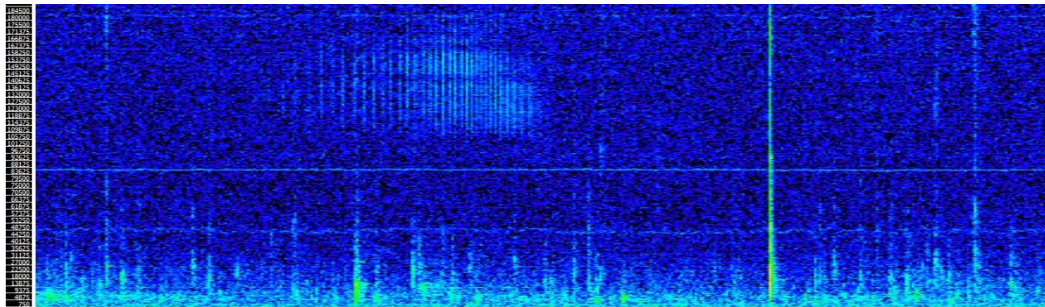


Figure 50 : Train de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 160 kHz et traduisant un probable comportement de chasse avec un ICI d'environ 1 ms. Journée du 16 juillet 2019 vers 20h00 UTC.

Zone Sud-Est

L'analyse des résultats obtenus pour la zone Sud-Est sur la période allant du 24 juillet au 26 août 2019 permet de noter l'absence des Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, aux alentours de cette zone. Aucune détection de clics de Marsouins communs n'a été réalisée.

VI.4.1.b. Comportements observés

Sur la période de mesure estivale allant du 20 juin au 26 août 2019, l'analyse des enregistrements qui contiennent des contacts acoustiques de Delphinidés indiquent de manière générale des comportements de socialisation par la présence de clics dans la bande de fréquence allant de 15 à 80 kHz et de sifflements dans la bande de fréquence allant de 2 à 25 kHz. Toutefois, une analyse détaillée de l'ensemble des contacts acoustiques a permis de mettre en évidence le caractère écholocatif de certains clics associés à des buzzs (Figure 41) indiquant quelques comportements de chasse et de quête de nourriture principalement sur les détections réalisées à proximité de la zone Sud-Ouest. Les contacts acoustiques détectés sur la zone Nord-Ouest sont, quant à eux, moins nombreux et d'intensité assez faible laissant supposer un simple passage (plus ou moins éloigné) des Delphinidés à proximité de cette zone.

Concernant les Phocoenidés, l'analyse des clics détectés entre 110 et 150 kHz sur la période du 20 juin au 24 juillet 2019 a permis de noter quelques rares comportements de chasse à proximité de la zone Sud-Ouest qui reste principalement un lieu de passage et de socialisation pour ces mammifères marins.

VI.4.1.c. Classification des signaux biologiques détectés

Une classification des sifflements observés dans la bande fréquentielle allant de 2 à 25 kHz lors de l'étape de validation auditive et visuelle des signaux biologiques a été réalisée afin d'identifier les espèces émettrices. Cette classification a été réalisable particulièrement sur les sifflements détectés à proximité de la zone Sud-Ouest, ainsi que sur un enregistrement de la zone Sud-Est.

Il a été possible d'identifier avec certitude des sifflements émis par le Dauphin commun, *Delphinus delphis* (Figure 51 et Figure 52) entre 8 et 18 kHz. Il apparaît que cette espèce est prédominante dans l'ensemble de la donnée enregistrée au niveau de la zone Sud-Ouest. Même si toutes les espèces de Delphinidés n'ont pas pu être identifiées avec certitude, des vocalises probablement émises par le Grand Dauphin, *Tursiops truncatus*, ont été observées sur la journée du 28 juin 2019 (Figure 53).

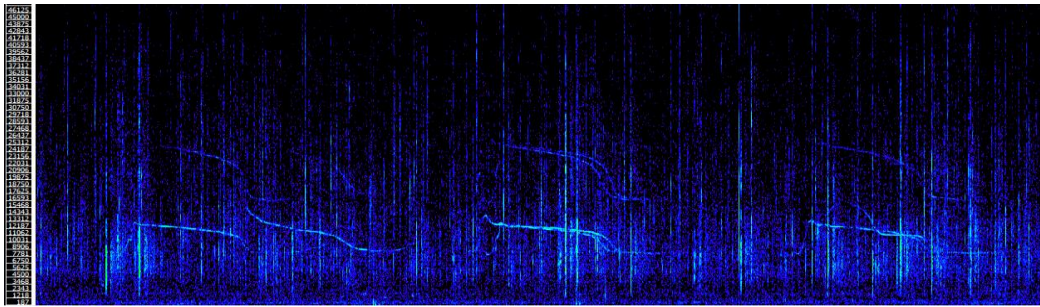


Figure 51 : Sifflements émis par le Dauphin commun (*Delphinus delphis*) entre 8 et 15 kHz, le 23 juin 2019 à 06h52 UTC à proximité de la zone Sud-Ouest.

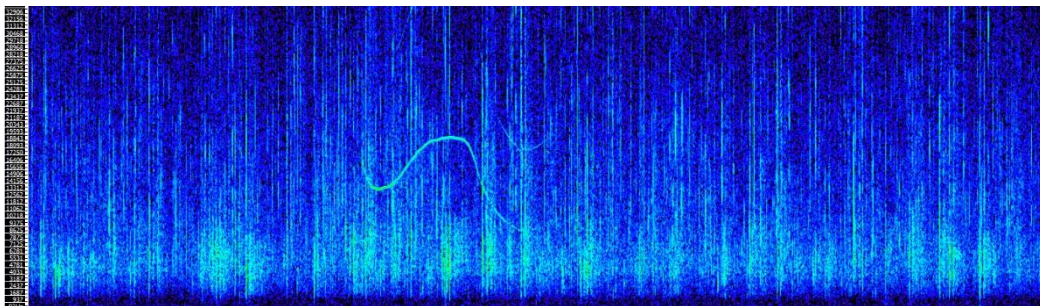


Figure 52 : Sifflements émis par le Dauphin commun (*Delphinus delphis*) entre 8 et 18 kHz, le 06 août 2019 à 22h51 UTC à proximité de la zone Sud-Est.

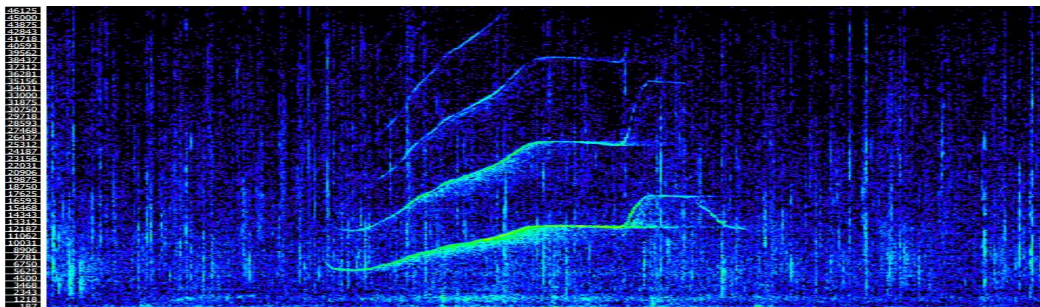


Figure 53 : Sifflements probablement émis par le Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*) entre 6 et 17 kHz, le 28 juin 2019 à 20h50 UTC à proximité de la zone Sud-Ouest.

VI.4.1.d. Synthèse

Le Tableau 21 synthétise les résultats quant à la présence des mammifères marins au niveau de chaque zone d'études entre le 20 juin et 30 octobre 2019 :

- ✓ Les zones d'études Nord-Ouest et Sud-Ouest sont quotidiennement à régulièrement fréquentées par les Delphinidés et Phocoenidés ;
- ✓ La zone d'étude Sud-Est est peu fréquentée par les Delphinidés. Les Phocoenidés sont absents de cette zone ;
- ✓ Chaque zone d'étude est marquée par la présence de signatures acoustiques indiquant un comportement de socialisation. Seule la zone Sud-Ouest est marquée par un comportement de chasse, plus ou moins intense, clairement identifiée chez les Delphinidés.

Lors de l'analyse détaillée des résultats, une différence de fréquentation à l'intérieur même de la zone Nord-Ouest a pu être mise en évidence grâce à l'effort de déploiement d'instrumentation dans cette zone, avec 6 systèmes C-PODs espacés d'environ 1.5 km et un enregistreur acoustique. Les Delphinidés et Phocoenidés sont quotidiennement présents dans la partie Ouest de cette zone, tandis que leur présence est occasionnelle, voire absente, sur le reste de la zone. L'augmentation de la bathymétrie, passant de 11 à 23 mètres, dans la partie Ouest de la zone pourrait potentiellement expliquer cette présence quotidienne des mammifères marins à cet emplacement.

Un enregistreur acoustique a été positionné à 150 m de distance d'un système autonome C-POD afin de pouvoir évaluer les performances de détection du système C-POD. Il apparaît que les signaux acoustiques observés dans la donnée de l'enregistreur acoustique n'ont pas été détectés par le système autonome C-POD. Le faible nombre de passages acoustiques relevés sur la période d'évaluation (20 juin au 24 juillet 2019) dans la donnée de l'enregistreur acoustique ne permet pas de tirer de conclusion à ce stade de l'étude. Malgré l'enregistrement en continu, Il est supposé que le système autonome C-POD ne réalise pas de détections additionnelles à celles de l'hydrophone. Afin de pouvoir tirer des conclusions sur ce point, il serait nécessaire de réaliser une analyse bioacoustique sur une période d'étude plus longue.

Tableau 21 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant la saison estivale, entre le 20 juin et 30 octobre 2019.

	Fréquentation du site			Comportement		
	Nord-Ouest	Sud-Ouest	Sud-Est	Nord-Ouest	Sud-Ouest	Sud-Est
Delphinidés	Quotidienne	Quotidienne à régulière	Occasionnelle	Socialisation / en déplacement	Socialisation / quelques comportements de chasse	Socialisation
Phocoenidés	Quotidienne	Régulière	Absente	N/A	Socialisation	N/A

VI.4.2. Campagne hiver 2020

La donnée analysée correspond au déploiement de six systèmes C-POD effectué dans la zone spécifique Sud-Est durant la période du 24 janvier au 18 mai 2020 et au déploiement d'un enregistreur acoustique dans chaque zone durant la période du 25 janvier au 25 février 2020 (Chapitre III).

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

i. Famille des Delphinidés

Zone Nord-Ouest

La Figure 54 représente l'évolution du nombre de clics de Delphinidés détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique situé dans la zone Nord-Ouest. Les Delphinidés sont présents sur les journées du 26, 28 et 31 janvier, ainsi que les 19 et 23 février 2020. Leur présence acoustique est donc considérée comme exceptionnelle avec seulement 5 jours de présence sur un total de 31 jours de mesure.

L'analyse des clics détectés supposent un passage des Delphinidés à proximité de la zone Nord-Ouest avec des communications plus ou moins intenses, parfois accompagnées de quelques trains de clics d'écholocation (Figure 55). A noter, qu'aucun sifflement de Delphinidés n'a été détecté sur cette période. Dans ce contexte, leur comportement s'apparente au sondage de l'environnement dans lequel ils évoluent lors de leur passage au niveau de cette zone. Les détections de clics ont, quant à elles, été détectées sur une période nocturne, principalement entre 01h00 et 05h00 UTC.

Il est important de préciser que lors de la validation des signaux impulsifs détectés automatiquement par le logiciel PAMGuard, quelques fausses alarmes ont été recensées. Autrement dit, certains pics de détections de clics et/ou sifflements biologiques correspondent en réalité à une détection de signaux anthropiques, tels que la confusion de signaux émis par un SONAR actif sur la journée du 05 février 2020 à 10h00 UTC (Figure 54 et Figure 56) avec des clics de Delphinidés. Pour plus d'informations à ce sujet, se référer à la partie concernant les limites de la méthode automatique (VI.5.3.).

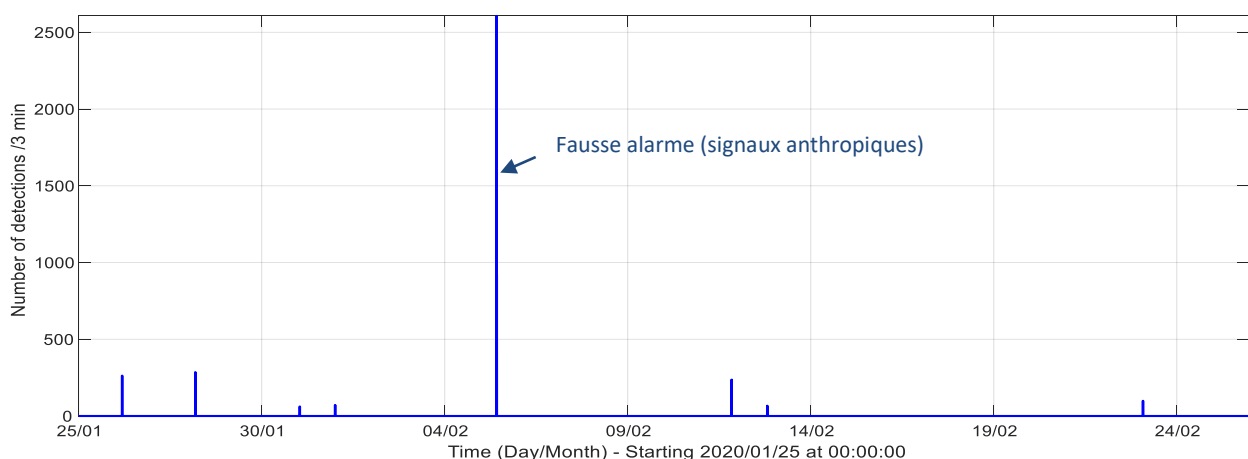


Figure 54 : Evolution du nombre de clics de Delphinidés détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Nord-Ouest du 25 janvier au 25 février 2020.

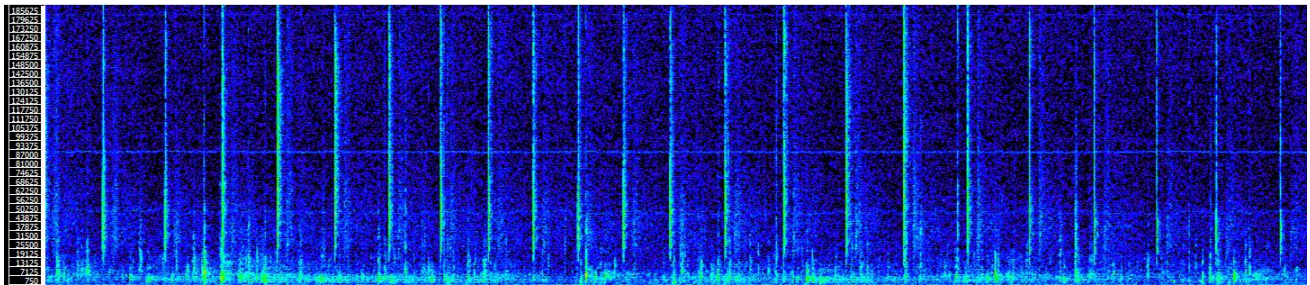


Figure 55: Clics d'écholocation de Delphinidés (15 à 180 kHz) détectés sur la journée du 26 janvier 2020 vers 04h30 UTC à proximité de la zone Nord-Ouest.

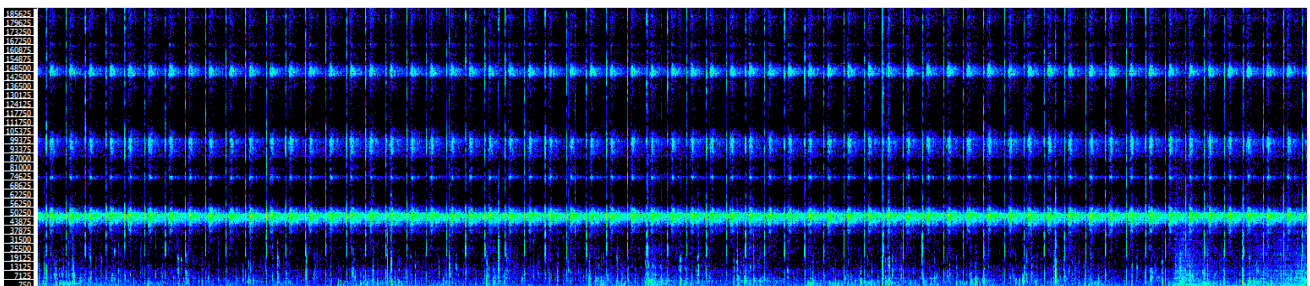


Figure 56 : Signaux impulsifs émis par un SONAR actif (50 kHz) observés sur la journée du 05 février 2020 vers 10h00 UTC à proximité de la zone Nord-Ouest.

Zone Sud-Ouest

La Figure 57 représente l'évolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique situé dans la zone Sud-Ouest. Après vérification de ces résultats, la grande majorité des pics de détections de clics et sifflements montrent des présences acoustiques avérées de Delphinidés.

Bien que les sifflements aient été détectés seulement sur 4 journées, les détections de clics observées sur cette période permettent de distinguer des passages de Delphinidés une à plusieurs fois par jour, et de manière récurrente tous les 1 à 3 jours. Il apparaît donc que les Delphinidés sont quotidiennement présents à proximité de la zone Sud-Ouest. Majoritairement, la détection des clics et sifflements a été réalisée dans une plage horaire allant de 19h00 à 06h00 UTC. La présence des Delphinidés sur cette zone est donc principalement nocturne. Lors de l'analyse bioacoustique des résultats, plusieurs caractéristiques des signaux acoustiques détectés ont permis de noter un comportement préférentiel de communication. Ce comportement s'est parfois avéré intense comme sur la journée du 26 janvier 2020 vers 05h30 UTC, supposant alors une quête de nourriture opportuniste (Figure 58). Cette quête de nourriture est caractérisée par :

- ✓ Un nombre important de clics ;
- ✓ La présence de « buzzs » ;
- ✓ La présence clics d'écholocalisations entre 15 et 150 kHz ;
- ✓ Un ICI variable (plus ou moins court) pour chaque train de clics détectés.

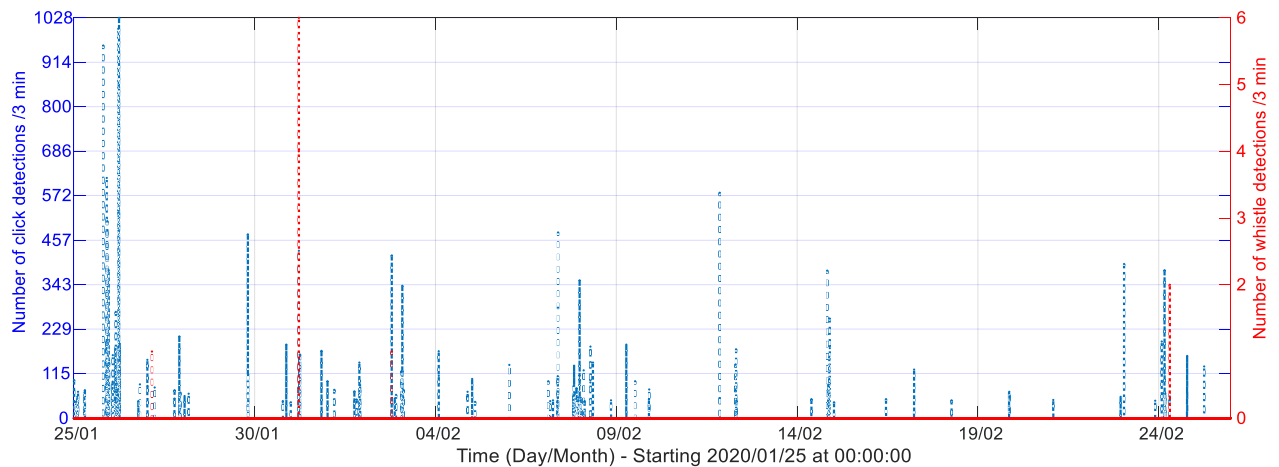


Figure 57 : Evolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée audio recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Sud-Ouest du 25 janvier au 25 février 2020.

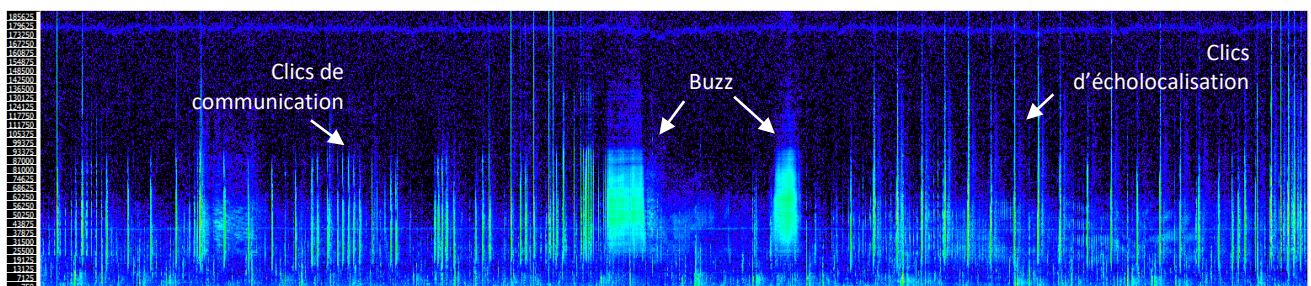


Figure 58 : Episode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de la zone Sud-Ouest. Journée du 26 janvier 2020 à 05h31 UTC.

Zone Sud-Est

Enregistreur acoustique

La Figure 59 représente l'évolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur situé dans la zone Sud-Est. A la vue des résultats, deux périodes de fréquentation de la zone par les mammifères marins peuvent être distinguées :

- ✓ Du 25 janvier au 09 février 2020, les Delphinidés sont régulièrement présents à proximité de cette zone avec au minimum une détection tous les 1 à 5 jours ;
- ✓ Du 10 au 25 février 2020, les Delphinidés sont occasionnellement présents avec des détections irrégulières dans le temps.

Sur l'ensemble de la période, les détections de clics et sifflements ont principalement été relevées durant la nuit, c'est-à-dire entre 20h00 et 06h00 UTC. Les signaux acoustiques détectés ont permis de noter principalement des clics d'écholocalisation émis dans une bande fréquentielle allant de 15 à 180 kHz (Figure 60). Toutefois, quelques trains de clics de communication ont également pu être observés, parfois de faible intensité comme sur la journée du 21 février 2020 vers 04h22 UTC (Figure 61).

Il est important de préciser que lors de la validation des signaux impulsifs détectés automatiquement par le logiciel PAMGuard, quelques fausses alarmes ont été recensées (cf. VI.5.3.). Certains pics de détections de clics correspondent en réalité à une détection de signaux impulsifs anthropiques, tels que les signaux émis par un SONAR actif sur les journées du 15 et 22 février 2020 respectivement aux alentours de 05h30 et 21h00 UTC.

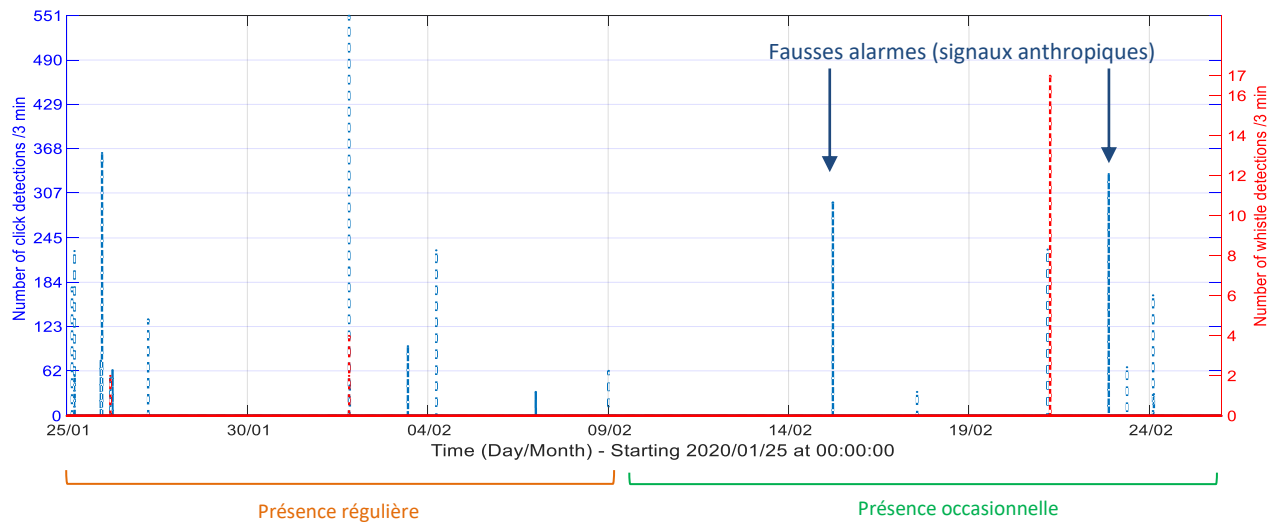


Figure 59 : Evolution du nombre de clics (courbe bleue) et sifflements (courbe rouge) de Delphinidés détectés dans la donnée audio recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Sud-Est du 25 janvier au 25 février 2020.

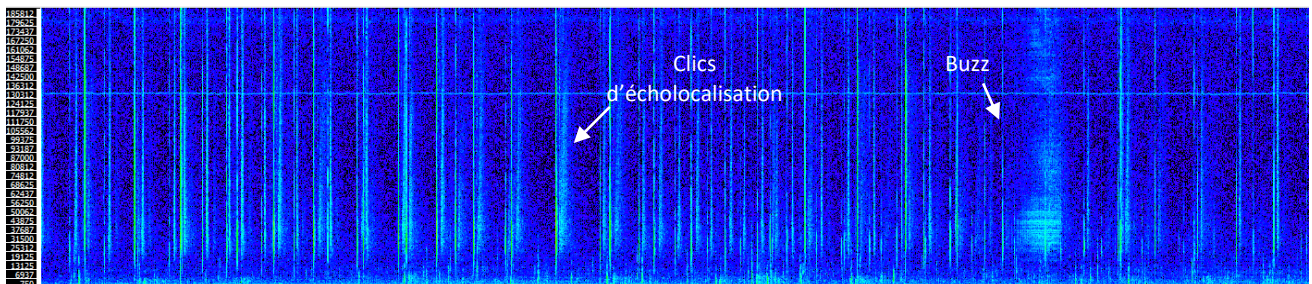


Figure 60 : Clics d'écholocalisation de Delphinidés (15 à 180 kHz) détectés sur la journée du 01 février 2020 vers 19h40 UTC à proximité de la zone Sud-Est.

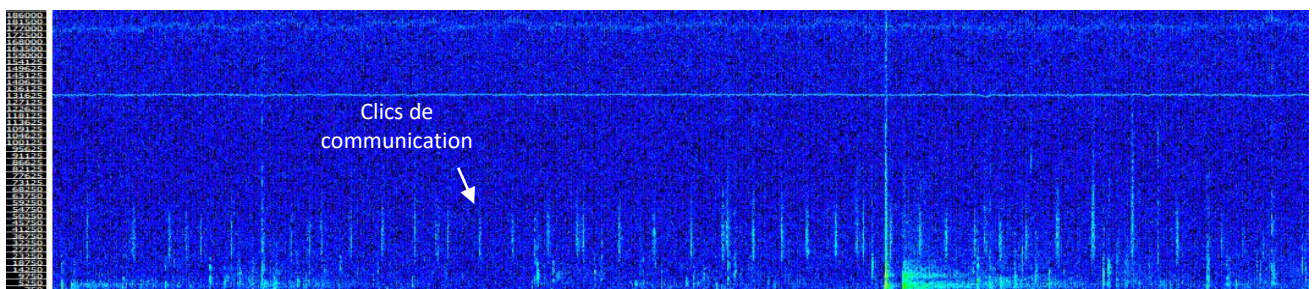


Figure 61 : Clics de communication de Delphinidés (15 à 80 kHz) détectés sur la journée du 21 février 2020 vers 04h22 UTC à proximité de la zone Sud-Est.

Systèmes autonomes C-POD

Figure 62 représente l'évolution du nombre de clics de Delphinidés détectés par les systèmes automatiques C-POD dans la zone Sud-Est pour la période allant du 24 janvier au 18 mai 2020. De manière générale, l'ensemble des détectations réalisées par les systèmes C-POD permettent de noter une présence bioacoustique régulière de janvier à mars 2020 avec une détection de clics tous les 4 à 9 jours, et une présence bioacoustique plutôt occasionnelle de mars à mai 2020 avec des détectations irrégulières dans le temps.

Les détections réalisées par chaque système autonome C-POD permettent de noter une différence de fréquentation à l'intérieur même de la zone Sud-Est (III.3. , Figure 10) :

- ✓ Une fréquentation exceptionnelle au niveau des C-POD 3375 et 3380 situés au Nord-Est de cette zone ;
- ✓ Une fréquentation occasionnelle au niveau du reste des C-POD avec une présence acoustique plus marquée au niveau du C-POD 3378, soit au Sud-Ouest de la zone.

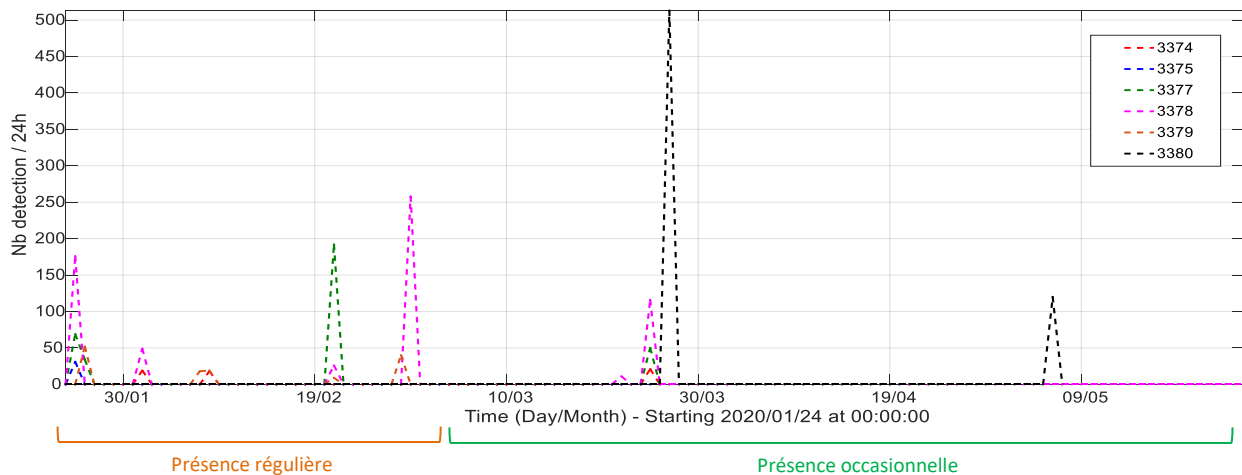


Figure 62 : Evolution du nombre de clics de Delphinidés détectés par les systèmes autonomes C-POD (indice de confiance élevé) dans la zone Sud-Est du 24 janvier au 18 mai 2020.

Inter-comparaison des systèmes

Dans cette zone, la proximité du système autonome C-POD 3375 avec l'enregistreur acoustique situé à 139 m de distance (III.3. , Figure 10) permet l'inter-comparaison de ces deux systèmes utilisés pour la détermination de la fréquentation des Delphinidés par acoustique passive. L'analyse des résultats obtenus sur la période commune aux deux systèmes, du 25 janvier et 25 février 2020, permet de noter pour l'enregistreur acoustique un nombre supérieur de détections avérées après analyse de la donnée.

Pour rappel, le système C-POD attribue un indice de confiance à chaque classification réalisée: élevé, modéré, faible ou très faible. Pour cette inter-comparaison, tous les indices de confiance ont été pris en compte. Il apparaît alors que le nombre de détections réalisées par le système C-POD est plus important qu'avec le seul indice de confiance « élevé », mais n'atteint jamais le nombre de détections obtenu par l'enregistreur acoustique. De plus, le nombre de fausses alarmes dans la donnée du système C-POD est assez élevé et engendre de ce fait, une courbe de fréquentation erronée.

Une analyse détaillée des résultats du C-POD 3375 et de l'enregistreur acoustique montre :

- ✓ 19 périodes de présence acoustique avérée dans la donnée de l'enregistreur acoustique ;
- ✓ 18 périodes de présence acoustique dans la donnée du C-POD, dont 6 périodes communes à celles de l'enregistreur acoustique et 12 périodes, avec une faible densité de clics, étant des fausses alarmes (après vérification). En d'autres termes, le système autonome C-POD n'a pas réalisé de détections additionnelles aux détections observées dans la donnée de l'enregistreur acoustique malgré l'enregistrement en continu.

ii. Famille des Phocoenidés

Zone Nord-Ouest

La Figure 63 représente l'évolution du nombre de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Nord-Ouest. Il apparaît que les Marsouins communs sont occasionnellement présents sur cette période avec des détections irrégulières dans le temps et un total de 6 jours de présence sur 31 jours de mesure.

Certaines détections réalisées montrent des trains de clics peu nombreux et de faible intensité, laissant alors supposer que les Marsouins communs sont assez éloignés de la zone Nord-Ouest comme sur la journée du 27 janvier 2020 à 17h50 UTC (Figure 64). Les clics de cette espèce ont tous été détectés sur une plage horaire allant de 18h00 à 06h00 UTC, soit principalement sur une période nocturne.

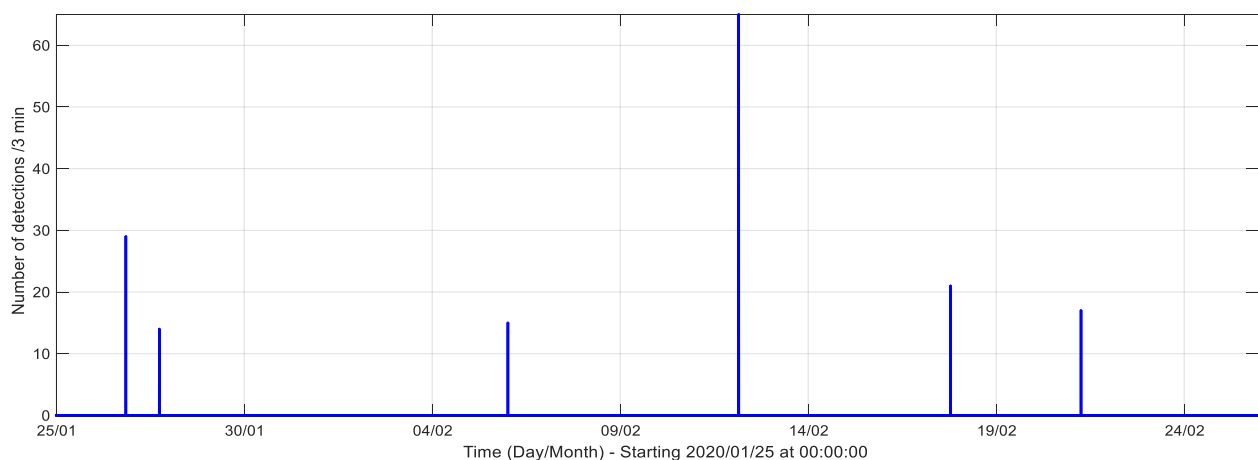


Figure 63 : Evolution du nombre de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique dans la zone Nord-Ouest entre le 25 janvier et 25 février 2020. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.

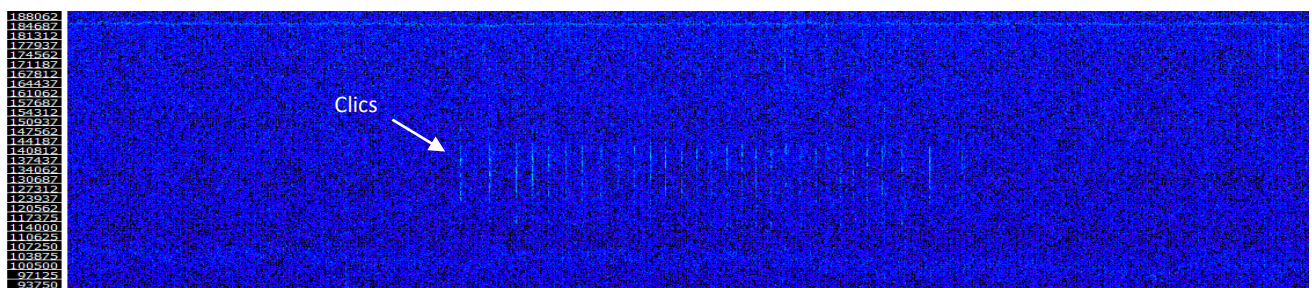


Figure 64 : Clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, de faible intensité entre 110 et 150 kHz détectés sur la journée du 27 janvier 2020 vers 17h50 UTC à proximité de la zone Nord-Ouest.

Zone Sud-Ouest

La Figure 65 représente l'évolution du nombre de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique situé dans la zone Sud-Est. Après vérification de ces résultats, les pics de détections de clics montrent des présences acoustiques avérées de Marsouins communs. Ces derniers sont régulièrement présents sur toute la période de mesure avec au minimum une détection de clics tous les 1 à 5 jours. De manière générale, les clics de cette espèce (Figure 66) ont été détectés à toutes heures du jour et de la nuit.

Le comportement dominant mis en évidence par les détections de clics entre 110 et 150 kHz est principalement un comportement de socialisation/communication. Toutefois, quelques détections de trains de clics permettent de supposer un comportement de chasse opportuniste suite à l'observation d'un intervalle de courte durée entre chaque clic (ICI) comme sur la journée du 26 janvier 2020 vers 21h40 UTC (Figure 67).

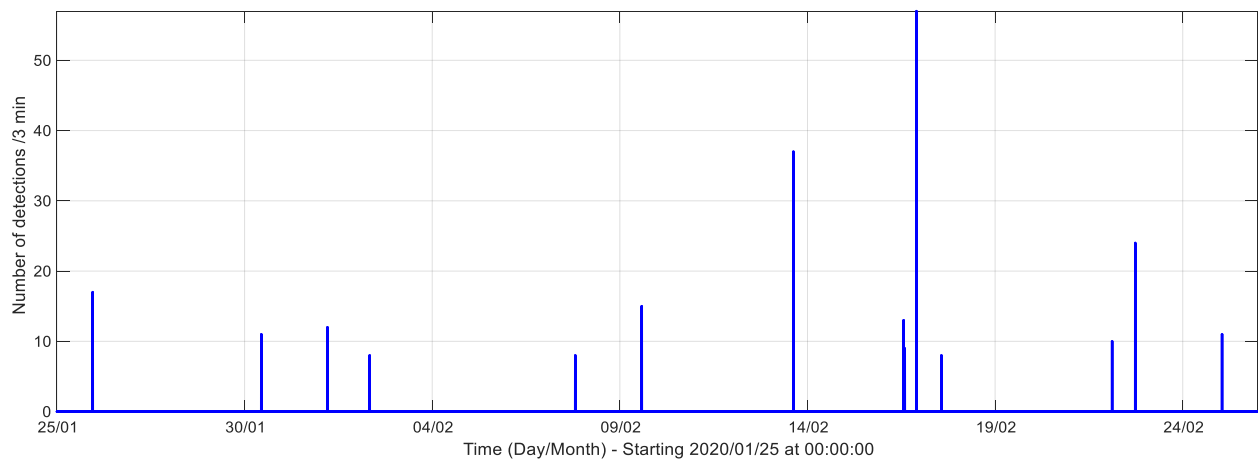


Figure 65 : Evolution du nombre de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique situé dans la zone Sud-Ouest entre le 25 janvier et 25 février 2020. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.

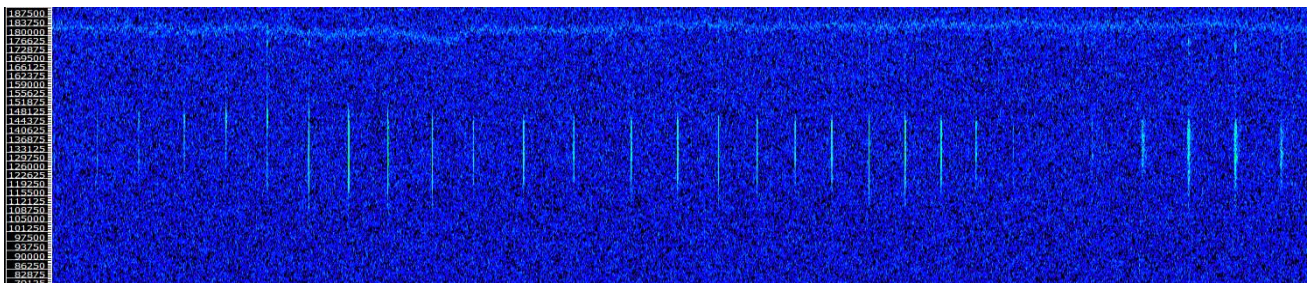


Figure 66 : Train de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 150 kHz sur la journée du 02 février 2020 vers 08h00 UTC à proximité de la zone Sud-Ouest.

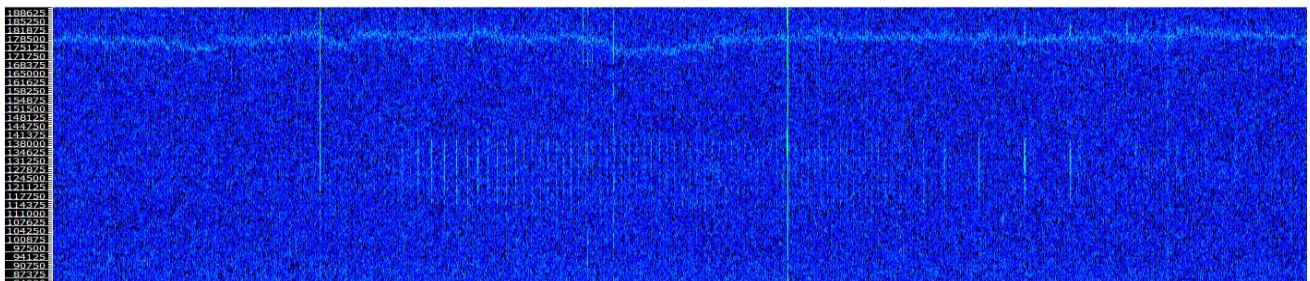


Figure 67: Train de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 145 kHz sur la journée du 26 février 2020 à 21h40 UTC au niveau de la zone Sud-Ouest. L'évolution de l'intervalle de temps entre chaque clic permet de supposer un épisode de chasse.

Zone Sud-Est

Enregistreur acoustique

La Figure 68 représente l'évolution du nombre de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique situé dans la zone Sud-Est. L'analyse des résultats obtenus permet de mettre en évidence la présence régulière des Marsouins communs au niveau de cette zone avec une majorité de détections réalisées tous les 1 à 5 jours. Seule une période de 08 jours ne comptabilise aucune détection, entre le 11 et 18 février 2020.

Les clics ont été détectés indépendamment des heures de la journée. Aucune période préférentielle de passage n'a donc pu être établie pour la présence des Marsouins communs qui sont autant présents de jour comme de nuit à proximité de la zone Sud-Est.

La détection de plusieurs trains de clics avec un ICI variable a permis de noter un comportement de chasse assez récurrent au niveau de cette zone, comme sur les journées du 26 janvier et du 19 février 2020 respectivement aux alentours de 10h20 et 15h50 UTC (Figure 69 et Figure 70).

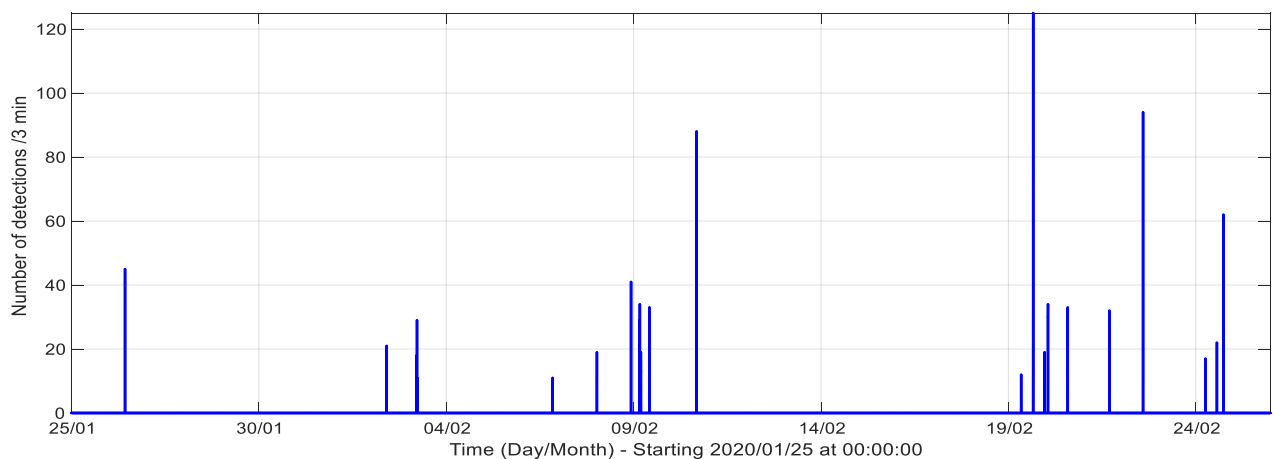


Figure 68 : Evolution du nombre de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique situé dans la zone Sud-Est entre le 25 janvier et 25 février 2020. Résultats obtenus suite aux vérifications manuelles des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard.

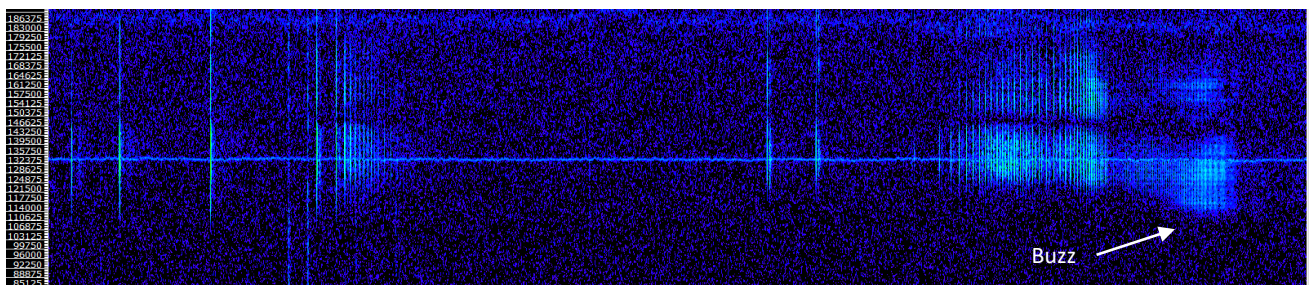


Figure 69 : Trains de clics émis entre 110 et 170 kHz par les Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, durant un épisode de chasse sur la journée du 26 janvier 2020 vers 10h20 UTC à proximité de la zone Sud-Est.

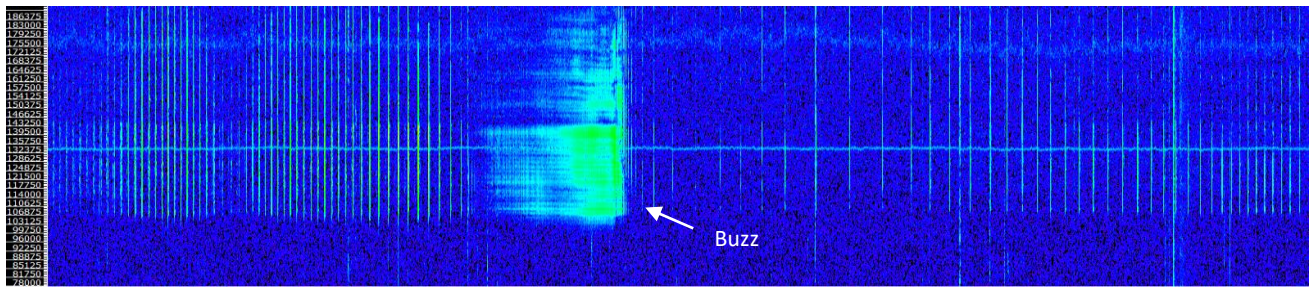


Figure 70 : Trains de clics émis entre 105 et 180 kHz par les Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, durant un épisode de chasse sur la journée du 19 février 2020 vers 15h50 UTC à proximité de la zone Sud-Est.

Systèmes autonomes C-PODs

La Figure 71 représente l'évolution du nombre de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés par les systèmes C-POD dans la zone Sud-Est. De manière générale, l'ensemble des détections réalisées par les systèmes C-POD permettent de noter une présence acoustique quotidienne sur l'ensemble de la période avec au minimum une détection tous les 1 à 2 jours.

Une analyse détaillée des résultats permet de mettre en évidence une légère différence de fréquentation à l'intérieur même de la zone Sud-Est. Il apparaît que la fréquence acoustique des Marsouins communs est moins importante au niveau du C-POD 3375 (courbe bleue) c'est-à-dire au niveau Nord de la zone de déploiement des C-PODs chacun espacés d'environ 1.5 km, avec une détection tous les 5 à 15 jours.

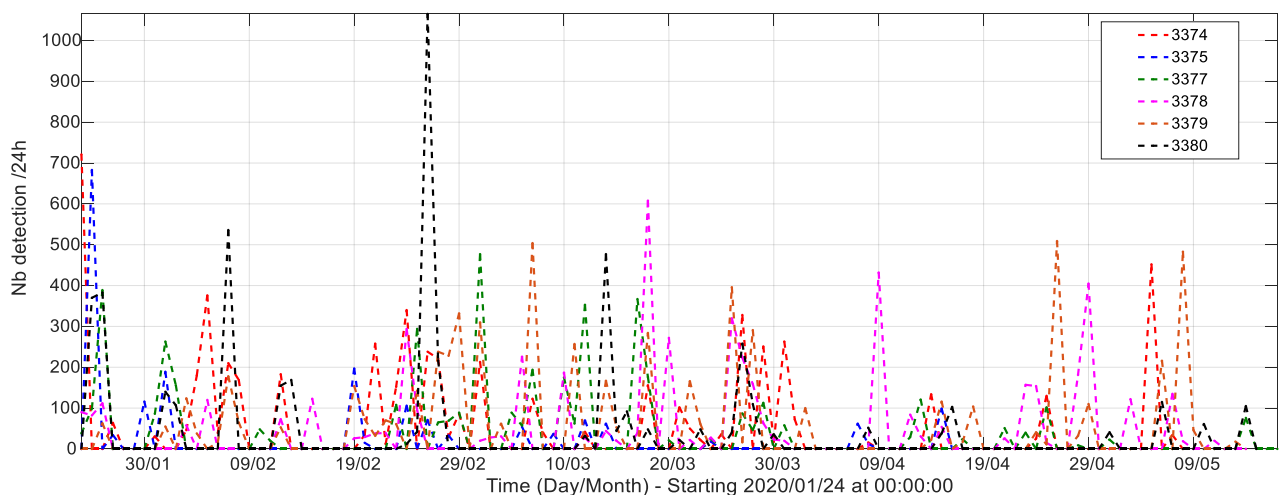


Figure 71 : Evolution du nombre de clics de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*) détectés par les systèmes autonomes C-POD (indice de confiance élevé) dans la zone Sud-Est du 24 janvier au 18 mai 2020.

Inter-comparaison des systèmes

Sur la période allant du 25 janvier au 25 février 2020, période commune à l'enregistrement acoustique, l'analyse conjointe des résultats obtenus via l'enregistreur acoustique et le système autonome C-POD 3375 permet de réaliser une inter-comparaison. Cette inter-comparaison a été réalisée en prenant en compte tous les indices de confiance de chaque détection réalisée par le système C-POD. Les résultats montrent:

- ✓ 24 périodes de présence acoustique avérés dans la donnée de l'enregistreur acoustique ;

- ✓ 25 périodes de présence acoustique dans la donnée du C-POD, dont 6 périodes communes à celles de l'enregistreur acoustique. Sur les 19 périodes restantes, celles avec une faible densité de clics sont des fausses alarmes.

VI.4.2.b. Comportements observés

Sur la période de mesure hivernale, les contacts bioacoustiques de Delphinidés indiquent de manière générale des comportements de socialisation/communication par la présence de clics, dans la bande de fréquence allant de 15 à 80 kHz, et de sifflements, bien que leur présence soit minime, dans la bande de fréquence allant de 2 à 25 kHz. Les clics de communication (15 à 80 kHz) associés à quelques trains de clics d'écholocalisation (15 à 180 kHz) permettent d'indiquer un probable sondage de l'environnement dans lequel les cétacés évoluent. Toutefois, un comportement de chasse a pu être mis en évidence à proximité de la zone Sud-Ouest avec l'association de clics écholocatifs et de « buzzs » (Figure 58).

Concernant les Phocoenidés, l'analyse des clics détectés entre 110 et 150 kHz durant la période hivernale a permis de mettre en évidence des comportements de chasse à proximité de la zone Sud-Est. Bien que quelques rares comportements de chasse aient également été observés au niveau de la zone Sud-Ouest, les zones Nord-Ouest et Sud-Ouest restent principalement des lieux de passage et de socialisation pour ces mammifères marins.

VI.4.2.c. Classification des signaux biologiques détectés

Une classification des sifflements observés dans la bande fréquentielle allant de 2 à 25 kHz lors de l'étape de validation auditive et visuelle des signaux biologiques a été réalisée afin d'identifier les espèces émettrices. Cette classification est réalisable sur les sifflements détectés à proximité des zones Sud-Ouest et Sud-Est. La zone Nord-Ouest a mis en évidence l'absence de sifflements sur l'ensemble de la période.

Il a été possible d'identifier des sifflements émis par le Dauphin commun, *Delphinus delphis*, sur les journées du 31 janvier (Figure 72) et 21 février 2020 (Figure 73). Bien que la détection de certains sifflements complique l'exercice de classification dû à la faible densité et intensité de ces derniers sur la durée totale de l'enregistrement, il est possible d'affirmer leur appartenance au genre dauphin *sp* (Figure 74).

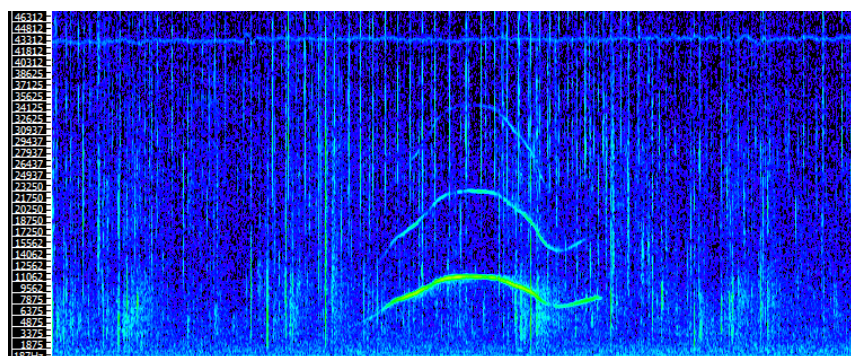


Figure 72 : Sifflements émis par le Dauphin commun (*Delphinus delphis*) entre 5 et 10 kHz, le 31 janvier 2020 à 05h22 UTC à proximité de la zone Sud-Ouest.

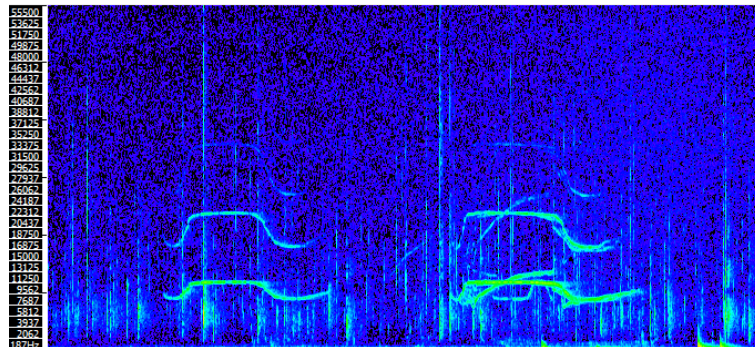


Figure 73 : Sifflements émis par le Dauphin commun (*Delphinus delphis*) entre 5 et 12 kHz, le 21 février 2020 à 06h10 UTC à proximité de la zone Sud-Est.

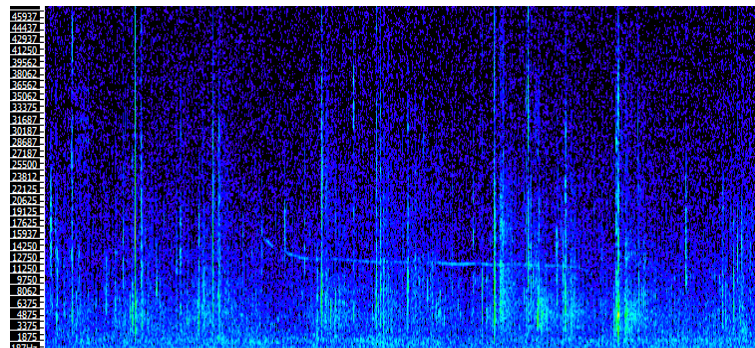


Figure 74: Unique sifflement de faible intensité observé sur l'enregistrement du 26 janvier 2020 à 04h52 UTC ne permettant la classification de ce dernier.

VI.4.2.d. Synthèse

Le Tableau 22 synthétise les résultats quant à la présence des mammifères marins au niveau de chaque zone d'études pour la saison hivernale (entre le 25 janvier et 25 février 2020) :

- ✓ La zone d'étude Nord-Ouest est peu fréquentée par les Delphinidés et les Phocoenidés dont les détections suggèrent des cétacés en déplacement aux alentours de la zone ;
- ✓ La zone d'étude Sud-Ouest est quotidiennement fréquentée par les Delphinidés et régulièrement fréquentée par les Phocoenidés. Pour chacune de ces familles, le comportement dominant est la socialisation. Toutefois, quelques rares comportements de chasse ont pu être mis en évidence au niveau de cette zone ;
- ✓ La zone d'étude Sud-Est est régulièrement à occasionnellement fréquentée par les Delphinidés et Phocoenidés. Toutefois, le comportement diffère entre les deux familles de cétacés. Les Delphinidés sont en déplacement à proximité de cette zone tandis que plusieurs comportements de chasse ont pu être observés chez les Phocoenidés.

Tableau 22 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant la saison hivernale, entre le 25 janvier et 25 février 2020.

	Fréquentation du site			Comportement		
	Nord-Ouest	Sud-Ouest	Sud-Est	Nord-Ouest	Sud-Ouest	Sud-Est
Delphinidés	Exceptionnelle	Quotidienne	Régulière à occasionnelle	Socialisation / en déplacement	Socialisation / rare comportement de chasse	Socialisation / en déplacement
Phocoenidés	Occasionnelle	Régulière	Régulière	En déplacement	Socialisation / rare comportement de chasse	Socialisation / chasse

VI.5. Limites et difficultés rencontrées

La bioacoustique est une science puissante en termes de détections d'activités biologiques sous-marines. Elle permet d'acquérir des enregistrements par acoustique passive des sons émis par les animaux et ce, quelle que soit l'heure du jour et de la nuit. Toutefois, l'objectif même de détecter des sons d'origine animale aux caractéristiques variables et dans un environnement extrêmement fluctuant tel que celui de la mer, conduit à des limitations qu'il est nécessaire de prendre en compte lors de l'analyse et de l'interprétation des résultats.

VI.5.1. Traitement des données

La représentativité temporelle élevée est l'un des points forts de l'acquisition par acoustique passive. Cet avantage est toutefois controversé : si les conditions de bruit ambiant sont difficiles un volume très important de signatures acoustiques est généré dans la donnée. Le traitement de ces données peut alors s'avérer chronophage et coûteux. Pour pallier à ce problème de temps de traitement des données, des algorithmes de détection automatique peuvent être utilisés. Lorsque l'efficacité de ces algorithmes est erronée suite à la présence d'un fort bruit ambiant dans la donnée, une solution alternative consiste à recourir à la validation humaine des échantillons.

De manière générale, lorsque des algorithmes de détections automatiques sont utilisés pour le traitement de données audio, un post-traitement (à base de filtre) et un effort de validation humaine sont requis afin de pouvoir confirmer les résultats obtenus. Toutefois, pour certains algorithmes de détections automatiques, tels que ceux des systèmes autonomes C-PODs, il est impossible de réaliser cette validation humaine des échantillons car la donnée acoustique n'est pas conservée par le système.

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

VI.5.2. Représentativité de la mesure

VI.5.2.a. Portée de détection et représentativité spatiale

La distance de détection d'un son émis par un mammifère marin est influencée par de nombreux facteurs. D'une part, les caractéristiques de l'émission sonore sont dépendantes de la source, c'est-à-dire de l'animal lui-même. La fréquence, l'amplitude et le type de son vont influencer sur la distance de détection et vont être fonction de l'espèce, du comportement et de l'orientation de l'animal par rapport à l'hydrophone. D'autre part, les caractéristiques de la propagation de l'émission sonore varient selon le milieu dans lequel elle se propage. Ces caractéristiques dépendent principalement de la température et salinité de l'eau, de la profondeur et de la proximité d'interfaces (côte, fond, cisaillement des masses d'eau). La détection est également fortement dépendante du bruit ambiant, qu'il soit généré par l'environnement, les organismes biologiques ou les activités humaines. L'ensemble de ces caractéristiques déterminent donc pour chaque espèce la portée de détection et par conséquent le périmètre de présence biologique associé (VI.2.).

En général, la portée de détection d'un mysticète est bien supérieure à celle d'un petit Delphinidé. Dans ce contexte, bien que la force de l'acoustique passive tienne à l'excellente représentativité temporelle de l'acquisition, il est important de pallier à la faible représentativité spatiale lorsqu'on recherche la présence de petits Delphinidés, tel que le Dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*) occasionnellement présent au large de Saint-Nazaire. Dans le cadre de cette étude, deux solutions ont été mises en œuvre pour atteindre cet objectif :

- ✓ Le choix adapté de la sensibilité de l'hydrophone qui permet d'optimiser la distance de détection tout en minimisant la saturation en présence d'un fort bruit ambiant ;
- ✓ La réplication spatiale (acquisition en plusieurs points), qui dans un milieu aux conditions relativement homogène permet de généraliser les résultats à l'ensemble de l'aire d'étude.

VI.5.2.b. Comportement de l'animal et dénombrement

En ce qui concerne la détection des mammifères marins par acoustique passive, le comportement de l'animal représente le facteur principal qui va influencer sur la détection des sons émis par ce dernier. En effet, les mammifères marins sont généralement plus actifs vocalement lorsqu'ils sont en socialisation ou en activité de chasse que lorsque qu'ils sont en transit ou au repos. Certaines espèces sont également plus discrètes que d'autres d'un point de vue acoustique : les petites espèces limiteront leurs vocalises afin d'éviter d'être repérées par leurs prédateurs (par exemple les Orques, considérés comme occasionnellement présents au large de Saint-Nazaire, cf. VI.1.2.), tandis que d'autres espèces comme les Baleines à bec (*Ziphiidae*) sont discrètes de nature aussi bien dans leur comportement de surface que dans leurs vocalises. Dans ces conditions, il est donc probable qu'un individu ou un groupe qui passe à proximité de l'hydrophone ne soit pas détecté.

Il est important de préciser la difficulté d'estimer le nombre d'individus au sein d'un groupe sur la base seule de leurs émissions sonores. Cet exercice est quasi-impossible. Toutefois, il peut être possible de détecter si un individu est probablement seul ou en présence d'un groupe d'individus.

VI.5.3. Algorithme de détection automatique

De manière générale, les algorithmes (PamGuard, C-POD, ..) de détection automatique identifient de manière fiable la présence, le cas échéant, de signaux impulsifs et/ou transitoires dans la donnée mesurée par acoustique passive. Toutefois, il apparaît qu'en présence d'un chorus sonore bruyant (1) le nombre de détections réalisées soit surestimé et, (2) les détections biologiques réalisées par l'algorithme s'apparentent en réalité à la détection de signaux anthropiques. En effet, la présence de bruit de mouillage tels que des chocs ou des grincements, provoqués par des chocs sur une surface ou par les vibrations d'éléments du mouillage acoustique à des fréquences inférieures à 5 kHz, peut entraîner une confusion pour l'algorithme de détection entre les signaux transitoires biologiques et ces signaux transitoires anthropiques. Dans un contexte similaire,

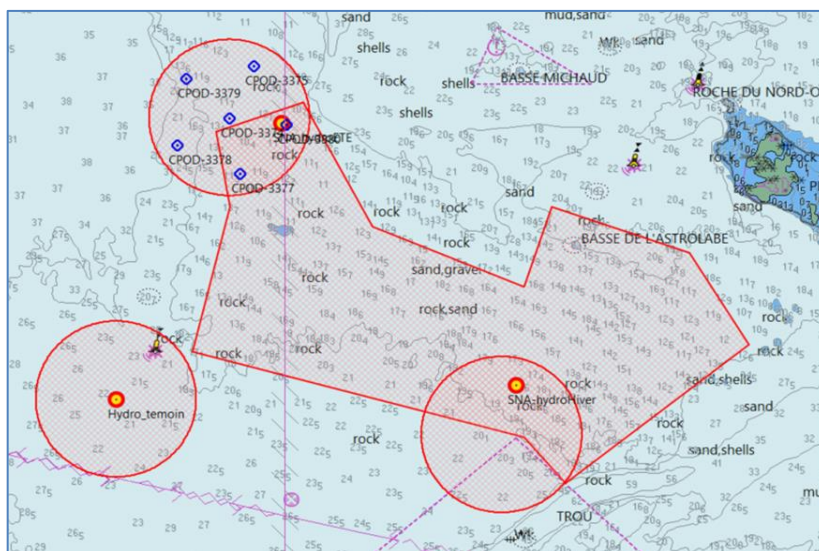
la présence intensive de signaux impulsifs anthropiques dans la donnée mesurée, tels que ceux émis par un SONAR actif qui ont été observés dans les enregistrements de cette étude, peut donner lieu à des faux positifs c'est-à-dire à la détection des signaux impulsifs émis par le SONAR actif dans la bande de fréquence d'émission des clics de Delphinidés. La vérification humaine offre alors une alternative satisfaisante dans la grande majorité des cas pour confirmer l'origine des détections réalisées. Cette alternative n'est réalisable que lorsque la donnée acoustique brute est disponible. Ce qui n'est pas le cas du système C-POD.

Chapitre VII. Conclusions

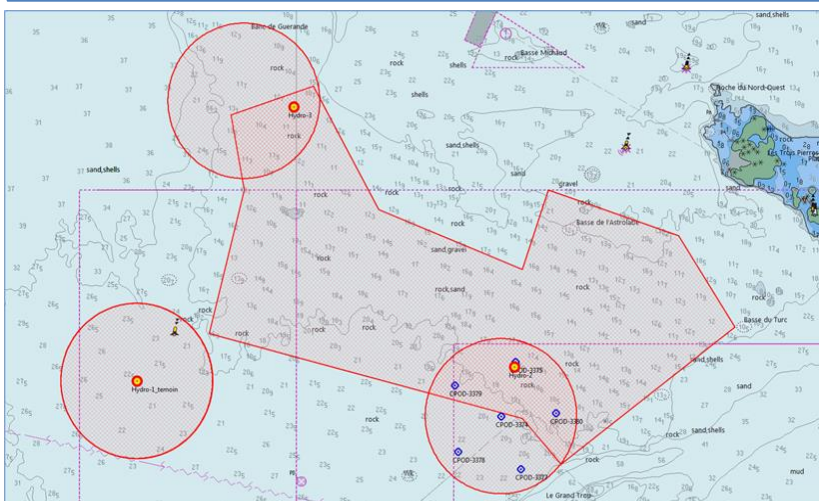
La société Parc du Banc de Guérande (PBG) s'est vue attribuer le site au large de Saint-Nazaire pour le développement et l'exploitation d'un parc éolien en mer de 80 éoliennes. Elle bénéficie depuis le 17 mars 2016 d'un arrêté autorisant, au titre de l'article L214-3 du code de l'environnement, l'aménagement et l'exploitation d'un parc éolien en mer au large de Saint-Nazaire. L'article 2.5 de cet arrêté décrit les suivis des effets du projet sur l'environnement. Ces suivis concernent plusieurs compartiments et doivent être réalisés selon le principe BACI avant et pendant les travaux d'installation du projet éolien, puis pendant la phase d'exploitation du projet.

Un ensemble de 6 systèmes C-POD et 3 enregistreurs d'acoustique passive ont été déployés dans trois zones nommées Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est durant la saison estivale 2019 et la saison hivernale 2020. Ces zones se situent à proximité immédiate des limites du futur parc éolien. Ces déploiements ont été réalisés durant une période estivale allant du 20 juin au 30 octobre 2019 (dont 31 jours d'acoustique passive), et une période hivernale allant du 25 janvier au 18 mai 2020 (dont 31 jours d'acoustique passive).

Campagne Été 2019



Campagne Hiver 2020



VII.1. Campagne été 2019

VII.1.1. Analyse du bruit physique

Durant la période estivale (20 juin au 30 octobre 2019), l'analyse du bruit physique met en évidence des niveaux large bande médians compris entre 103 et 113 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ en fonction du point de mesure. Le niveau minimal est compris entre 99 et 110 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ tandis que le niveau maximal est compris entre 132 et 137 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$. En comparaison des niveaux mesurés au centre du parc lors de l'étude d'impact acoustique en 2013, les niveaux mesurés lors de la saison estivale montrent un accroissement du niveau médian de +3.8 dB. Cette augmentation est probablement induite par un effet de site. En effet, la localisation des enregistreurs acoustiques ne se situent pas aux mêmes emplacements que ceux déployés durant l'étude d'impact (EIE).

L'activité benthique engendre une production sonore prépondérante dans la bande de fréquence allant de 1 à 20 kHz. Cette activité biologique montre un accroissement du niveau sonore large bande de l'ordre de 4 dB durant la nuit.

La cartographie du bruit médian montre une légère augmentation du bruit médian à échelle élargie dans la partie Sud-Ouest de la zone en raison de la compétition entre le bruit se propageant dans un contexte sableux engendrant du transport sédimentaire et le bruit engendré par les conditions météorologiques en particulier celles liées au vent. Aux percentiles inférieurs à 10% (niveaux sonores moins courants et plus intenses), les cartes montrent une augmentation significative de la production sonore en sortie du port de Saint-Nazaire et des directions sud-ouest et nord-ouest. Le futur parc éolien est donc limitrophe des axes du bruit engendré par le trafic maritime commercial.

VII.1.2. Analyse des signaux biologiques

Durant la campagne été 2019, l'analyse des signaux bioacoustiques (Tableau 23) émis par les mammifères marins couramment présents au large de Saint-Nazaire montre une présence quotidienne de Delphinidés et Phocoenidés dans les zones situées au Nord-Ouest et Sud-Ouest du périmètre du parc éolien. A proximité de la zone située au Sud-Est, les Delphinidés sont peu présents et les Phocoenidés sont absents. Quel que soit l'emplacement dans le périmètre du parc éolien, les signatures acoustiques émises par les espèces de ces deux familles, et détectées dans les enregistrements, indiquent de manière générale des comportements de socialisation. Toutefois, quelques comportements de chasse ont été mis en évidence à proximité de la zone Sud-Ouest pour les Delphinidés. La classification a permis d'identifier la présence du Dauphin commun (*Delphinus delphis*) et probablement du Grand dauphin (*Tursiops truncatus*) aux alentours de la zone d'implantation du parc éolien.

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

VII.2. Campagne hiver 2020

VII.2.1. Analyse du bruit physique

Durant la saison hivernale (25 janvier au 18 mai 2020), l'analyse du bruit physique met en évidence des niveaux large bande médians compris entre 106.7 et 110.6 dB ref $1\mu\text{Pa}^2$ en fonction du point de mesure. Le

niveau minimal est compris entre 98 et 102 dB ref1 μ Pa²s et le niveau maximal est de 139.3 dB ref1 μ Pa²s. A l'emplacement des points de mesure, ces niveaux sont sensiblement équivalents aux bruits statistiquement perçus durant la saison estivale. Il existe moins de variabilité entre les différents points de mesure durant la saison hivernale.

La zone Nord-Ouest met en évidence les niveaux les plus intenses, entre ces trois zones de référence, avec une augmentation de l'ordre de +4 dB. A cette saison, aucune variation du niveau sonore n'est observable entre les périodes diurnes et nocturnes. Le bruit engendré par l'activité benthique est masqué très régulièrement par le bruit produit par le déplacement sédimentaire sous l'effet du courant et/ou du vent.

Comme en période estivale, les cartes hivernales des percentiles inférieurs à 10% (niveaux sonores moins courants et plus intenses) montrent une augmentation significative de la production sonore en sortie du port de Saint-Nazaire et des directions sud-ouest et nord-ouest

VII.2.2. Analyse des signaux biologiques

Durant la campagne hiver 2020, l'analyse des signaux bioacoustique (Tableau 23) met en évidence la présence préférentielle de Delphinidés et Phocoenidés au niveau des zones situées au Sud des limites du parc éolien (zones Sud-Ouest et Sud-Est) avec des présences acoustiques quotidiennes à régulières, un comportement dominant de socialisation et l'observation de quelques rares comportements de chasse. La zone Nord-Ouest reste occasionnellement fréquentée par les Phocoenidés et exceptionnellement par les Delphinidés.

De manière générale, le comportement principal de ces mammifères marins reste la communication entre individus voire la connaissance de leur environnement dans lequel ils évoluent quel que soit l'emplacement dans le périmètre du parc éolien. La classification a permis d'identifier principalement le Dauphin commun, *Delphinus delphis*, comme étant à l'origine des sifflements émis. Pour rappel, durant l'Etat Initial, aucun traitement bioacoustique n'a été mis œuvre afin d'établir une fréquentation du site par les mammifères marins.

Tableau 23 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant les périodes estivale et hivernale, au niveau des zones Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est.

		Zone Nord-Ouest		Zone Sud-Ouest		Zone Sud-Est	
		Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés	Delphinidés	Phocoenidés
Période estivale	Fréquentation du site	Quotidienne	Quotidienne	Quotidienne à régulière	Régulière	Occasionnelle	Absente
	Plage horaire préférentielle	Jour/Nuit	Nuit	Jour/Nuit	Jour/Nuit	Nuit	N/A
	Comportement	Socialisation /en déplacement	N/A	Socialisation / quelques comportement de chasse	Socialisation	Socialisation	N/A
	Classification	N/A	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i> Probable <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i>	<i>Phocoena phocoena</i>
Période hivernale	Fréquentation du site	Exceptionnelle	Occasionnelle	Quotidienne	Régulière	Régulière à occasionnelle	Régulière
	Plage horaire préférentielle	Nuit	Jour/Nuit	Nuit	Jour/Nuit	Nuit	Jour/Nuit
	Comportement	Socialisation / en déplacement	En déplacement	Socialisation / rare comportement de chasse	Socialisation / rare comportement de chasse	Socialisation / en déplacement	Socialisation / chasse
	Classification	N/A	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	<i>Delphinus delphis</i>	<i>Phocoena phocoena</i>

VII.3. Synthèse à l'échelle du projet

Pour rappel, durant l'Etat Initial, plusieurs types de données ont été utilisés afin de dresser un état des lieux des connaissances de la fréquentation des mammifères marins au large de Saint-Nazaire : les échouages et les observations en mer standardisées acquises durant les campagnes SAMM (2011 -2012) et PELGAS d'Ifremer (2003-2012) sur un hiver et un été. L'Etat initial a mis en évidence que la zone d'implantation du parc éolien ne présentait pas de spécificités pour les mammifères marins, que ce soit pour la reproduction ou l'alimentation.

L'Etat de Référence apporte un volet complémentaire aux résultats de l'Etat Initial par le biais de la caractérisation de la fréquentation du site par les mammifères marins par acoustique passive. L'analyse des résultats obtenus lors de l'Etat de Référence confirme la présence régulière des Delphinidés et des Phocoenidés dans la zone d'étude comme indiqué dans l'Etat Initial :

- Durant la saison estivale, la fréquentation des Delphinidés et Phocoenidés est plus importante à l'ouest de la zone d'implantation du parc éolien, au niveau des zones Nord-Ouest et Sud-Ouest ;
- Durant la saison hivernale, la fréquentation des Delphinidés et Phocoenidés est plus importante au niveau des zones situées au sud de la zone d'implantation du parc éolien, au niveau des zones Sud-Ouest et Sud-Est.

Le suivi par acoustique passive a permis de mettre en évidence (i) la présence du Dauphin commun (*Delphinus delphis*), du Grand dauphin (*Tursiops truncatus*) et du Marsouin commun (*Phocoena phocoena*) dans les zones d'études, (ii) une activité nocturne plus importante chez les Delphinidés et (ii) un comportement dominant de socialisation et de déplacement à la fois chez les Delphinidés et les Phocoenidés. Quelques comportements de chasse ont pu être observés pour ces deux familles principalement au niveau de la zone Sud-Ouest, mais également au niveau de la zone Sud-Est en hiver pour les Phocoenidés. Toutefois, le nombre d'épisodes de chasse étant faible, la zone de projet ne semble pas présenter un intérêt écologique particulier en termes d'alimentation pour les mammifères marins.

Bibliographie

- Ainslie, M. (2010). Principles of Sonar Performance Modelling. In *Principles of Sonar Performance Modelling*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-87662-5>
- Bailey, H., Clay, G., Coates, E. A., Lusseau, D., Senior, B., & Thompson, P. M. (2010). Using T-PODs to assess variations in the occurrence of coastal bottlenose dolphins and harbour porpoises. *Annales Zoologici Fennici*, 20(Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystem), 150–158. <https://doi.org/10.1002/aqc.1060>
- Richardson, W. J., Greene, C. R., Malme, C. I., Thomson, D. H., Moore, S. E., & Wiirsig, B. (2013). Marine Mammals and Noise. In *Marine Mammals and Noise*. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02253-3>
- Tougaard, J., Poulsen, L. R., Amundin, M., Larsen, F., Hansen, J. R., & Teilmann, J. (2006). Detection function of T-PODs and estimation of porpoise densities. In *Proceedings of the Workshop: Static Acoustic Monitoring of Cetaceans*, 7–14. Retrieved from https://www.europeancetaceansociety.eu/system/files/ECS_Special_Publication_Series/ECS2006_News46_Static_Acoutstic_Monitoring_printing_version.pdf