

# *Suivi acoustique passif du bruit ambiant et des mammifères marins dans le cadre du parc éolien en mer de Courseulles*

*Etat de référence*

## Identification du document

Référence du document	QO.20200818.10.RAP.02A
Donneur d'ordre	Société « Eoliennes Offshore du Calvados »
Client	Société « Eoliennes Offshore du Calvados »
Reference du contrat	

PROJET	DOC	CHRONO	VER	IND	CLIENT	ACRO	DATE	TYPE	CLASS
QO.20200818.10	RAP	001	02	A	EOC	COU	23.02.2022	PROD	DR



Ocean Noise Forecasting Monitoring & Mitigation



#### Historique du document

Ver	Ind.	Responsable	Date	Vérification	Validation	Transmission	Description
01	A	J. Chompret	11.01.2022	D. Clorennec	D. Clorennec	26.01.2022	Version initiale
02	A	J. Chompret	20.02.2022		D. Clorennec	23.01.2022	Prise en compte des commentaires EDF-EN

#### Citation

J. Chompret, D. Clorennec (2022), Suivi acoustique passif du bruit ambiant et des mammifères marins dans le cadre du parc éolien en mer de Courseulles, Etat de référence, numéro QO.20200818.10.RAP.001.02A, Quiet-Oceans, Brest, France

---

## Table des matières

Table des matières.....	3
Liste des figures .....	4
Liste des tableaux .....	7
Lexique des mots techniques .....	8
Chapitre I. Présentation de l'étude.....	11
Chapitre II. Introduction.....	12
II.1. La problématique du bruit sous-marin .....	12
II.2. Qu'est-ce que le chorus sonore sous-marin.....	13
II.3. Approche retenue pour l'évaluation de l'état de référence .....	15
Chapitre III. Protocole de mesures acoustiques.....	16
III.1. Les systèmes de mesure .....	16
III.2. Données collectées.....	19
Chapitre IV. Analyse des niveaux sonores mesurés .....	24
IV.1. Analyse du bruit ambiant large bande .....	24
IV.2. Analyse du bruit ambiant par bandes de fréquences .....	27
IV.3. Comparaison à l'état initial .....	28
Chapitre V. Cartographie du bruit .....	30
V.1. Sources de bruit .....	31
V.2. Calibration.....	32
V.3. Cartographie du bruit existant.....	33
Chapitre VI. Détection des signaux biologiques .....	43
VI.1. Connaissance biologique a priori du site .....	43
VI.2. Portée de détection des enregistreurs acoustiques.....	51
VI.3. Procédé de traitement bioacoustique.....	53
VI.4. Résultats .....	55
VI.5. Limites et difficultés rencontrées.....	75
Chapitre VII. Conclusions .....	78
VII.1. Campagne été 2021.....	79
VII.2. Campagne automne 2021.....	79
Bibliographie .....	83

## Liste des figures

Figure 1 : Contexte géographique de l'étude.....	11
Figure 2 : Echelle qualitative des niveaux de bruits sous-marins émis à un mètre dans une bande basse fréquence de quelques kHz. ....	12
Figure 3 : Composition du chorus sonore sous-marin. ....	13
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). ....	14
Figure 5: Protocole géographique des mesures par acoustique passive.....	16
Figure 6 : Cage équipée d'un enregistreur acoustique autonome. ....	17
Figure 7 : Illustration d'un système C-POD. ....	19
Figure 8 : Niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) en fonction de la zone de mesure durant la saison estivale 2021. ....	25
Figure 9 : Niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) en fonction de la zone de mesure durant la saison automnale 2021. ....	25
Figure 10 : Illustration du bruit ambiant sur la journée du 08/09/2021 (courbe bleue), du bruit permanent estimé (courbe rouge) et des passages de navires entraînant une émergence sonore ponctuelle (~15min) et jusqu'à 30 dB de (exemple à 16 :50 UTC) ....	25
Figure 11 : Augmentation du bruit ambiant autour de 100 Hz (courbe grise) par la présence des navires Vos Star et L'Espoir durant la journée du 17 juillet 2021 (acquisition 3min ON, 7min OFF). ....	26
Figure 12 : Illustration du fonctionnement de la plateforme Quonops® ....	30
Figure 13 : Gabarit des niveaux de bruit émis par les navires en fonction de la fréquence et de leur catégorie. ....	32
Figure 14 : Comparaison des courbes statistiques entre mesure courbe bleue) et prédiction (courbe rouge) après calibration au point R2.....	33
Figure 15 : Cartographie du bruit durant la saison estivale (emplacement du parc éolien en pointillé noir). ....	38
Figure 16 : Cartographie du bruit durant la saison automnale (emplacement du parc éolien en pointillé noir). ....	42
Figure 17 : Schéma de la classification scientifique des espèces océaniques et marines de mammifères. Source : Quiet-Oceans. ....	44
Figure 18 : Famille des Delphinidés – Grand dauphin ( <i>Tursiops truncatus</i> ). Source : EcoOcéan Institut. ....	45
Figure 19 : Famille des Phocoenidés - Groupe de Marsouins communs ( <i>Phocoena phocoena</i> ). Source : GREMM. ....	45
Figure 20 : Famille des Balénoptéridés – Petit Rorqual ( <i>Balaenoptera acutorostrata</i> ). Source : MICS. ....	45
Figure 21 : Famille des Phocidés – Phoque veau-marin ( <i>Phoca vitulina</i> ). Source : GECC.....	45
Figure 22 : Carte des estimations d'abondance en Baie de Seine pour les données représentatives de l'été (SAMM 2012). ....	46
Figure 23 : Carte des estimations d'abondance en Baie de Seine pour les données représentatives de l'hiver (SAMM 2011-2012). ....	47
Figure 24 : Sifflements de Delphinidés émis entre 2 kHz et 25 kHz. Source : Quiet-Oceans. ....	48
Figure 25 : Clics de Delphinidés émis entre 10 kHz et 180 kHz. Source : Quiet-Oceans.....	48
Figure 26 : Clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , émis dans la bande fréquentielle allant de 110 à 150 kHz. ....	50
Figure 27 : Clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , lors d'une activité de chasse (clics d'écholocation). ....	50
Figure 28 : Mugissements de Baleine à bosse ( <i>Megaptera novaeangliae</i> ) à 400 Hz. Source : Quiet-Oceans. ....	50
Figure 29 : Train de pulse « slow-down » émis par un Petit Rorqual, <i>Balaenoptera acutorostrata</i> (Risch, et al., 2013). ....	50
Figure 30: Grognements de Phoque gris ( <i>Halichoerus grypus</i> ) émis entre 50 Hz et 400 Hz. Source : NOAA. ....	51

Figure 31 : Rugissements de Phoque veau marin ( <i>Phoca vitulina</i> ) émis entre 25 Hz et 1500 Hz. Source : Quiet-Oceans. ....	51
Figure 32 : Procédure générale appliquée à la donnée brute pour le traitement bioacoustique des enregistrements sonores. ....	53
Figure 33 : Procédure générale appliquée aux données provenant d'un système autonome C-POD pour l'analyse bioacoustique. ....	55
Figure 34 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit confirmées au niveau de R1 via enregistreur acoustique (08/07/2021 au 05/09/2021). ....	56
Figure 35 : Clics de Delphinidés émis entre 15 et 80 kHz associés à un comportement de communication entre individus, détectés le 29 juillet 2021 vers 18h21 UTC à proximité de R1. ....	57
Figure 36: Buzzs de Delphinidés émis entre 15 et 80 kHz associés à un comportement de communication entre individus, détectés le 17 juillet 2021 vers 03h01 UTC à proximité de R1. ....	57
Figure 37 : Clics d'écholocation de delphinidés (env. 15 à 180 kHz) détectés sur la journée du 27 juillet 2021 vers 22h42 UTC à proximité de R1. ....	57
Figure 38 : Périodes de détections des clics de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R1 via système autonome C-POD (08/07/2021 au 05/09/2021). ....	58
Figure 39 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit confirmées au niveau de R2 via enregistreur acoustique (08/07/2021 au 29/07/2021). ....	59
Figure 40 : Clics de Delphinidés émis entre 10 et 50 kHz associés à un comportement de communication entre individus, détectés le 25 juillet 2021 vers 23h00 UTC à proximité de R2. ....	59
Figure 41 : Probable épisode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de R2, le 12 juillet 2021 vers 20h50 UTC. ....	59
Figure 42 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R2 via système autonome C-POD (08/07/2021 au 29/07/2021). ....	60
Figure 43 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R3 via système autonome C-POD (08/07/2021 au 05/09/2021). ....	60
Figure 44 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , en fonction du jour et de la nuit confirmées au niveau de R1 via enregistreur acoustique (08/07/2021 au 05/09/2021). ..	61
Figure 45 : Trains de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 150 kHz détectés le 22 août 2021 vers 03h31 UTC au niveau de R1. ....	61
Figure 46 : Train de clics et buzz de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 180 kHz traduisant un probable comportement de chasse opportuniste. Journée du 23 août 2021 à 06h01 UTC au niveau de R1. ....	62
Figure 47 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R1 via système autonome C-POD (08/07/2021 au 05/09/2021). .	62
Figure 48 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , en fonction du jour et de la nuit confirmées au niveau de R2 via enregistreur acoustique (08/07/2021 au 29/07/2021). ....	63
Figure 49 : Trains de clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 160 kHz le 14 juillet 2021 vers 04h30 UTC au niveau de R2. ....	63
Figure 50 : Buzz de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détecté entre 110 et 150 kHz sur la journée du 15 juillet 2021 à 16h10 UTC au niveau de R2. ....	63
Figure 51 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , en fonction du jour et de la nuit au niveau de R2 via système autonome C-POD (08/07/2021 au 29/07/2021). ....	64
Figure 52 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , en fonction du jour et de la nuit au niveau de R3 via système autonome C-POD (08/07/2021 au 05/09/2021). ....	64
Figure 53 : Probables grognements de Phoque gris ( <i>Halichoerus grypus</i> ) détectés entre 100 et 800 Hz le 10 juillet 2021 vers 16h51 UTC à proximité de R1. ....	65
Figure 54 : Probables grognements de Phoque gris ( <i>Halichoerus grypus</i> ) détectés entre 100 Hz et 1 kHz le 25 juillet 2021 vers 10h21 UTC à proximité de R2. ....	65

---

Figure 55 : Probables grognements de Phoque gris ( <i>Halichoerus grypus</i> ) détectés entre 100 Hz et 1 kHz le 27 juillet 2021 vers 12h10 UTC à proximité de R2. ....	65
Figure 56 : Probables sifflements émis par le Grand Dauphin ( <i>Tursiops truncatus</i> ) entre 5 et 16 kHz, le 13 juillet 2021 vers 18h30 UTC au niveau de R1. ....	66
Figure 57 : Sifflements émis par le Dauphin commun ( <i>Delphinus delphis</i> ) entre 7 et 18 kHz, le 29 juillet 2021 vers 17h50 UTC au niveau de R1. ....	66
Figure 58 : Périodes de détections des clics de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R1 via système autonome C-POD (05/09/2021 au 07/10/2021). ....	69
Figure 59 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit confirmées au niveau de R2 via enregistreur acoustique (05/09/2021 au 07/10/2021). ....	69
Figure 60 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R2 via système autonome C-POD (05/09/2021 au 07/10/2021). ....	70
Figure 61 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R3 via système autonome C-POD (05/09/2021 au 07/10/2021). ....	70
Figure 62 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs ( <i>Phocoena phocoena</i> ) en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R1 via système autonome C-POD (05/09/2021 au 07/10/2021). ..	71
Figure 63 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , en fonction du jour et de la nuit confirmées au niveau de R2 via enregistreur acoustique (05/09/2021 au 07/10/2021). ....	71
Figure 64: Buzzs de Marsouins communs, <i>Phocoena phocoena</i> , détectés entre 110 et 160 kHz le 18 septembre 2021 à 22h21 UTC au niveau de R2. ....	72
Figure 65 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs ( <i>Phocoena phocoena</i> ) en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R2 via système autonome C-POD (05/09/2021 au 07/10/2021). ..	72
Figure 66 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs ( <i>Phocoena phocoena</i> ) en fonction du jour et de la nuit au niveau de R3 via système autonome C-POD (05/09/2021 au 07/10/2021). ....	72
Figure 67 : Sifflements émis par le Dauphin commun ( <i>Delphinus delphis</i> ) entre 7 et 18 kHz, le 09 septembre 2021 vers 19h52 UTC au niveau de R2. ....	73
Figure 68 : Sifflements émis par le Grand Dauphin ( <i>Tursiops truncatus</i> ) entre 5 et 16 kHz, le 12 septembre 2021 vers 23h52 UTC au niveau de R2. ....	74

---

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Zones d'implantation du suivi acoustique. ....	16
Tableau 2 : Caractéristiques techniques de l'enregistreur SM3M. ....	17
Tableau 3 : Synthèse des données acoustiques collectées durant la saison estivale 2021. ....	20
Tableau 4 : Synthèse des données acoustiques collectées durant la saison automnale 2021. ....	22
Tableau 5 : Synthèse des mesures acoustiques collectées. ....	23
Tableau 6 : Spectrogrammes illustratifs des passages de navires. ....	26
Tableau 7 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) (exprimés en dB ref 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> ) durant la saison estivale. ....	26
Tableau 8 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) (exprimés en dB ref 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> ) durant la saison automnale. ....	27
Tableau 9 : Statistiques de niveaux sonores en fonction de la fréquence, de la saison et de la zone. (courbes grises, référence d'après modèle de Wenz) ....	28
Tableau 10 : Données acoustiques de l'état initial effectué en 2013. ....	29
Tableau 11 : Synthèse des données environnementales utilisées pour la modélisation acoustique. ....	31
Tableau 12 : Corrélation entre la vitesse du vent et le niveau de bruit permanent à des fréquences caractéristiques en fonction de la zone et de la saison. ....	33
Tableau 13 : Statistiques des niveaux sonores large bande (exprimés en dB ref 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> ) en fonction de la saison et de la zone d'intérêt. ....	34
Tableau 14 : Synthèse des données concernant les mammifères marins susceptibles d'être présents au large de Courseulles-sur-Mer. ....	44
Tableau 15 : Exemple de la diversité de sifflements émis par les Delphinidés avec le spectrogramme des émissions des espèces supposées présentes au large de Courseulles-sur-Mer. ....	48
Tableau 16 : Synthèse des portées de détection pour les zones d'études R1 et R2 en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes au large de Courseulles-sur-Mer (saison estivale 2021). ....	52
Tableau 17 : Synthèse des portées de détection pour les zones d'études R1 et R2 en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes au large de Courseulles-sur-Mer (saison automnale 2021). ....	52
Tableau 18 : Définition des indicateurs de la fréquentation par les mammifères marins. ....	55
Tableau 19 : Synthèse des résultats quant à la présence de mammifères marins en saison estivale (08/07/2021 au 05/09/2021). Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement de 03 minutes toutes les 10 minutes) et des C-POD (enregistrement en continu). ....	67
Tableau 20 : Synthèse des résultats quant à la présence de mammifères marins en saison automnale (05/09/2021 au 07/10/2021). Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée de l'enregistreur acoustique situé au niveau du point de suivi R2 (enregistrement de 03 minutes toutes les 10 minutes) et des C-POD situés dans chacune des zones (enregistrement en continu). ....	75
Tableau 21 : Synthèse des avantages/inconvénients des systèmes de mesure ....	76
Tableau 22 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant les périodes estivale et automnale, au niveau des points de suivi R1, R2 et R3. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées par les systèmes autonomes C-POD et des enregistreurs acoustiques. Les systèmes autonomes C-POD enregistrent en continu tandis que les enregistreurs acoustiques collectent 3 minutes de données toutes les 10 minutes. ....	81

---

## **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  $\mu\text{Pa}$  (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. 1µPa.

### **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 « Eoliennes Offshores du Calvados » porte le projet de développement d'exploitation d'un parc éolien en mer de 75 éoliennes pour une puissance de 450 MW, dans les eaux territoriales françaises au large de Courseulles-sur-Mer (Figure 1).

La Société « Eoliennes Offshores du Calvados » (EOC) bénéficie depuis le 08 juin 2016 d'un arrêté préfectoral 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 Courseulles-sur-Mer. 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 (Before-After Control-Impact) 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.

Ces objectifs vont permettre de réaliser (1) une comparaison des résultats obtenus entre l'intérieur et l'extérieur du périmètre du parc éolien, de présenter les densités d'observation ainsi que les variations au cours de la période et (2) une comparaison de l'état de référence par rapport à l'état initial réalisé pour l'étude d'impact environnementale sur les deux composantes étudiées (bruit et mammifères marins).

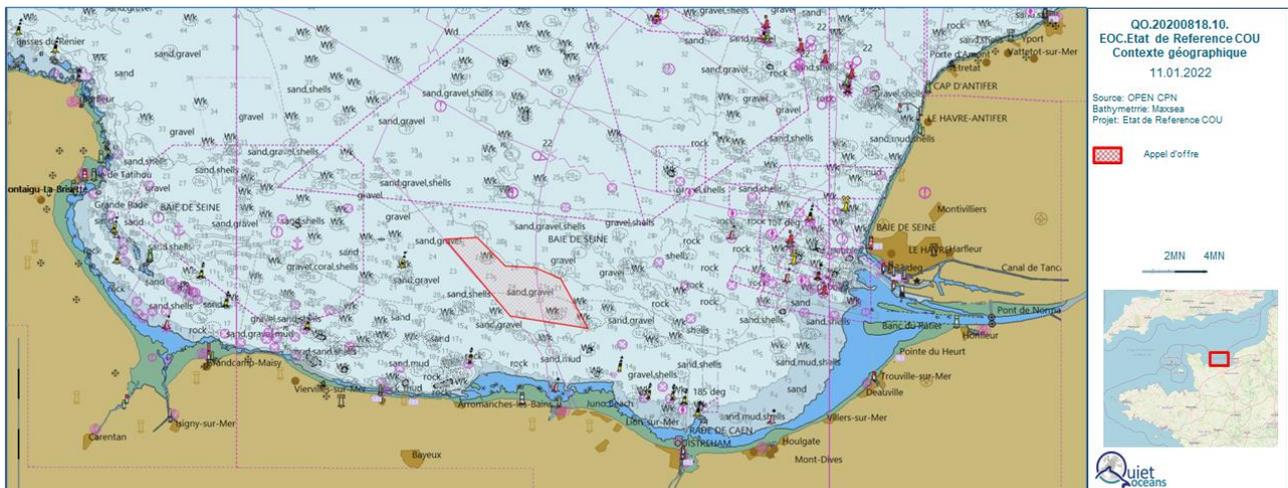


Figure 1 : Contexte géographique de l'étude.

## 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

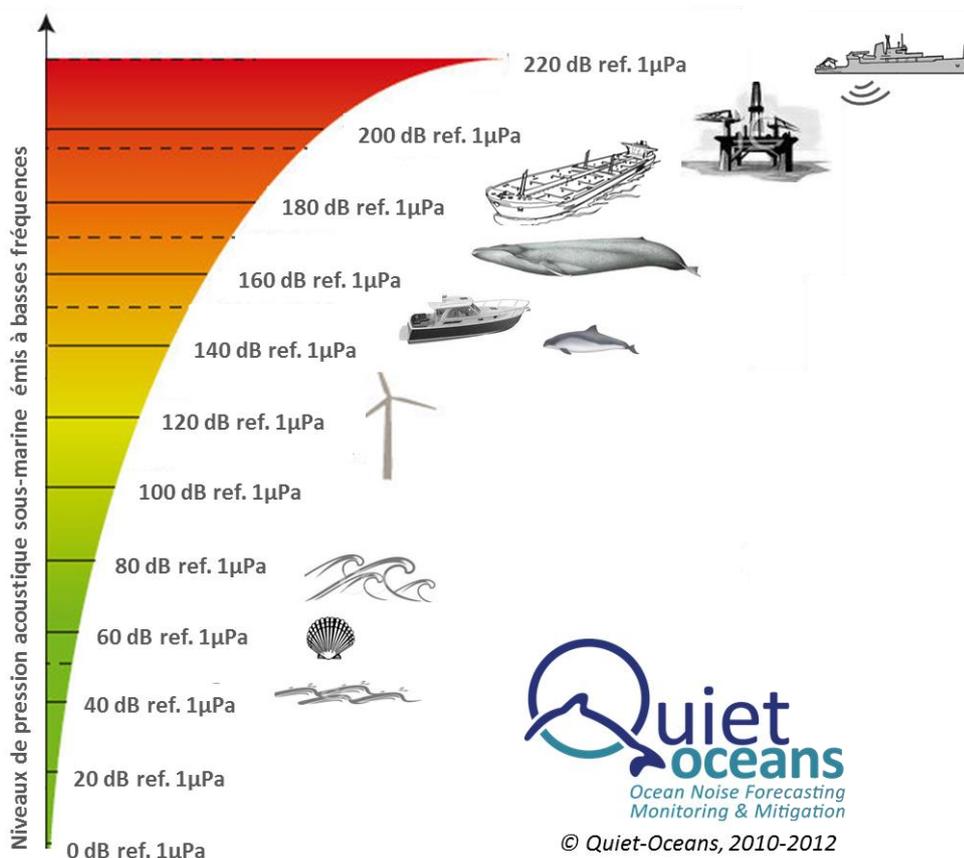
Le monde sous-marin est tout sauf silencieux, et est composé d'un chorus sonore regroupant trois familles de bruit : les bruits naturels (vagues, craquements sismiques...), les bruits biologiques (mammifères marins et autre biodiversité marine), et les bruits anthropiques (activités humaines, trafic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

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

Les niveaux de bruit sous-marin ne sont pas à comparer avec les niveaux de bruit aérien. En effet, le niveau de référence est de  $1 \mu\text{Pa}$  en acoustique sous-marine, contre  $20 \mu\text{Pa}$  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 dominent 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.

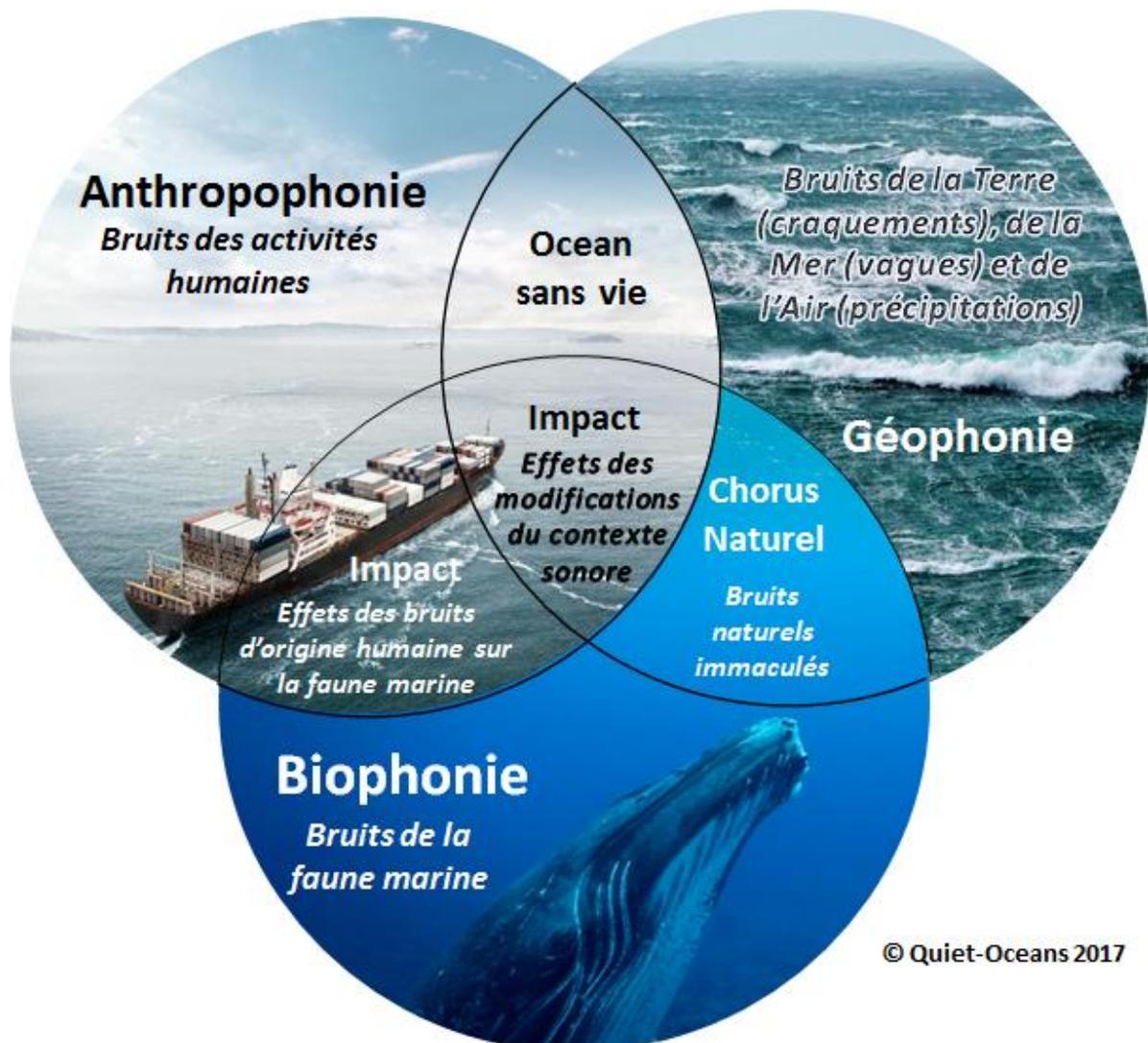


Figure 3 : Composition du chorus sonore sous-marin.

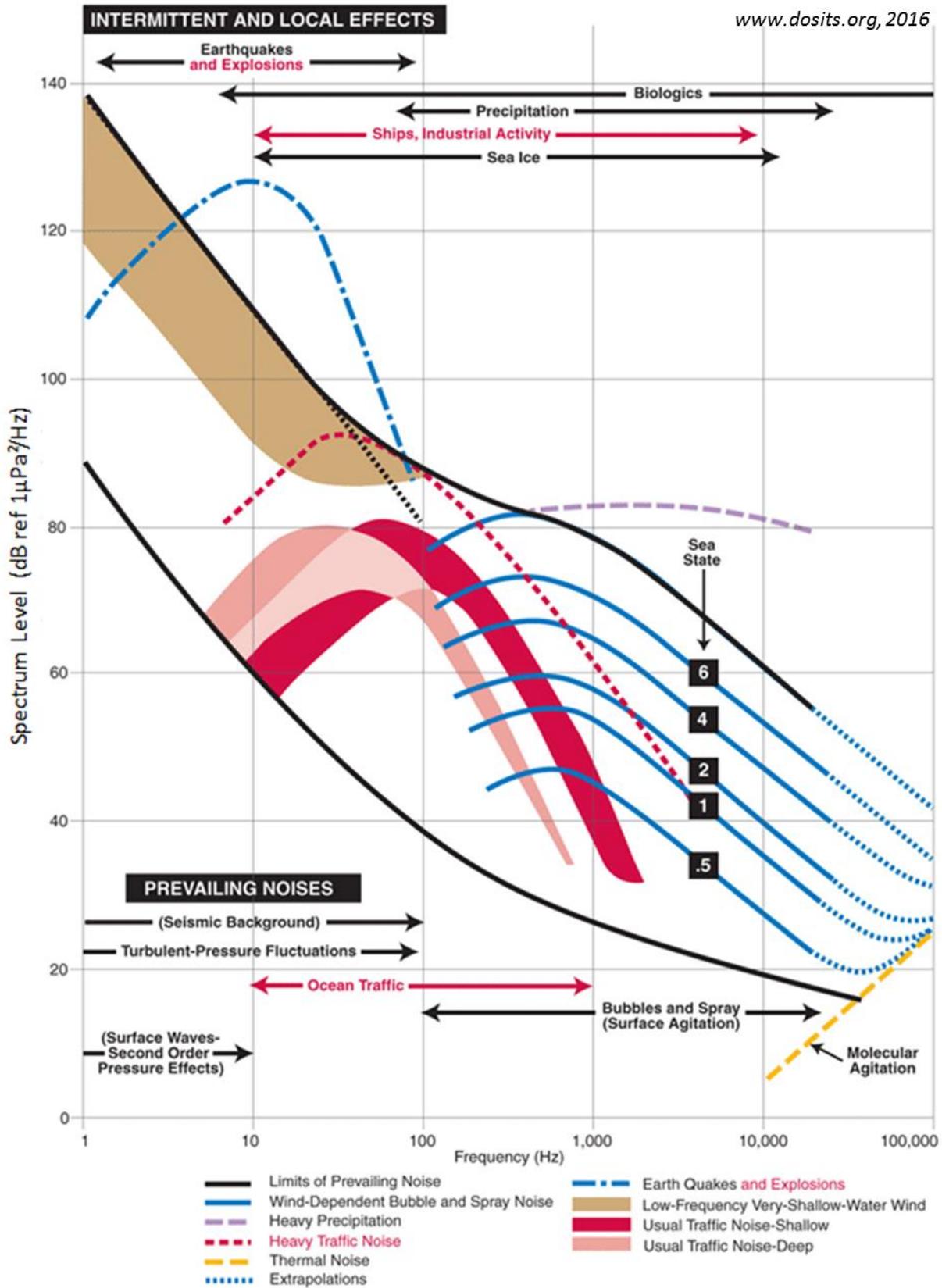


Figure 4 : Synthèse des niveaux de bruit typiques en fonction de la fréquence et de la nature de la source de bruit. Ces valeurs peuvent être très dépendantes du site, de la saison, et du contexte (Dosits.org, 2016).

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

La méthodologie proposée repose sur trois étapes :

- ✓ La mesure du bruit à l'aide d'enregistreurs acoustiques durant deux saisons (été et automne) ;
- ✓ 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 ;
- ✓ L'analyse de la fréquentation de la zone par les mammifères marins à l'aide d'enregistreurs acoustiques et de systèmes C-POD.

### 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 sur deux saisons différentes soit, dans le cadre de ce projet, été et automne 2021.

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

- ✓ Le déploiement de deux cages équipées d'un enregistreur acoustique autonome posées sur le fond de la mer pour une durée de 75 jours ;
- ✓ Le déploiement de trois systèmes autonomes C-POD dans la colonne d'eau pour une durée de 75 jours.

Le Tableau 1 et la Figure 5 définissent la zone d'implantation de chacun de ces instruments. Les points de suivi acoustique R1 et R3 sont situés en dehors de la zone du parc éolien avec le déploiement respectivement d'un enregistreur acoustique et d'un système C-POD à chacun de ces emplacements (cercle rouge et jaune). Le point de suivi acoustique R2 est situé dans la zone du parc éolien avec le déploiement d'un système C-POD à cet emplacement (cercle bleu).

Tableau 1: Zones d'implantation du suivi acoustique.

Point de suivi acoustique	Système acoustique	Zone géographique
R1	Enregistreur acoustique et C-POD	A l'ouest du parc éolien
R2	Enregistreur acoustique et C-POD	Dans la zone du parc éolien
R3	C-POD	Au sud-est du parc éolien

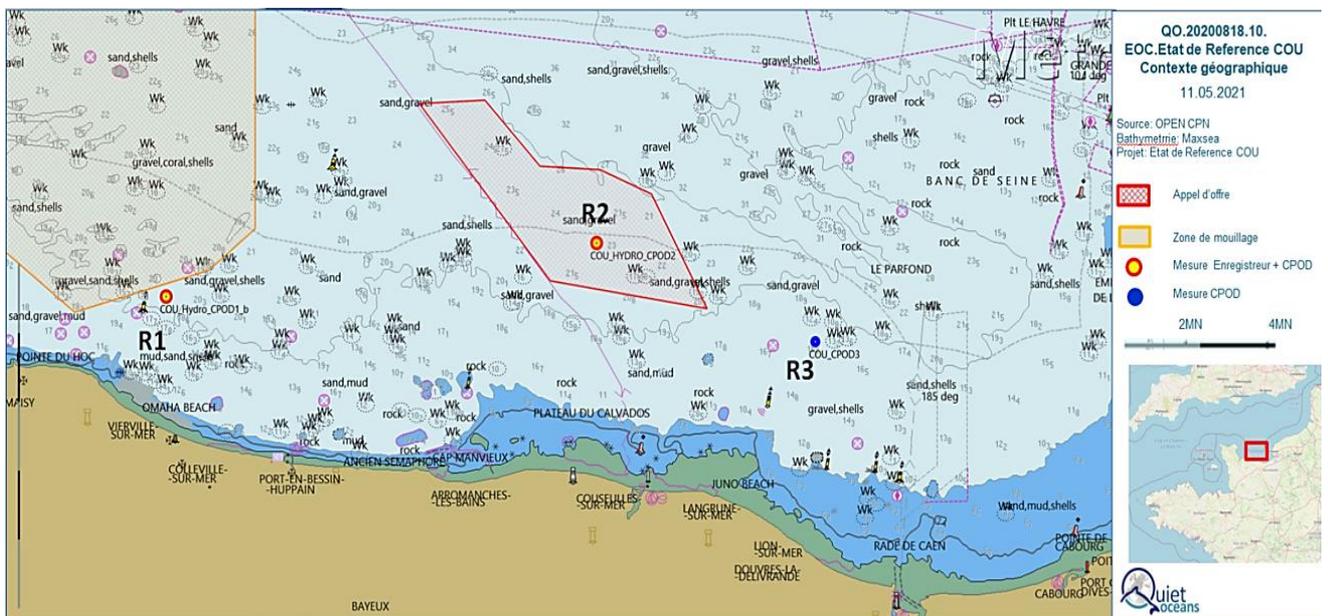


Figure 5: Protocole géographique des mesures par acoustique passive.

#### 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 communs (*Phocoena phocoena*).

### 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 Courseulles-sur-Mer, comme démontré lors de la mise en œuvre lors de l'étude d'impact. Un tel système d'acquisition permet de collecter, sur une large plage temporelle et une sur une large gamme de fréquence, la diversité des bruits présents dans la zone d'étude (bruits anthropiques, bruits naturels et bruits biologiques). Les traitements, détections et analyses effectués en laboratoire sur cette donnée brute peuvent être vérifiés et validés par un opérateur spécialisé.

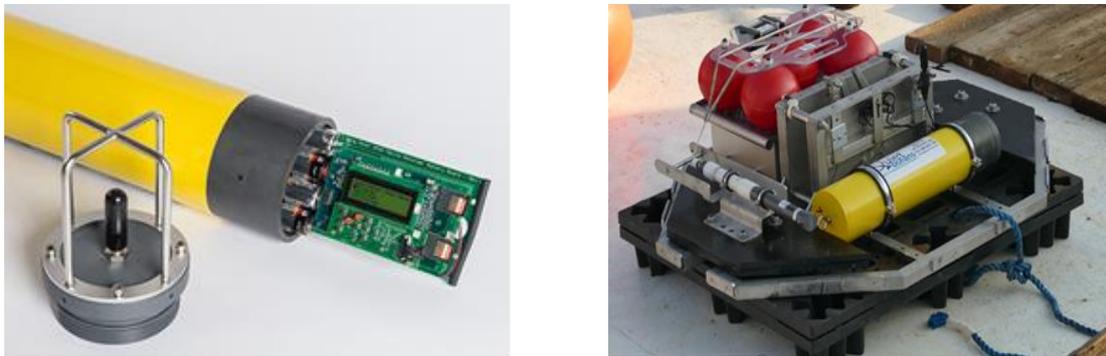


Figure 6 : Cage équipée d'un enregistreur acoustique autonome.

Tableau 2 : Caractéristiques techniques de l'enregistreur SM3M.

<b>Hydrophone</b>	HTI99HF, omnidirectionnel
<b>Bande de fréquence</b>	10Hz-180kHz (10 Hz à 80 kHz dans une bande +/- 2 dB)
<b>Fréquence d'échantillonnage</b>	384 kHz
<b>Sensibilité</b>	-165 dB ref. 1V/ $\mu$ Pa
<b>Gain</b>	12 dB
<b>Audio files format</b>	Wac
<b>Longueur</b>	79,4 cm
<b>Diamètre</b>	16,5 cm
<b>Poids</b>	13,5 kg avec 32 piles
<b>Profondeur maximale</b>	200 m
<b>Plage de températures</b>	-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.

Les paramètres utilisés pour le site de Courseulles-sur-Mer et les différentes campagnes réalisées sont les suivants :

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

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.

### III.2. Données collectées

Dans le cadre de cette étude, les paragraphes suivants font état des données collectées par les différents systèmes acoustiques déployés pour les différentes campagnes de mesure.

### III.2.1. Campagne été 2021

Un déploiement de cinq instruments a été effectué entre le 08 juillet et le 05 septembre 2021 (période estivale) avec :

- ✓ Le déploiement d'un système autonome C-POD dans chacune des zones ;
- ✓ Le déploiement d'un enregistreur acoustique au niveau des zones R1 et R2.

Les systèmes autonomes C-POD enregistrent en continu. Chaque enregistreur acoustique collecte 03 minutes de données toutes les 10 minutes, soit des acquisitions périodiques qui permettent de couvrir au total 30% du temps. Le Tableau 3 synthétise ces données qui ont été collectées par chaque système acoustique au niveau des zones R1, R2 et R3. A noter que les systèmes acoustiques déployés au niveau de la zone R2 (enregistreur acoustique et système autonome C-POD) ont été chalutés sur la journée du 29 juillet 2021, aux alentours de 16h13 UTC. Après cette date, les données ne sont pas exploitables pour ces deux systèmes.

Tableau 3: Synthèse des données acoustiques collectées durant la saison estivale 2021.

Campagne	Zone	Type de système	Nom système	Date de début enregistrement	Date de fin enregistrement	Durée campagne (i)	Durée enregistrement (j)	Longitude	Latitude	Immersion système/fond (m)	Hauteur d' eau LAT (m)	Commentaires
01	R1	Enregistreur	ENR-012	08/07/2021	01/09/2021	55	16.5	00 51.635 W	49 25.770 N	0.5	25	
	R1	C-POD	3378	08/07/2021	05/09/2021	59	59	00 51.635 W	49 25.770 N	1.5	25	
	R2	Enregistreur	ENR-037	08/07/2021	29/07/2021	21	8.5	00 29.970 W	49 27.307 N	0.5	30	Chalutage du système le 29/07/2021. Après cette date, les données ne sont pas exploitables.

R2	C-POD	3379	08/07/2021	29/07/2021	21	21	00 29.970 W	49 27.307 N	1.5	30	Chalutage du système le 29/07/2021. Après cette date, les données ne sont pas exploitables.
R3	C-POD	3380	08/07/2021	05/09/2021	59	59	00 18.989 W	49 24.446 N	1.5	23	

### III.2.2. Campagne Automne 2021

Un déploiement de cinq instruments a été effectué entre le 05 septembre et 07 octobre 2021 (période automnale) avec :

- ✓ Le déploiement d'un système autonome C-POD dans chacune des zones ;
- ✓ Le déploiement d'un enregistreur acoustique au niveau des zones R1 et R2.

Les systèmes autonomes C-POD enregistrent en continu. Chaque enregistreur acoustique collecte 03 minutes de données toutes les 10 minutes, soit des acquisitions périodiques qui permettent de couvrir au total 30% du temps. Le Tableau 4 synthétise ces données qui ont été collectées par chaque système acoustique au niveau des zones R1, R2 et R3. A noter que les contraintes du chantier et les activités de pêches présentes sur site (pêche à la coquille autorisée sur zone) ont imposé une fin de la campagne automnale prématurée afin de garantir la préservation des systèmes et des données, c'est-à-dire en octobre 2021 au lieu de novembre 2021.

Certaines difficultés ont été rencontrées durant cette campagne. En effet, une interaction physique possible entre les systèmes acoustiques et les relevés géotechniques réalisés sur site ont imposé le déplacement des systèmes situés au niveau de la zone R2 à une distance de 900 m de leur emplacement d'origine sur la journée du 13 septembre 2021. Concernant l'enregistreur acoustique situé au niveau de la zone R1, aucune donnée n'a été enregistrée sur la période automnale. Suite à une investigation du matériel pour comprendre cette absence de données au relevage de l'enregistreur situé au point de mesure R1, il a été démontré que le choc engendré par la dépose du matériel sur le fond de la mer a entraîné une défaillance de la carte électronique du système acoustique. Il a donc été décidé de ramener ce matériel chez le constructeur.

Tableau 4 : Synthèse des données acoustiques collectées durant la saison automnale 2021.

Campagne	Zone	Type de système	Nom enregistreur	Date de début	Date de fin	Durée campagne (j)	Durée enregistrement (j)	Longitude	Latitude	Immersion système/fond (m)	Hauteur d' eau LAT (m)	Commentaires
	R1	Enregistreur	ENR-038	05/09/2021	N/A	N/A	N/A	000 51.635 W	049 25.770 N	0.5	26	Données absentes suite à l'arrêt du matériel dû à une défaillance de la carte électronique au moment du déploiement
02	R2	Enregistreur	ENR-042	05/09/2021	07/10/2021	33	9.5	000 29.970 W	049 27.307 N	0.5	29	
	R1	C-POD	3374	05/09/2021	07/10/2021	33	33	000 51.635 W	049 25.770 N	1.5	26	
	R2	C-POD	3376	05/09/2021	07/10/2021	33	33	000 29.970 W	049 27.307 N	1.5	29	
	R3	C-POD	3377	05/09/2021	07/10/2021	33	33	000 18.989 W	049 24.446 N	1.5	23	

### III.2.3. Synthèse des données collectées

Une synthèse des mesures acoustiques acquises pour chaque saison et chaque zone est fournie dans le Tableau 5. Ce tableau met en évidence la complétude des données acquises par les enregistreurs acoustiques et les systèmes autonomes C-POD vis-à-vis des exigences de la mesure pour ce projet, à savoir un enregistrement en continu pour les systèmes autonomes C-POD et un enregistrement de 03 minutes toutes les 10 minutes pendant une durée minimale de n jours à chaque saison caractéristique (été et automne). Il permet également de mettre en évidence les problèmes rencontrés lors des campagnes estivales et automnales avec respectivement :

- ✓ En été 2021, un nombre de jours collectés au niveau de la zone R2 inférieur aux exigences du projet suite à un chalutage du matériel ;
- ✓ En automne 2021, une absence de données pour l'enregistreur acoustique dû à une défaillance du matériel.

A noter que les délais administratifs permettant d'avoir les autorisations (AOT) nécessaires pour la réalisation des missions en mers ont été exceptionnellement longs et ont retardé la date de la première mobilisation. Associés aux contraintes du chantier et aux activités de pêches sur site, les durées de chaque campagne (estivale et automnale) sont respectivement de 55 et 33 jours.

Le choix des campagnes de mesure a été décidé par EDF-EN afin de trouver un compromis entre les périodes sécurisées de déploiement des instruments acoustiques tout en garantissant la collecte de données, les activités de pêche sur site et notamment la pêche à la coquille pouvant induire des interactions avec le système de mesure, la durée de suivi désirée dans le cadre de l'état de référence. De ce fait, aucune mesure acoustique n'a été réalisée durant la période de pêche à la coquille sachant que cette activité peut contribuer significativement aux bruits existants sur site.

Tableau 5 : Synthèse des mesures acoustiques collectées.

Saison	Zone	Système	Date de début	Date de fin	Nb de jours collectés
Eté 2021	R1	C-POD	08/07/2021	05/09/2021	59
	R2	C-POD	08/07/2021	29/07/2021	21
	R3	C-POD	08/07/2021	05/09/2021	59
	R1	SM3M	08/07/2021	01/09/2021	55
	R2	SM3M	08/07/2021	29/07/2021	21
Automne 2021	R1	C-POD	05/09/2021	07/10/2021	33
	R2	C-POD	05/09/2021	07/10/2021	33
	R3	C-POD	05/09/2021	07/10/2021	33
	R1	SM3M	05/09/2021	N/A	0
	R2	SM3M	05/09/2021	07/10/2021	33

## Chapitre IV. Analyse des niveaux sonores mesurés

Une analyse des niveaux sonores de l'état de référence est établie pour les deux saisons (été et automne 2021) à partir des données collectées par les hydrophones situés au niveau des points de suivi acoustique R1 et R2 (cf. Figure 5) sur la base d'acquisition de 3 minutes suivies de 7 minutes de pause.

### IV.1. Analyse du bruit ambiant large bande

Les Figure 8 et Figure 9 montrent respectivement le niveau sonore large bande mesuré (courbes bleues) par l'enregistreur acoustique autonome pendant la période estivale 2021 et pendant la saison automnale 2021. Ces figures mettent en évidence la superposition :

- ✓ D'un bruit permanent ou pied de bruit (courbe rouge) présentant une variabilité d'environ 3 à 5dB en raison des variations environnementales durant la saison automnale en R2. Cette variation est quasi inexistante durant la saison estivale en R1 en raison d'un très faible niveau sonore sur l'ensemble de la période.
- ✓ A cette même période en R2 (centre du parc), les navires Vos Star et l'Espoir présents dans le cadre de relevés UXO, géophysiques et géotechniques du 01<sup>er</sup> au 25 juillet 2021 ont entraîné une augmentation fréquente du niveau sonore perçu. Cette augmentation est due aux passages réguliers de ces navires à proximité du système acoustique passif (quelques kilomètres), en particulier sur la période du 10 au 22 juillet 2021 (cadre vert sur Figure 8), soit plus de la moitié du temps d'écoute total. Le navire L'Espoir est régulièrement accolé au premier navire et engendre de ce fait une contribution supplémentaire. La Figure 11 illustre au cours de la journée du 17 juillet 2021, d'une part (Figure 11 – A) la variation de distance à chaque instant entre ces navires spécifiques et le système acoustique (courbes rouge et bleue) ainsi que, de manière synchrone, le bruit ambiant autour de 100 Hz (courbe grise), et d'autre part (Figure 11 – B) l'identification de chaque navire à chaque instant (courbes rouge et bleue). Ces courbes montrent une augmentation du bruit jusqu'à 50 dB lorsque que le navire se situe entre 0 et 4 km du système acoustique. A partir du 22 juillet, en ce point, la zone subit des variations du bruit conforme aux attendus (contributions environnementales et passages des navires).
- ✓ Sur la période de mesure automnale, en R2, le signal présente une variation journalière de l'ordre de 10 dB engendré par les changements de conditions environnementales. Durant plusieurs périodes, des activités anthropiques ont entraîné une élévation significative du bruit par la présence régulière de bruit de propulsion à basse fréquence et de sondeurs autour de 25 kHz.
- ✓ 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 9 et Tableau 6). Durant la saison estivale, dans les zones R1 et R2, ces passages de navires entraînent des élévations ponctuelles entre 20 et 30 dB (Figure 10). A l'ouest du site, la fréquentation moyenne du site par les navires engendrant une émergence significative de 15 dB au-dessus du bruit permanent (courbe rouge) s'établit à un navire par jour tandis qu'à proximité du site, cette fréquentation moyenne passe à 2 navires par jour. Ces événements anthropiques ne mettent pas en évidence de préférence nocturne /diurne.

Le Tableau 7 donne la répartition statistique du bruit large bande (entre 20Hz et 40 kHz) durant la saison estivale pour chaque point de mesure. De manière similaire, le Tableau 8 donne cette répartition statistique durant la saison automnale. Chaque tableau donne le niveau sonore en fonction du percentile. La distinction jour/nuit permet de mettre en évidence une variation marginale du bruit permanent quelle que soit la zone et de ce fait l'absence de contribution benthique sur cette zone. Cette absence de variation montre également peut de différence quant aux contributions anthropiques (principalement navires de commerce et activité de pêche) entre les périodes diurnes et nocturnes.

Durant la saison estivale, les niveaux mesurés en R2 mettent en évidence une différence de l'ordre de +20 dB en comparaison des niveaux mesurés en R1 (à l'ouest du site). En R2, les niveaux mesurés sont conformes et très proches des valeurs déjà observés sur d'autres sites similaires côtiers (valeur médiane de 106.9 dB ref

1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>). Par contre, en R1, les niveaux perçus sont très faibles (valeur médiane de 84.6 dB ref 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>) très probablement en raison de la très faible anthropisation du site et des faibles contributions environnementales. Du point de vue acoustique, cet emplacement apparaît comme préservé.

Durant la saison automnale, seul le capteur situé en R2 (centre du parc) a permis de collecter des données (cf. III.2.2. ). Le niveau médian est de 105.6 dB ref 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup> et inférieur de -1.3 dB à la période estivale. Ce faible écart provient très probablement des perturbations induites par les activités exceptionnelles des navires Vos Star et L'Espoir durant une période significative de la mesure acoustique en été.

Ces données sont accessibles dans le compte de la plateforme Quonops Online Services (<https://qos.quiet-oceans.com>) dans l'onglet Observer.

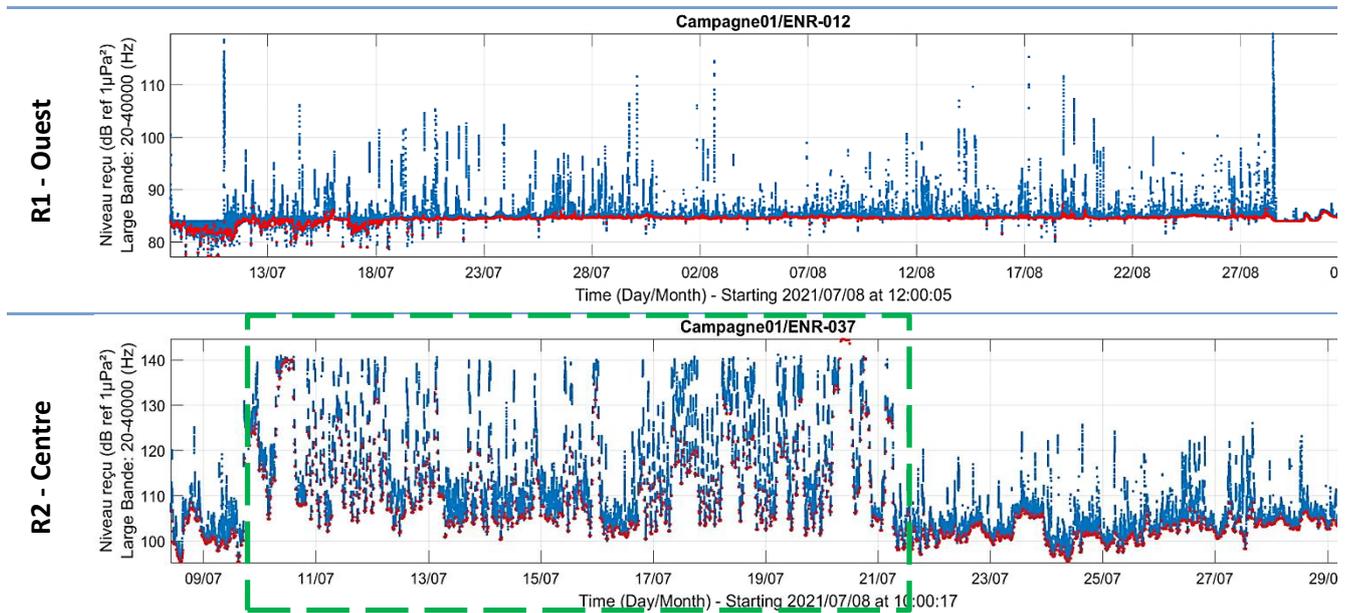


Figure 8 : Niveaux sonores large bande (20Hz - 40 kHz) en fonction de la zone de mesure durant la saison estivale 2021.

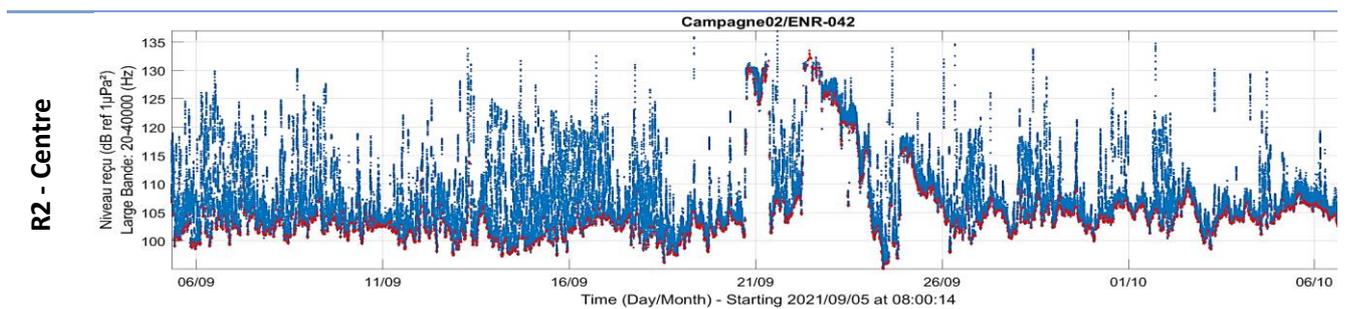


Figure 9 : Niveaux sonores large bande (20Hz - 40 kHz) en fonction de la zone de mesure durant la saison automnale 2021.

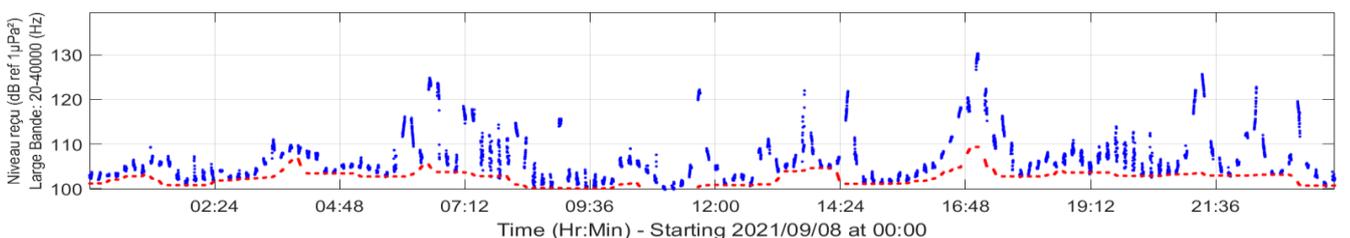


Figure 10 : Illustration du bruit ambiant sur la journée du 08/09/2021 (courbe bleue), du bruit permanent estimé (courbe rouge) et des passages de navires entraînant une émergence sonore ponctuelle (~15min) et jusqu'à 30 dB de (exemple à 16 :50 UTC)

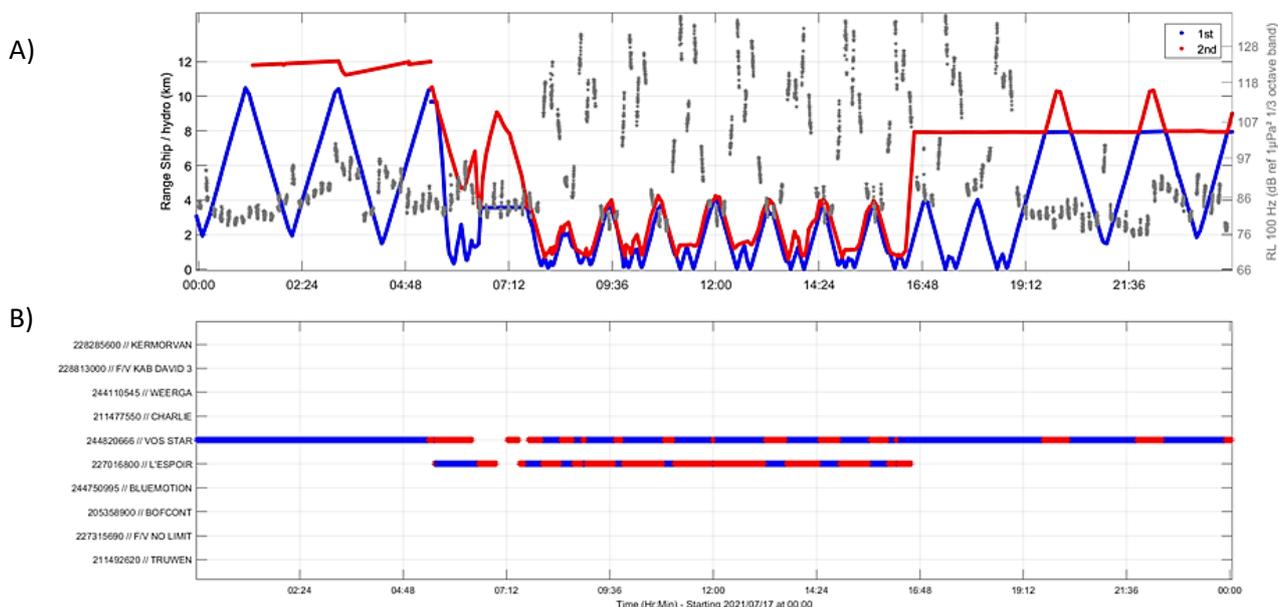


Tableau 6 : Spectrogrammes illustratifs des passages de navires.

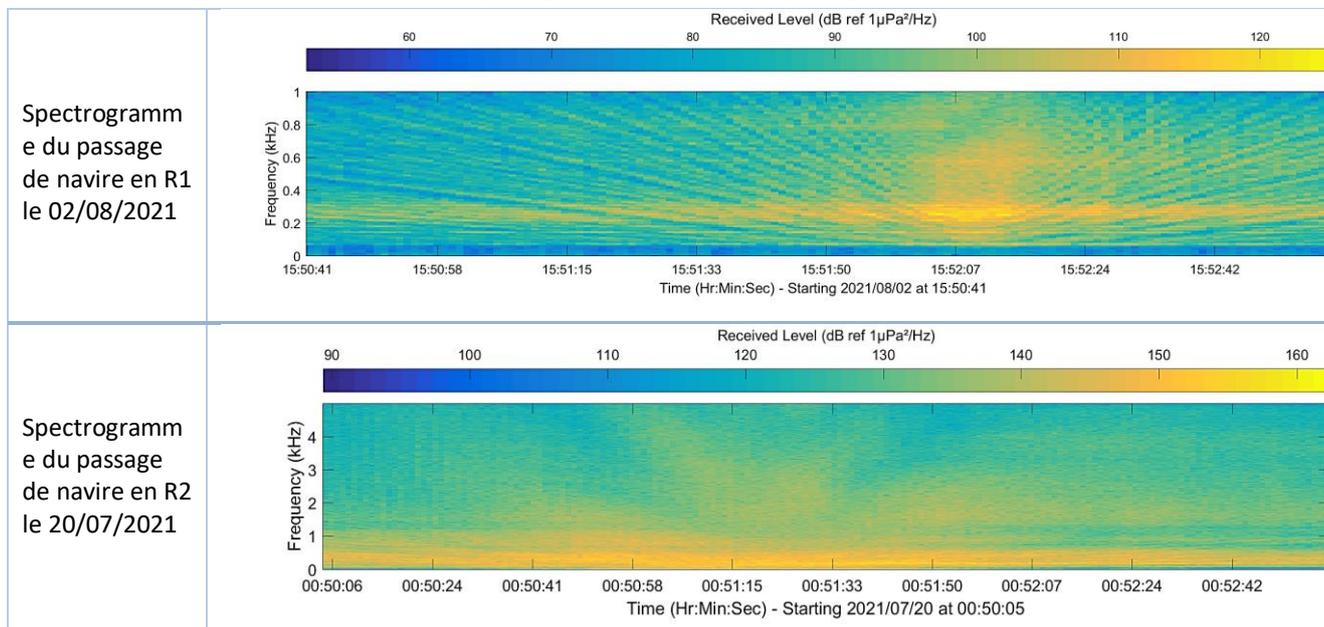


Tableau 7 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) (exprimés en dB ref 1µPa²) durant la saison estivale.

		Niveaux courants				Niveaux médians				Niveaux très rares
R1	Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
	Toute la période	77.2	83.0	84.2	84.4	84.6	84.9	85.6	91.9	119.8
Ouest	Jour	77.2	82.9	84.1	84.4	84.6	84.9	85.5	92.3	119.8
	Nuit	78.6	83.2	84.3	84.5	84.7	85.0	85.6	91.2	118.6

	Ecart Jour/Nuit	-1.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	1.1	1.1
	Percentile (%)	100	99	90	75	50	25	10	1	0
R2 Centre	Toute la période	95.2	97.5	101.2	103.6	106.9	114.0	125.4	138.1	141.0
	Jour	95.2	97.2	101.3	103.8	107.1	113.7	126.2	138.3	141.0
	Nuit	96.4	98.4	101.0	103.1	106.2	114.9	124.0	137.7	140.7
	Ecart Jour/Nuit	-1.2	-1.2	0.3	0.6	0.9	-1.1	2.2	0.6	0.3

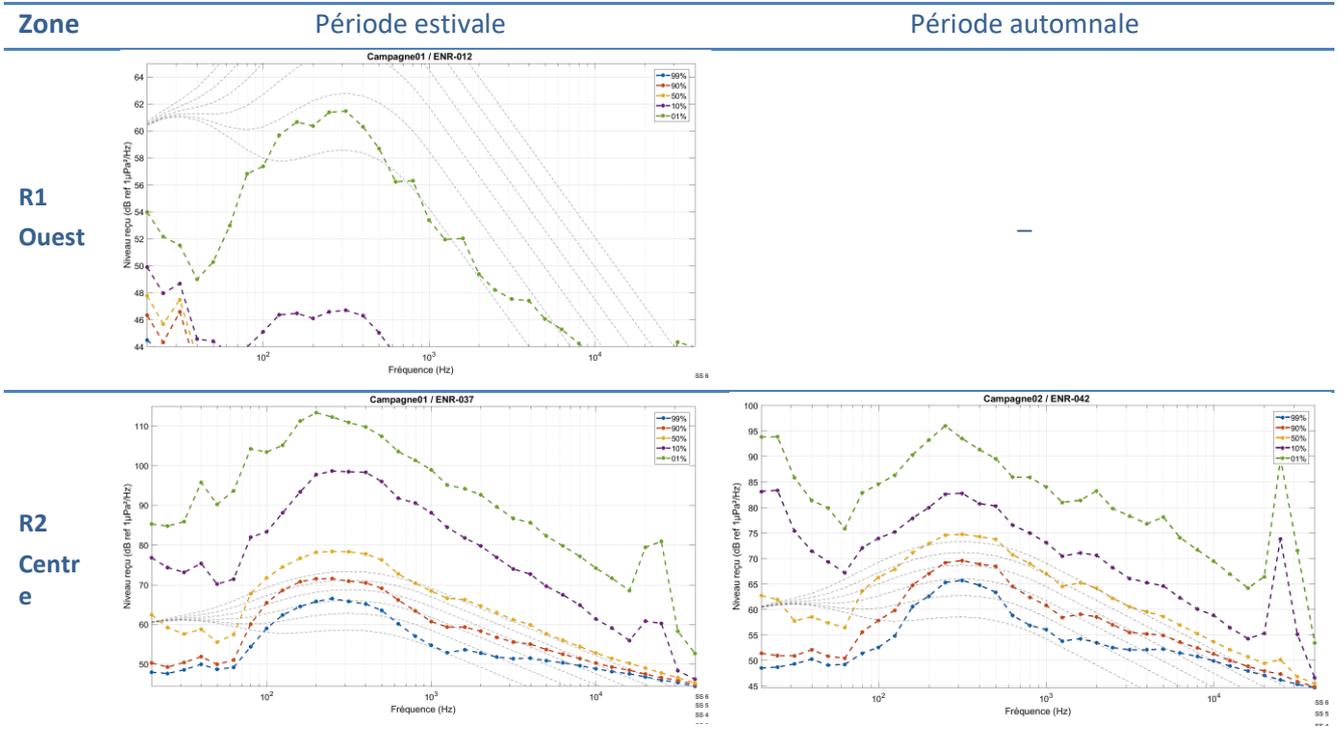
Tableau 8 : Statistiques des niveaux sonores large bande (20Hz -40 kHz) (exprimés en dB ref 1µPa<sup>2</sup>) durant la saison automnale.

		Niveaux courants				Niveaux médians				Niveaux très rares
Percentile (%)		100	99	90	75	50	25	10	1	0
R2 Centre	Toute la période	95.0	98.2	101.4	103.3	105.6	108.9	116.1	127.7	137.0
	Jour	95.0	97.8	101.7	103.6	105.8	108.9	114.7	125.4	137.0
	Nuit	96.9	98.5	101.1	103.0	105.3	109.0	116.7	128.1	131.9
	Ecart Jour/Nuit	-1.8	-0.7	0.6	0.6	0.5	-0.1	-2.0	-2.8	5.0

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

La répartition fréquentielle de l'énergie sonore (Tableau 9) donne le niveau sonore en fonction de la fréquence pour différents percentiles caractéristiques. Ces courbes sont mises en regard des courbes de référence établies par le modèle de Wenz et issues d'une compilation des données mondiales (courbes grises). Concernant la zone R1, ces courbes confirment les faibles niveaux sonores mesurés, inférieurs de 16 dB au niveau de référence. Seule la courbe au percentile 1% est en accord en forme et amplitude à la courbe de référence correspondant à une très faible anthropisation et une très faible contribution environnementale. Le maximum d'énergie est observé à 300 Hz et correspond aux bruits induits par les passages des navires. Au point de mesure R2 (centre du parc), les spectres saisonniers sont conformes aux spectres de référence selon Wenz. Les spectres sont dominés d'une part par la contribution anthropique des propulsions des navires (entre 50 Hz et 2 kHz) et d'autre part par la contribution régulière des sondeurs au voisinage de 25 kHz. Entre les deux saisons, les niveaux sont peu variables pour les percentiles courants (99, 90 et 50%) et diffèrent de l'ordre de 10 dB pour les percentiles faibles (10 et 1%, niveaux plus rares). Cette différence provient essentiellement des activités spécifiques de levée sismique durant la saison estivale. Ces spectres confirment l'absence d'activité sonore (entre 1 et 30 kHz) par les organismes benthiques en raison de la nature du substrat. Durant la saison automnale, le spectre subit un accroissement aux très basses fréquences (inférieures à 50 Hz) en raison des déplacements sédimentaires et des interactions avec le capteur de mesure.

Tableau 9 : Statistiques de niveaux sonores en fonction de la fréquence, de la saison et de la zone. (courbes grises, référence d'après modèle de Wenz)



### IV.3. Comparaison à l'état initial

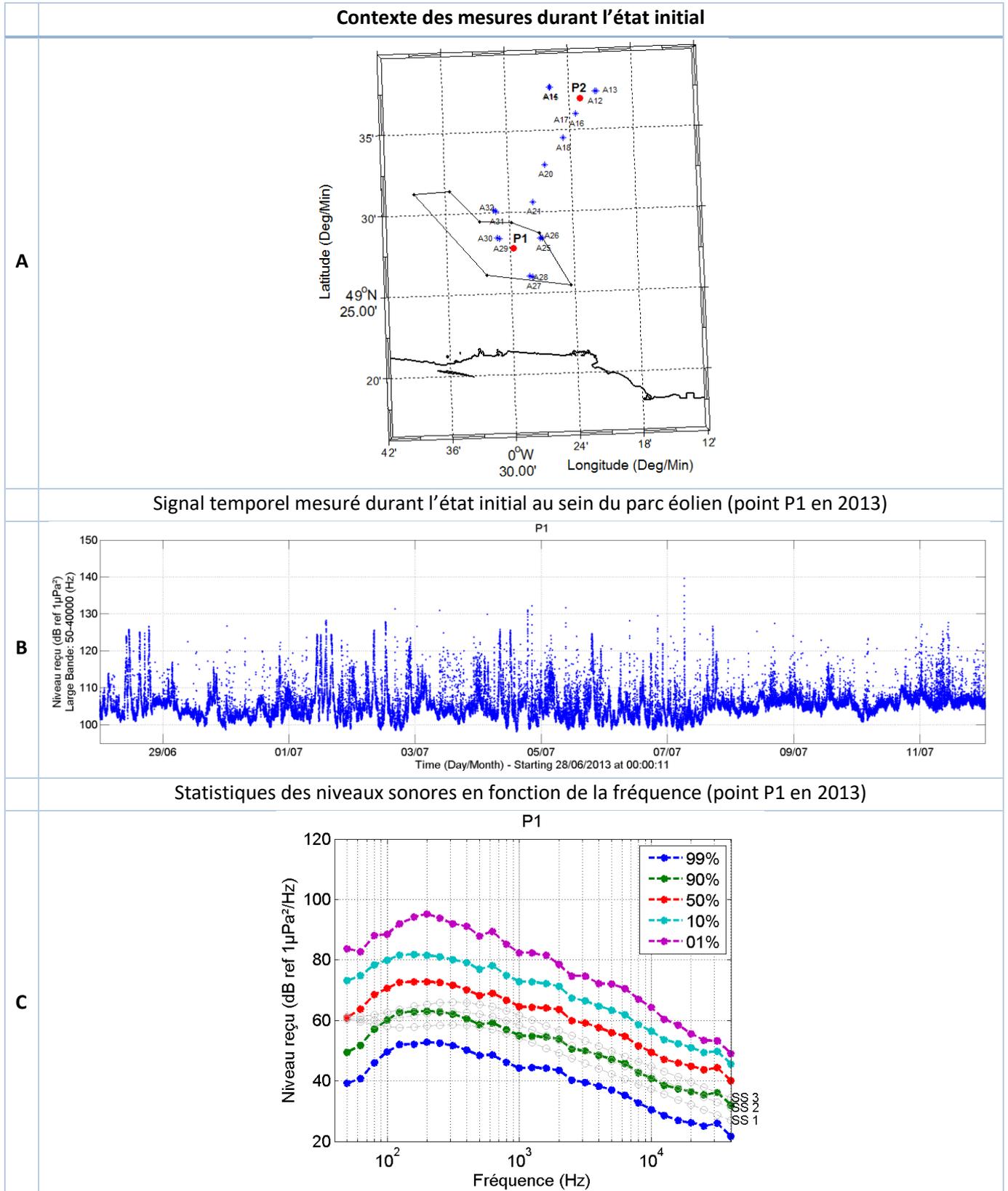
Lors de l'étude d'impact acoustique menée en 2013 (document QO.RAP.20121212.02.COU.EIA Parc Eolien du Calvados [2.2].pdf), des mesures d'acoustique passive ont été menées pendant un mois durant la saison estivale en deux points (P1 et P2) afin d'établir l'état initial (Tableau 10-A). Le point de mesure P1 situé dans le futur parc éolien P1 permet une comparaison de l'évolution des niveaux entre les périodes 2013 et 2021.

En 2013, le niveau sonore médian était de 107 dB ref1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>, valeur très proche de celle observée durant l'état de référence (106.9 dB ref1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>). Les niveaux minimum et maximum étaient respectivement de 98 et 140 dB ref1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>, et sont également très similaires des valeurs mesurées durant la campagne 2021 (Tableau 10-B).

La répartition en fréquence de l'énergie sonore montrait un maximum d'énergie à 200 Hz avec une valeur à 95 dB ref 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>/Hz (Tableau 10-C). En 2021, durant cet état de référence, le maximum d'énergie est observé au voisinage de 300Hz avec une valeur de 96 dB ref 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>/Hz. Cette répartition en fréquence est similaire en forme entre les deux périodes de mesure à l'exception de la présence régulière de sondeurs à 25kHz en 2021 en raison très probablement de la présence de navires dans le cadre des travaux préparatoires.

Les campagnes de mesure réalisées en 2021 mettent en évidence une constance dans l'évaluation des niveaux sonores larges bandes (entre 20 Hz et 40 kHz) en comparaison des niveaux mesurés en 2013 au sein du parc éolien. Ainsi la contribution acoustique d'origine anthropique du site par le trafic maritime commercial, de pêche et de plaisance est restée constante. De la même manière, la contribution environnementale au bruit permanent n'a pas subi de changement significatif entre ces deux périodes.

Tableau 10 : Données acoustiques de l'état initial effectué en 2013.



## Chapitre V. Cartographie du bruit

La cartographie du bruit existant est dépendante des sources de bruit (circulation des navires et conditions environnementales telles que le vent et les vagues) et des conditions de propagation du son dans le contexte de la Baie de Seine.

La propagation du bruit et les niveaux de bruit ambiants sont principalement dictés par (Figure 12):

- ✓ 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).

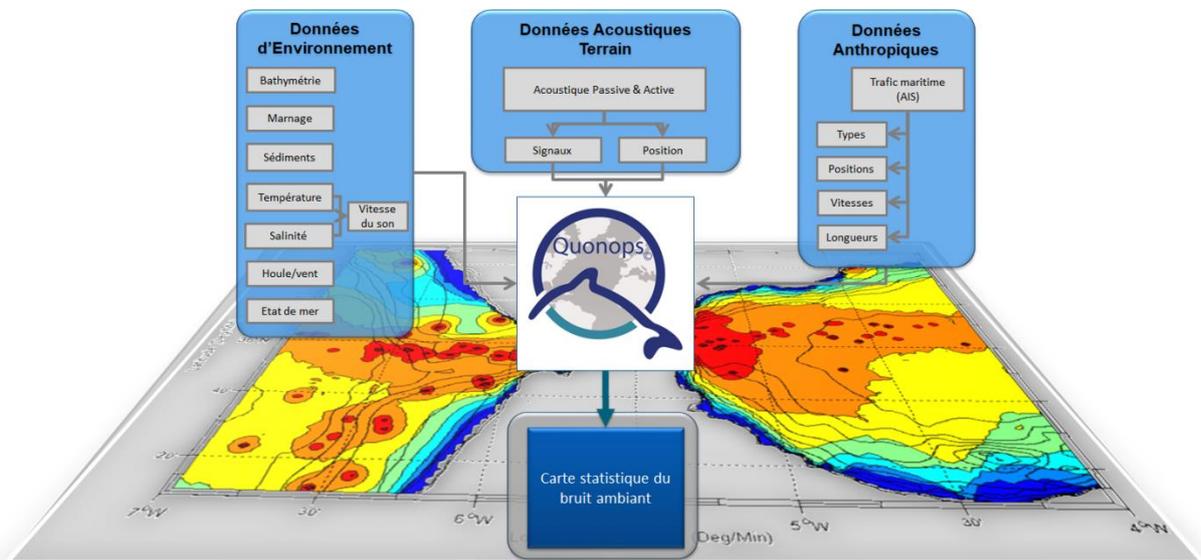


Figure 12 : Illustration du fonctionnement de la plateforme Quonops®.

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 (Guisse

& 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 11 : Synthèse des données environnementales utilisées pour la modélisation acoustique.**

Couche	Source	Résolution spatiale		Résolution Temporelle
Bathymétrie	Emodnet	lon 33.9 (m)	lat 49.4 (m)	-
Profile de célérité	CMEMS	lon 2117.0 (m)	lat 3088.0 (m)	1 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)	1 h
Vitesse du vent	CMEMS	lon 8000.0 (m)	lat 8000.0 (m)	1 h
Marée	IOC	Le port le plus proche		5 min

## V.1. 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);
- ✓ 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.1.1. 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 1 heures sur la période. Ce bruit est ajouté au bruit des activités maritimes préexistantes au voisinage de la zone projet.

### V.1.2. 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. 1µPa/VHz @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 13). 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.

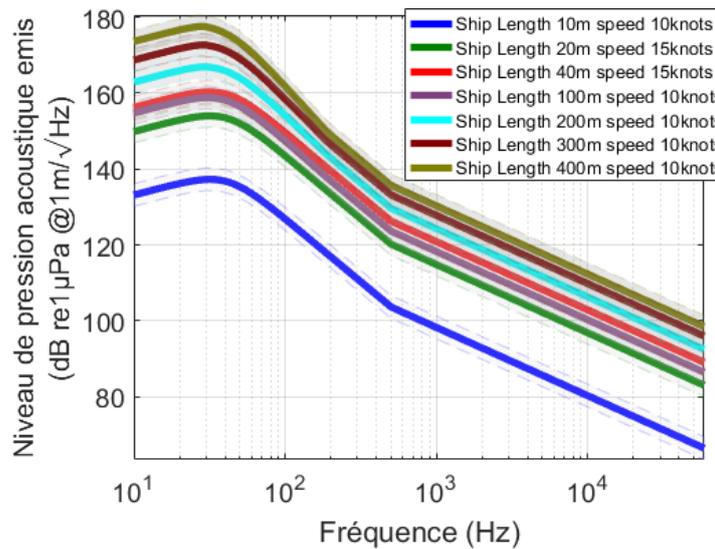


Figure 13 : Gabarit des niveaux de bruit émis par les navires en fonction de la fréquence et de leur catégorie.

## V.2. Calibration

A partir des données mesurées, un ajustement est effectué afin de calibrer les cartes de bruit. Le Tableau 12 illustre, pour différentes zones et différentes saisons, la corrélation entre la composante permanente du pied de bruit et la vitesse du vent. Cette prédominance de la contribution du vent au bruit est observable pour les fréquences supérieures à 500 Hz environ. En dessous de cette fréquence, la composante anthropique induite par la propulsion des navires domine le paysage sonore et masque régulièrement de ce fait la contribution environnementale.

La Figure 14 illustre la comparaison des courbes statistiques du bruit entre les données mesurées et les données prédites par la plateforme Quonops après ajustement. A titre d'exemple, cette comparaison est effectuée pour le capteur situé en R2 après intégration de toutes les fréquences. La courbe bleue donne la statistique du bruit mesuré sur la période complète. La courbe rouge donne la statistique de prédiction du bruit engendré par le vent et les activités anthropiques après calibration. Ces courbes montrent la bonne qualité de la calibration combinée des contributions environnementales et anthropiques. L'erreur résiduelle (RMSE) après calibration est de 1.0 dB. Les valeurs de calibration par zone et par fréquence sont injectées dans la plateforme Quonops et permettent d'établir la cartographie statistique du bruit par saison.

La qualité de la calibration dépend de la qualité de la mesure, de la qualité de la donnée AIS, de la qualité des données environnementales (vitesse du son dans la colonne d'eau, propriétés du sédiment, vitesse du vent, rugosité de surface), et de la proportion de la contribution anthropique dans la zone (en l'absence de contribution anthropique sur zone, les limites du modèle de bruit naturel impactent la calibration).

Tableau 12 : Corrélation entre la vitesse du vent et le niveau de bruit permanent à des fréquences caractéristiques en fonction de la zone et de la saison.

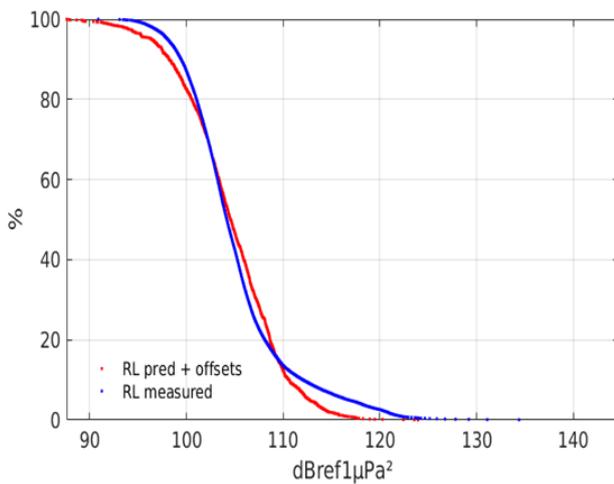
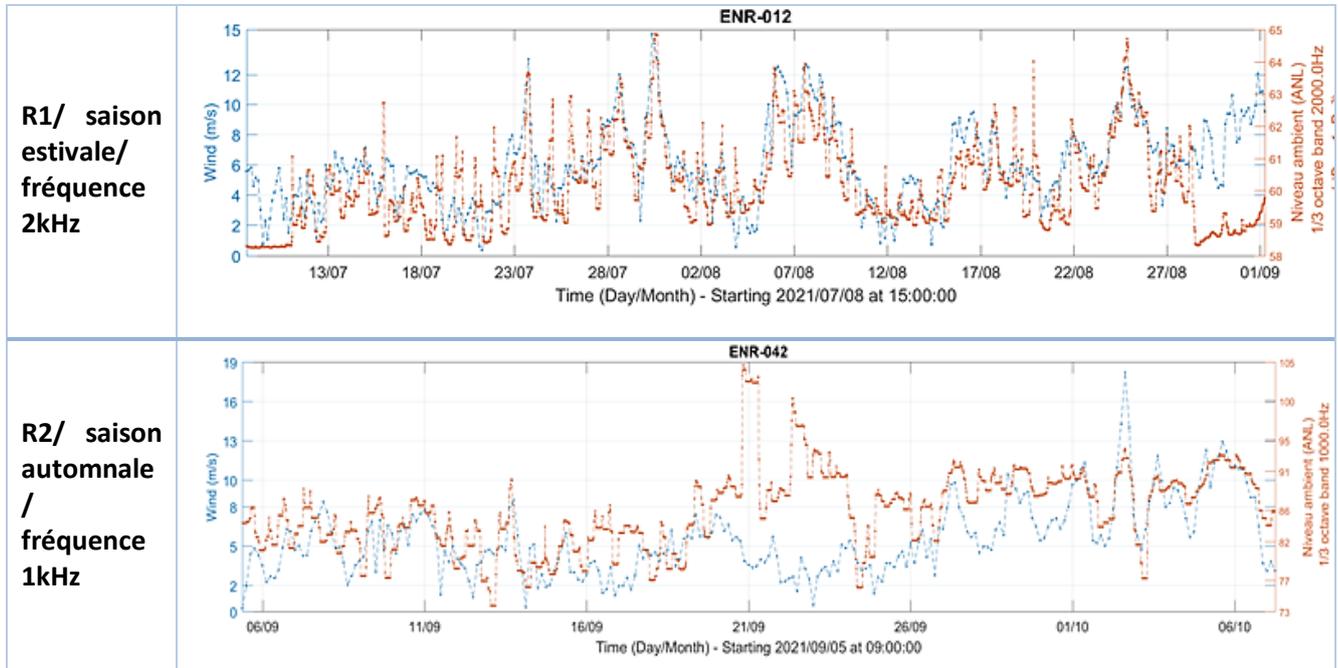


Figure 14 : Comparaison des courbes statistiques entre mesure courbe bleue et prédiction (courbe rouge) après calibration au point R2.

### V.3. Cartographie du bruit existant

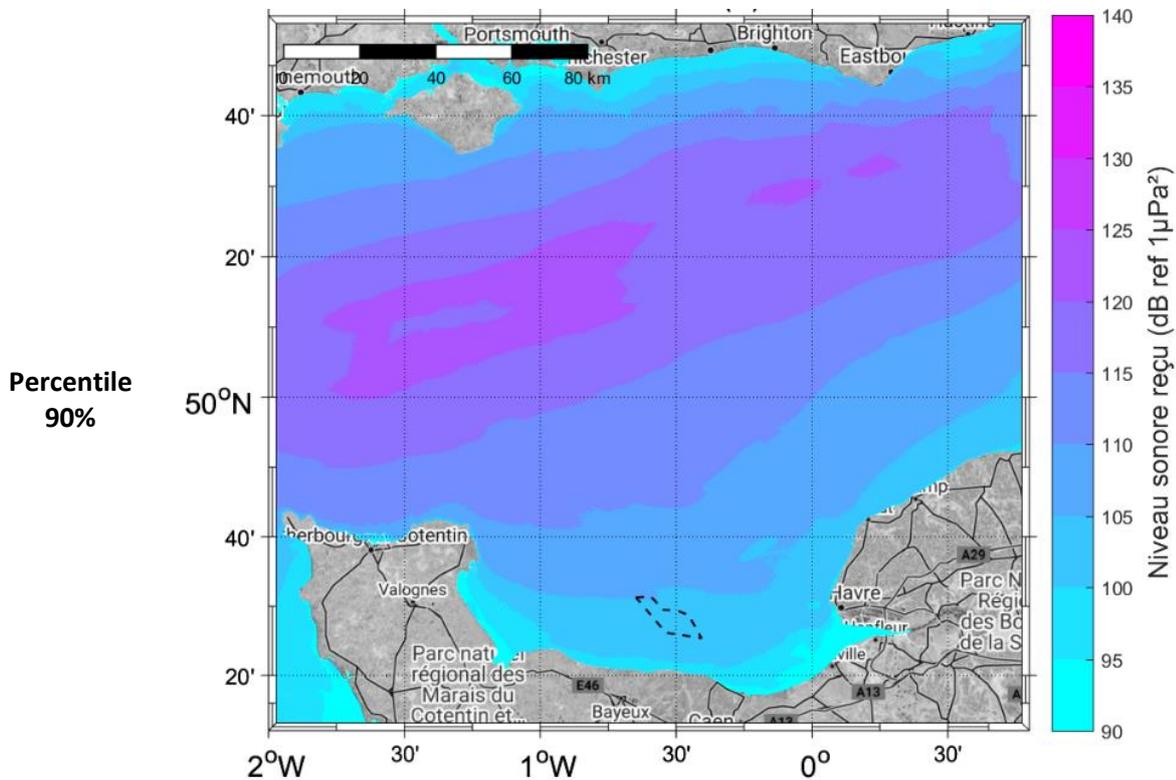
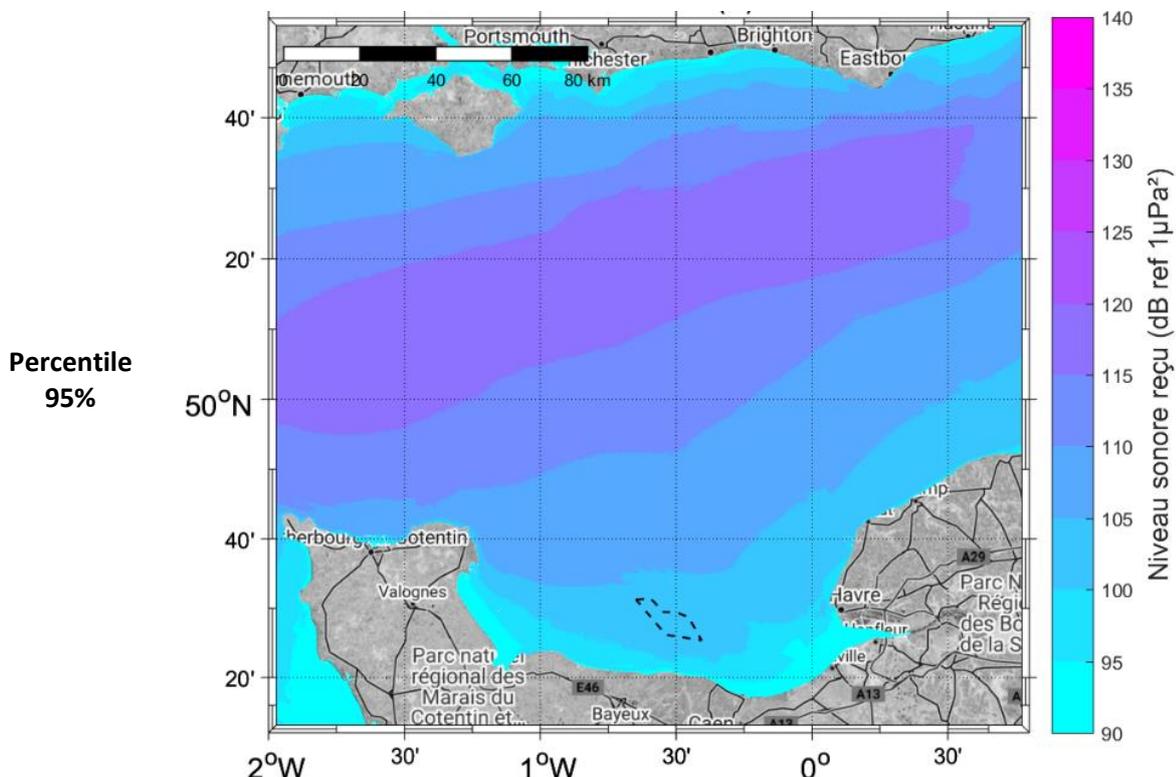
Les Figure 15 & Figure 16 illustrent la cartographie statistique des niveaux de bruit ambiant large bande résultants actuellement présents autour du futur parc éolien offshore pour les percentiles de 95% (très courants) à 5% (rares) pour respectivement les deux saisons préférentielles (hiver et été). Le 50<sup>ème</sup> 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<sup>ème</sup> percentile décrit les niveaux de bruit atteints pendant 10% de la période. La cartographie est disponible dans le compte de la plateforme Quonops Online Services (<https://qos.quiet-oceans.com>).

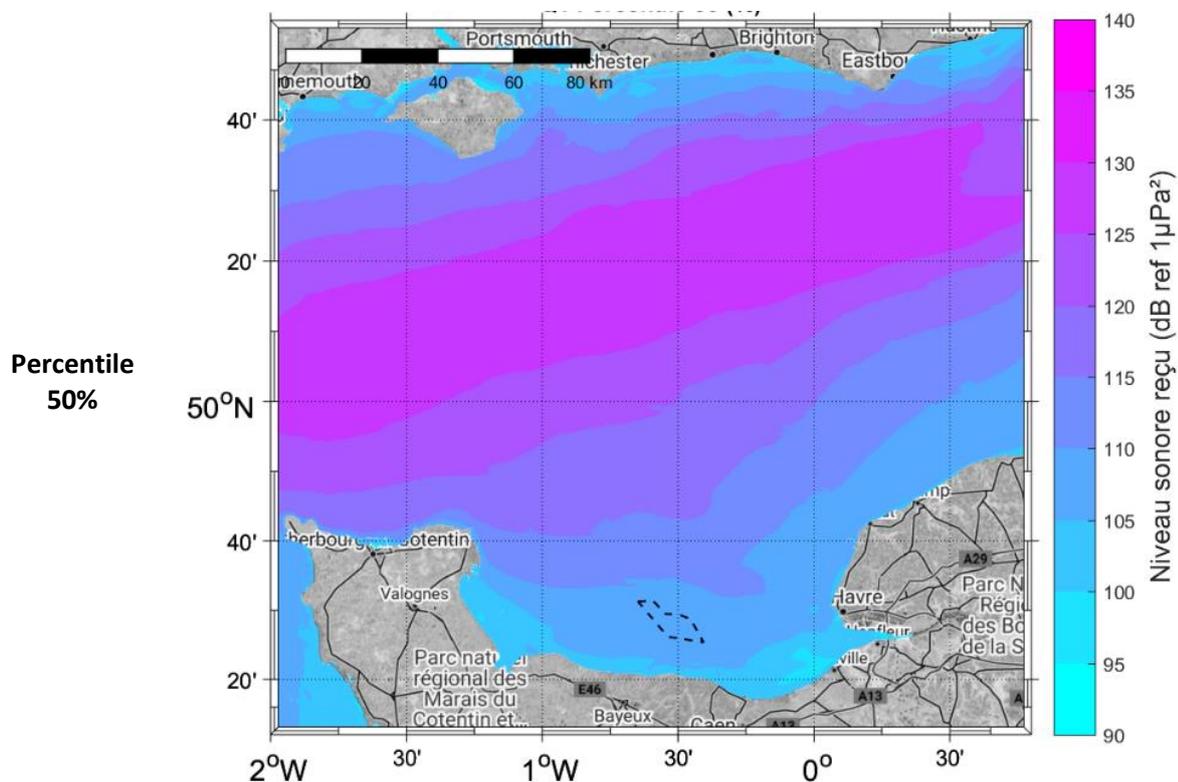
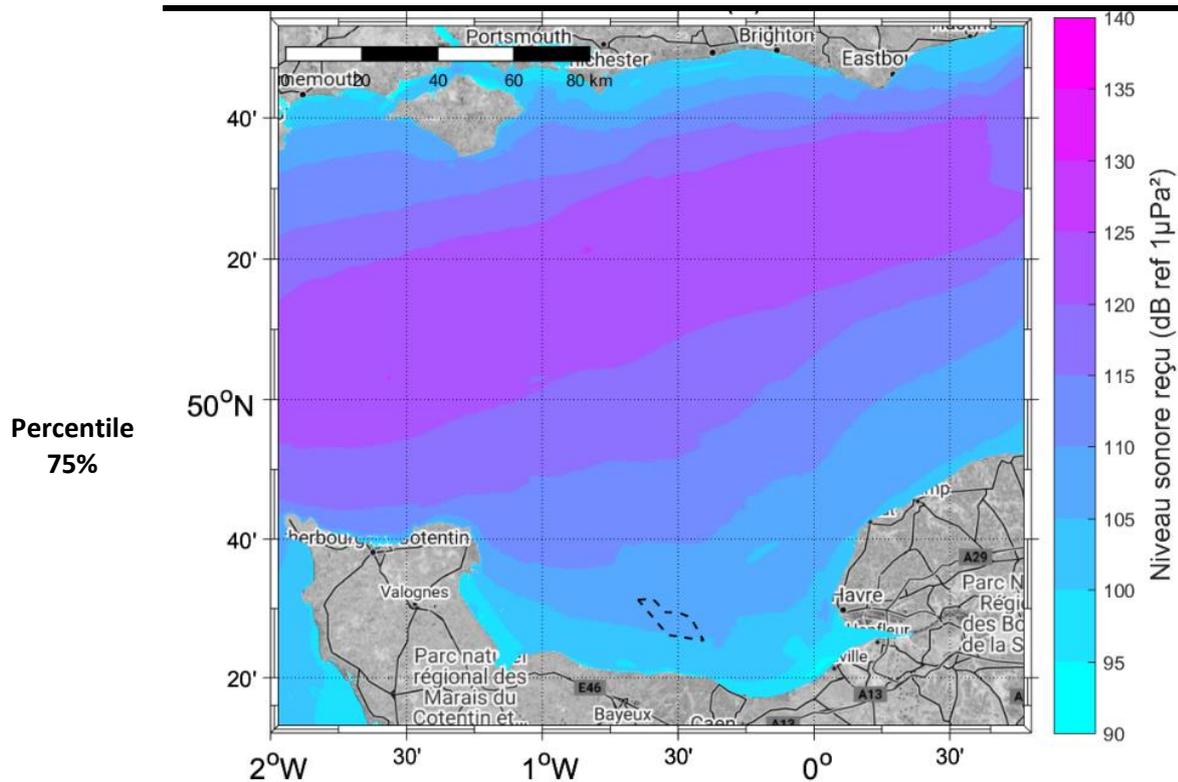
En complément, le Tableau 13 synthétise les niveaux sonores pour chaque percentile et chaque saison en fonction de la zone d'intérêt. La zone étendue correspond à l'ensemble de la cartographie (Manche orientale) et la zone du parc correspond à l'aire de la concession du parc éolien en mer. Ce tableau met en évidence que la zone du parc éolien perçoit actuellement des niveaux de 6 à 10 dB inférieurs aux niveaux statistiques perçus

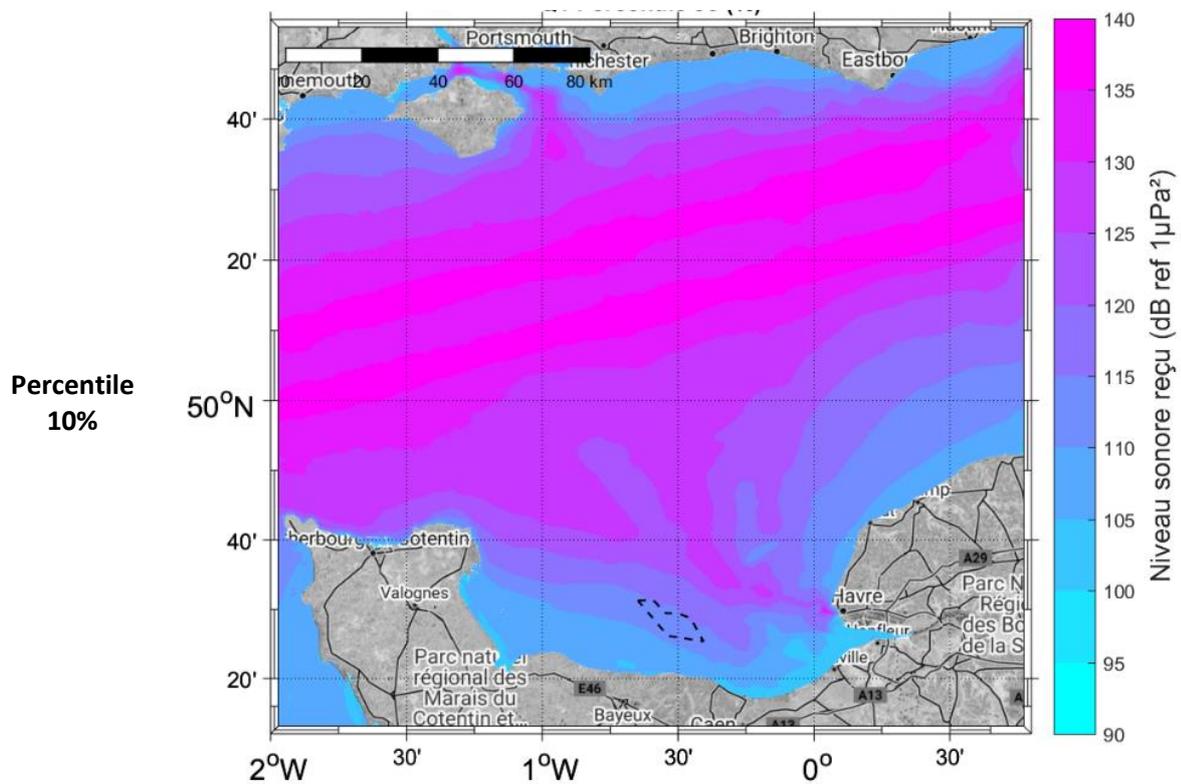
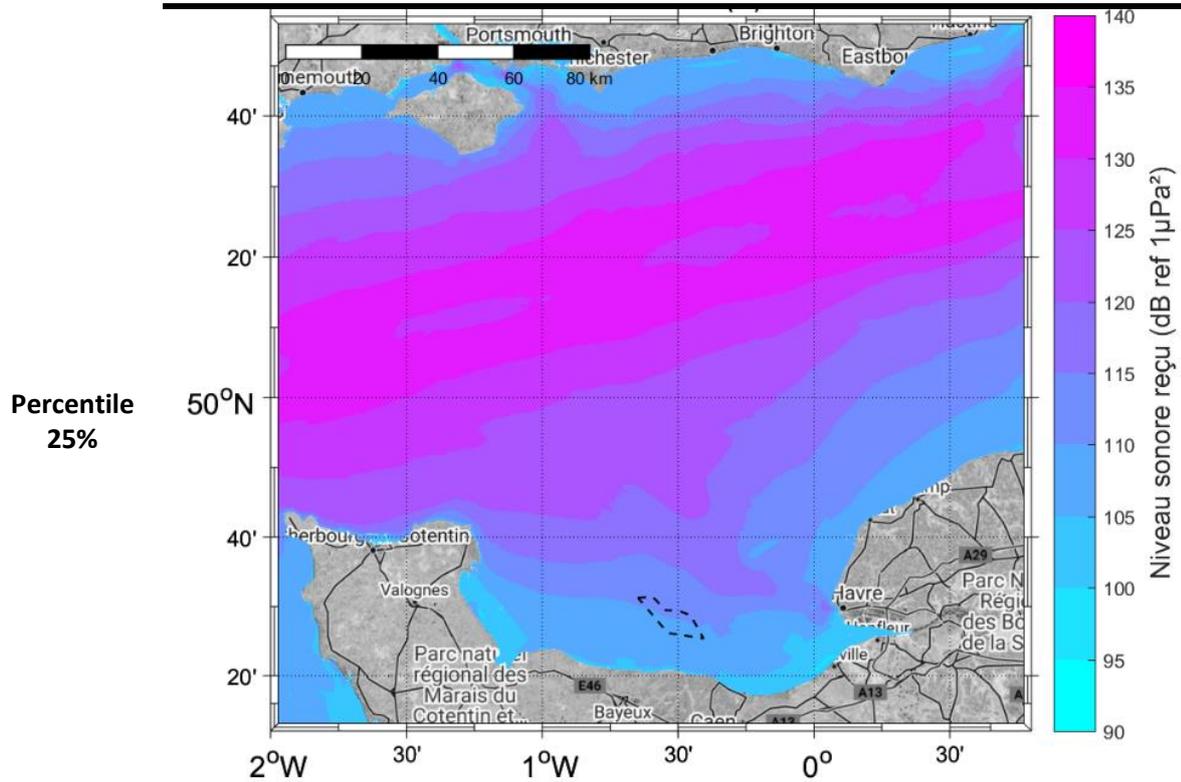
sur l'ensemble de la cartographie (Manche orientale). La cartographie met également en évidence la présence à minima 10% du temps des routes de circulation des navires entrants et sortants des ports du Havre et de Ouistreham. Ces routes viennent en complément de la diffusion permanente du bruit induit par les rails de circulation des navires de commerce en Manche.

**Tableau 13 : Statistiques des niveaux sonores large bande (exprimés en dB ref 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup>) en fonction de la saison et de la zone d'intérêt.**

	Percentile (%)	95	90	75	50	25	10	5
<b>Hiver</b>	Zone étendue	102.5	103.8	105.8	107.8	109.9	113.2	115.7
	Zone du parc éolien	108.9	111.0	114.1	117.2	120.5	124.0	126.6
<b>Printemps</b>	Zone étendue	101.7	103.0	105.2	107.5	109.9	112.9	115.2
	Zone du parc éolien	108.7	110.8	113.8	117.0	120.4	124.1	126.7
<b>Eté</b>	Zone étendue	100.9	102.3	104.4	106.6	109.0	112.2	114.4
	Zone du parc éolien	107.9	110.0	112.9	116.1	119.5	123.2	125.8
<b>Automne</b>	Zone étendue	100.9	102.4	104.8	107.3	110.0	112.5	114.3
	Zone du parc éolien	108.3	110.3	113.3	116.5	120.0	123.6	126.2







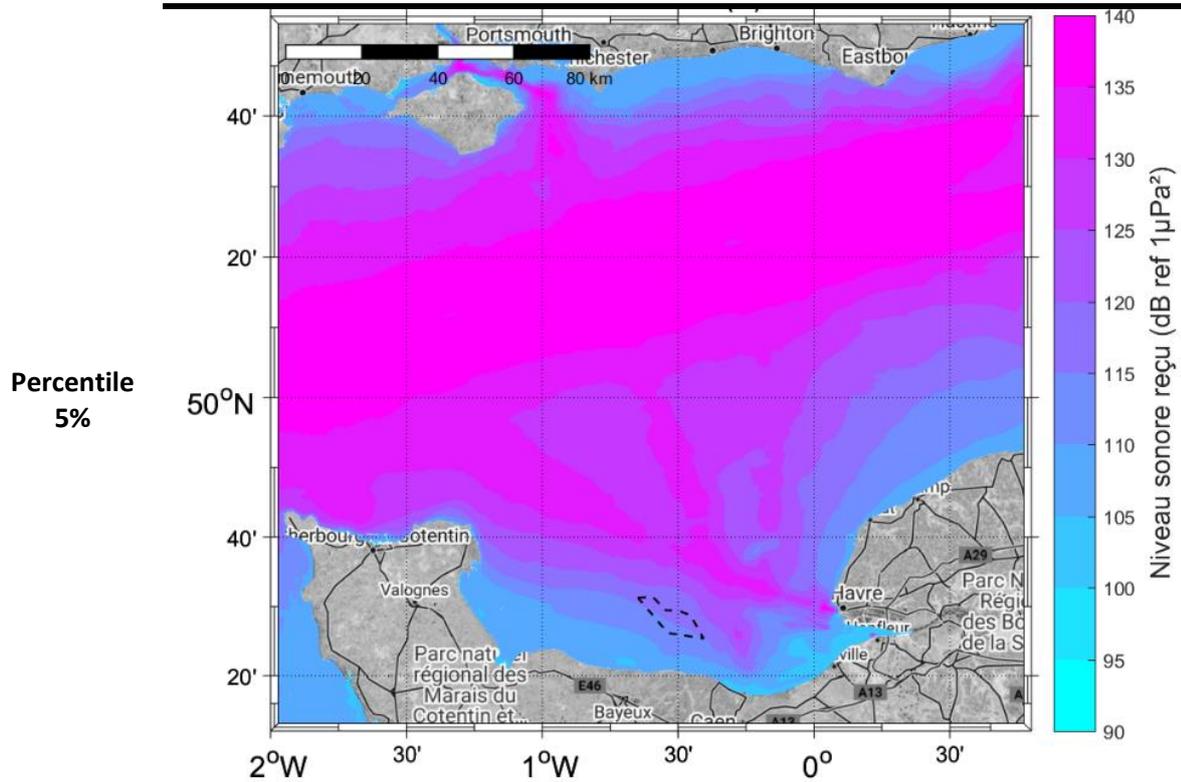
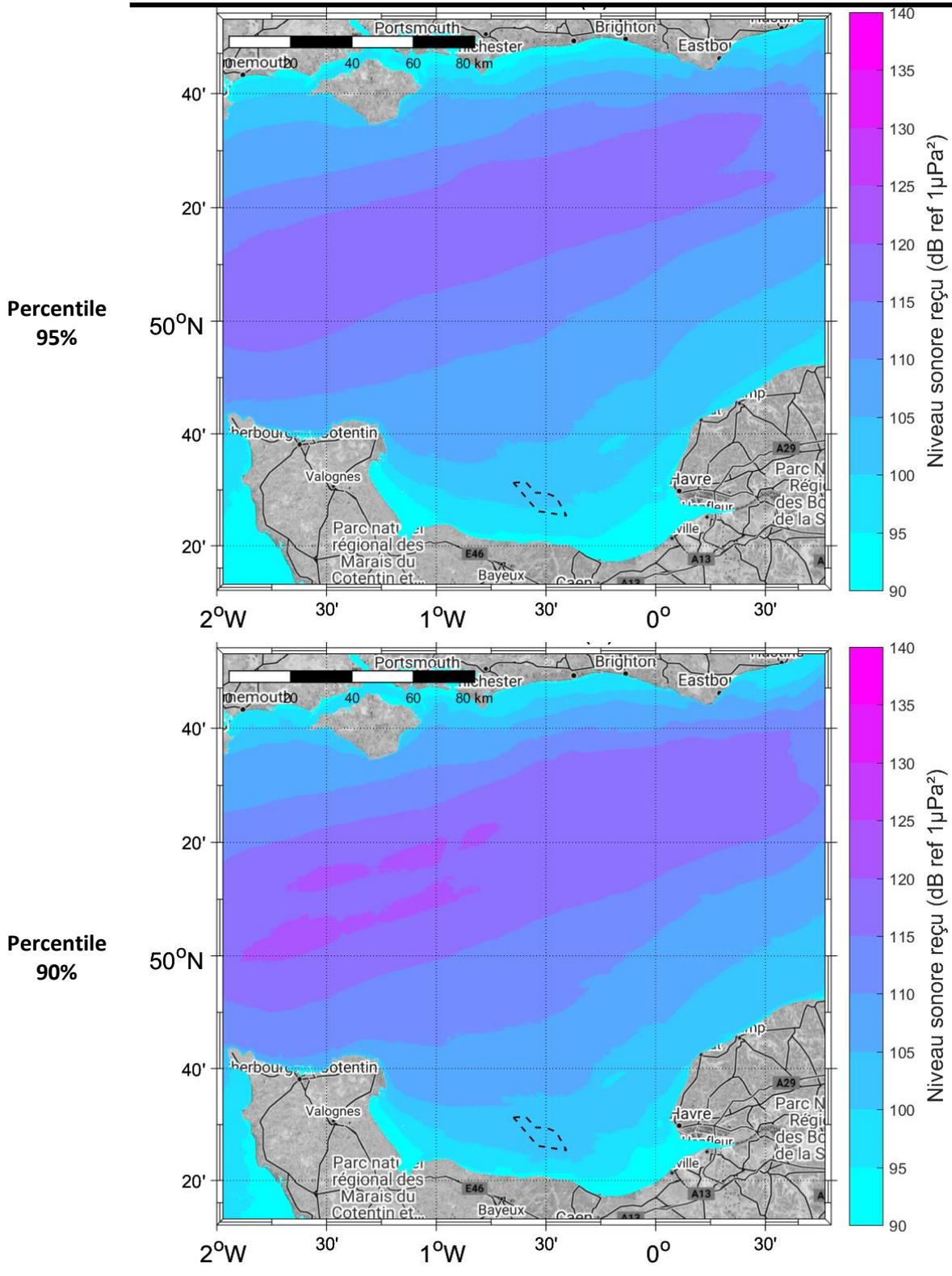
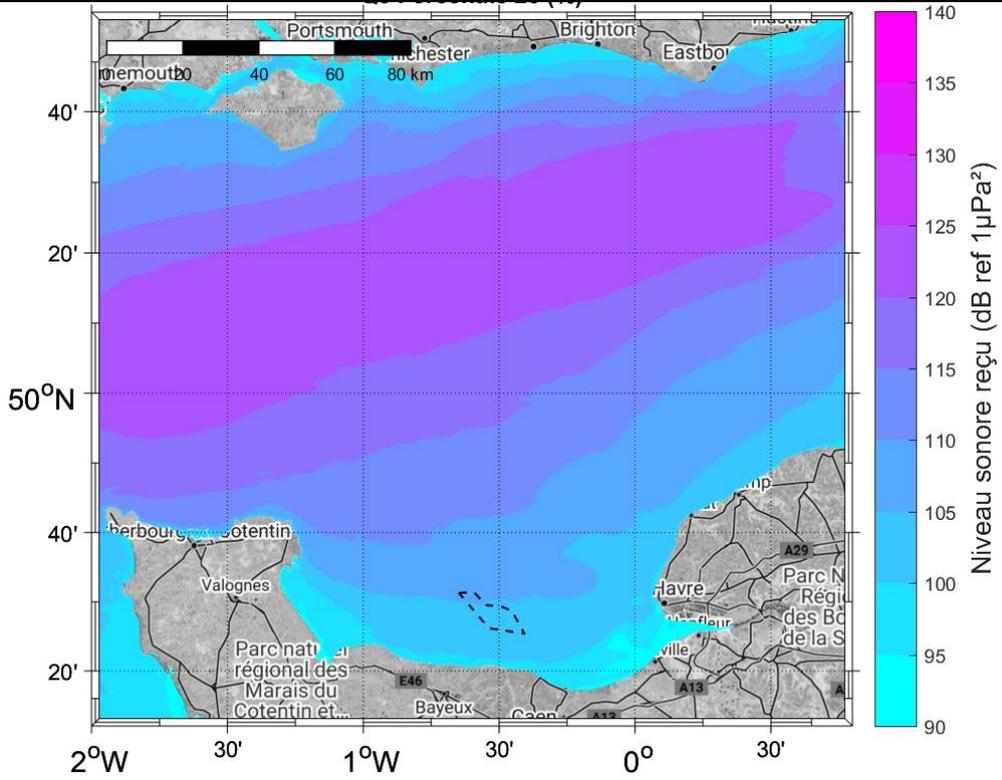


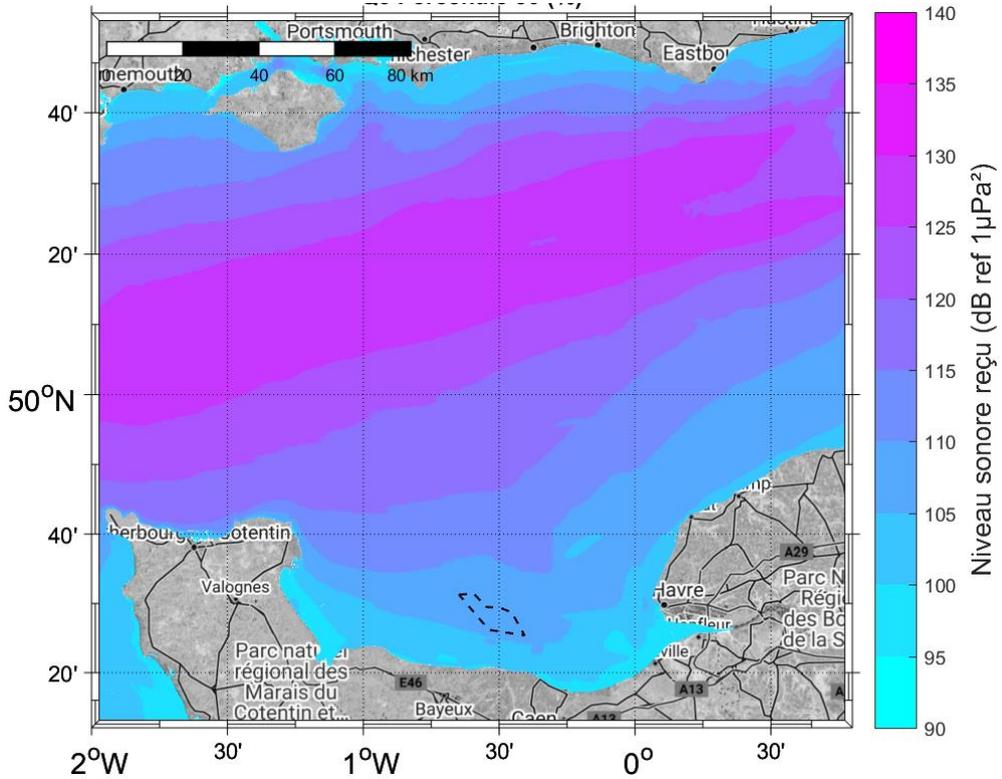
Figure 15 : Cartographie du bruit durant la saison estivale (emplacement du parc éolien en pointillé noir).



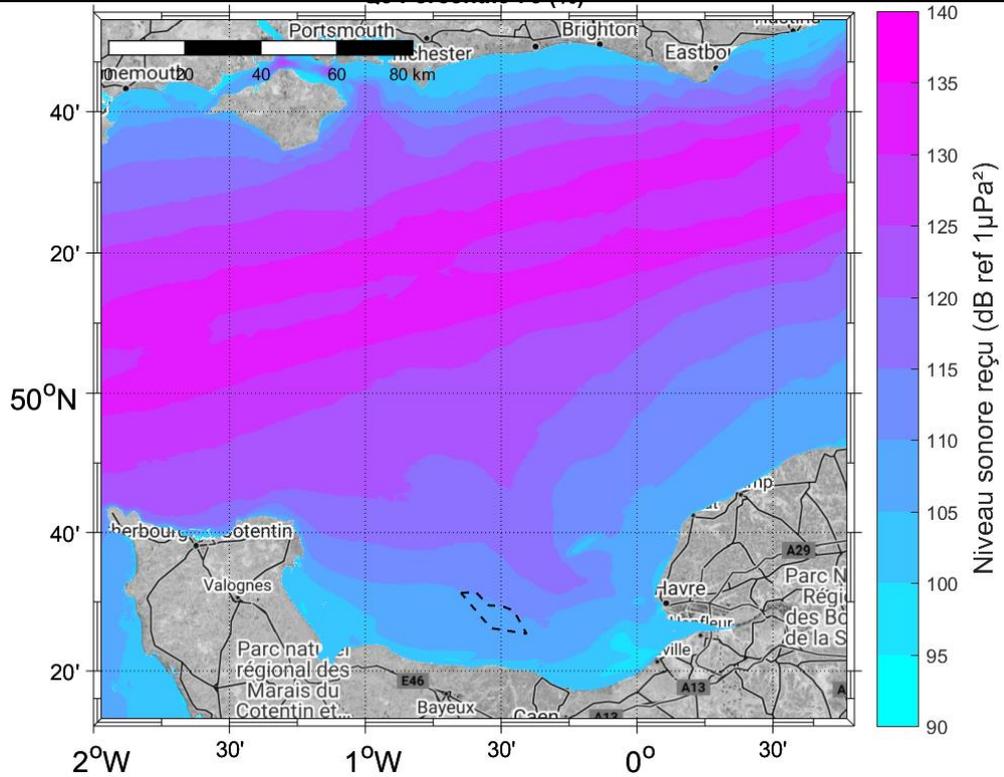
Percentile  
75%



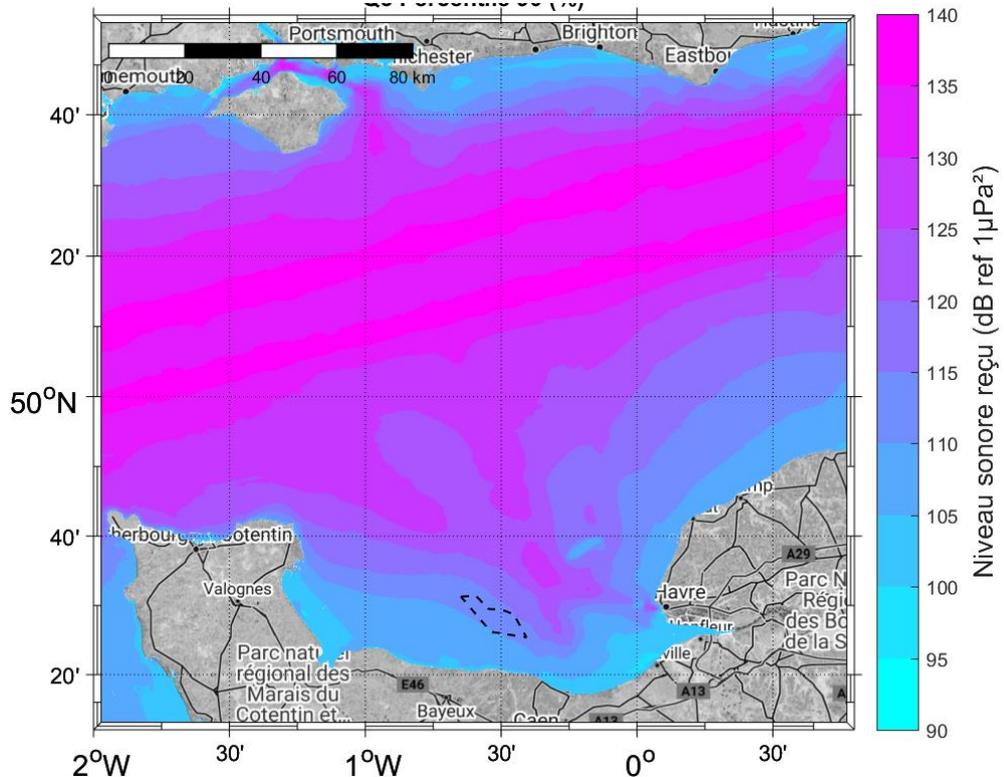
Percentile  
50%



Percentile  
25%



Percentile  
10%



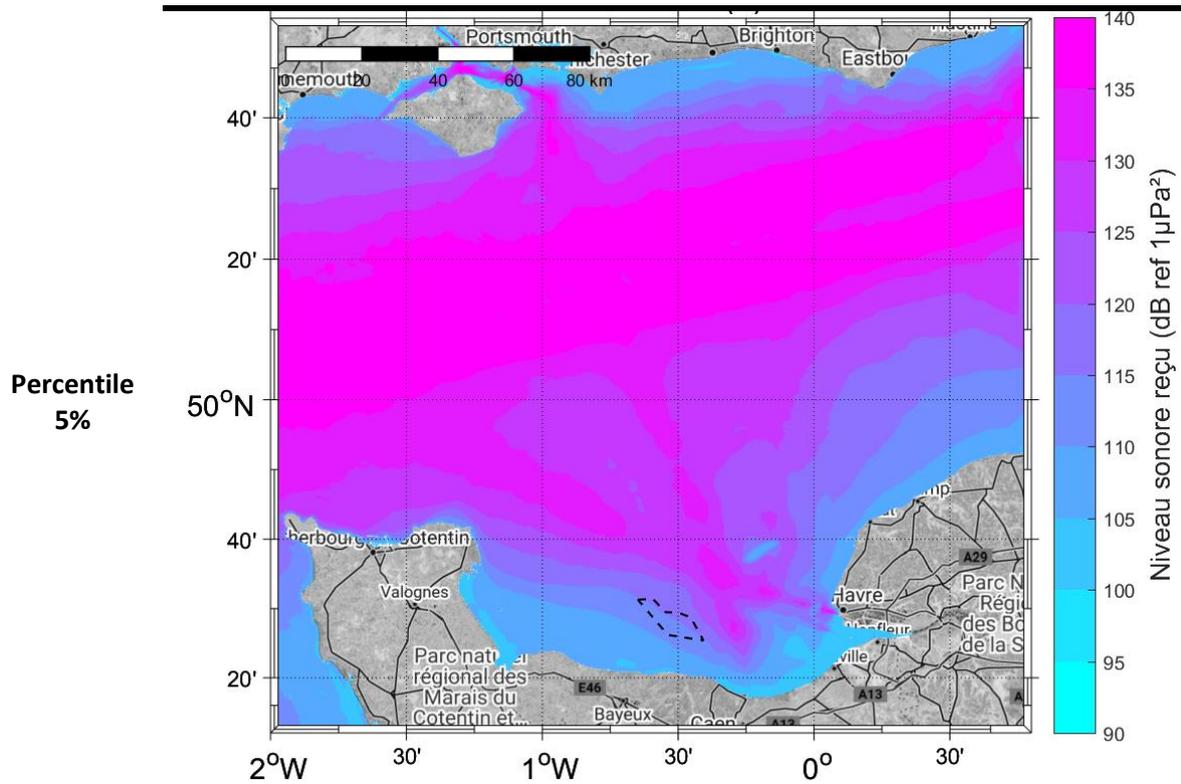


Figure 16 : Cartographie du bruit durant la saison automnale (emplacement du parc éolien en pointillé noir).

## 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.

Pour rappel, durant l'Etat Initial qui a été réalisé en 2014 (document QO.RAP.20121212.02.COUEIA Parc Eolien du Calvados [2.2].pdf), aucun traitement bioacoustique n'a été mis œuvre afin d'établir une fréquentation du site par les mammifères marins à cette période.

### VI.1. Connaissance biologique a priori du site

#### VI.1.1. Rappel sur la 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 17).

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

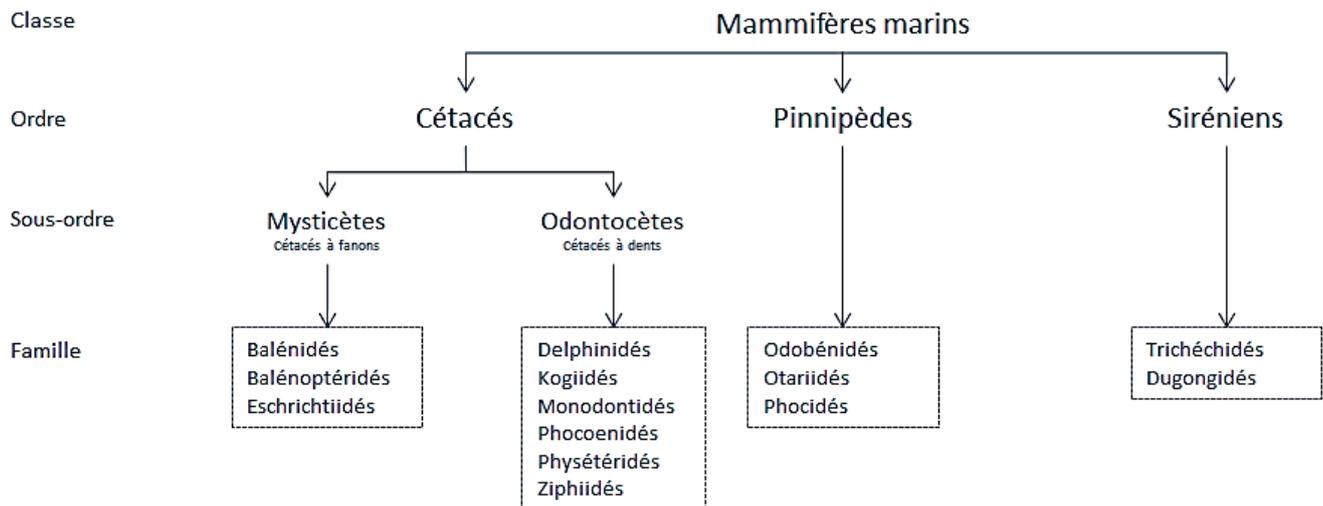


Figure 17 : Schéma de la classification scientifique des espèces océaniques et marines de mammifères. Source : Quiet-Oceans.

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

Le Tableau 14 synthétise les informations concernant les mammifères marins susceptibles d'être rencontrés au large de Courseulles-sur-Mer, à proximité des zones étudiées (cf. Chapitre III). Sur le recensement de ces espèces, deux espèces de mammifères marins sont communément présentes dans la zone d'étude : Marsouin commun (Figure 19) et Phoque veau-marin (Figure 21).

Tableau 14 : Synthèse des données concernant les mammifères marins susceptibles d'être présents au large de Courseulles-sur-Mer.

Famille	Espèce		Statut UICN	Statut de fréquentation du site
	Nom Usuel	Nom Latin		
Delphinidés	Grand dauphin	<i>Tursiops truncatus</i>	LC	Occasionnel
	Dauphin commun	<i>Delphinus delphis</i>	LC	Occasionnel
	Dauphin bleu-et-blanc	<i>Stenella coeruleoalba</i>	LC	Inconnu
	Globicéphale noir	<i>Globicephala melas</i>	LC	Occasionnel
	Orque	<i>Orcinus orca</i>	DD	Inconnu
Phocoenidés	Marsouin commun	<i>Phocoena phocoena</i>	LC	Permanent
Balénoptéridés	Petit Rorqual	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	LC	Occasionnel
Phocidés	Phoque gris	<i>Halichoerus grypus</i>	LC	Occasionnel
	Phoque veau-marin	<i>Phoca vitulina</i>	LC	Permanent



Figure 18 : Famille des Delphinidés – Grand dauphin (*Tursiops truncatus*). Source : EcoOcéan Institut.



Figure 19 : Famille des Phocoenidés - Groupe de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*). Source : GREMM.



Figure 20 : Famille des Balénoptéridés – Petit Rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*). Source : MICS.



Figure 21 : Famille des Phocidés – Phoque veau-marin (*Phoca vitulina*). Source : GECC.

Afin de caractériser la distribution de chacune de ces espèces présentes au large de Courseulles-sur-Mer, des cartes de prédiction de densité (en nombre d'individus/km<sup>2</sup>) ont été établies via la modélisation d'habitats réalisée à partir de trois campagnes de recensement aérien. Ces campagnes d'observation des mammifères marins par survol des eaux métropolitaines françaises ont été conduites pendant l'hiver 2011/2012 et l'été 2012 (campagnes de Suivi Aérien de la Mégafaune Marine - SAMM 1 et 2) avec la méthode (Pettex, 2014) pour la collecte des données.

A noter que la méthode de modélisation d'habitats a pour principe de déterminer les relations qui unissent les espèces à leur environnement et d'identifier leurs habitats préférentiels. Ces informations permettent ensuite de prédire les densités de l'espèce considérée sur une zone dont les caractéristiques environnementales sont connues. Dans le cas des modélisations d'habitats réalisées sur les données SAMM, plusieurs variables environnementales ont été utilisées pour caractériser les habitats : bathymétrie, pente, température de surface moyenne (sur une période de 7 ou 28 jours précédant le jour échantillonné), variance et gradient de température de surface, hauteur d'eau moyenne et écart-type, vitesse maximale du courant, etc. La relation entre la distribution observée (observations collectées) et les variables environnementales a été déterminée à l'aide de Modèles Additifs Généralisés.

Les estimations d'abondance en Baie de Seine sont représentées en Figure 22 et Figure 23 pour respectivement les saisons été et hiver des campagnes SAMM. Ces données sont uniquement disponibles pour les sous-groupes :

- ✓ Phocoenidae (Marsouin commun) ;
- ✓ Globicephaline (Globicéphale noir et Dauphin de Risso) ;
- ✓ Iphininae (grands delphininés : Grand Dauphin) ;
- ✓ Delphininae (petits delphininés : Dauphin commun et Dauphin bleu-et-blanc) ;
- ✓ Pinnipèdes (Phoques).

Ces données renseignent sur la présence importante de Marsouins communs en période estivale dans la zone considérée, relativement aux Delphinidés dont la présence est faible voire nulle. En période hivernale, la

présence globale des grands et petits delphininés est plus importante ainsi que les Globicéphalines, et les Marsouins communs restent les plus présents. Vis-à-vis du projet, et principalement durant la saison hivernale, les Marsouins communs, les Globicéphalines et les petits delphininés sont les espèces susceptibles de fréquenter le plus couramment la zone avec respectivement des densités de présence de 0.4, 0.14 et 0.1 individu/km<sup>2</sup>.

Concernant les Pinnipèdes, deux espèces de phoques fréquentent couramment la région côtière de Courseulles-sur-Mer (principalement la baie de Veys) : le phoque veau-marin (*Phoca vitulina*), et le phoque gris (*Halicheorus grypus*), d'après le rapport ECO-PHOQUES financé par la Région Hauts-de-France et le Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale, entre 2015 et 2017 (Vincent et al., 2018). Tandis que les phoques veaux-marins sont présents toute l'année, les phoques gris ne sont abondants dans la région que saisonnièrement, en été.

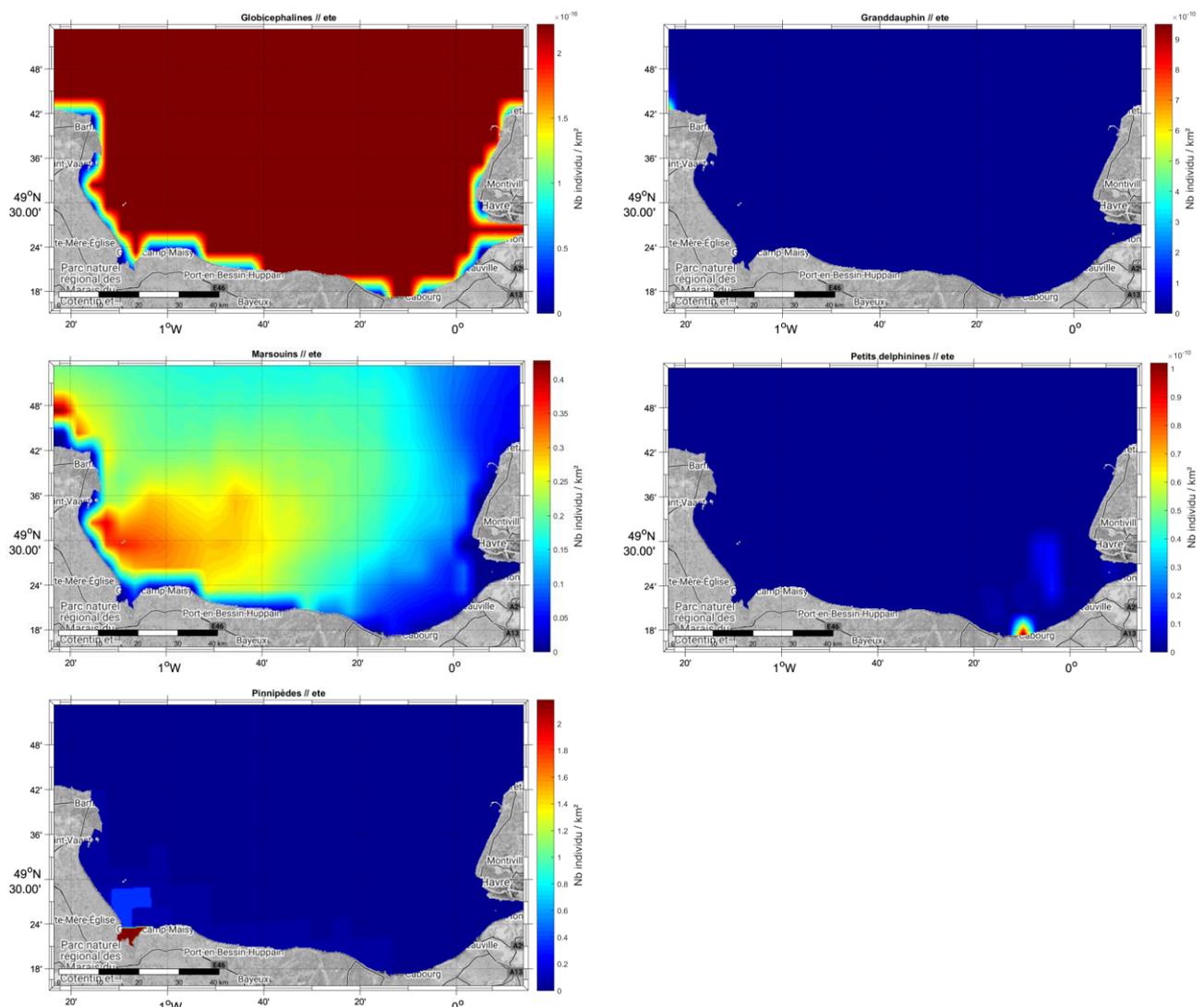


Figure 22 : Carte des estimations d'abondance en Baie de Seine pour les données représentatives de l'été (SAMM 2012).

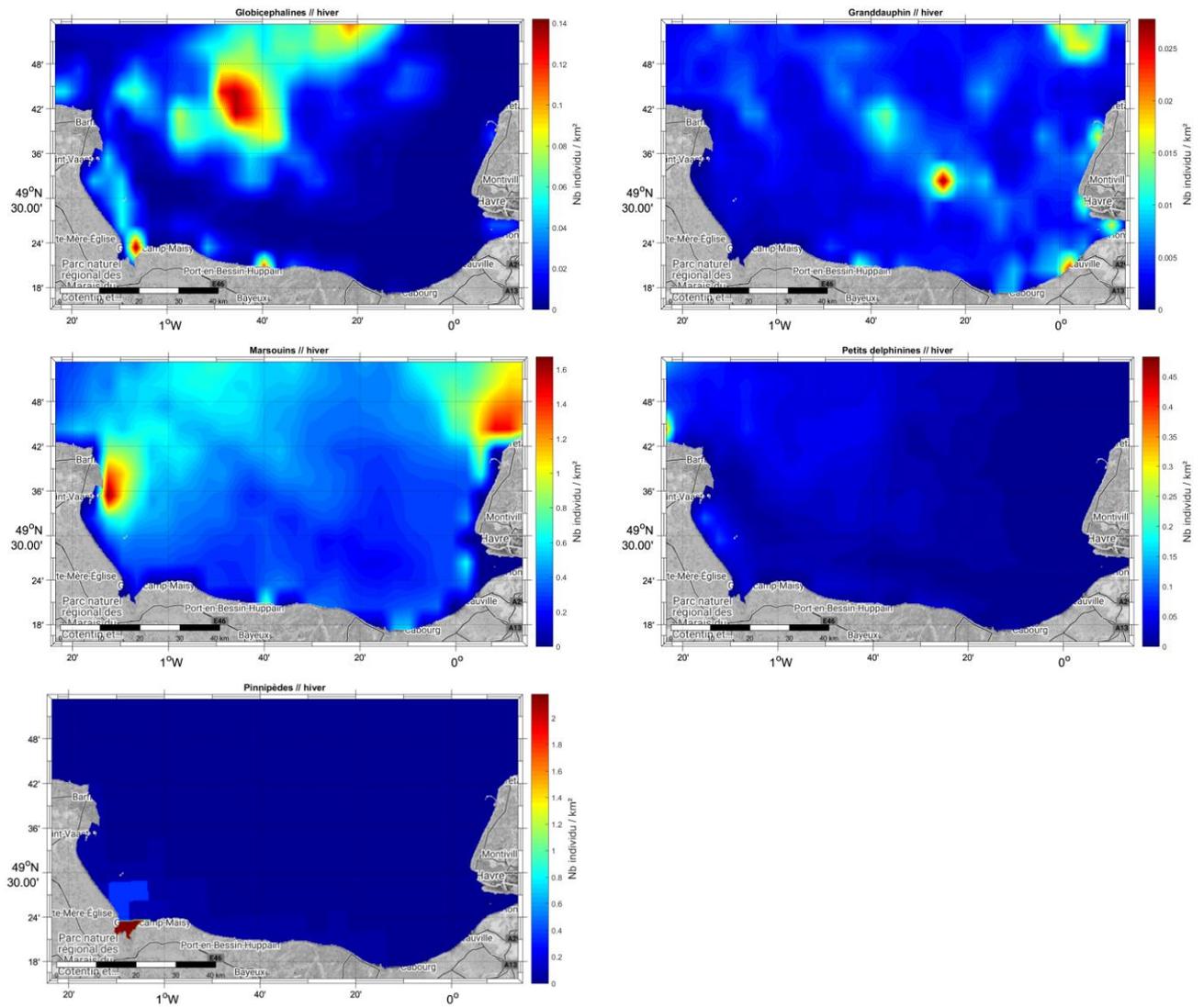


Figure 23 : Carte des estimations d'abondance en Baie de Seine pour les données représentatives de l'hiver (SAMM 2011-2012).

### 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 24 et la Figure 25.

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 15). 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 classification<sup>1</sup>.

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'écholocation<sup>2</sup>. 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.

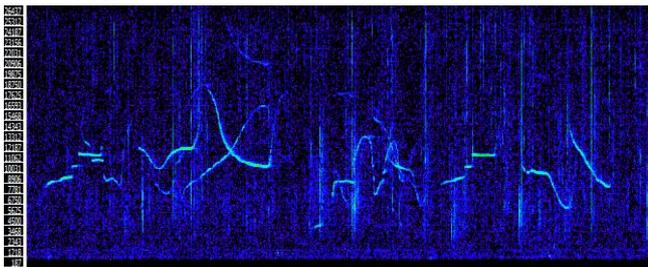


Figure 24 : Sifflements de Delphinidés émis entre 2 kHz et 25 kHz. Source : Quiet-Oceans.

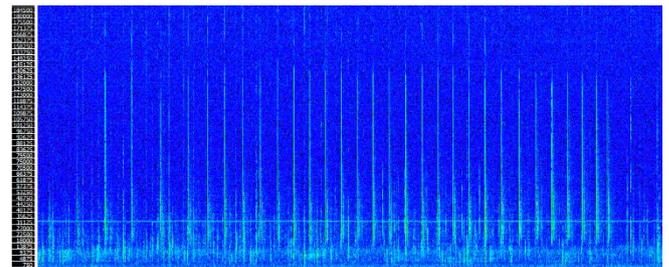
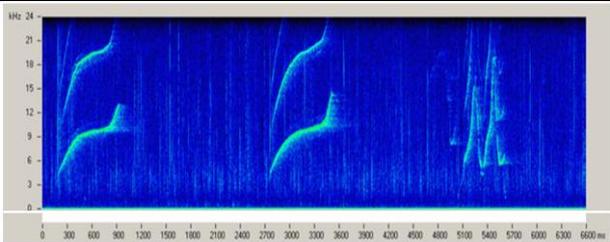


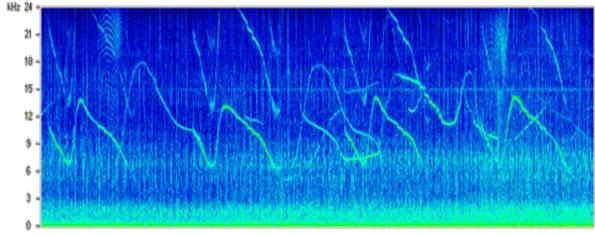
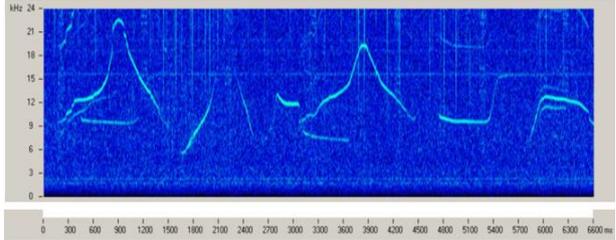
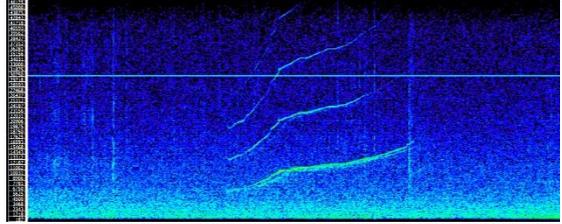
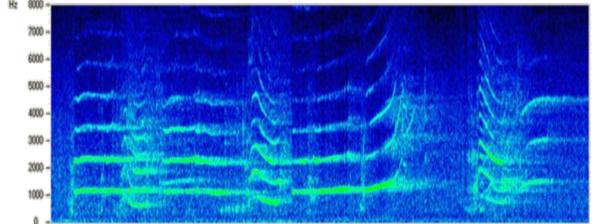
Figure 25 : Clics de Delphinidés émis entre 10 kHz et 180 kHz. Source : Quiet-Oceans.

Tableau 15 : Exemple de la diversité de sifflements émis par les Delphinidés avec le spectrogramme des émissions des espèces supposées présentes au large de Courseulles-sur-Mer.

Espèce	Bande de fréquence	Spectrogramme
Grand dauphin ( <i>Tursiops truncatus</i> )	5 à 25 kHz	 <a href="http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html">http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html</a>

<sup>1</sup> La classification permet d'associer l'espèce animale correspondante à un signal biologique.

<sup>2</sup> Evènement renseignant les Delphinidés sur le milieu dans lequel ils évoluent mais également indicateur d'une quête de nourriture.

Espèce	Bande de fréquence	Spectrogramme
Dauphin bleu-et-blanc ( <i>Stenella coeruleoalba</i> )	3.5 à 28.5 kHz	 <a href="http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html">http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html</a>
Dauphin commun ( <i>Delphinus delphis</i> )	Variation géographique mais en moyenne entre 5 et 20 kHz	 <a href="http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html">http://www-3.unipv.it/cibra/edu_dolphins_uk.html</a>
Globicéphale noir ( <i>Globicephala melas</i> )	4.2 à 8.9 kHz	 Source : Quiet-Oceans
Orque ( <i>Orcinus orca</i> )	1 à 20 kHz	 <a href="http://www-3.unipv.it/cibra/edu_occasional_uk.html">http://www-3.unipv.it/cibra/edu_occasional_uk.html</a>

#### 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 26) mais également pour l'écholocation (Figure 27).

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

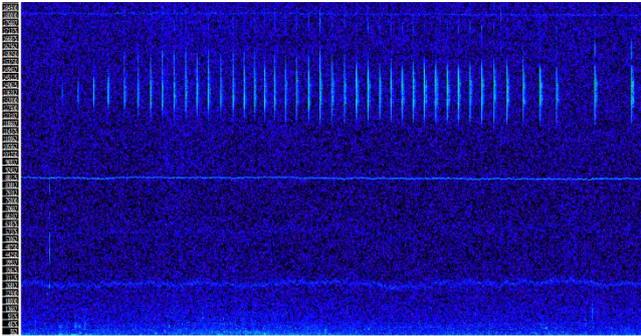


Figure 26 : Clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, émis dans la bande fréquentielle allant de 110 à 150 kHz.

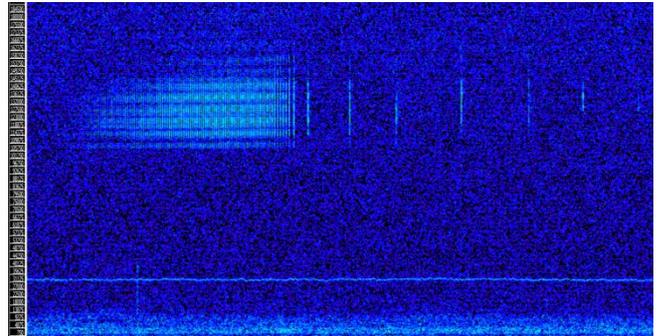


Figure 27 : Clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, lors d'une activité de chasse (clics d'écholocalisation).

#### VI.1.3.c. Sons émis par les Balénoptéridés

Les Balénoptéridés se caractérisent acoustiquement par des signaux émis en basses fréquences, entre 0 Hz et 4 kHz. Tandis que la plupart de ces signaux acoustiques sont transitoires et sont connus sous le nom de mugissements (Figure 28), certains signaux sont spécifiques à l'espèce émettrice comme, par exemple, les trains de pulses (signaux impulsifs basse fréquence) émis par le Petit Rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) dans la bande fréquentielle allant de 50 à 400 Hz (Risch et al., 2013; Todd et al., 2015). Un train de pulse dit « slow-down » voit son IPI (« Inter-Pulse Interval ») augmenter vers la fin de son émission (Figure 29). A noter qu'actuellement, la fonction comportementale de ces trains de pulses est inconnue.

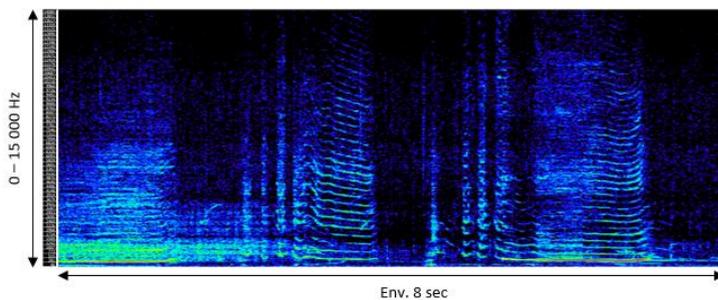


Figure 28 : Mugissements de Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) à 400 Hz. Source : Quiet-Oceans.

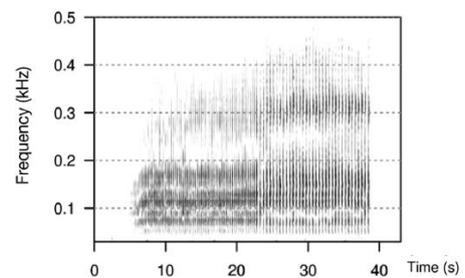


Figure 29 : Train de pulse « slow-down » émis par un Petit Rorqual, *Balaenoptera acutorostrata* (Risch, et al., 2013).

#### VI.1.3.d. Sons émis par les Phocidés

Les sons émis par les Phocidés, et plus particulièrement par le Phoque gris (*Halichoerus grypus*) et le Phoque veau marin (*Phoca vitulina*) sont, à ce jour, peu documentés dans la littérature scientifique.

Le Phoque gris, *Halichoerus grypus*, reste connu comme étant le moins vocal de la famille des Phocidés. Il émet des clics (signaux impulsifs) dans la bande fréquentielle allant de 0.2 à 12 kHz ainsi que différents grognements (signaux modulés) dans la bande de fréquence allant de 0.1 et 5 kHz et dont le pic fréquentiel d'émission est compris entre 100 et 400 Hz (Figure 30) (Asselin et al., 1993; McCulloch, 1999; Schusterman et al., 1970; Todd et al., 2015). Selon la communauté scientifique, l'ensemble de ces vocalisations ne seraient produites que lors d'interactions sociales entre individus.

Concernant le Phoque veau marin, *Phoca vitulina*, le mâle émet des signaux impulsifs dont le taux de répétition est si rapide et si fort que cela sonne comme un rugissement. Ce rugissement est émis dans les basses

fréquences, aux alentours de 1 200 Hz (Figure 31) durant la saison des amours pour attirer la femelle ou entrer en compétition avec d'autres mâles (Schusterman et al., 1970).

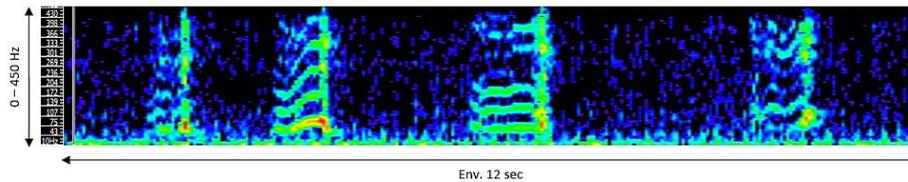


Figure 30: Grognements de Phoque gris (*Halichoerus grypus*) émis entre 50 Hz et 400 Hz. Source : NOAA.

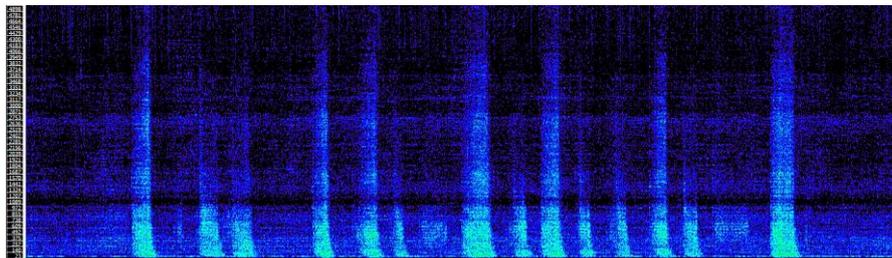


Figure 31 : Rugissements de Phoque veau marin (*Phoca vitulina*) émis entre 25 Hz et 1500 Hz. Source : Quiet-Oceans.

## VI.2. Portée de détection des enregistreurs acoustiques

Pour certaines des espèces potentiellement présentes au large de Courseulles-sur-Mer (cf. VI.1.2. ), 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 $\mu$ 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 $\mu$ 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 $\mu$ 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 $\mu$ 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 des signaux des espèces autour de l'hydrophone. En effet, plus le bruit environnant est élevé, plus il est difficile de capter le son d'un animal lointain. De même, plus l'espèce émet un son fort, plus il sera possible de capter ses sons à de grandes distances. Enfin, plus les sons des mammifères marins sont absorbés par le milieu marin, plus il sera difficile de capter un son lointain. La connaissance de ces paramètres permet donc d'estimer les portées de détection pour chacune des espèces étudiées. Ces paramètres sont calculés (1) à partir du bruit ambiant mesuré par les enregistreurs acoustiques et (2) par modélisation des signaux des espèces recensées pour différentes situations environnementales représentatives de la période de mesure. Le calcul du rapport signal (des espèces) sur bruit (ambiant) permet alors d'évaluer les distances de détection.

Les Tableau 16 et Tableau 17 synthétisent les statistiques des distances de détection respectives aux périodes estivales et automnales 2021. Les portées de détection sont fournies pour différentes proportions de temps (95%, 50%, etc...) et pour chaque zone d'étude comportant au moins un enregistreur acoustique (R1 et R2). En effet, les systèmes autonomes C-POD ne permettant pas de mesurer le bruit ambiant, l'estimation des portées

de détection depuis ces systèmes n'est donc pas réalisable. Les résultats obtenus aux périodes estivale (Tableau 16) et automnale (Tableau 17) mettent en évidence une différence significative de portée de détection entre les différentes espèces de Delphinidés. Cette différence peut être expliquée d'une part, par l'écart entre les niveaux d'émission de chaque espèce et d'autre part, par l'intensité du bruit existant dans la bande de fréquence spécifique du signal bioacoustique de l'espèce considérée. Pour rappel, aucune donnée n'a été enregistrée à l'emplacement R1 durant la saison automnale suite à une défaillance technique du matériel (cf.III.2.2. ). Il n'a donc pas été possible d'estimer les portées de détections à cet emplacement entre septembre et octobre 2021.

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 16 : Synthèse des portées de détection pour les zones d'études R1 et R2 en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes au large de Courseulles-sur-Mer (saison estivale 2021).**

Famille	Espèce	Zone	Portée de détection (m)				
			Proportion du temps (%)				
			95	75	50	25	5
Delphinidés	<b>Grand dauphin</b> <i>Tursiops truncatus</i>	R1	12335	18464	20669	22564	27664
		R2	41	452	1188	1692	2516
	<b>Dauphin bleu et blanc</b> <i>Stenella coeruleoalba</i>	R1	1848	2395	2588	2768	3416
		R2	14	177	287	340	402
	<b>Dauphin commun</b> <i>Delphinus delphis</i>	R1	222552	310696	342559	372072	463613
		R2	2015	19577	32486	39771	48210
	<b>Globicéphale noir</b> <i>Globicephala melas</i>	R1	481645	828669	993736	1156653	1540619
		R2	2139	22560	47911	67328	101584

**Tableau 17 : Synthèse des portées de détection pour les zones d'études R1 et R2 en fonction de certaines espèces de mammifères marins potentiellement présentes au large de Courseulles-sur-Mer (saison automnale 2021).**

Famille	Espèce	Zone	Portée de détection (m)				
			Proportion du temps (%)				
			95	75	50	25	5
Delphinidés	<b>Grand dauphin</b> <i>Tursiops truncatus</i>	R1	Absence de données				
		R2	89	715	1157	1541	2179
	<b>Dauphin bleu et blanc</b> <i>Stenella coeruleoalba</i>	R1	Absence de données				
		R2	10	114	234	285	351
	<b>Dauphin commun</b> <i>Delphinus delphis</i>	R1	Absence de données				
		R2	7656	23900	30208	35507	43767
	<b>Globicéphale noir</b> <i>Globicephala melas</i>	R1	Absence de données				
		R2	12487	36079	49813	64721	91234

### VI.3. Procédé de traitement bioacoustique

Le 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.

Chaque enregistreur permet la détection des signatures acoustiques des mammifères marins dans un périmètre plus ou moins étendu en fonction de l'espèce autour du capteur. Etant donné le dispositif, il n'est pas possible de localiser l'espèce détectée. De plus, étant donné, le plan d'échantillonnage des capteurs déployés (plusieurs kilomètres entre les points de mesure), et les propriétés de chaque capteur (absence de pps) aucune méthode de triangulation n'est applicable pour localiser l'espèce.

#### VI.3.1. Données issues d'un enregistreur acoustique

Le traitement bioacoustique de la donnée recueillie par les enregistreurs acoustiques consiste à détecter les signaux biologiques dans les données acoustiques brutes (au format audio WAV) à l'aide d'un logiciel dédié, puis à réaliser le contrôle et l'analyse des résultats obtenus via une validation manuelle des événements sonores détectés (Figure 32).

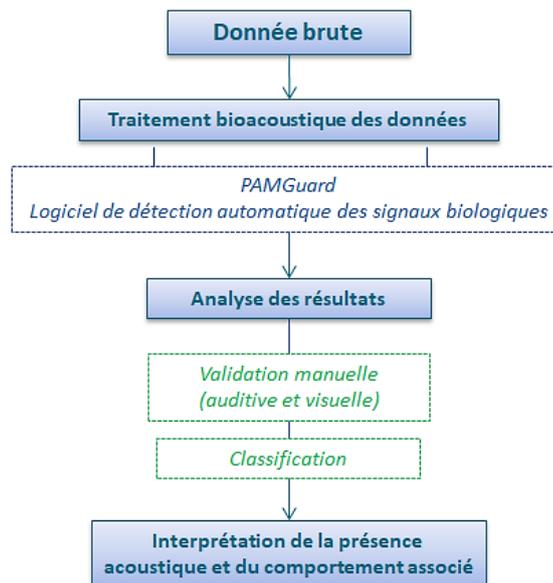


Figure 32 : Procédure générale appliquée à la donnée brute pour le traitement bioacoustique des enregistrements sonores.

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

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

A noter que dans la donnée recueillie par les enregistreurs acoustiques pour ce projet, un bruit électronique est continuellement présent à 75 kHz et 175 kHz. Ce bruit, ou artefact, est représenté par un signal continu sur les spectrogrammes et est associé à l'enregistreur acoustique lui-même. Il ne représente pas un obstacle à la détection automatique des signaux bioacoustiques recherchés.

##### i. Détection des signaux biologiques transitoires

Dans le cadre de cette étude, deux détecteurs de signaux transitoires ont été créés et calibrés afin de permettre la détection de signaux transitoires d'origine biologique de type « sifflement » émis par les Delphinidés et de type « grognement » émis par le Phoque gris (*Halichoerus grypus*). Ces détecteurs permettent la détection de signaux transitoires allant respectivement de 2 à 20 kHz, bande fréquentielle couvrant les différentes variétés d'émissions de sifflements par les Delphinidés, et de 200 à 800 Hz pour les grognements de Phoque gris.

A noter, la difficulté des algorithmes de détection automatique à détecter des signaux biologiques en basses fréquences à encourager la recherche manuelle des rugissements de Phoque veau-marin (*Phoca vitulina*) et des trains de pulses de Petit Rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) dans l'ensemble des données récupérées.

#### 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, et les Phocoenidés entre 100 et 150 kHz.

#### 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.

Cette validation est complétée par la réalisation d'une classification. Cette classification, ou reconnaissance taxonomique, fait intervenir des critères portant sur la gamme fréquentielle (fréquence de début et de fin des signaux, fréquences minimum et maximum, etc...) et la durée des vocalises, ainsi que sur le nombre de points d'inflexion et d'harmoniques permettant d'identifier le cétacé à l'origine des émissions transitoires.

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

Comme décrit dans la partie III.1.2. , 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 leur énergie à celle d'une bande de fréquences de référence.

Les fichiers bruts obtenus en sortie d'instrument sont traités via un logiciel spécifique fourni par le constructeur Chelonia Limited (Figure 33). 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.

Dans le cadre de cette étude, l'analyse des résultats bioacoustiques a été réalisée sur les détections ayant un indice de confiance élevé à modéré, comme préconisé dans le document de référence sur l'évaluation des impacts des parcs éoliens offshore allemands (Aumüller et al., 2013). 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.

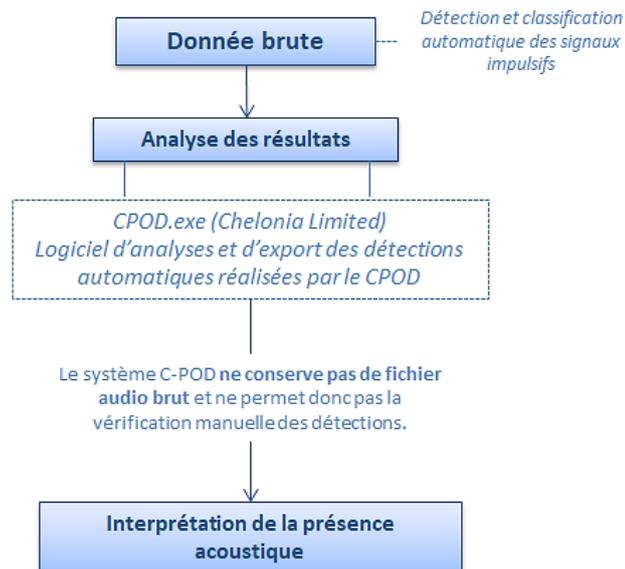


Figure 33 : Procédure générale appliquée aux données provenant d'un système autonome C-POD pour l'analyse bioacoustique.

#### VI.4. Résultats

La fréquentation saisonnière (été et automne 2021) de chaque zone par les mammifères marins a été établie sur l'ensemble des périodes d'écoute (périodes de l'ordre de 21 à 55 jours). Le Tableau 18 définit les indicateurs de présence permettant de caractériser le type de fréquentation aux alentours de chacune des stations de mesure, de l'absence à la présence quotidienne sur site. Cette fréquentation est établie de façon nominale pour chacune des stations de mesure, puis une synthèse étendue de la présence acoustique des mammifères marins sur site est présentée pour chacune des saisons été et automne 2021. Cette synthèse permet d'établir une inter-comparaison entre les stations de mesures à l'extérieur du parc éolien (R1 et R3) et la station de mesure dans la zone de concession (R2).

Tableau 18 : Définition des indicateurs de la fréquentation par les mammifères marins.

Statut de fréquentation	Caractéristiques	
	Périodes de détections	Taux de présence sur la période d'étude
Fréquente/quotidienne	Une période de détections minimum tous les 1 à 4 jours	> 70%
Régulière	Une période de détections minimum tous les 5 jours ou plus	50 à 70%
Occasionnelle	Périodes de détections irrégulières dans le temps	10 à 50%
Exceptionnelle	Une ou deux périodes de détections sur la période d'étude	< 10%
Absence	Absence de détection	0%

#### VI.4.1. Campagne été 2021

Pour rappel, un déploiement d'un système autonome C-POD a été réalisé au niveau de chaque point de suivi (R1, R2 et R3) du 08 juillet au 05 septembre 2021, ainsi qu'un déploiement d'un enregistreur acoustique au niveau des points de suivi R1 et R2 (zone de concession). Les systèmes autonomes C-POD enregistrent en continu. A l'inverse, les enregistreurs acoustiques réalisent des enregistrements de 03 minutes toutes les 10 minutes.

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

###### i. Famille des Delphinidés

#### A l'ouest du parc éolien (R1)

Suite à la vérification manuelle des détections automatiques réalisées par le logiciel PAMGuard, la Figure 34 représente les périodes de détections confirmées de clics et sifflements de Delphinidés dans la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique au niveau de R1 en fonction du jour et de l'heure ainsi que des transitions jour/nuit (08/07/2021 au 05/09/2021). Il apparaît que les Delphinidés sont régulièrement présents avec un taux de présence acoustique proche de 50%. En effet, 76 périodes de détections<sup>3</sup> de clics et sifflements ont été relevées sur 27 jours pour un total de 55 jours d'enregistrements. De manière générale, la détection des signatures acoustiques de Delphinidés a été réalisée en journée à hauteur de 67.1%.

Le comportement de ces cétacés est associé principalement à la socialisation/communication entre individus avec une présence majoritaire de sifflements dans les enregistrements, associés à des clics (Figure 35) et « buzzs » (Figure 36) émis entre 10 et 80 kHz. Quelques détections de clics d'écholocation entre 15 et 180 kHz (Figure 37) permettent de noter un comportement probable de sondage de l'environnement dans lequel les cétacés évoluent.

La Figure 38 représente les périodes de détections de clics de Delphinidés réalisées par le système autonome C-POD en fonction du jour et de la nuit au niveau de R1 entre le 08 juillet et 05 septembre 2021. Il apparaît que les Delphinidés sont très occasionnellement présents sur site avec un taux de présence acoustique de 11.9%. Seules 11 périodes de détections ont été relevées sur 7 jours pour un total de 55 jours d'enregistrements. Toutes ces détections ont été relevées en période diurne.

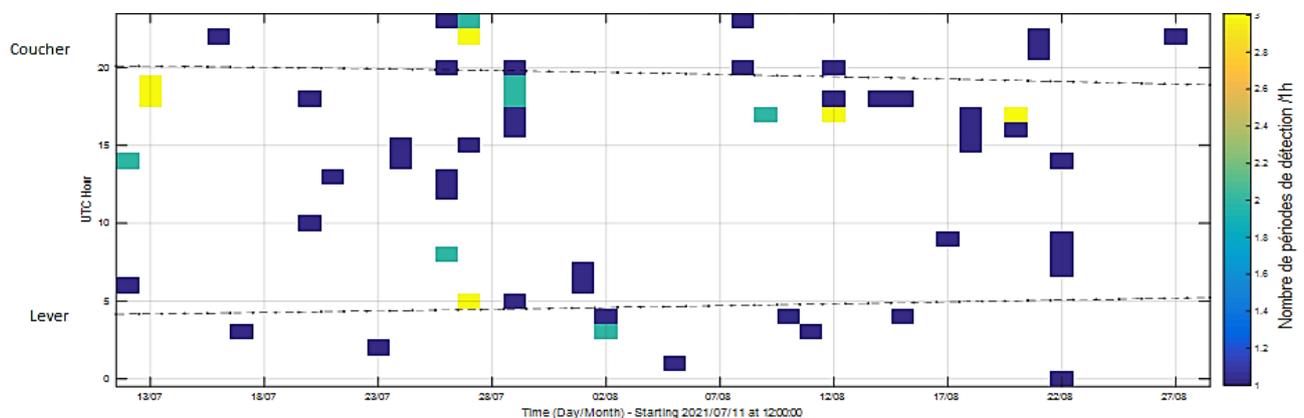


Figure 34 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit confirmées au niveau de R1 via enregistreur acoustique (08/07/2021 au 05/09/2021).

<sup>3</sup> Une période de détection correspond à la détection d'un ou plusieurs signaux biologiques sur une période de 03 min.

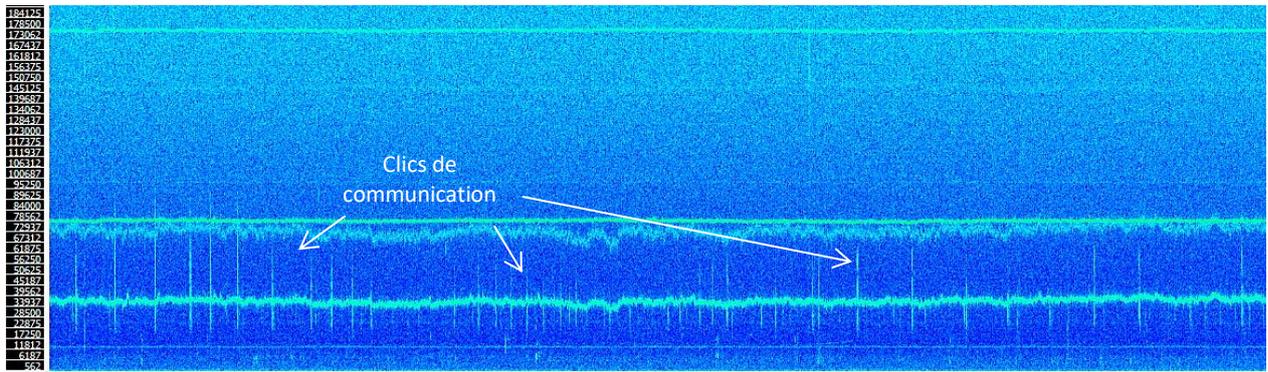


Figure 35 : Clics de Delphinidés émis entre 15 et 80 kHz associés à un comportement de communication entre individus, détectés le 29 juillet 2021 vers 18h21 UTC à proximité de R1.

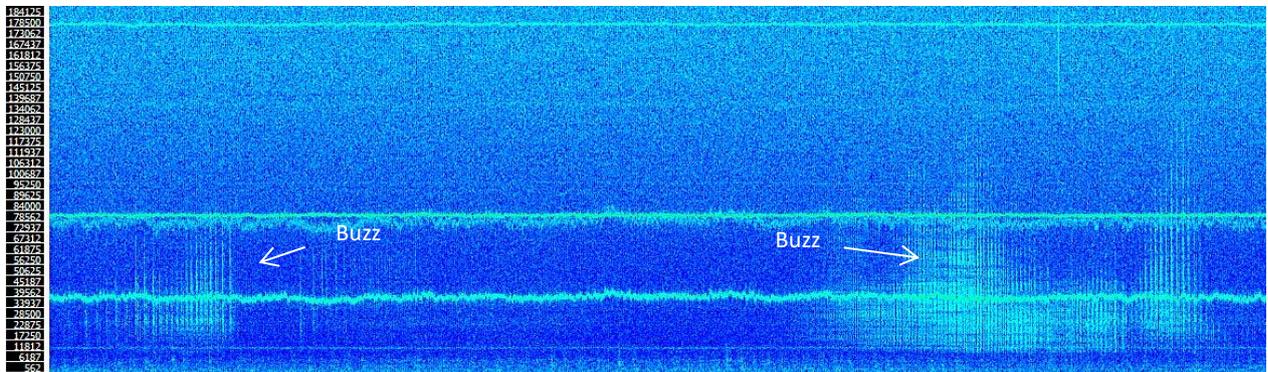


Figure 36: Buzes de Delphinidés émis entre 15 et 80 kHz associés à un comportement de communication entre individus, détectés le 17 juillet 2021 vers 03h01 UTC à proximité de R1.

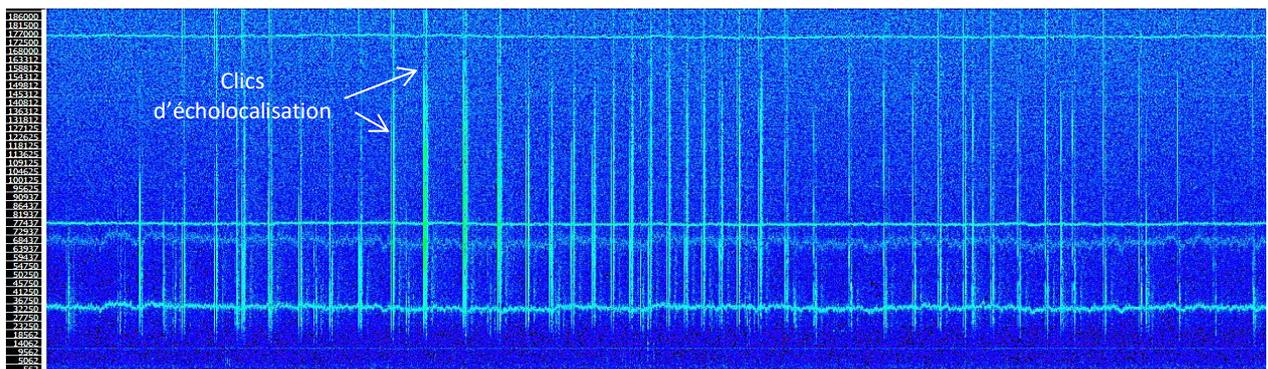


Figure 37 : Clics d'écholocalisation de delphinidés (env. 15 à 180 kHz) détectés sur la journée du 27 juillet 2021 vers 22h42 UTC à proximité de R1.

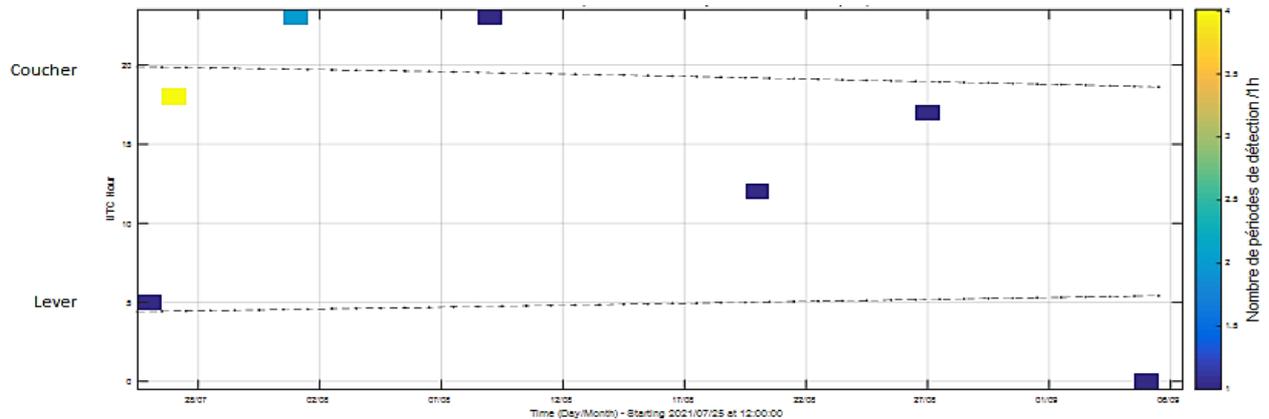


Figure 38 : Périodes de détections des clics de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R1 via système autonome C-POD (08/07/2021 au 05/09/2021).

### Zone de concession (R2)

Pour rappel, le point de suivi situé à l’emplacement R2 a été chaluté le 29 juillet 2021 après 16h13 UTC (cf.III.2.1. ). Après cette date, les données ne sont pas exploitables et l’analyse bioacoustique a donc été réalisée sur 21 jours d’enregistrement.

Au niveau du point de suivi R2, l’analyse des détections de clics et sifflements réalisées dans les enregistrements montre une fréquentation occasionnelle des Delphinidés du 08 juillet au 29 juillet 2021 (Figure 39) avec un taux de présence acoustique de 45.5%. En effet, 31 périodes de détections des signatures acoustiques de Delphinidés ont été relevées sur 10 jours pour un total de 21 jours d’enregistrements. Ces signatures acoustiques ont été observées en grande majorité en journée à hauteur de 74.2%, avec une différenciation au niveau des détections de clics qui ont été relevées durant la nuit.

Lors de l’analyse bioacoustique des résultats, un comportement de socialisation a été observé avec la présence majoritaire de sifflements dans les enregistrements et quelques clics émis entre 10 et 50 kHz (Figure 40). Toutefois, un comportement de communication acoustique intense supposant un épisode de chasse opportuniste a été relevé le 12 juillet 2021 avec la détection de « buzzs » et de nombreux clics d’écholocalisation entre 10 et 180 kHz, ainsi que l’observation d’un ICI variable (plus ou moins court) pour chaque train de clics détectés (Figure 41).

La Figure 42 représente les périodes de détections de clics de Delphinidés réalisées par le système autonome C-POD en fonction du jour et de la nuit au niveau de R2 entre le 08 et 29 juillet 2021. Les Delphinidés sont occasionnellement présents sur site avec un taux de présence acoustique de 18.2%. Seules 7 périodes de détections ont été relevées sur 4 jours pour un total de 21 jours d’enregistrements. La grande majorité des détections de clics ont été réalisées en journée à hauteur de 71.4%.

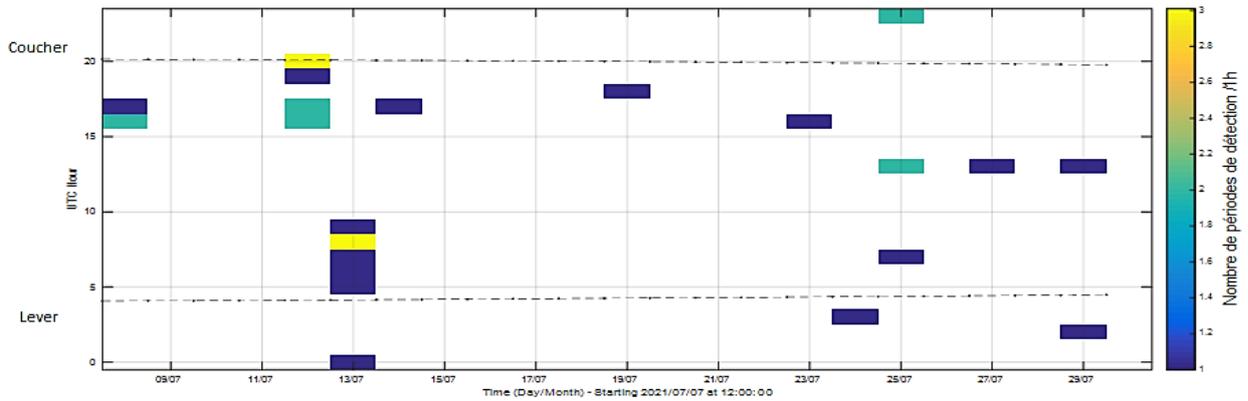


Figure 39 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit confirmées au niveau de R2 via enregistreur acoustique (08/07/2021 au 29/07/2021).

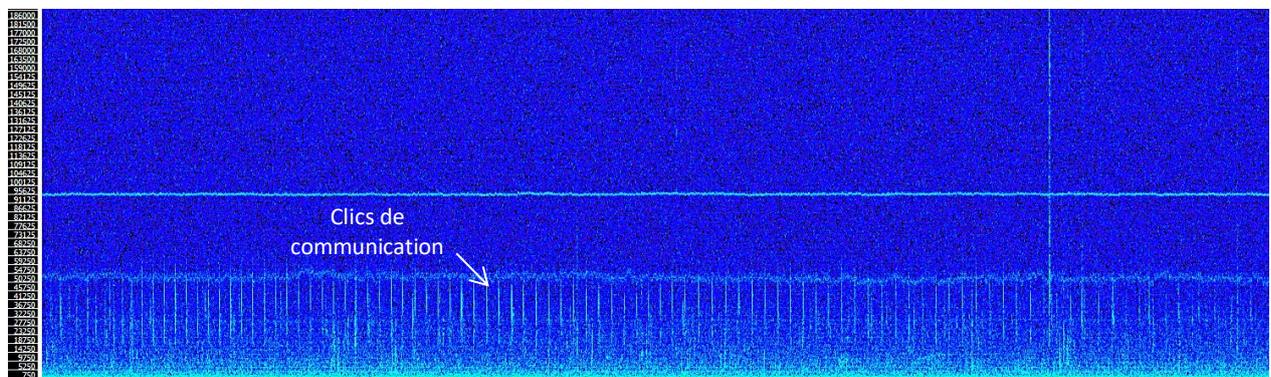


Figure 40 : Clics de Delphinidés émis entre 10 et 50 kHz associés à un comportement de communication entre individus, détectés le 25 juillet 2021 vers 23h00 UTC à proximité de R2.

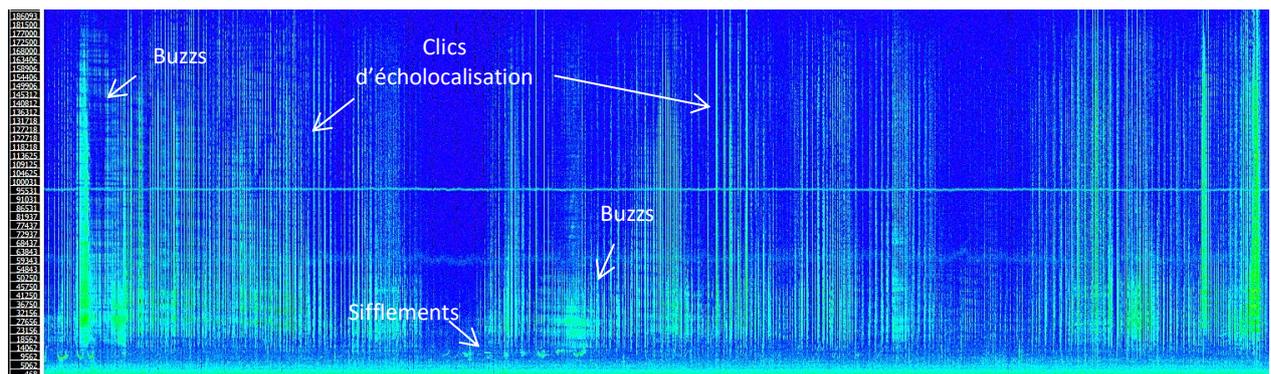


Figure 41 : Probable épisode de chasse observé lors de l'analyse bioacoustique des résultats concernant les Delphinidés à proximité de R2, le 12 juillet 2021 vers 20h50 UTC.

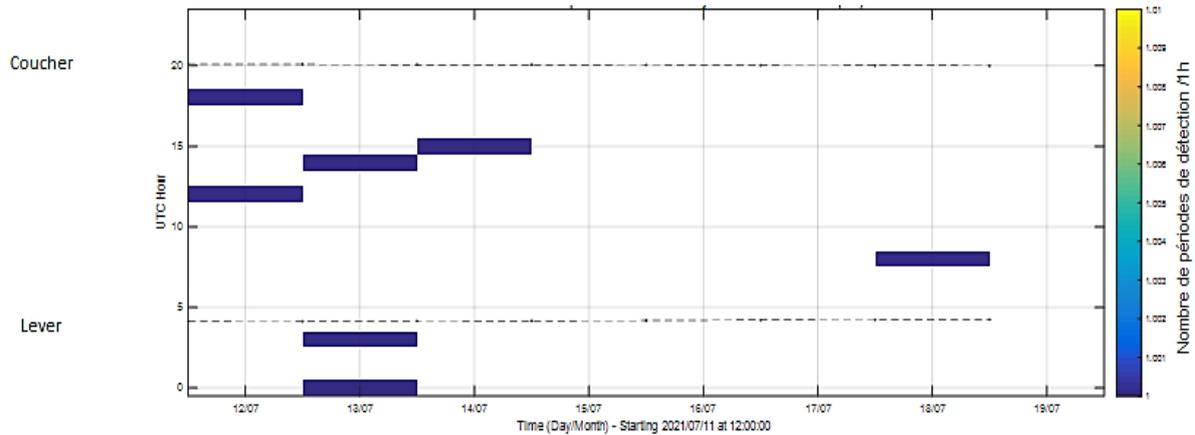


Figure 42 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R2 via système autonome C-POD (08/07/2021 au 29/07/2021).

### Au sud-est du parc éolien (R3)

La Figure 43 représente les périodes de détections de clics de Delphinidés réalisées par le système autonome C-POD en fonction du jour et de la nuit au niveau de R3 entre le 08 juillet et 05 septembre 2021. Il apparaît que les Delphinidés sont très occasionnellement présents sur site avec un taux de présence acoustique de 13.6%. Seules 13 périodes de détections ont été relevées sur 8 jours en août 2021, pour un total de 55 jours d'enregistrements entre juillet et septembre 2021. A noter que les détections de clics ont été principalement réalisées durant la nuit avec un taux de présence nocturne de 76.9%.

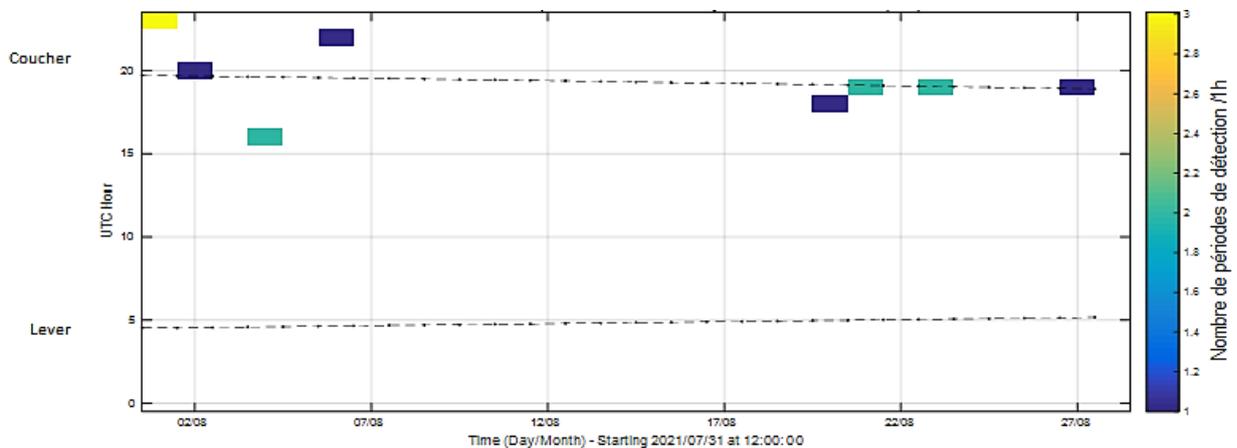


Figure 43 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R3 via système autonome C-POD (08/07/2021 au 05/09/2021).

### ii. Famille des Phocoenidés

#### A l'ouest du parc éolien (R1)

Au niveau du point de suivi R1, l'analyse des détections de clics réalisées dans les enregistrements montre une fréquentation régulière des Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, du 08 juillet au 05 septembre 2021 (Figure 44) avec un taux de présence acoustique de 58.2%. En effet, 74 périodes de détections des signatures acoustiques de Marsouins communs ont été réalisées sur 32 jours pour un total de 55 jours d'enregistrements. Ces signatures acoustiques ont été observées principalement durant la période diurne à hauteur de 62.2%.

Bien que le comportement dominant mis en évidence par les détections de clics soit un comportement de socialisation/communication (Figure 45), quelques rares détections de trains de clics permettent de supposer un probable comportement de recherche de nourriture/chasse opportuniste suite à l'observation d'un intervalle de temps entre chaque clic (ICI) variable et de courte durée (Figure 46). A noter que la plupart des clics détectés sont de faible densité et intensité.

La Figure 47 représente les périodes de détections de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés par le système autonome C-POD en fonction du jour et de la nuit au niveau de R1 entre le 08 juillet et 05 septembre 2021. Il apparaît que les Marsouins communs sont quotidiennement présents sur site avec un taux de présence acoustique de 86.4%. En effet, 282 périodes de détections de clics ont été réalisées sur 51 jours pour un total de 55 jours d'enregistrements. Ces détections ont été relevées en grande majorité en période diurne à hauteur de 60.6%.

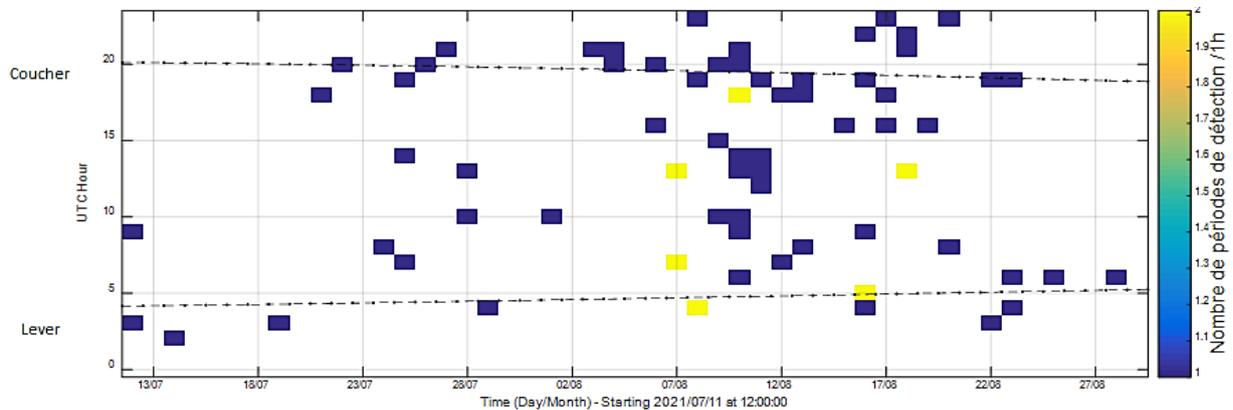


Figure 44 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, en fonction du jour et de la nuit confirmées au niveau de R1 via enregistreur acoustique (08/07/2021 au 05/09/2021).

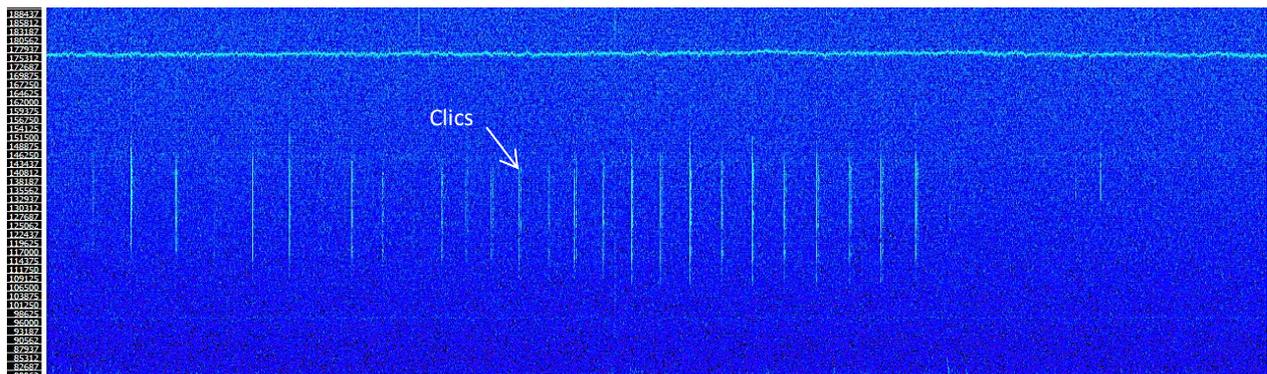


Figure 45 : Trains de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 150 kHz détectés le 22 août 2021 vers 03h31 UTC au niveau de R1.

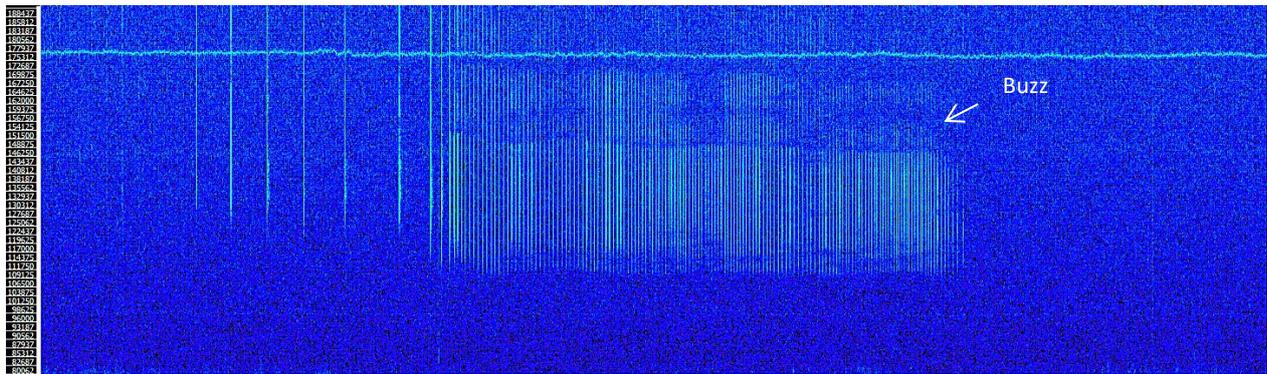


Figure 46 : Train de clics et buzz de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 180 kHz traduisant un probable comportement de chasse opportuniste. Journée du 23 août 2021 à 06h01 UTC au niveau de R1.

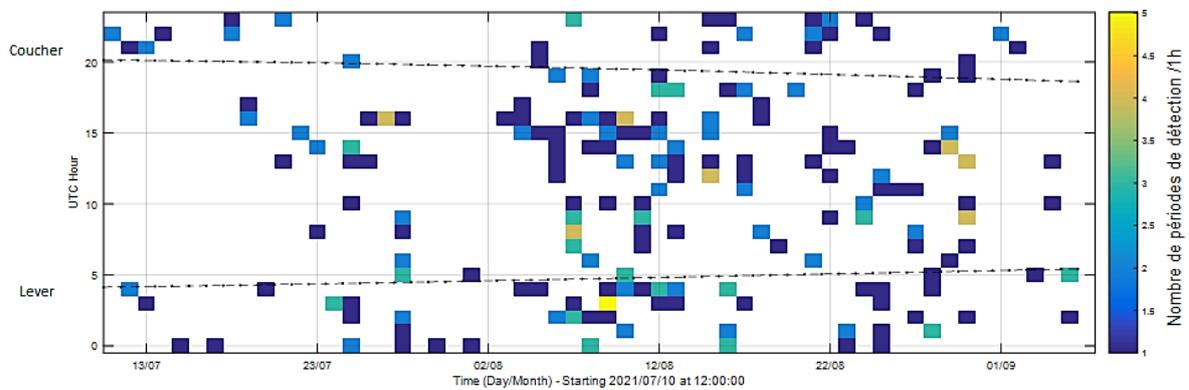


Figure 47 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R1 via système autonome C-POD (08/07/2021 au 05/09/2021).

### Zone de concession (R2)

Pour rappel, le point de mesure situé à l’emplacement R2 a été chaluté le 29 juillet 2021 après 16h13 UTC (cf. III.2.1. ). Après cette date, les données ne sont pas exploitables et l’analyse bioacoustique a donc été réalisée sur 21 jours d’enregistrement.

La Figure 48 représente les périodes de détections de clics de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*) confirmées dans la donnée recueillie par l’enregistreur acoustique entre le 08 et 29 juillet 2021 au niveau de R2. Il apparaît que les Marsouins communs sont occasionnellement présents avec 19 périodes de détections confirmées sur 10 jours pour un total de 21 jours d’enregistrements, soit un taux de présence acoustique de 45.5%. De manière générale, la détection des clics a été constatée indépendamment des heures de la journée. Aucune période préférentielle de passage n’a donc pu être établie pour la présence des Phocoenidés qui sont autant présents de jour comme de nuit à proximité de la zone R2. La socialisation/communication est le comportement dominant observé lors de l’analyse bioacoustique des clics détectés avec la présence de trains de clics émis entre 110 et 160 kHz (Figure 49) et de quelques buzzs (Figure 50). A noter que dans la plupart des détections, les clics sont de faible densité et intensité et supposent alors un passage lointain des Marsouins communs par rapport à la zone R2.

La Figure 51 représente les périodes de détections de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, réalisées par le système autonome C-POD au niveau de R2 entre le 08 et 29 juillet 2021. Il apparaît que les Marsouins communs sont régulièrement présents sur site avec un taux de présence acoustique de 63.6%. En

effet, 32 périodes de détections de clics ont été réalisées sur 14 jours pour un total de 21 jours d'enregistrements. Ces détections ont été relevées en grande majorité en période diurne à hauteur de 62.5%.

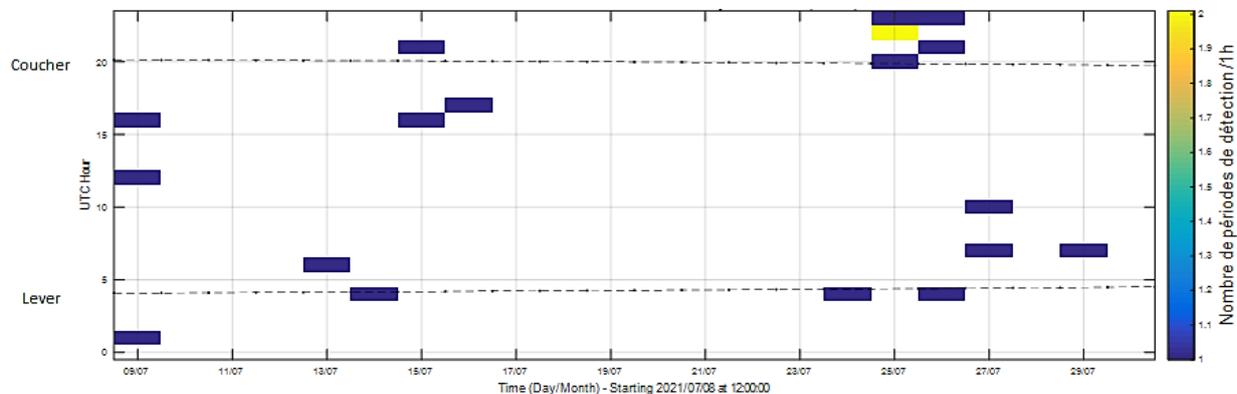


Figure 48 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, en fonction du jour et de la nuit confirmées au niveau de R2 via enregistreur acoustique (08/07/2021 au 29/07/2021).

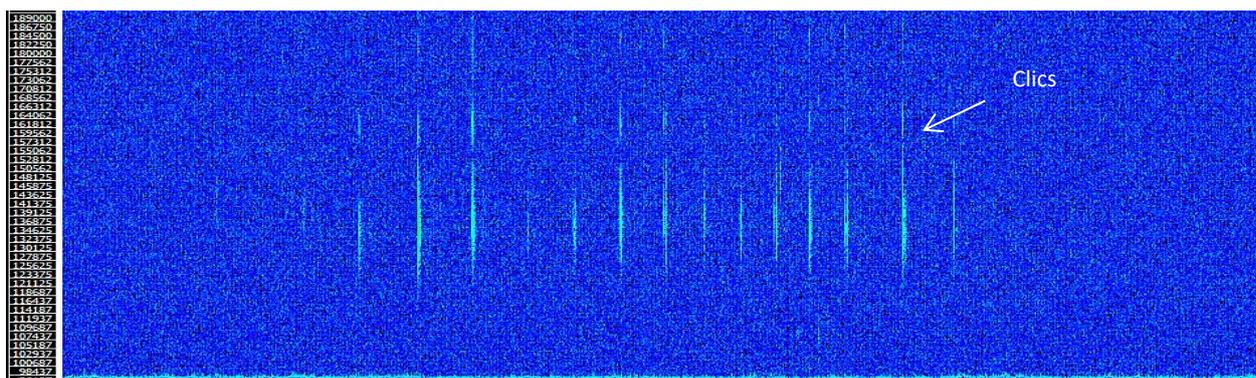


Figure 49 : Trains de clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 160 kHz le 14 juillet 2021 vers 04h30 UTC au niveau de R2.

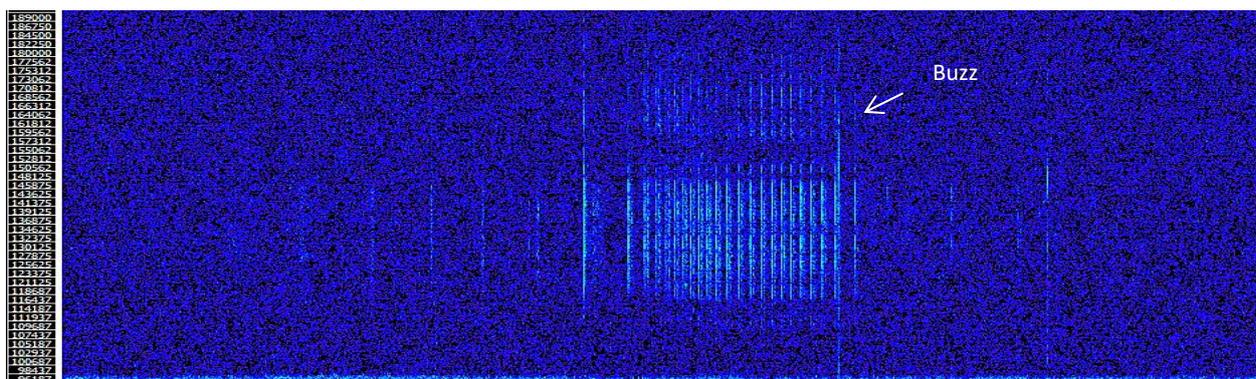


Figure 50 : Buzz de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détecté entre 110 et 150 kHz sur la journée du 15 juillet 2021 à 16h10 UTC au niveau de R2.

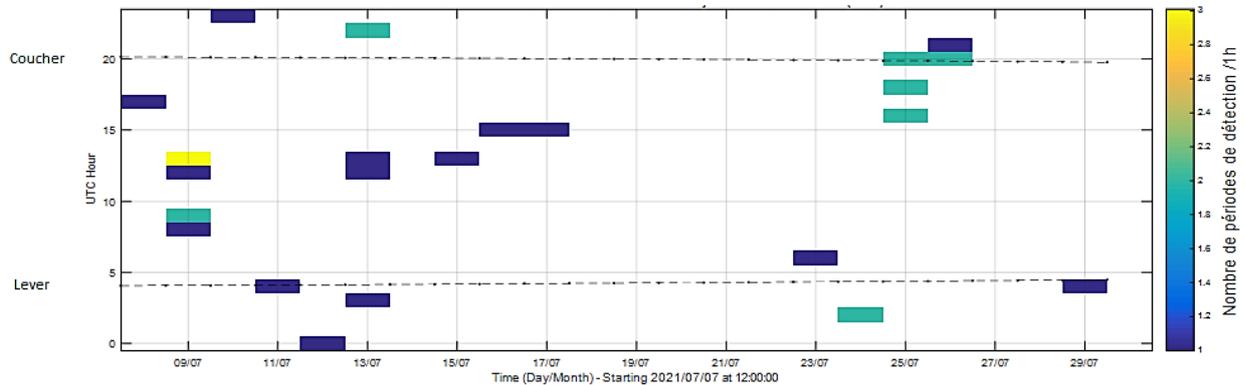


Figure 51 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, en fonction du jour et de la nuit au niveau de R2 via système autonome C-POD (08/07/2021 au 29/07/2021).

### Au sud-est du parc éolien (R3)

Au niveau du point de suivi R3, le système autonome C-POD permet de mettre en évidence la présence acoustique quotidienne des Marsouins communs entre le 08 juillet et 05 septembre 2021 avec au minimum une détection de clics par jour d'enregistrement (Figure 52). Ces détections ont été réalisées principalement en journée, avec un taux de présence acoustique diurne de 62.4%.

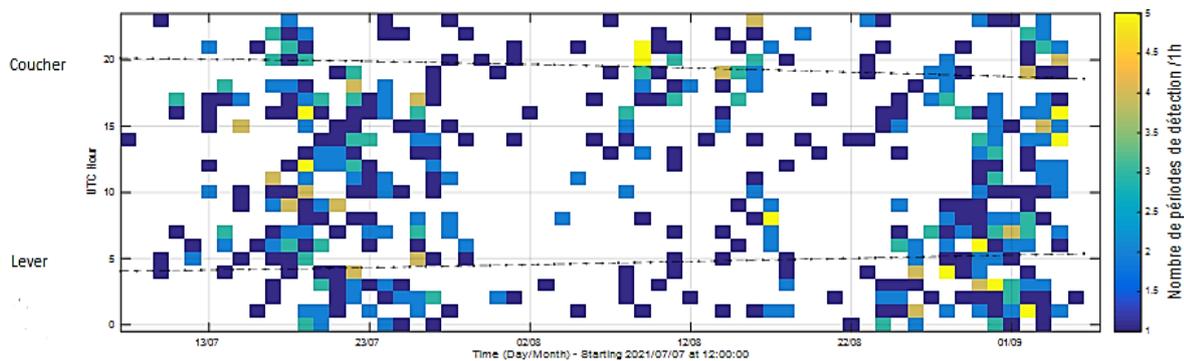


Figure 52 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, en fonction du jour et de la nuit au niveau de R3 via système autonome C-POD (08/07/2021 au 05/09/2021).

### iii. Famille des Balénoptéridés et des Phocidés

#### A l'ouest du parc éolien (R1)

Suite à l'analyse bioacoustique de la donnée de l'enregistreur acoustique positionné au niveau de R1, une probable détection de grognements émis par un Phoque gris (*Halichoerus grypus*) a été réalisée sur la journée du 10 juillet 2021 vers 16h51 UTC (Figure 53). Les caractéristiques acoustiques de ces grognements sont les suivantes :

- ✓ Signaux transitoires ;
- ✓ Fréquence fondamentale à 100 Hz ;
- ✓ Harmoniques jusqu'à 800 Hz.

Le Petit Rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) et le Phoque veau-marin (*Phoca vitulina*) sont considérés acoustiquement absents entre le 08 juillet et 05 septembre 2021 au niveau de R1, aucune détection de leur signature acoustique n'ayant été relevée.

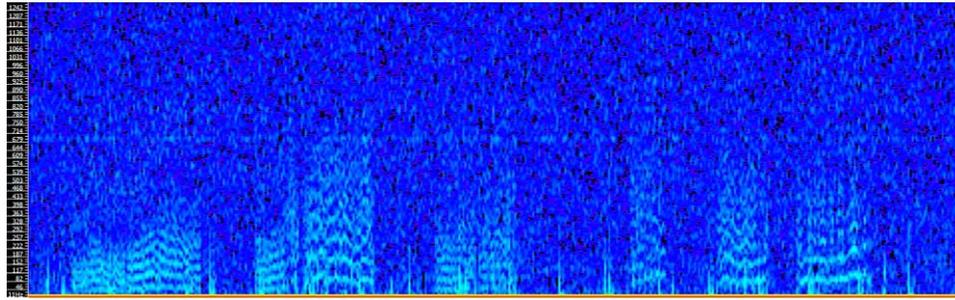


Figure 53 : Probables grognements de Phoque gris (*Halichoerus grypus*) détectés entre 100 et 800 Hz le 10 juillet 2021 vers 16h51 UTC à proximité de R1.

### Zone de concession (R2)

Lors de l'analyse bioacoustique de la donnée de l'enregistreur acoustique positionné au niveau de R2, deux probables périodes de détections de grognements émis par un Phoque gris (*Halichoerus grypus*) ont été réalisées les 25 et 27 juillet 2021 respectivement à 10h21 UTC (Figure 54) et 12h10 UTC (Figure 55). Les caractéristiques acoustiques de ces grognements sont les suivantes :

- ✓ Signaux transitoires ;
- ✓ Fréquence fondamentale à 100 Hz ;
- ✓ Harmoniques jusqu'à 1 kHz.

Le Petit Rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) et le Phoque veau-marin (*Phoca vitulina*) sont considérés acoustiquement absents entre le 08 et 29 juillet 2021 au niveau de R2, aucune détection de leur signature acoustique n'ayant été relevée.

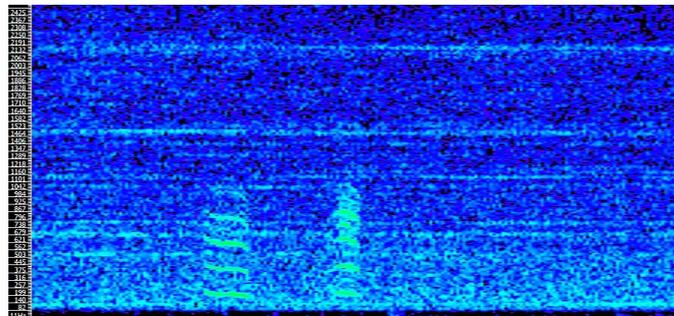


Figure 54 : Probables grognements de Phoque gris (*Halichoerus grypus*) détectés entre 100 Hz et 1 kHz le 25 juillet 2021 vers 10h21 UTC à proximité de R2.

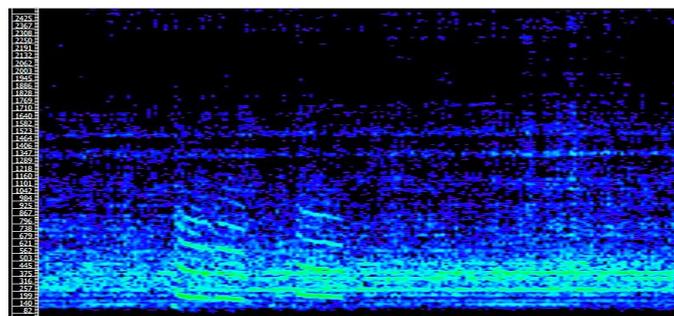


Figure 55 : Probables grognements de Phoque gris (*Halichoerus grypus*) détectés entre 100 Hz et 1 kHz le 27 juillet 2021 vers 12h10 UTC à proximité de R2.

#### VI.4.1.b. Comportements observés

Sur la période de mesure estivale allant du 08 juillet au 05 septembre 2021, l'analyse des enregistrements qui contiennent des contacts acoustiques de Delphinidés indiquent de manière générale des comportements de socialisation au niveau des points de suivi R1 et R2 par la présence majoritaire de sifflements entre 2 et 25 kHz et de clics entre 15 et 80 kHz. Seul un épisode de chasse opportuniste a été mis en évidence au niveau de R2 avec le caractère écholocatif de certains clics associés à des buzzs (cf. Figure 41).

Concernant les Phocoenidés, l'analyse des clics détectés entre 110 et 150 kHz sur la période du 08 juillet au 05 septembre 2021 a permis de noter également un comportement dominant de socialisation au niveau des points de suivi R1 et R2. Une analyse détaillée de l'ensemble des contacts acoustiques a permis de noter quelques probables comportements de chasse opportuniste au niveau de R1. Toutefois, ces comportements de chasse sont peu marqués sur l'ensemble de la période analysée.

#### 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 (cf. VI.3.1.b. ). Après analyse des caractéristiques acoustiques des sifflements détectés, il a été possible d'identifier des sifflements émis par :

- ✓ Le Grand Dauphin, *Tursiops truncatus*, entre 5 et 16 kHz (Figure 56);
- ✓ Le Dauphin commun, *Delphinus delphis*, entre 7 et 18 kHz (Figure 57).

Il apparaît que le Dauphin commun est l'espèce prédominante dans l'ensemble de la donnée enregistrée au niveau de chacun des points de suivi, R1 et R2.

Même si toutes les espèces de Delphinidés n'ont pas pu être identifiées avec certitude, pour cause de faible intensité sonore de la plupart des sifflements détectés rendant les caractéristiques acoustiques peu visibles, il est possible d'affirmer leur appartenance au genre dauphin *sp.*

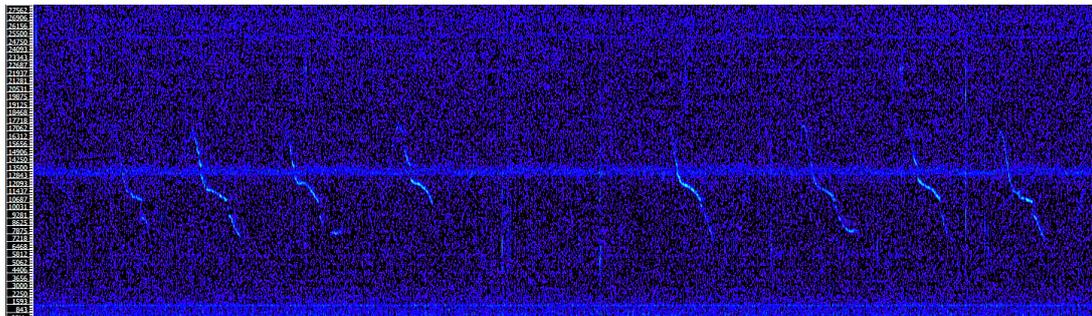


Figure 56 : Probables sifflements émis par le Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*) entre 5 et 16 kHz, le 13 juillet 2021 vers 18h30 UTC au niveau de R1.

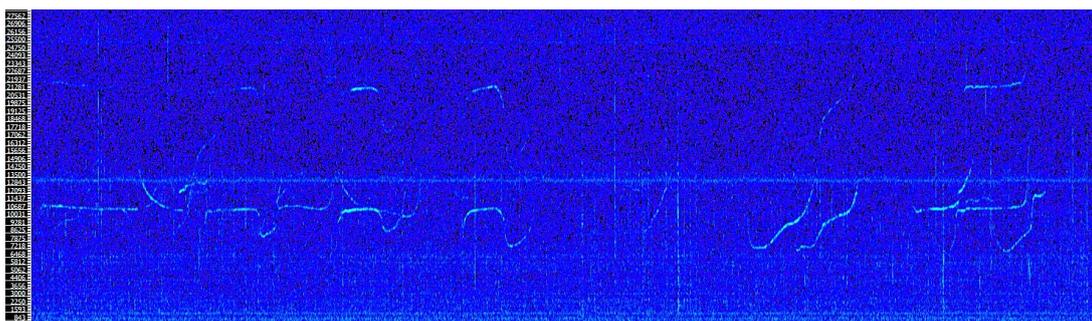


Figure 57 : Sifflements émis par le Dauphin commun (*Delphinus delphis*) entre 7 et 18 kHz, le 29 juillet 2021 vers 17h50 UTC au niveau de R1.

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

Le Tableau 19 synthétise les résultats obtenus via les enregistreurs acoustiques (enregistrement 30% du temps soit 3 minutes toutes les 10 minutes) et les systèmes autonomes C-POD (enregistrement en continu) quant à la présence de mammifères marins au niveau de chaque point de suivi entre le 08 juillet et 05 septembre 2021 durant les périodes actives d'enregistrement :

- ✓ La zone d'étude située à l'ouest du parc éolien, soit au niveau du point de suivi R1, apparaît comme l'emplacement le plus fréquenté par les mammifères marins avec respectivement des fréquentations régulière et quotidienne de Delphinidés et Phocoenidés ;
- ✓ La zone d'étude située dans la zone du parc éolien, soit au niveau du point de suivi R2, est régulièrement fréquentée par les Marsouins communs tandis que la présence de Delphinidés sur cette zone est occasionnelle. A noter que la fréquentation au niveau de ce point de suivi a été déterminée sur un nombre de jours minimal (21 jours) suite à un chalutage des deux systèmes acoustiques sur la journée du 29 juillet 2021 (cf.III.2.1. ) ;
- ✓ La zone d'étude située au sud-est du parc éolien, soit au niveau du point de suivi R3, est quotidiennement fréquentée par les Marsouins communs et occasionnellement fréquentée par les Delphinidés.

De manière générale, les Phocoenidés apparaissent comme étant les mammifères marins fréquentant le plus souvent chacune des zones d'études. Ces derniers sont moins présents au niveau de la zone de concession (R2) avec un taux de présence acoustique compris entre 10 et 70%, tandis que sur les zones à l'ouest (R1) et au sud-est (R3) du parc éolien, leur présence acoustique est supérieure à 70%.

A noter que le comportement prédominant des Delphinidés et des Phocoenidés sur chacune des zones est associé à la socialisation.

Quant aux espèces basses fréquences, leur présence acoustique est considérée exceptionnelle à l'ouest du parc éolien (R1) et dans la zone du parc éolien (R2) avec un total de trois périodes de détection de grognements émis par un Phoque gris (*Halichoerus grypus*).

**Tableau 19 : Synthèse des résultats quant à la présence de mammifères marins en saison estivale (08/07/2021 au 05/09/2021). Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée des enregistreurs acoustiques (enregistrement de 03 minutes toutes les 10 minutes) et des C-POD (enregistrement en continu).**

	Fréquentation du site					Comportement	
	R1		R2		R3	R1	R2
	Enregistreur	C-POD	Enregistreur	C-POD	C-POD	Enregistreur	Enregistreur
Delphinidés	Régulière	Occasionnelle	Occasionnelle	Occasionnelle	Occasionnelle	Socialisation	Socialisation/unique épisode de chasse
Phocoenidés	Régulière	Quotidienne	Occasionnelle	Régulière	Quotidienne	Socialisation	Socialisation

	Fréquentation du site					Comportement	
	R1		R2		R3	R1	R2
	Enregistreur	C-POD	Enregistreur	C-POD	C-POD	Enregistreur	Enregistreur
Espèces basses fréquences	Exceptionnelle	N/A <sup>4</sup>	Exceptionnelle	N/A	N/A	N/A	N/A

#### VI.4.2. Campagne automne 2021

Pour rappel, un déploiement d'un système autonome C-POD a été réalisé dans chaque zone (R1, R2 et R3) du 05 septembre au 07 octobre 2021, ainsi qu'un déploiement d'un enregistreur acoustique au niveau des zones R1 et R2 (zone de concession). Les systèmes autonomes C-POD enregistrent en continu. A l'inverse, les enregistreurs acoustiques réalisent des enregistrements de 03 minutes toutes les 10 minutes.

Suite à une défaillance de la carte électronique de l'enregistreur acoustique situé au niveau du point de suivi R1 au moment du déploiement (cf. III.2.2. ), aucune donnée n'a pu être récoltée via ce système acoustique sur la période du 05 septembre au 07 octobre 2021. L'analyse de la fréquentation de R1 par les mammifères marins a donc été réalisée uniquement via la donnée du système autonome C-POD.

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

###### i. Famille des Delphinidés

#### A l'ouest du parc éolien (R1)

La Figure 58 met en avant la présence acoustique occasionnelle des Delphinidés au niveau de R1 entre le 05 septembre et 07 octobre 2021 avec un taux de présence acoustique de 21.2%, soit 12 périodes de détections réalisées sur 7 jours pour un total de 33 jours d'enregistrements. Toutes les détections de clics de Delphinidés ont été réalisées en grande majorité durant la période nocturne à hauteur de 83.3%.

<sup>4</sup> Le système autonome C-POD est uniquement dédié à la détection automatique des clics de Phocoenidés et de Delphinidés uniquement et ne permet donc pas la détermination d'une fréquentation acoustique pour les espèces basses fréquences.

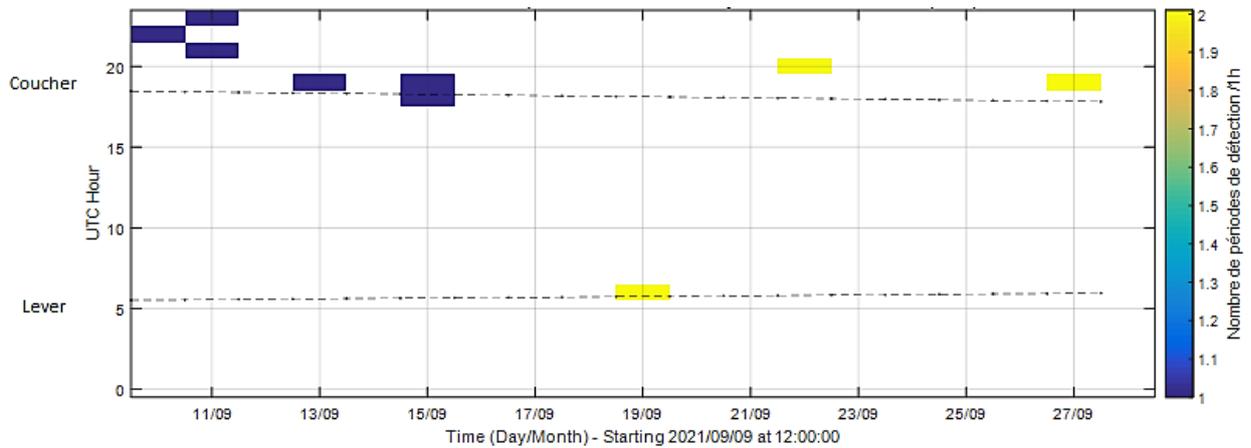


Figure 58 : Périodes de détections des clics de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R1 via système autonome C-POD (05/09/2021 au 07/10/2021).

### Zone de concession (R2)

Au niveau de R2, l'analyse des détections de clics et sifflements réalisées dans les enregistrements montre une fréquentation occasionnelle des Delphinidés du 05 septembre au 07 octobre 2021 (Figure 59) avec un taux de présence acoustique de 45.5%. En effet, 104 périodes de détections ont été réalisées sur 15 jours pour un total de 33 jours d'enregistrement. Ces détections ont été réalisées majoritairement durant la période nocturne à hauteur de 72.1%. La présence majoritaire de sifflements dans les enregistrements met en évidence un comportement de socialisation/communication entre individus.

La Figure 60 représente l'évolution des périodes de détections de clics de Delphinidés réalisées par le système autonome C-POD au niveau de R2 entre le 05 septembre et 07 octobre 2021. Les Delphinidés sont très occasionnellement présents sur site avec un taux de présence acoustique de 15.2%, soit 5 jours de présence sur un total de 33 jours d'enregistrement. La grande majorité des détections ont été réalisées durant la période nocturne.

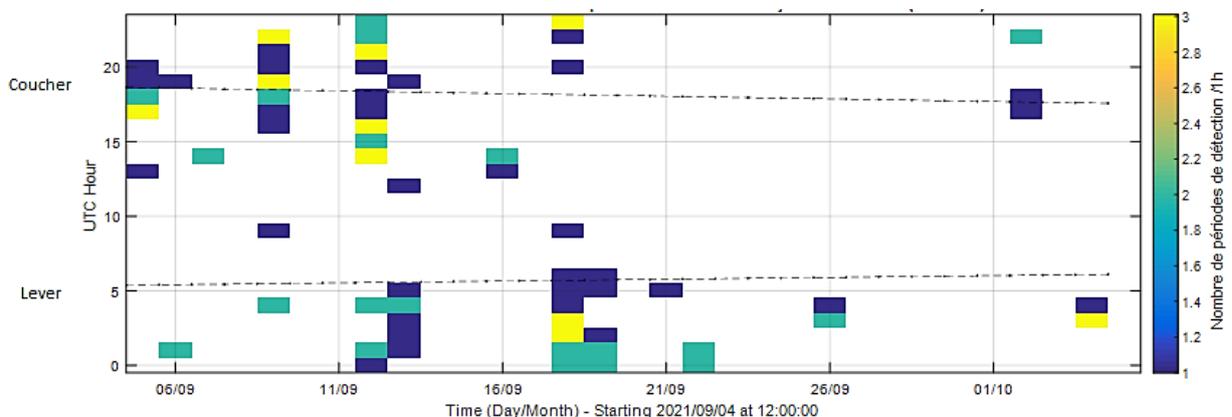


Figure 59 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit confirmées au niveau de R2 via enregistreur acoustique (05/09/2021 au 07/10/2021).

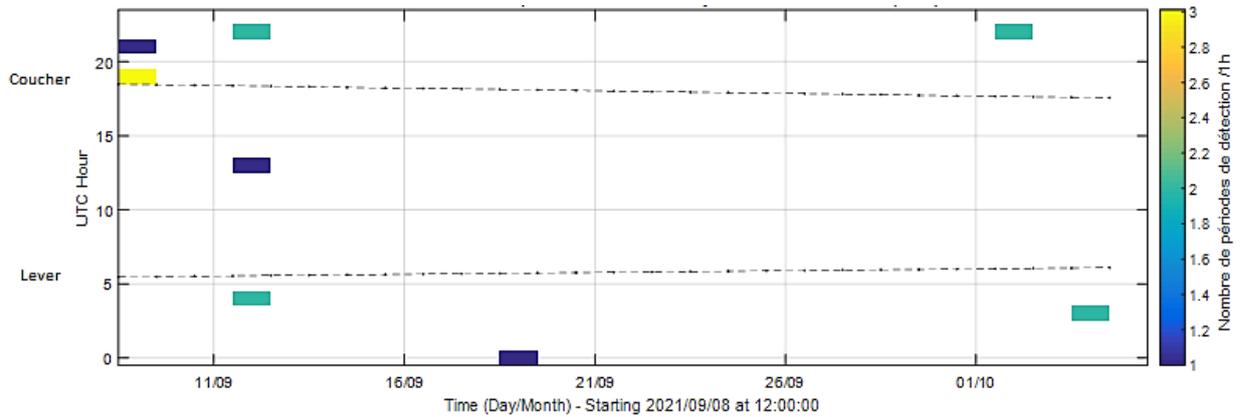


Figure 60 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R2 via système autonome C-POD (05/09/2021 au 07/10/2021).

### Au sud-est du parc éolien (R3)

La Figure 61 représente les périodes de détections de clics de Delphinidés réalisées par le système autonome C-POD au niveau de R3 entre le 05 septembre et 07 octobre 2021. Il apparaît que les Delphinidés sont très occasionnellement présents sur site avec un taux de présence acoustique de 12.1%, soit 4 jours de présence acoustique sur le mois de septembre pour un total de 33 jours d'enregistrements. A noter que les détections de clics ont toutes été réalisées de nuit.

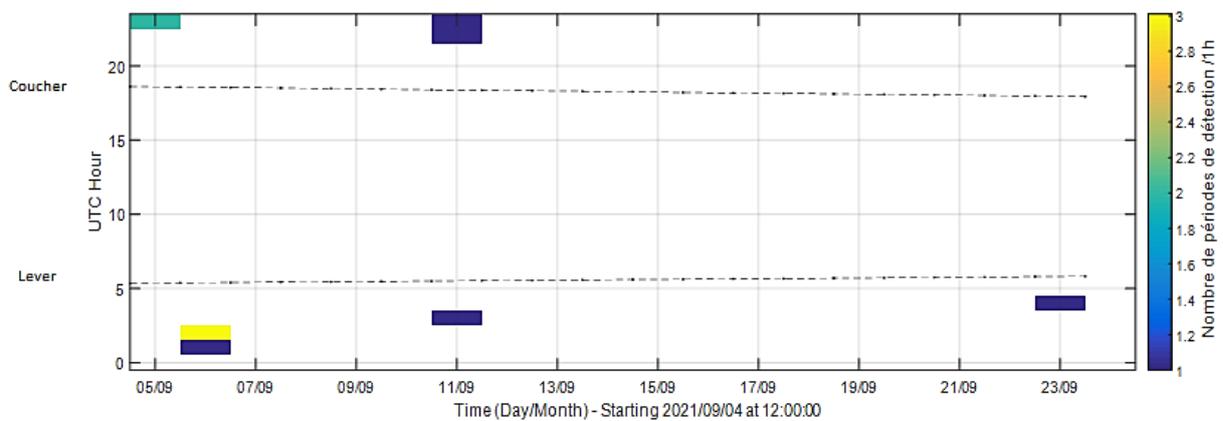


Figure 61 : Périodes de détections des clics et sifflements de Delphinidés en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R3 via système autonome C-POD (05/09/2021 au 07/10/2021).

### ii. Famille des Phocoenidés

#### A l'ouest du parc éolien (R1)

Au niveau du point de suivi R1, les Marsouins communs (*Phocoena phocoena*) sont quotidiennement présents avec au minimum une détection de clics par jour réalisée par le système autonome C-POD sur la période du 05 septembre au 07 octobre 2021 (Figure 62). Ces détections de clics ont été réalisées principalement de nuit à hauteur de 65%.

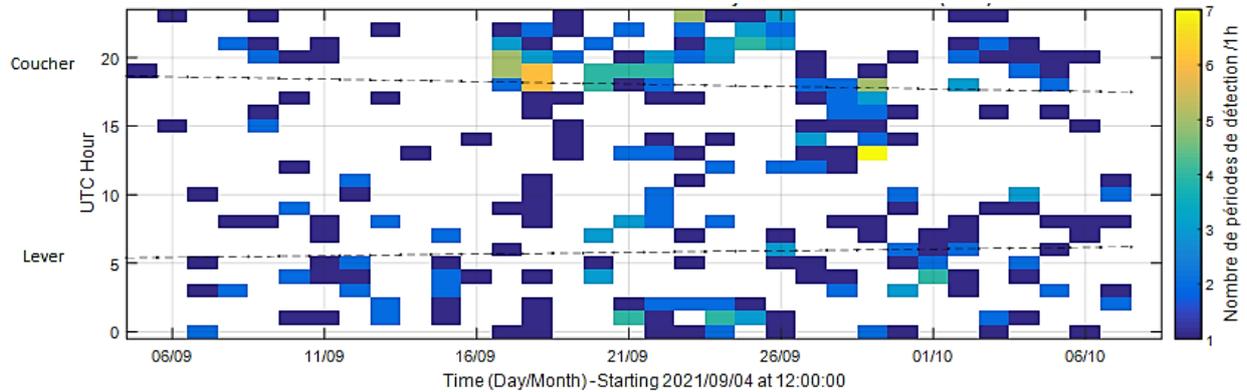


Figure 62 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*) en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R1 via système autonome C-POD (05/09/2021 au 07/10/2021).

### Zone de concession (R2)

Il apparaît que les Marsouins communs (*Phocoena phocoena*) sont régulièrement présents au niveau de R2 entre le 05 septembre et 07 octobre 2021 (Figure 63) avec 87 périodes de détections confirmées sur 23 jours pour un total de 33 jours d'enregistrements, soit un taux de présence acoustique de 69.7%.

De manière générale, la détection des clics a été constatée indépendamment des heures de la journée. Aucune période préférentielle de passage n'a donc pu être établie pour la présence des Phocoenidés qui sont autant présents de jour comme de nuit à proximité de la zone R2. La socialisation/communication est le comportement dominant observé lors de l'analyse bioacoustique des clics détectés avec la présence de trains de clics émis entre 110 et 160 kHz et de plusieurs buzzs (Figure 64). A noter que dans la plupart des détections, les clics sont de faible densité et intensité et supposent alors un passage lointain des Marsouins communs par rapport à la zone R2.

Au niveau du système autonome C-POD, les Marsouins communs (*Phocoena phocoena*) sont régulièrement présents avec un taux de présence acoustique de 69.7% sur la période du 05 septembre au 07 octobre 2021 (Figure 65), soit 134 périodes de détections réalisées sur 23 jours pour un total de 33 jours d'enregistrements. Ces détections de clics ont été réalisées principalement de nuit à hauteur de 63.4%.

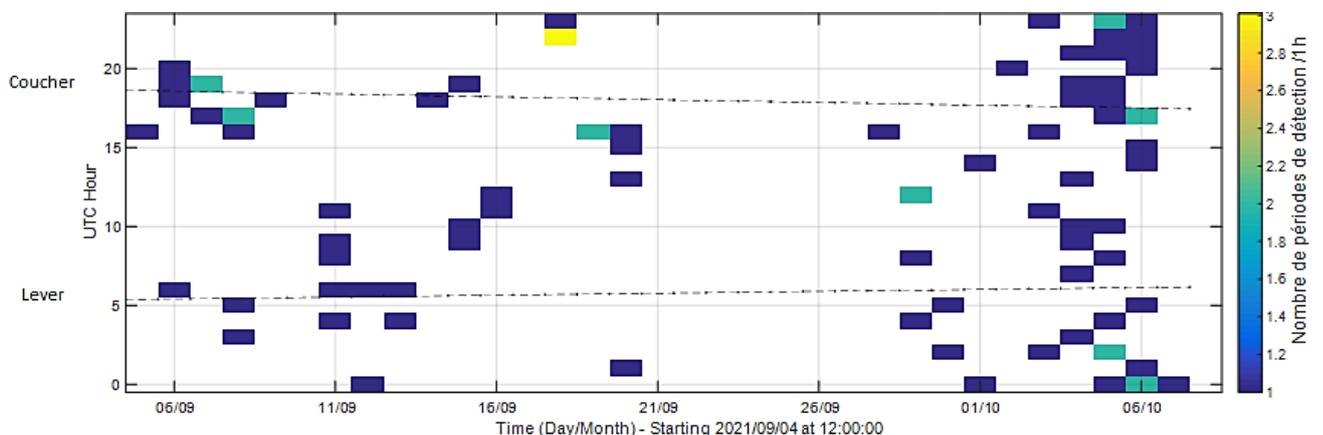


Figure 63 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, en fonction du jour et de la nuit confirmées au niveau de R2 via enregistreur acoustique (05/09/2021 au 07/10/2021).

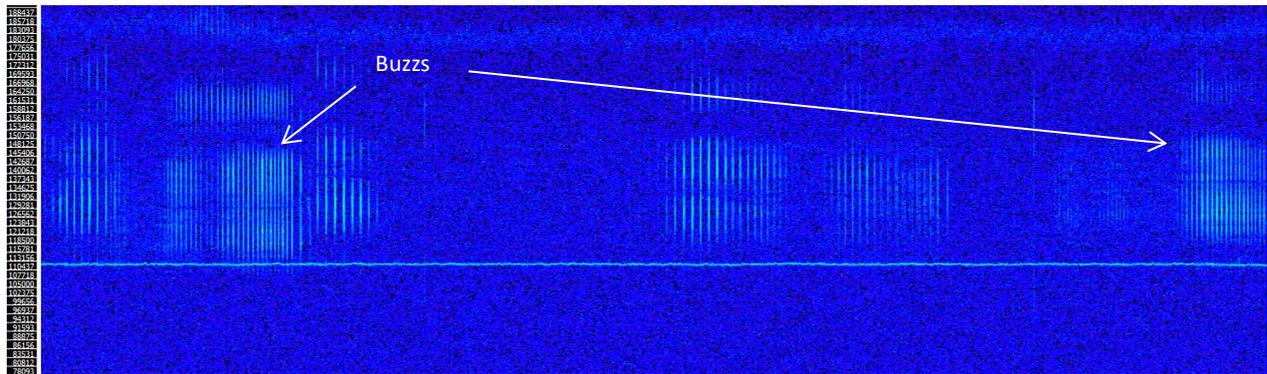


Figure 64: Buzes de Marsouins communs, *Phocoena phocoena*, détectés entre 110 et 160 kHz le 18 septembre 2021 à 22h21 UTC au niveau de R2.

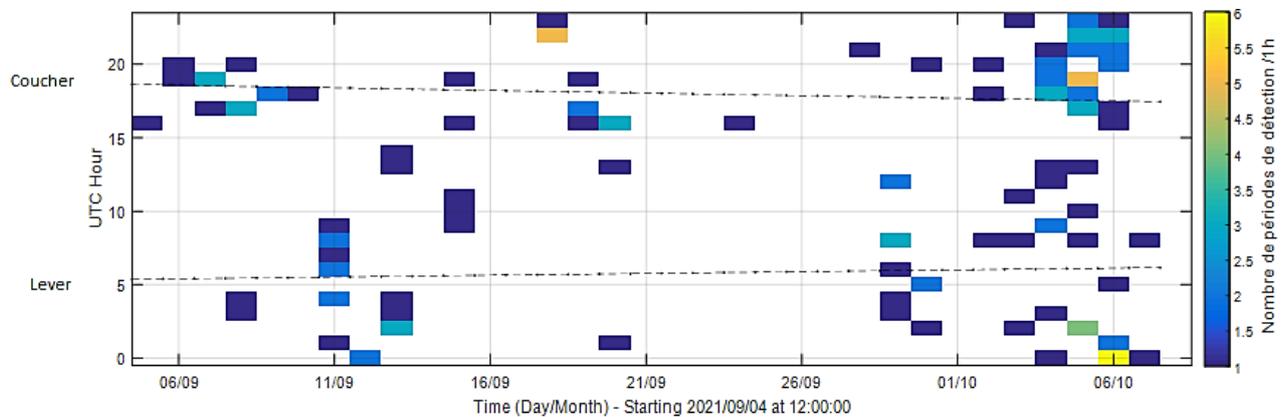


Figure 65 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*) en fonction du jour et de la nuit relevées au niveau de R2 via système autonome C-POD (05/09/2021 au 07/10/2021).

### Au sud-est du parc éolien (R3)

La Figure 66 représente les périodes de détections de clics de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*) réalisées par le système autonome C-POD au niveau de R3 entre le 05 septembre et 07 octobre 2021. Il apparaît que les Marsouins communs sont quotidiennement présents sur site avec au minimum une détection par jour d'enregistrement. A noter qu'aucune période préférentielle de passage n'a pu être établie pour la présence des Phocoenidés qui sont autant présents de jour comme de nuit à proximité de R3.

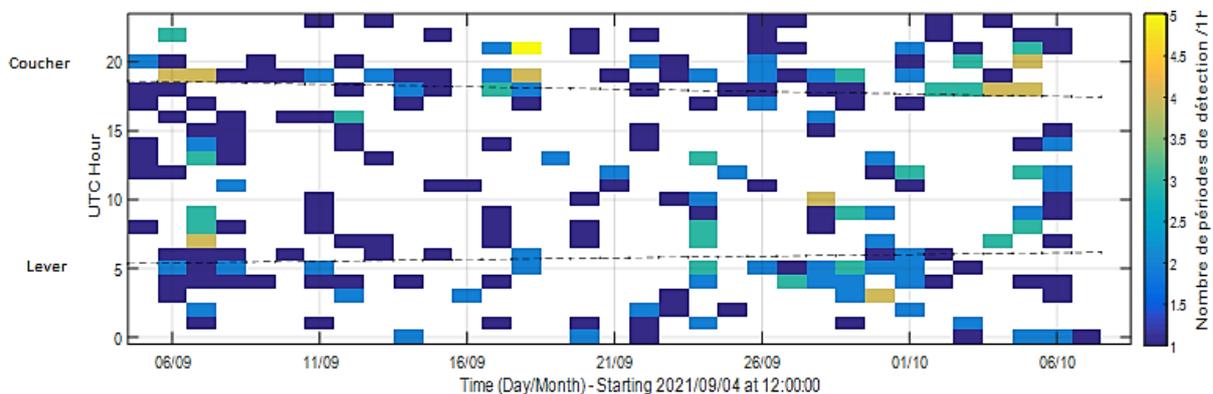


Figure 66 : Périodes de détections des clics de Marsouins communs (*Phocoena phocoena*) en fonction du jour et de la nuit au niveau de R3 via système autonome C-POD (05/09/2021 au 07/10/2021).

### iii. Famille des Balénoptéridés et des Phocidés

Suite à l'absence de données au niveau du point de suivi R1 (cf. III.2.2. ), il n'a pas été possible d'établir une fréquentation du site par les Balénoptéridés et les Phocidés.

Au niveau du point de suivi R2, le Petit Rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*), le Phoque gris (*Halichoerus grypus*) et le Phoque veau-marin (*Phoca vitulina*) sont acoustiquement absents, aucune signature acoustique émise par ces espèces n'ayant été détectée dans la donnée.

#### VI.4.2.b. Comportements observés

Sur la période automnale allant du 05 septembre au 07 octobre 2021, l'analyse des enregistrements qui contiennent des contacts acoustiques de Delphinidés indiquent un comportement de socialisation au niveau de la zone R2. En effet, la présence majoritaire de sifflements dans les enregistrements est associée à une communication entre individus. Cette communication entre individus est également mise en avant via les détections de clics émis par les Phocoenidés. A noter que les ces détections sont la plupart du temps de faible densité et intensité, ce qui supposent un passage assez éloigné des Marsouins communs de R2.

#### 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 (cf. VI.3.1.b. ). Après analyse des caractéristiques acoustiques des sifflements détectés, il a été possible d'identifier des sifflements émis par :

- ✓ Le Dauphin commun, *Delphinus delphis*, entre 7 et 18 kHz (Figure 67).
- ✓ Le Grand Dauphin, *Tursiops truncatus*, entre 5 et 16 kHz (Figure 68).

Le Dauphin commun est l'espèce prédominante dans l'ensemble de la donnée enregistrée au niveau de chacune des zones d'études (R1 et R2).

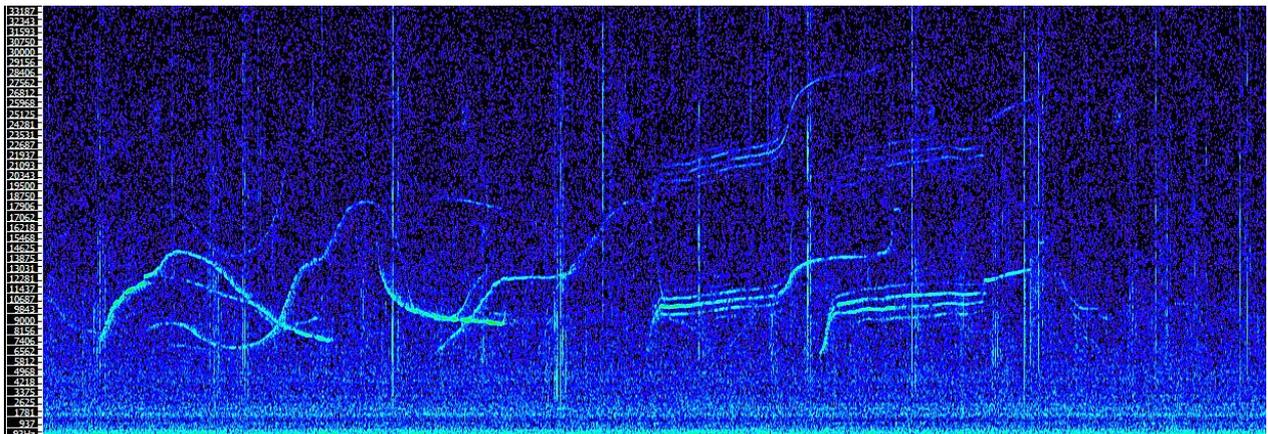


Figure 67 : Sifflements émis par le Dauphin commun (*Delphinus delphis*) entre 7 et 18 kHz, le 09 septembre 2021 vers 19h52 UTC au niveau de R2.

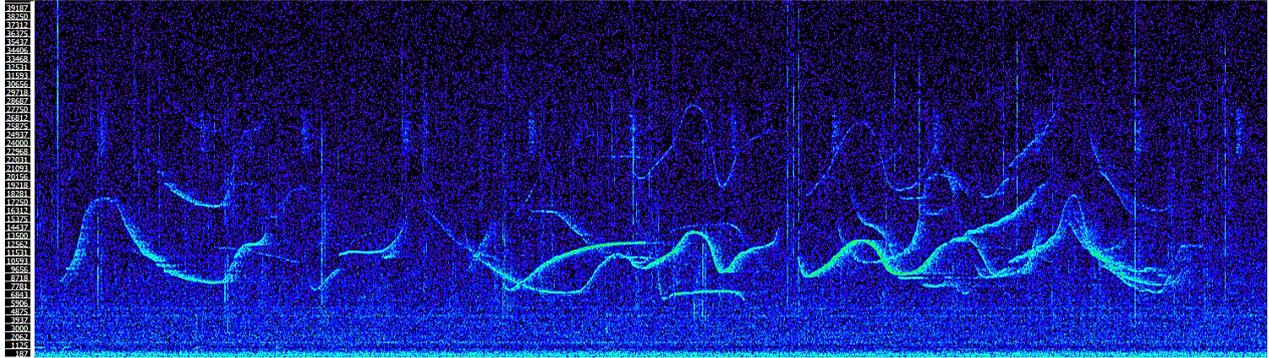


Figure 68 : Sifflements émis par le Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*) entre 5 et 16 kHz, le 12 septembre 2021 vers 23h52 UTC au niveau de R2.

#### VI.4.2.d. Synthèse de la fréquentation du site

Le Tableau 20 synthétise les résultats obtenus via les enregistreurs acoustiques<sup>5</sup> (enregistrement 30% du temps soit 3 minutes toutes les 10 minutes) et les systèmes autonomes C-POD (enregistrement en continu) quant à la présence de mammifères marins au niveau de chaque zone d'étude entre le 05 septembre et 07 octobre 2021 durant les périodes actives d'enregistrement :

- ✓ Au niveau de chacune des zones d'études (R1, R2 et R3), Les Delphinidés sont occasionnellement présents ;
- ✓ Au niveau des points de suivi R1 et R3, soit respectivement à l'ouest et au sud-est du parc éolien, il apparaît que les Phocoenidés sont quotidiennement présents;
- ✓ Au niveau du point de suivi R2, soit dans la zone d'étude située dans le parc éolien, les Phocoenidés sont régulièrement présents.

De manière générale, les Phocoenidés apparaissent comme étant les mammifères marins fréquentant le plus souvent chacune des zones d'études, tout comme durant la saison estivale 2021 (cf. VI.4.1.d. ). Il apparaît également que les Marsouins communs sont légèrement moins présents dans la zone de concession (R2) avec un taux de présence acoustique compris entre 50 et 70 % tandis que sur les zones à l'ouest (R1) et au sud-est (R3) du parc éolien leur présence acoustique est supérieure à 70%. A noter que le comportement prédominant des Delphinidés et des Phocoenidés sur chacune des zones est associé à la socialisation.

Quant aux espèces basses fréquences, Balénoptéridés et Phocidés, ils sont absents dans la zone du parc éolien (R2).

<sup>5</sup> Pour rappel, au niveau du point de suivi à l'ouest du parc éolien (R1), il n'a pas été possible d'établir une fréquentation via la donnée de l'enregistreur acoustique suite à une défaillance de la carte électronique du système (cf. III.2.2. ).

Tableau 20 : Synthèse des résultats quant à la présence de mammifères marins en saison automnale (05/09/2021 au 07/10/2021). Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées dans la donnée de l'enregistreur acoustique situé au niveau du point de suivi R2 (enregistrement de 03 minutes toutes les 10 minutes) et des C-POD situés dans chacune des zones (enregistrement en continu).

	Fréquentation du site					Comportement	
	R1		R2		R3	R1	R2
	Enregistreur	C-POD	Enregistreur	C-POD	C-POD	Enregistreur	Enregistreur
<b>Delphinidés</b>	N/A	Occasionnelle	Occasionnelle	Occasionnelle	Occasionnelle	N/A	Socialisation
<b>Phocoenidés</b>	N/A	Quotidienne	Régulière	Régulière	Quotidienne	N/A	Socialisation
<b>Espèces basses</b>	N/A	N/A	Absence	N/A	N/A	N/A	N/A

## 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. Fiabilité des systèmes de mesure

Le choix du système de mesure pour l'analyse bioacoustique d'un site est déterminant pour la qualité des résultats. Dans le cadre de cette étude, deux types de systèmes de mesure ont été déployés : le système autonome C-POD et l'enregistreur acoustique. Le tableau synthétise les avantages et inconvénients pour chacun de ces deux systèmes de mesure.

Tableau 21 : Synthèse des avantages/inconvénients des systèmes de mesure

	Système autonome C-POD	Enregistreur acoustique
Coût	+++	++
Autonomie	+++	++
Signaux détectés	Signaux impulsifs (clics)	Tous types de signaux biologiques via logiciels de détection/classification en post-traitement
Accès aux données brutes	Non	Oui
Algorithme de détection automatique intégré	Oui	Non
Fiabilité	Aucun moyen de vérification des détections automatiques. Dans le cadre d'un chorus bruyant le nombre de détections automatiques surestimé et signaux anthropiques considérés comme des signaux biologiques	+++

### VI.5.2. Traitement des données

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

De manière générale, lorsque des algorithmes de détections automatiques sont utilisés pour le traitement de données audio, un post-traitement (à base de filtre) et un effort de validation humaine sont requis afin de pouvoir confirmer les résultats obtenus. 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.

### VI.5.3. Représentativité de la mesure

#### VI.5.3.a. Portée de détection et représentativité spatiale

La distance de détection d'un son émis par un mammifère marin est influencée par de nombreux facteurs. D'une part, les caractéristiques de l'émission sonore sont dépendantes de la source, c'est-à-dire de l'animal lui-même. La fréquence, l'amplitude et le type de son vont influencer sur la distance de détection et vont être fonction de l'espèce, du comportement et de l'orientation de l'animal par rapport à l'hydrophone. D'autre part, les caractéristiques de la propagation de l'émission sonore varient selon le milieu dans lequel elle se propage. Ces caractéristiques dépendent principalement de la température et salinité de l'eau, de la profondeur et de la proximité d'interfaces (côte, fond, cisaillement des masses d'eau). 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 (0).

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*) potentiellement présent au large de Courseulles-sur-Mer. 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 réplification 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.5.3.b. Comportement de l'animal et dénombrement

En ce qui concerne la détection des mammifères marins par acoustique passive, le comportement de l'animal représente le facteur principal qui va influencer sur la détection des sons émis par ce dernier. En effet, les mammifères marins sont généralement plus actifs vocalement lorsqu'ils sont en socialisation ou en activité de chasse que lorsque qu'ils sont en transit ou au repos. Certaines espèces sont également plus discrètes que d'autres d'un point de vue acoustique : les petites espèces limiteront leurs vocalises afin d'éviter d'être repérées par leurs prédateurs (par exemple les Orques, potentiellement présents au large de Courseulles-sur-Mer, 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.

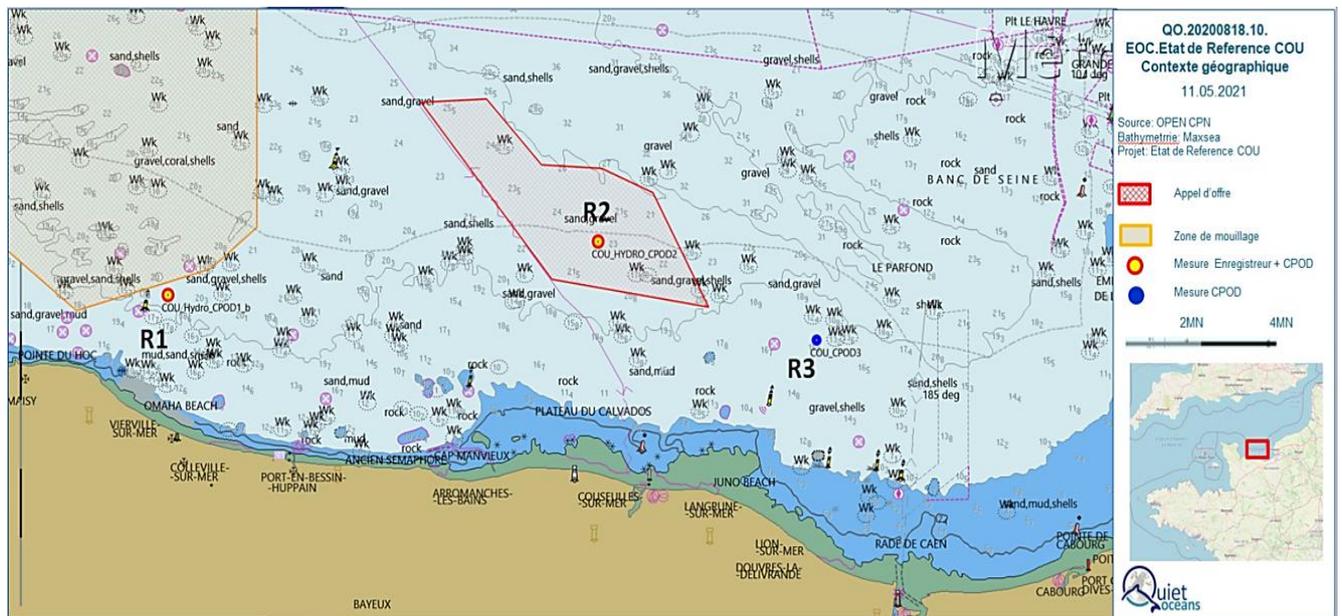
#### VI.5.4. Algorithme de détection automatique

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. Toutefois, 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 « Eoliennes Offshores du Calvados » porte le projet de développement d'exploitation d'un parc éolien en mer de 75 éoliennes pour une puissance de 450 MW, dans les eaux territoriales françaises au large de Courseulles-sur-Mer. Elle bénéficie depuis le 08 juin 2016 d'un arrêté préfectoral 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 Courseulles-sur-Mer. 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.

Trois systèmes autonomes C-POD ont été déployés au niveau de trois points de suivi nommés R1 (à l'ouest du parc éolien), R2 (dans la zone du parc éolien) et R3 (au sud-est du parc éolien) et deux enregistreurs acoustiques passifs ont été déployés au niveau des points de suivi R1 et R2. Ces déploiements ont eu lieu durant les saisons estivale (08/07/2021 au 05/10/2021) et automnale (05/09/2021 au 07/10/2021).



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. L'Etat de Référence apporte donc un volet supplémentaire aux résultats de l'Etat Initial par le biais de la caractérisation de la fréquentation du site par les mammifères marins par acoustique passive. A partir des données collectées, la fréquentation du site apparaît similaire d'une saison à l'autre (été/automne), c'est-à-dire de juillet à octobre 2021. De manière générale, les Phocoenidés sont les mammifères marins le plus régulièrement présents acoustiquement sur site, quel que soit l'emplacement de la zone d'étude. Les paragraphes ci-dessous synthétisent pour chaque saison les analyses des niveaux sonores et la fréquentation de chaque zone par les mammifères marins.

## VII.1. Campagne été 2021

### VII.1.1. Analyse du bruit physique

L'évaluation de la statistique des niveaux sonores perçus aux points R1 et R2 montrent une différence significative de l'ordre de 20 dB entre ces deux zones. Le point R2 situé au centre du futur parc éolien met en évidence un niveau médian de 107 dB re  $1\mu\text{Pa}^2$  très similaire à celui observé durant l'état initial effectué en 2013 et conforme aux niveaux statistiques observés sur d'autres sites. Au cours de la période, les niveaux oscillent entre 96 et 141 dB ref  $1\mu\text{Pa}^2$  en fonction de l'instant, des conditions environnementales et des passages de navires. L'énergie acoustique maximale est observée dans la bande de fréquence autour de 300 Hz, associée aux contributions des passages de navire à proximité et aux contributions éloignées provenant du rail en Manche. Au point R1, à l'ouest du site, le niveau médian mesuré est de 85 dB ref  $1\mu\text{Pa}^2$  et est très significativement inférieur au point R2. Ce point apparaît donc très préservé autant du point de vue environnemental qu'anthropique via les passages peu fréquents de navires. Quel que soit la zone analysée, les niveaux mesurés ne montrent pas de variation significative ( $<1\text{dB}$ ) entre les périodes diurnes et nocturnes.

### VII.1.2. Analyse des signaux biologiques

Durant la campagne estivale 2021, l'analyse des signaux bioacoustiques (Tableau 22) émis par les mammifères marins couramment présents au large de Courseulles-sur-Mer montre une présence régulière à quotidienne des Phocoenidés et une présence occasionnelle des Delphinidés au niveau de chaque point de suivi (R1, R2 et R3). Les Phocoenidés apparaissent donc comme étant les mammifères marins dont la présence acoustique est la plus importante au niveau de chaque point de suivi durant la période estivale 2021. Ces résultats rejoignent les estimations d'abondance (nombre d'individus au  $\text{km}^2$ ) réalisées pour la saison estivale des campagnes SAMM en Baie de Seine (cf. Figure 22) et mettent en avant la fréquentation importante de la zone de projet par ces mammifères marins. Toutefois, la réalisation d'une inter-comparaison entre chaque zone d'étude permet de différencier une présence moindre des Marsouins communs notable au niveau de la zone de concession (R2) avec un taux de présence acoustique compris entre 10% et 70%, contre un taux de présence supérieur à 70% au niveau des zones situées à l'ouest (R1) et au sud-est (R2) du parc éolien. 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. Seul un épisode de chasse opportuniste a été mis en évidence au niveau du point de suivi R2 avec le caractère écholocatif de certains clics de Delphinidés associés à des buzzs. 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.

Des grognements de Phoque gris (*Halichoerus grypus*) ont été détectés à trois reprises durant la campagne estivale 2021, au niveau des points de suivi R1 et R2. Leur présence acoustique reste donc exceptionnelle sur le site.

Le Petit Rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) et le Phoque veau-marin (*Phoca vitulina*) sont acoustiquement absents durant la saison estivale 2021.

## VII.2. Campagne automne 2021

### VII.2.1. Analyse du bruit physique

Durant la saison automnale, seul le point R2 a pu faire l'objet d'une évaluation statique des niveaux sonores. En comparaison de la saison estivale, le niveau médian est de 105.6 dB ref  $1\mu\text{Pa}^2$ , inférieur de 1.3 dB. Cette différence est probablement induite par la présence des activités de surveillance géophysique en amont du projet durant une période significative de la mesure acoustiques en été. Outre cette légère différence, les statistiques montrent peu de variation saisonnière aussi bien en niveaux et en répartition fréquentielle.

### VII.2.2. Analyse des signaux biologiques

Durant la campagne automnale 2021, l'analyse des signaux bioacoustiques (Tableau 22) met en évidence la présence préférentielle des Phocoenidés au niveau de chaque point de suivi (R1, R2 et R3) avec une présence acoustique régulière à quotidienne. La fréquentation du site est donc similaire à celle établie lors de la saison estivale 2021 et met en avant la présence acoustique importante des Marsouins communs au niveau de la zone de projet. Ces résultats associés à la période automnale 2021, bien que cohérents vis-à-vis des estimations d'abondance (nombre d'individus au km<sup>2</sup>) obtenues dans le cadre des campagnes SAMM en Baie de Seine pour la période hivernale (cf. Figure 23), permettent de noter une fréquentation du site plus élevée en automne qu'en hiver. 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 et de communication. La classification a permis d'identifier la présence du Dauphin commun (*Delphinus delphis*) et du Grand dauphin (*Tursiops truncatus*) aux alentours de la zone d'implantation du parc éolien. Le Dauphin commun étant l'espèce de Delphinidés la plus présente au niveau des points de suivi R1 et R2.

Les espèces basses fréquences, c'est-à-dire le Petit Rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*), le Phoque gris (*Halichoerus grypus*) et le Phoque veau-marin (*Phoca vitulina*), sont acoustiquement absentes durant toute la campagne automnale 2021.

Tableau 22 : Synthèse des résultats quant à la présence des mammifères marins durant les périodes estivale et automnale, au niveau des points de suivi R1, R2 et R3. Ces résultats ont été obtenus suite à l'analyse des détections réalisées par les systèmes autonomes C-POD et des enregistreurs acoustiques. Les systèmes autonomes C-POD enregistrent en continu tandis que les enregistreurs acoustiques collectent 3 minutes de données toutes les 10 minutes.

		Point de suivi R1 (enregistreur et C-POD)			Point de suivi R2 (enregistreur et C-POD)			Point de suivi R3 (C-POD)		
		Delphinidés	Phocoenidés	Espèces basses fréquences	Delphinidés	Phocoenidés	Espèces basses fréquences	Delphinidés	Phocoenidés	Espèces basses fréquences
		Période estivale 2021	Fréquentation du site	Occasionnelle à régulière	Régulière à quotidienne	Exceptionnelle	Occasionnelle	Occasionnelle à régulière	Exceptionnelle	Occasionnelle
Plage horaire préférentielle	Jour		Jour	Jour	Jour	Jour/nuit	Jour	Nuit	Jour	N/A
Comportement	Socialisation		Socialisation	N/A	Socialisation	Socialisation	N/A	N/A	N/A	N/A
Classification	<i>Delphinus delphis</i> <i>Tursiops truncatus</i>		<i>Phocoena phocoena</i>	Probable <i>Halichoerus grypus</i>	<i>Delphinus delphis</i> <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	Probable <i>Halichoerus grypus</i>	N/A	N/A	N/A

		Point de suivi R1 (enregistreur et C-POD)			Point de suivi R2 (enregistreur et C-POD)			Point de suivi R3 (C-POD)		
		Delphinidés	Phocoenidés	Espèces basses fréquences	Delphinidés	Phocoenidés	Espèces basses fréquences	Delphinidés	Phocoenidés	Espèces basses fréquences
		Période automnale 2021	Fréquentation du site	Occasionnelle	Quotidienne	N/A	Occasionnelle	Régulière	Absence	Occasionnelle
Plage horaire préférentielle	Nuit		Nuit	N/A	Nuit	Jour/nuit	N/A	Nuit	Jour/nuit	N/A
Comportement	N/A		N/A	N/A	Socialisation	Socialisation	N/A	N/A	N/A	N/A
Classification	<i>Delphinus delphis</i> <i>Tursiops truncatus</i>		<i>Phocoena phocoena</i>	N/A	<i>Delphinus delphis</i> <i>Tursiops truncatus</i>	<i>Phocoena phocoena</i>	N/A	N/A	N/A	N/A

Fréquentation quotidienne >70%	Fréquentation régulière 50 à 70%	Fréquentation occasionnelle 10 à 50%	Fréquentation exceptionnelle <10%	Absence 0%
-----------------------------------	-------------------------------------	---	--------------------------------------	---------------

---

## 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>
- Asselin, S., Hammill, M. O., & Barrette, C. (1993). Underwater vocalizations of ice breeding grey seals. *Canadian Journal of Zoology*, 71(11), 2211–2219. <https://doi.org/10.1139/z93-310>
- Aumüller, R., Bach, L., Baier, H., Behm, H., Beiersdorf, A., Bellmann, M., Betke, K., Blew, J., Binder, A., Blasche, K., Boethling, M., Böttcher, U., Braasch, A., Coppack, T., Dähne, M., Damian, H.-P., Dannheim, J., Diederichs, A., Dittmann, T., ... Zerbs, C. (2013). *Standard Investigation of the Impacts of Offshore Wind Turbines on the Marine Environment (StUK4)* (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) (ed.)). [www.bsh.de](http://www.bsh.de)
- 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>
- McCulloch, S. (1999). the Vocal Behaviour of the Grey Seal (*Halichoerus Grypus*). *University of St Andrews*, 150. <http://research-repository.st-andrews.ac.uk/%0Ahttps://core.ac.uk/download/pdf/83960103.pdf>
- Michel, S., & Marins, M. (2017). *Implication de l' AFB dans le dérisquage des appels d' offres EMR : cas du projet éolien au large de Dunkerque Sommaire DE LA PRÉSENTATION*.
- Pettex. (2014). *Suivi Aérien de la Mégafaune Marine en France métropolitaine*.
- 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>
- Risch, D., Clark, C. W., Dugan, P. J., Popescu, M., Siebert, U., & Van Parijs, S. M. (2013). Minke whale acoustic behavior and multi-year seasonal and diel vocalization patterns in Massachusetts Bay, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 489, 279–295. <https://doi.org/10.3354/meps10426>
- Schusterman, R. J., Balliet, R. F., & St. John, S. (1970). Vocal displays under water by the gray seal, the harbor seal, and the stellar sea lion. *Psychonomic Science*. <https://doi.org/10.3758/BF03331839>
- Todd, V., Todd, I. B., Gardiner, J. C., & Morrin, E. C. N. (2015). *Marine mammal observer & passive acoustic monitoring handbook* (O. S. C. Ltd (ed.)). Pelagic Publishing.
- Tougaard, J., Poulsen, L. R., Amundin, M., Larsen, F., Hansen, J. R., & Teilmann, J. (2006). Detection function of T-PODs and estimation of porpoise densities. In *Proceedings of the Workshop: Static Acoustic Monitoring of Cetaceans*, 7–14. [https://www.europeancetaceansociety.eu/system/files/ECS\\_Special\\_Publication\\_Series/ECS2006\\_News46\\_Static\\_Acoustic\\_Monitoring\\_printing\\_version.pdf](https://www.europeancetaceansociety.eu/system/files/ECS_Special_Publication_Series/ECS2006_News46_Static_Acoustic_Monitoring_printing_version.pdf)