

Parc éolien en mer Centre Manche

*Fiche protocole : Expertises par
acoustique sous-marine passive*

Identification du document

Référence du document	QO.20210225.10.MEM.003.03A
Donneur d'ordre	MTES
Client	MTES
Reference du contrat	
Contact	MORLIERE Adeline, adeline.morliere@developpement-durable.gouv.fr

PROJET	DOC	CHRONO	VER	IND	CLIENT	ACRO	DATE	TYPE	CLASS
QO.20210225.10	MEM	003	03	A	MTES	A	07/03/2022	PROD	CONF



Ocean Noise Forecasting Monitoring & Mitigation



Historique du document						
Version	Ind	Redaction	Vérification	Validation	Publié le	Description
01	A	D.Clorennec	P.Billand	C.Bois	02/02/2022	Version initiale
02	A	D. Clorennec			17/02/2022	Prise en compte commentaires
03	A	D. Clorennec			07/03/2022	Prise en compte commentaires

Chapitre I. Objet du document

Ce document spécifie le protocole des mesures permettant les campagnes d'expertises concernant les mammifères marins et la mégafaune marine.

Il présente :

- ✓ Les enjeux des suivis acoustiques ;
- ✓ Le protocole géographique ;
- ✓ La durée et le calendrier des expertises ;
- ✓ Le matériel utilisé pour la mesure ;
- ✓ Une explication du traitement des données de mesures et de l'interprétation « Bruit ambiant ».

Chapitre II. Enjeux des suivis acoustiques

Les enjeux des suivis acoustiques sont les suivants :

- ✓ Réaliser une prise de donnée de qualité. Les contraintes considérées pour un suivi de qualité consistent à s'éloigner des sources de bruit parasites : bouées de balisage, houlographe, ADCP, etc. ;
- ✓ Adresser les enjeux physiques et biologiques de façon mutualisée. La mesure du bruit ambiant naturel, anthropique et le suivi des cétacés est réalisée avec un parc instrumental mutualisé ;
- ✓ Réaliser un suivi en toute sécurité pour les personnes et les matériels, en limitant dans la mesure du possible les risques d'interférence avec les activités maritime et halieutiques.

Chapitre III. Protocole géographique pour la définition de la localisation des hydrophones

L'objectif de cette étude préliminaire est de définir les positions des instruments acoustiques afin de :

- ✓ Caractériser le bruit ambiant sous-marin naturel et anthropique afin de pouvoir calibrer un modèle de propagation acoustique sur l'aire d'étude éloignée ;
- ✓ Caractériser la fréquentation des zones immédiates et éloignées par les mammifères marins ;
- ✓ Minimiser les interférences avec les activités de pêche afin de sécuriser les équipements ;
- ✓ Choisir des positions compatibles à une bonne tenue et aux opérations de déploiement et récupération des mouillages ;
- ✓ Eviter les interférences avec le projet de construction du parc éolien en mer de Courseulles.

Les données nécessaires à l'élaboration de ce protocole de suivi reposent sur des données bibliographiques recueillies spécifiquement dans le cadre de ce projet :

- ✓ Données projet : MTES ;
- ✓ Données physiques :
 - Données de bathymétrie, source EMODNet Physics, SHOM ;
 - Données de nature des fonds marins, source EMODNet Physics ;
 - Données anthropiques (trafic maritime, pêche), sources : Spire, CEREMA ;

- ✓ Données acoustiques (dire d'experts).
- ✓ Données mégafaune (sources : campagne SAMM1, littérature scientifique, Pélagis, Groupe Mammalogique Normand, Etude d'impact du parc éolien de Courseulles) ;
- ✓ Données réglementaires :
 - Limites zones Natura2000, source : MTES ;
 - Limites zone de mouillage interdit : DDTM.

Les données environnementales (température/salinité), météo-océaniques et bathy-célérimétriques ne permettent pas de définir la position des instruments lors du suivi

III.1. Caractériser le bruit ambiant sous-marin naturel et anthropique

Le modèle acoustique permet de cartographier le bruit ambiant et le bruit anthropiques, dans la bande de fréquence allant de 20Hz à 80 kHz, avant et pendant la construction, pendant l'exploitation, pendant et après le démantèlement sur la base d'instruments déployés en points fixes

Les zones a priori d'influence du projet sont :

- ✓ De l'ordre de 20km à 50km autour du parc en phase de construction (très dépendantes des hypothèses de construction),
- ✓ Dans la zone immédiate du parc pendant l'exploitation,
- ✓ De dimension inconnue pour la phase de démantèlement par manque de retour d'expérience sur les techniques utilisées.

Il convient donc d'instrumenter la zone immédiate, la zone tampon de 20km et la zone tampon de 30km.

III.2. Caractériser la fréquentation des zones immédiates et éloignées par les mammifères marins

La zone est principalement fréquentée par les cétacés en hiver. Les marsouins, espèce la plus abondante, sont également présents en été.

Les Globicéphales et delphinidés sont également présents mais en nombres inférieurs, et essentiellement en hiver. Seul le Grand Dauphin a été observé en été et uniquement près de la côte de la pointe du Cotentin.

Les phoques sont principalement présents dans la baie de Veys et dans ses alentours.

La bande de fréquence utiliser par l'ensemble des espèces potentiellement présentes couvre la plage de 20Hz à 140 kHz.

III.3. Minimiser les interférences avec les activités de pêche

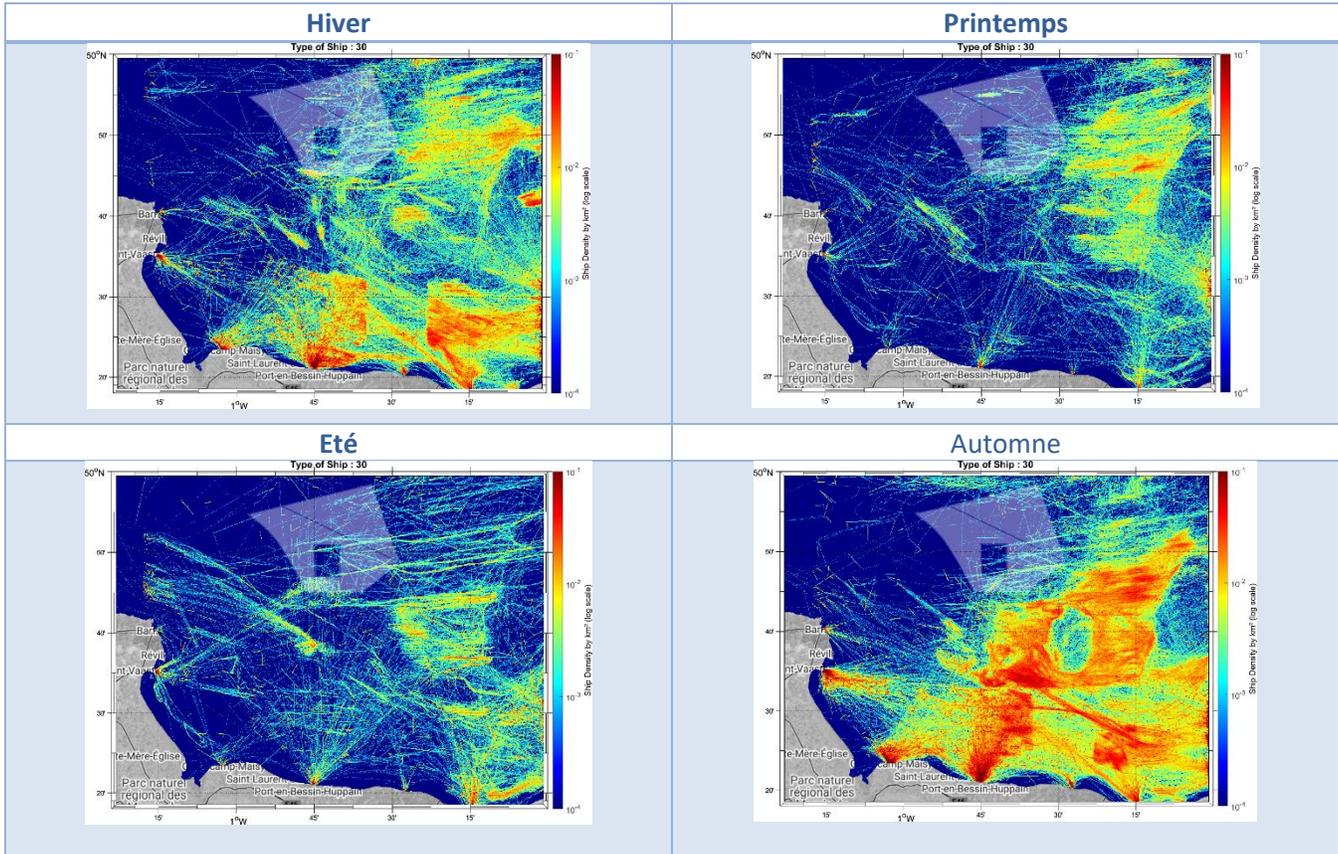
Il est essentiel de tenir compte des activités de pêche et drague en prévision de l'instrumentation, afin de minimiser les risques de croche du matériel. Les croches de matériel peuvent engendrer des déplacements, retournements, endommagement ou perte de matériel. De tels évènements, indépendants des meilleurs efforts de notre équipe, ne peuvent être pleinement évités. Cependant, nous avons tenu compte des zones d'activité les plus importantes pour positionner les stations acoustiques.

Les résultats des traitements des données AIS (pêche) et VMS (drague) présentés dans le

Tableau 1 :

- ✓ donnent des indications sur les zones travaillées,
- ✓ démontrent une forte saisonnalité des activités.

Tableau 1 : cartographie des activités de pêche par saison



III.4. Positions compatibles au déploiement et récupération des mouillages

De la même manière que pour les activités de pêche, la nature des fonds et la puissance du courant constituent des paramètres importants dans l'élaboration du protocole.

La nature des fonds (Tableau 2) peut gêner la mise en place ou la récupération des instruments.

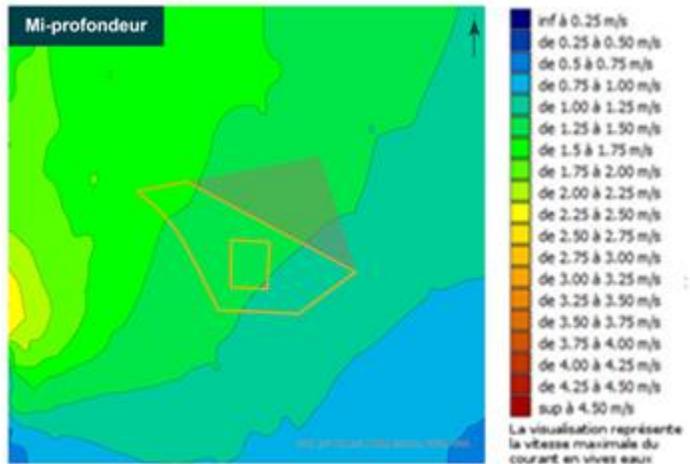
La puissance des courants (Tableau 2) de surface et de fond constitue un paramètre essentiel lors de la réalisation des opérations en mer (gêne voire impossibilité de réalisation des manipulations en cas de forts courants).

A partir des données collectées, des zones à éviter ont été définies par :

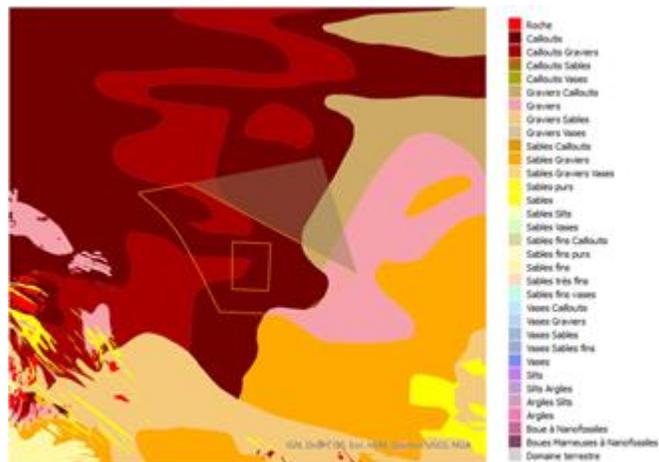
- ✓ Fonds rocheux qui risquent d'accrocher les ancrages ou de générer du bruit par frottement avec le mouillage ;
- ✓ Fonds trop meubles (vase) ;
- ✓ Zones à forts courants au-delà de 1,5 m/s ;
- ✓ Zones trop profondes qui augmentent la complexité et les risques.

Tableau 2 : cartographie des vitesses de courant de mi-profondeur et de la nature des fonds (source Biotope)

Vitesse de courant de mi-profondeur



Nature du fond



III.5. Profondeur

La profondeur d’installation des instruments est un paramètre essentiel pour les expertises prévues. En effet, classiquement des profondeurs de moins de 35 m sont recommandées. Dans le cas de la zone de projet Centre Manche, les profondeurs sont souvent supérieures à 35 m, parfois jusqu’à 50 m.

III.6. Protocole

Sur la base de l’ensemble des paramètres et caractéristiques du site, Quiet-Oceans a élaboré la carte suivante qui propose pour la première année :

- ✓ 5 hydrophones large bande ;
- ✓ 4 C-POD, pour augmenter l’effort d’expertise sur les marsouins et les delphinidés.

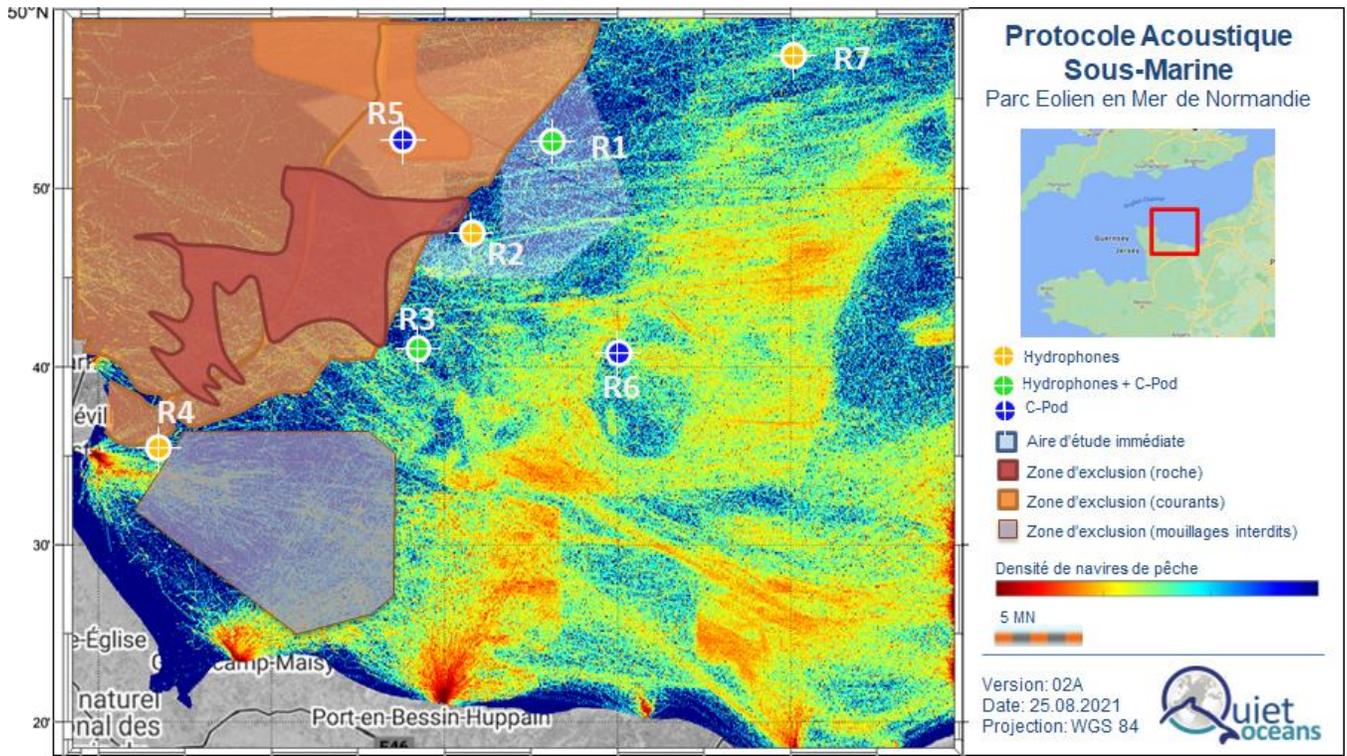


Figure 1 : Localisation des systèmes de mesure en fonction des activités de pêche et de la nature du sédiment

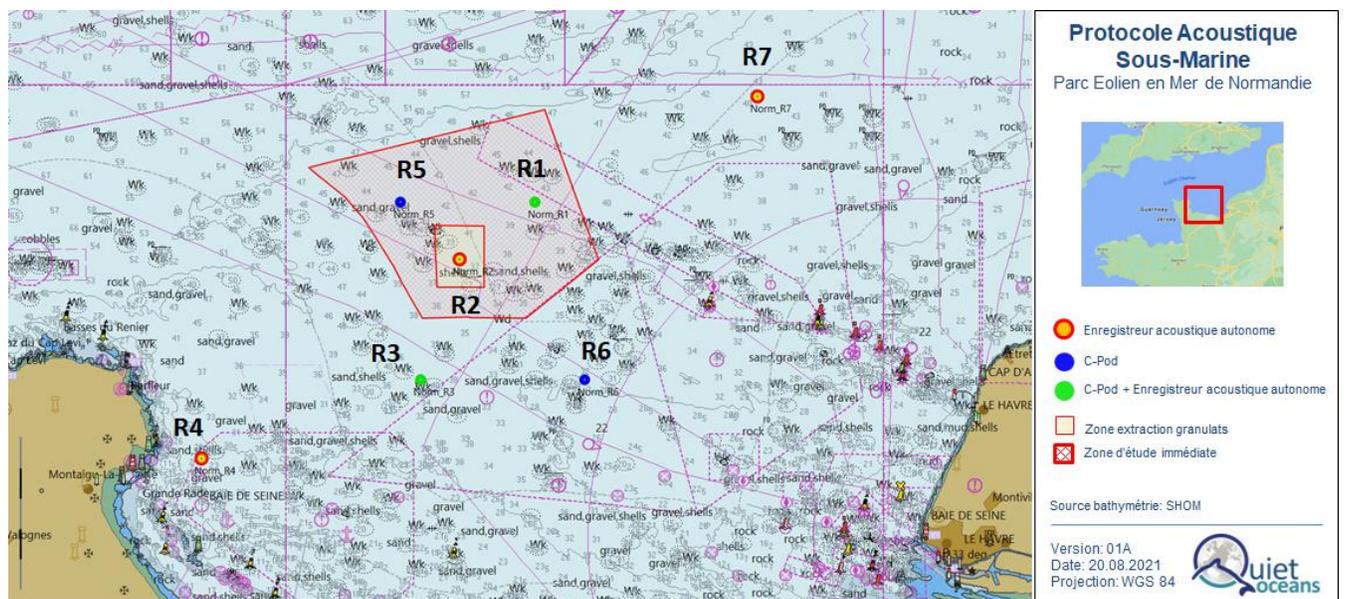


Figure 2 : Localisation des systèmes de mesure acoustique dans le contexte

Le protocole proposé répond à toutes les exigences et contraintes connues. Les coordonnées et les profondeurs (LAT) sont reportées dans le Tableau 3. Les profondeurs importantes nécessitent un design particulier et entraînent une complexification et un risque augmenté des opérations en mer. A certains emplacements, il est décidé de placer simultanément un hydrophone et C-POD afin de vérifier la qualité de détection des clics de l'outil automatique C-POD. En effet le système C-POD embarque un module de classification des signaux impulsifs tels que les clics des delphinidés et des marsouins, mais aucune vérification n'est possible à partir de la donnée sauvegardée par ce système. A contrario, Un enregistreur autonome permet de collecter la donnée audio brute et ainsi de vérifier/confirmer de manière auditive et visuelle la présence de clics émis par les mammifères marins au même instant.

Tableau 3 : Systèmes déployés et positions

Référence point	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Type d'instrument	Enregistreur + CPOD	Enregistreur	Enregistreur + CPOD	Enregistreur	C-Pod	C-Pod	Enregistreur
Coordonnées géographiques (WGS84)	49°52.5' N 000°35.0' W	49 48.7922 N 000 42.5611 W	49°41.0' N 000°46.5' W	49°35.9' N 001°08.5' W	49° 52.5' N 000°48.5' W	49°41.0' N 000°30.0' W	49° 59.3' N 000° 12.6' W
Profondeur (LAT)	40m	37m	45m	22m	45m	33m	40m
Hors zone mouillage interdit	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Zone d'influence Parc de Normandie	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui
Hors influence Parc de Courceulles	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Hors zone forts courants	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Hors fonds rocheux	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Hors zone de pêche	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non
Zone d'Etude Immédiate	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non
Zone tampon 20km	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non
Zone tampon 30km	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non

Chapitre IV. Durée et calendrier des expertises

Nous proposons, pour la première année de suivi, des expertises en continu pendant 12 mois (avec relève et remise à l'eau des enregistreurs tous les 2,5 mois environ). Le Tableau 4 propose un planning prévisionnel des déploiements et relevages, météo le permettant.

Avant chaque déploiement, une procédure d'engagement de mission par l'émission les lundis, mercredis, et vendredi d'une fiche d'anticipation et de décision relative à la mission prenant en compte principalement les conditions météorologiques.

Tableau 4 : planning prévisionnel des déploiements/relevages pour la 1ere année de mesure

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Mars 2022	Avril 2022	Mai 2022	Juin 2022	Juillet 2022	Aout 2022	Sept 2022	Oct 2022	Nov 2022	Dec 2022	Janv 2023	Fev 2023	Mars 2023
Déploiement	X		X			X		X			X		
Relevage			X			X		X			X		X

Le nombre et la localisation des hydrophones et C-POD proposés pour la première année de suivi sont basés sur les contraintes spécifiques du secteur d'étude. Les secteurs à plus fortes contraintes prévisibles sont exclus des expertises dans ce protocole. Dans le cadre d'un état initial sur deux années, il est envisageable de réajuster le protocole d'expertise par acoustique sous-marine pour l'année 2, sur la base des bilans des expertises aériennes et acoustiques (modification de localisation des hydrophones et/ou périodes d'inventaire). Pour la seconde année de suivi, un calendrier réajusté pourrait donc être proposé.

Chapitre V. Matériel

L'instrumentation acoustique passive est caractérisée par :

- ✓ Sa gamme de fréquences, définie par les fréquences des bruits à capter (naturels, anthropiques et biologiques). La gamme de fréquences des instruments doit couvrir la bande de 20Hz à 180kHz.
- ✓ Sa gamme de captation en intensité sonore, définie par les niveaux de bruits à capter (naturels, anthropiques et biologiques). La gamme de fréquences des instruments doit couvrir l'intervalle de 90dB ref. 1µPa à 175dB ref. 1µPa et au-delà en phase de construction (en fonction des techniques utilisées).
- ✓ L'usage de C-Pod (détecteur automatique) permet d'augmenter le maillage relatif à la fréquentation des Marsouins et des Delphinidés à moindre cout
- ✓ Un design des mouillages spécifiquement adaptés aux conditions de site (courants, profondeur, etc.)

Nature des bruits à capter	Occurrence à l'échelle du projet	Gamme d'intensité acoustique dimensionnante	Rayon d'influence dimensionnant	Gamme de fréquences acoustiques	Références
Enjeux physique					
Vent & vagues	Permanente	95-115 dB ref. 1µPa	-	100Hz - 5kHz	(Wenz, 1962), (Ainslie, 2010)
Trafic maritime et pêche	Permanente	140-190 dB ref. 1µPa	10km		(Breeding et al., 1996), (Wagstaff, 1973), (Ross, 1976), (Audoly, 2014), (Wittekind, 2014)
Construction du parc					
Hypothèse forage	Temporaire	170-200 dB ref. 1µPa	10km	20Hz-20kHz	(Nedwell, 2008), (Nedwell, 2003), (Beharie & Side, 2011)
Hypothèse battage	Temporaire	200-225 dB ref. 1µPa	50km	20Hz-20kHz	(Betke, 2008), (Bellmann, 2020)
Cablages	Temporaire	170-210 dB ref. 1µPa	20km	20Hz-20kHz	(Nedwell et al., 2004)
Exploitation du parc	Permanente	140-155 dB ref. 1µPa	2km	20Hz-70kHz	(Betke K., 2006) (Tougaard et al., 2020)
Nature des bruits à capter	Sensibilité Enjeux	Gamme d'intensité acoustique dimensionnante	Rayon d'influence dimensionnant	Gamme de fréquences acoustiques	
Enjeux biologique					
Grand dauphin	Prioritaire			5kHz-180kHz	(Todd et al., 2015)
Dauphin commun à bec court	Prioritaire			3kHz-180kHz	(Todd et al., 2015), (Scullion A., 2004), (Petrella et al., 2011)
Marsouin commun	Prioritaire			1kHz-150kHz	(Miller & Wahlberg, 2013)
Phoque veau marin	Prioritaire			200Hz-2kHz	(Schusterman et al., 1970)
Phoque gris	Prioritaire			100Hz-12kHz	(Todd et al., 2015), (Asselin et al., 1993), (McCulloch S., 1999), (Schusterman et al., 1970)
Dauphin de Risso	Prioritaire			4kHz-180kHz	(Todd et al., 2015), (Gannier A., 2014)
Petit rorqual	Non prioritaire			50Hz-400Hz	(Todd et al., 2015), (Risch et al., 2013)
Dauphin bleu et blanc	Non prioritaire			3kHz-180kHz	(Todd et al., 2015)
Lagénorhynque à bec blanc	Non prioritaire			3kHz-120kHz	(Grillot O., 2015)
Globicéphale noir	Non prioritaire			4kHz-40kHz	(Gannier A., 2014)

Figure 1 - Nature et caractéristiques des bruits à étudier

V.1. Enregistreur autonome passif

Les gammes d'émission des espèces à enregistrer imposent des mesures acoustiques qui couvrent une gamme de fréquences allant jusqu'à 150kHz (clics de delphinidés), donc des enregistreurs ayant une fréquence d'échantillonnage supérieure à 300kHz (théorème de Shannon).

Les instruments acoustiques déployés seront des systèmes autonomes SoundTrap HT600 HF (type d'hydrophone nom spécifié par le constructeur), produits par la société Ocean Instruments, adaptés à la mesure des signaux acoustiques d'origine environnementale, anthropique et biologique. L'enregistreur acoustique mesure le signal acoustique sur une bande de fréquences jusqu'à 150 kHz (donnée constructeur), suffisante pour caractériser :

- ✓ Les niveaux de bruit émis par les mammifères marins,
- ✓ Les niveaux de bruit ambiant naturel,
- ✓ Les bruits anthropiques liés en particulier au trafic maritime et aux activités de pêche.

La sauvegarde des signaux bruts dans le disque de grande capacité permet de stocker à minima 90 jours de mesures nécessaires selon le constructeur. Ses caractéristiques techniques sont adaptées à l'étude des bruits biologiques sur la zone du parc :

- ✓ Sensibilité hydrophonique avec un réglage de gain de 26 dB : -176 dB re 1 V/ μ Pa
- ✓ Gain : 14 ou 26dB
- ✓ Bande passante : 20Hz – 150 kHz (réponse plate) +/3 dB jusqu'à 192 kHz
- ✓ Fréquence échantillonnage (fs) : 384 kHz
- ✓ Capacité disque : jusqu'à 2To
- ✓ Résolution : 16 bits
- ✓ Format d'enregistrement : format compressé sans pertes.
- ✓ Acquisition : 20 minutes par heure (duty cycle de 30 %)

Les valeurs limites de 20 Hz à 150 kHz correspondent à la bande plate de la réponse hydrophonique ce qui veut dire que la sensibilité acoustique est constante sur cette bande de fréquence. Au-delà de 150 kHz et jusqu'à 192 kHz (fs/2), la sensibilité baisse proportionnellement à la fréquence mais permet toutefois de capter/ détecter la signature haute fréquence des marsouins et espèces hautes fréquences. Tous les systèmes acoustiques ont ce type de réponse en fréquence et n'altèrent en rien les capacités de détection.

Cet équipement permet de couvrir tout le spectre fréquentiel, des basses aux hautes fréquences nécessaires à la détection et la classification des mammifères marins, et à l'établissement de l'état sonore initial. Cet appareil a fait l'objet d'une calibration en sortie d'usine.



Figure 3 : Enregistreur acoustique SoundTrap.

V.2. Système C-POD

Le détecteur C-POD (Cetacean PORpoise Detector, fabriqué par Chelonia Ltd) est un instrument spécialisé pour la détection des clics d'écholocation des marsouins communs et des clics des delphinidés dans la bande de fréquence de 9 à 170kHz. Il détecte également les signaux des sonars opérant dans cette gamme de fréquences. Ce système fonctionne en permanence (duty cycle de 100%) et permet une autonomie supérieure à 90 jours (retour d'expérience Quiet-Oceans et donnée constructeur). Le système détecte et classe automatiquement les trains de clics et enregistre les événements dans une base de données. L'algorithme de détection/classification n'est pas accessible. Ce système ne permet pas de réglage quant aux détecteurs et ne permet aucune vérification auditive et visuelle car les échantillons audio ne sont pas conservés.



Figure 4 : Système CPOD

V.3. Mouillage de l'instrumentation

Les instruments sont intégrés soit dans une cage de fond équipée et lestée (jusqu'à 200 kg en acier) soit dans un mouillage dans la colonne d'eau. Dans les deux cas, aucune marque de surface n'est présente comme présenté en Figure 5. Les instruments seront positionnés entre 5 et 10m par rapport au fond afin de limiter les vibrations et les perturbations acoustiques induites. La procédure de déploiement et de relevage des instruments est issue des 1à années d'expérience de Quiet-Oceans quant à la mise à l'eau de systèmes acoustiques autonomes. Pour les points de mesure ayant conjointement sur la ligne de mouillage un système C-POD et un enregistreur, la distance dans la colonne d'eau séparant les deux systèmes est de 1 mètre. A chaque relevage des instruments, les données collectées sont déposées, converties et archivées sur des disques durs dédiés aux données acoustiques mesurées.

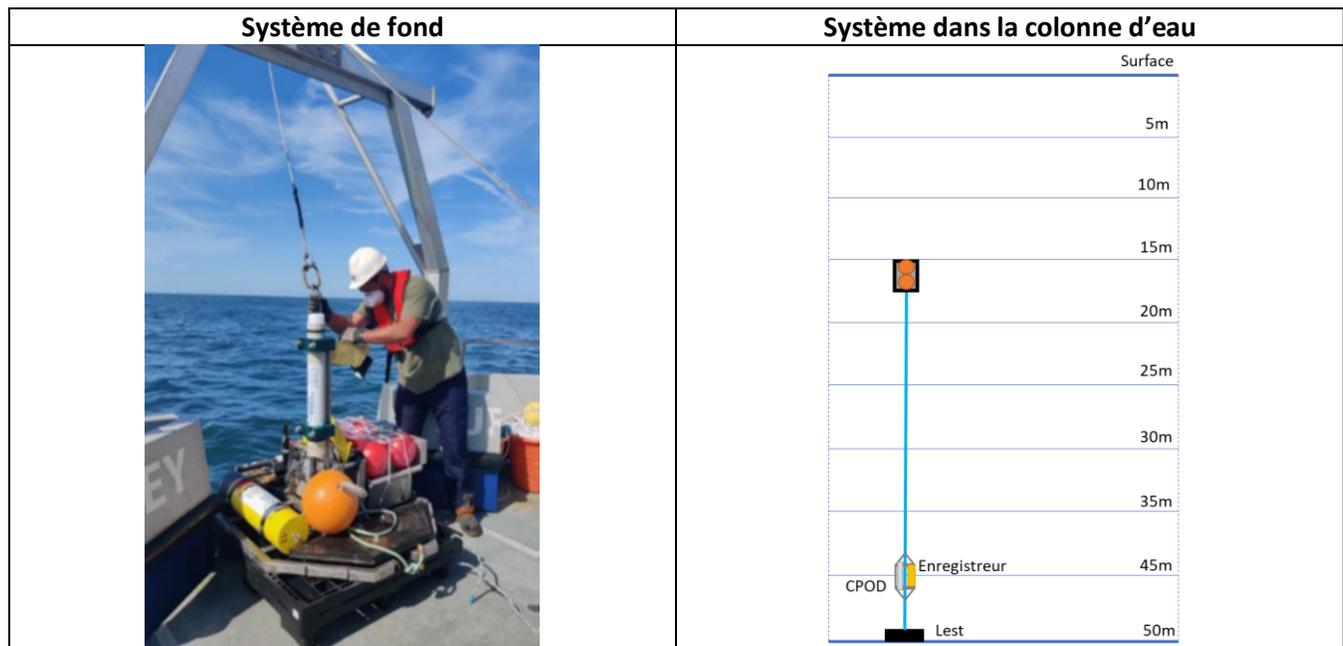


Figure 5 : Systèmes de mouillage

Chapitre VI. Traitement et interprétation « bruit ambiant »

VI.1. Analyse statistique du bruit physique

Le site est sujet à un chorus sonore qu'il s'agit de cartographier afin de connaître l'état de référence du bruit puis l'empreinte sonore des activités en phase de construction du parc éolien en mer puis en phase d'exploitation au-dessus de cet état de référence. L'analyse du bruit ambiant des mesures réalisées couvre les aspects suivants :

- ✓ Analyse statistique des niveaux large bande,
- ✓ Analyse de la variabilité du bruit à l'échelle horaire,
- ✓ Analyse de la variabilité du bruit à l'échelle journalière,
- ✓ Analyse de la variabilité du bruit à l'échelle saisonnière.

VI.2. Cartographie sonore

VI.2.1. L'outil de modélisation Quonops®

La caractérisation du bruit ambiant mesuré à l'échelle de la zone du projet sera cartographiée grâce à la mise en œuvre de modèles acoustiques intégrés dans la plateforme Quonops®. La plateforme prend en compte les données des sources de bruit (navires, ateliers, contributions environnementales), calcule les pertes de propagation et propose une cartographie statistique des niveaux sonores sous forme de percentile. Les mesures in-situ serviront à calibrer cette cartographie. La complexité du site (bathymétrie, présences des îles, nature des fonds, profile de célérité, vent, vagues) impose en effet la mise en œuvre de modèles acoustiques physiques éprouvés traduisant la propagation des ondes acoustiques en fonction des conditions environnementales. Une modélisation simplifiée ne peut pas être acceptable.

La modélisation sert à extrapoler les mesures acoustiques qui n'ont de validité qu'à la position et à l'immersion de la mesure. La mise en œuvre de modèles physiques permet d'étendre la connaissance terrain recueillie par l'hydrophone à l'ensemble de l'aire d'étude en considérant les effets de l'environnement de propagation et la génération des bruits par les activités maritimes dans et au voisinage de l'aire d'étude. Ces activités sont introduites dans la modélisation via des données AIS (Automatic Identification System) qui seront acquises par Quiet-Oceans et qui permettent de décrire les mouvements des navires selon leurs catégories.

Afin de répondre à la question du contrôle du bruit ambiant, notamment pour la mise en œuvre de la Directive Cadre Stratégie du Milieu Marin, un système opérationnel global de prédiction du bruit anthropique appelé Quonops® a été conçu à l'image des systèmes de prévision météorologique. Quonops® combine des données environnementales (bathymétrie, nature des fonds, profile de célérité, vent, vagues) à des informations humaines et intègre des mesures acoustiques pour produire, en fonction du temps et de l'espace, les champs acoustiques sous-marins tridimensionnels en résultant. La version actuelle du système livre un service de cartographie à la pointe des possibilités techniques et scientifiques, service reconnu internationalement. L'emprise de modélisation par la plateforme Quonops® couvre toute la Manche orientale. Les points de mesure se situent dans l'emprise de cette modélisation. La cartographie propose l'analyse statistique des percentiles 5 (niveaux rares), 10, 25, 50, 75,90,95% (niveaux proches du minimum).

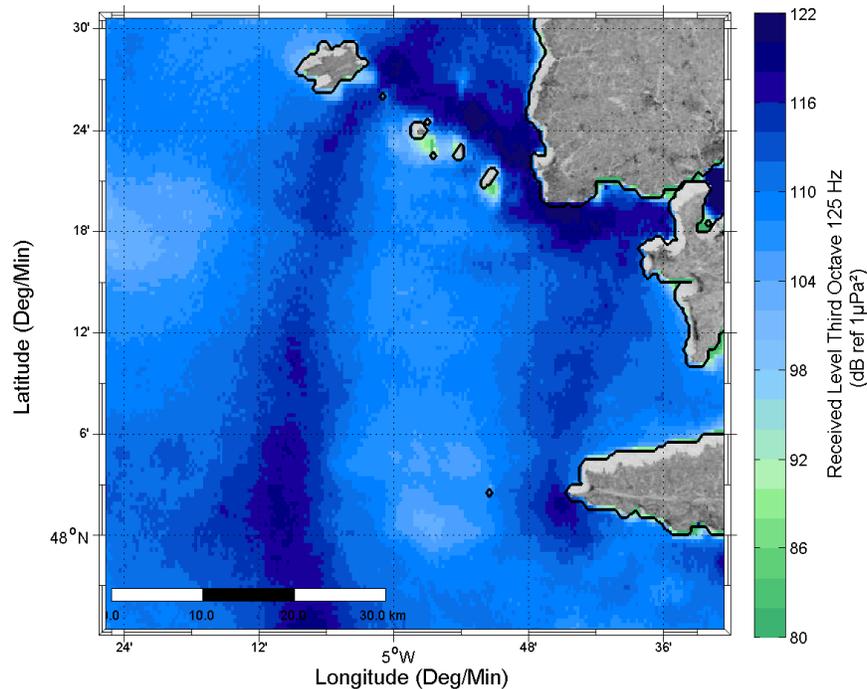


Figure 6 : Exemple de carte statistique mensuelle médiane (percentile 50%) de bruit ambiant du Parc Naturel Marin d'Iroise (source : Quiet-Oceans, projet AQUO).

VI.2.2. Traitement et interprétation « mammifères marins »

Les traitements couvrent les aspects suivants :

- ✓ Une analyse du nombre de contacts acoustiques par espèces ou groupe d'espèces, corrigée de l'estimation de la portée de l'hydrophone ;
- ✓ L'identification et la classification des espèces présente lorsque cela est possible, ainsi que le type d'activité (socialisation, chasse, ...) lorsque cela est possible;
- ✓ Une analyse statistique par espèces ou groupe d'espèces pour renseigner de l'usage du site :
 - Analyse horaire,
 - Analyse journalière,
 - Analyse saisonnière,
 - Analyse par type d'activité (socialisation, chasse, ...).

Quand les données collectées seront suffisantes, la recherche de corrélations entre des métriques environnementales et météo-océanographiques (vent, marée, courant, température, etc.) et la fréquentation des espèces.

Le rapport comportera donc :

- ✓ Une synthèse des conditions de mesure et des éventuels aléas ;
- ✓ Une synthèse des résultats collectés (espèce, type de fréquentation, saisonnalité, ...) ;
- ✓ Des graphes de fréquentation ;
- ✓ Une comparaison entre les résultats des différents capteurs (C-POD et enregistreurs acoustiques),

- ✓ Une comparaison entre les résultats les différentes stations de suivi,
- ✓ Une interprétation biologique des résultats à la lumière des connaissances existantes.

VI.3. Outils mis en œuvre

Concernant l'évaluation de la fréquentation du site par les mammifères marins, Les outils utilisés reposent soit sur des outils internes (modélisation via la plateforme Quonops, traitement et analyse via outil Matlab), soit sur des logiciels dédiés tel que Pamguard (détection et classification des signatures biologiques).

Le logiciel Pamguard, reconnu internationalement et développé par le laboratoire Sea Mammal Research Unit de l'Université de Saint-Andrews en Ecosse sera mis en œuvre sur les données des enregistreurs passifs. Il permet de détecter et de classifier automatiquement à l'aide de modules spécifiques (désignés par nos experts en bioacoustique) :

- ✓ d'une part les signaux biologiques transitoires de type sifflements et mugissements émis respectivement par les Delphinidés et les Balénoptéridés,
- ✓ et d'autre part les signaux biologiques impulsifs de type clics émis par les Delphinidés et les Phocoenidae.

Les paramètres des détecteurs et des classificateurs doivent être adaptés à chaque site de mesure en fonction du contexte sonore et des caractéristiques des espèces susceptibles d'être présentes. Une validation manuelle et auditive des détections sur un échantillon significatif (plusieurs centaines de quartile) permet de qualifier les détecteurs automatiques mis en œuvre et de quantifier les performances des détecteurs. Un quartile est une période de temps de 3 minutes.

VI.3.1. Détection des signaux biologiques transitoires

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. Dans ce contexte, le détecteur sera calibré pour permettre la détection de signaux transitoires allant d'une fréquence minimum de 2 kHz à une fréquence maximum de 48 kHz, bande fréquentielle correspondant à celle des émissions de sifflements par les Delphinidés.

VI.3.2. Détection des signaux biologiques impulsifs

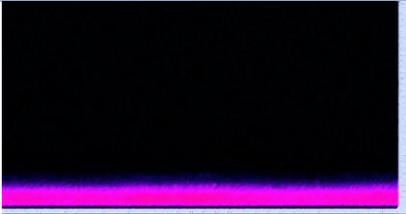
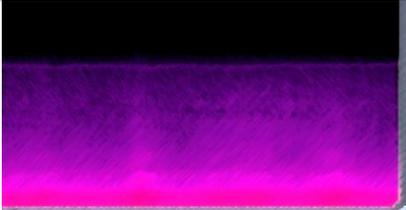
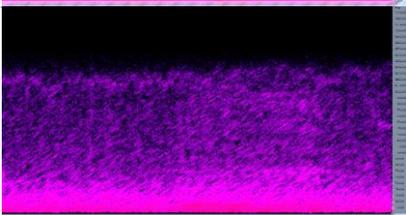
En complément les détecteurs de PamGuard permettent de détecter les signaux biologiques impulsifs (clics). En fonction du contexte sonore, ces signaux peuvent être plus compliqués à détecter en raison de leurs caractéristiques acoustiques proches de celles des signaux impulsifs environnementaux (déplacements sédimentaires) et/ou anthropiques (bruit de navire). Cette détection se base sur l'émergence de l'énergie sonore dans la bande préférentielle de chaque espèce en comparaison des bandes adjacentes et sur la durée significative du signal impulsif caractéristique.

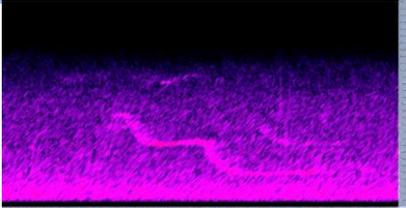
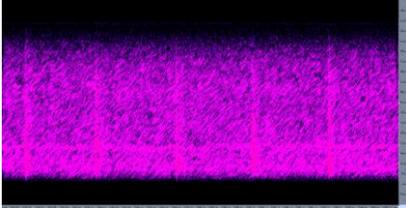
VI.3.3. Validation des évènements sonores

Afin de mesurer la justesse et la cohérence des résultats issus des algorithmes de détection, une validation manuelle est réalisée en deux étapes :

- ✓ La première étape consiste à quantifier les signaux détectés selon leur origine : l'évolution du nombre de signaux biologiques transitoires et impulsifs est représentée par plage temporelle de 5 minutes pour tout le jeu de données. Les dates et heures des instants correspondants aux pics de détections plus ou moins importants, mais également les instants avec absence de détections sont répertoriés dans un tableau dit de vérification.
- ✓ La deuxième étape consiste en la détermination de la présence, ou absence, des signaux biologiques transitoires et impulsifs aux instants précédemment déterminés. Une recherche manuelle des enregistrements audio, correspondants aux instants répertoriés dans le tableau de vérification, est entreprise de manière consciencieuse et méthodique. Les spectrogrammes de ces enregistrements audios sont ensuite visualisés et analysés. La présence dans ces spectrogrammes de signaux biologiques transitoires et impulsifs est alors validée le cas échéant. La validation est réalisée par un expert en bioacoustique diplômé.

Tableau 5 : Evènements sonores environnementaux et biologiques constituant le paysage acoustique

Type de bruit	Définition	Nature	Bande de fréquence	Spectrogramme illustratif
Environnemental	<i>Bruit continu de ruissellement et/ou écoulement de l'eau</i>	Continu	800 Hz-2.8 kHz	
	<i>Bruit continu produit par un épisode de précipitation (provoqué par l'impact des gouttes d'eau sur la surface)</i>		1-30 kHz	
	<i>Bruit provoqué par la houle i.e. par le mouvement des vagues en surface</i>		100 Hz-10 kHz	
Mugissement (moan)	<i>Vocalise émise par les Balénoptéridés d'une durée moyenne de 0.6 secondes. Composée d'une unité de base en basse fréquence et d'harmoniques</i>	Transitoire	0-4 kHz	

Type de bruit	Définition	Nature	Bande de fréquence	Spectrogramme illustratif
Sifflement (whistle)	Vocalise émise par les Delphinidés d'une durée moyenne de 0.7 secondes	Transitoire	2-25 kHz	
Clic (click)	Signal impulsif très bref d'une durée moyenne de 0.1 milliseconde émis par un ou plusieurs Phocoenidés	Impulsif	110-150 kHz	
	Signal impulsif très bref d'une durée moyenne de 0.3 millisecondes émis par un ou plusieurs Delphinidés		10-85 kHz	

VI.4. Interprétation des données des mammifères marins

L'analyse biologique tire profit des informations provenant des capteurs acoustiques pour caractériser la fréquentation du secteur par les cétacés. Ces informations proviennent ainsi de l'exploitation des signaux bruts (les enregistrements sonores) qui sont réalisées par analyse automatique via un logiciel spécialisé. Les résultats de cette analyse automatique sont soumis à une vérification manuelle afin de confirmer ou d'infirmer la détection de mammifères marins. Cette étape permet quand cela est possible de renseigner la taxonomie et le comportement des individus rattachés aux détections.

Les données consolidées sont ensuite exploitées pour décrire :

- ✓ L'intensité de la fréquentation de la zone par les différentes espèces de cétacés (Figure 7). Les estimations que nous obtiendrons s'interpréteront comme des abondances relatives (par exemple des « heures positives par jour », qu'il est possible de comparer tant que les conditions d'enregistrement sont proches) et non pas comme une abondance absolue (c'est-à-dire un nombre d'individus) ;
- ✓ Les patrons saisonniers de la fréquentation des différentes espèces (à l'échelle de la journée et de l'année). Ce travail est soumis à différentes limites méthodologiques qui seront explicitées. La fréquentation journalière et saisonnière permet d'identifier à quel moment les espèces sont préférentiellement présentes dans la zone d'étude, ce qui peut fournir des indications précieuses pour adapter dans la mesure du possible le phasage des travaux dans l'étape de construction. La fréquentation diurne/nocturne est utile pour compléter les suivis visuels.

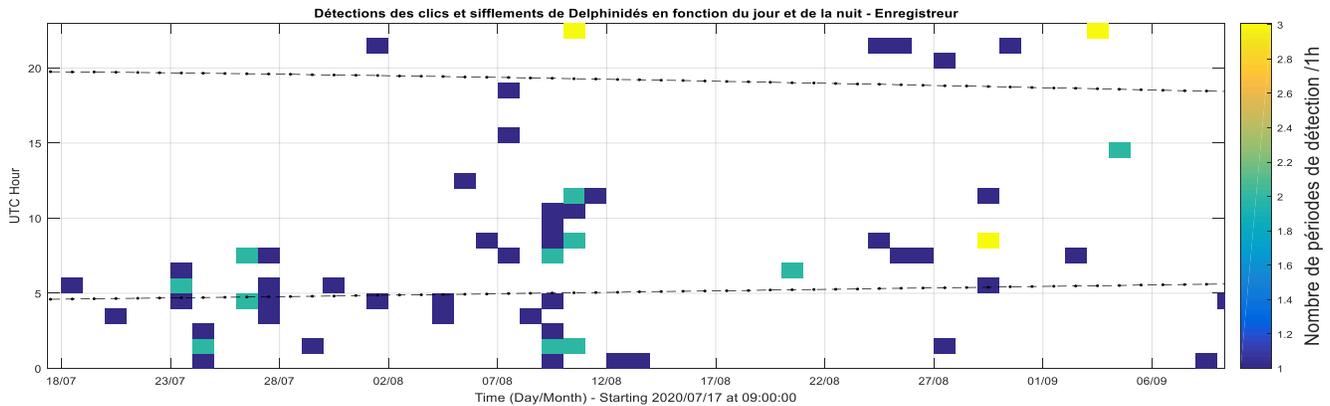


Figure 7 : Exemple de mise en évidence de certains patrons dans la fréquence des détections (jour et heure) dans la fréquentation du site par les delphinidés.

- ✓ La phénologie de la fréquentation pour les différentes espèces - la fréquentation journalière et saisonnière permet d’identifier à quel moment les espèces sont préférentiellement présentes dans la zone d’étude et sur chacun des hydrophones, ce qui peut fournir des indications précieuses pour adapter dans la mesure du possible le phasage des travaux dans l’étape de construction. La fréquentation diurne/nocturne est utile pour compléter les suivis visuels.
- ✓ L’analyse quantitative des impacts du projet sur la fréquentation du site par les mammifères marins - les modalités de l’échantillonnage spatio-temporel permettent théoriquement de réaliser une analyse BACI des impacts. Néanmoins en pratique, cette analyse ne peut être rigoureusement effectuée que si les conditions d’observation sont similaires d’une station d’enregistrement à l’autre. Les estimations des portées de détections réalisées par Quiet-Oceans permettront de prendre en compte les variations de la détectabilité dans l’espace et le temps. Dans le cas où les estimations des portées de détections révéleraient des différentes importantes susceptibles d’atteindre la fiabilité des analyses BACI ces limites seront clairement explicités.

VI.5. Type de livrables et planning

VI.5.1. Rapport de mission par campagne

A l’issue de chaque campagne de déploiement ou de maintenance, un compte rendu d’opération sera rédigé et sera transmis une semaine après le déploiement ou le relevage des instruments.

VI.5.2. Traitement et exploitation des données issues des suivis acoustiques

Chaque année de suivi fera l’objet d’un rapport intermédiaire (à l’issue de la première campagne) et d’un rapport de mission annuel présentant des cartes, tableaux de synthèse et des rédactions expliquant les principaux points marquants.

Le livrable intermédiaire sera transmis environ 3 mois après le relevage de la première mission de collecte des données (et 8 mois après l’engagement de la mission soit la mise à l’eau des enregistreurs). Le rapport intermédiaire présentera les principaux éléments de la première campagne (date de mise à l’eau et relevé des hydrophones, durées des enregistrements, nombre de fichiers enregistrés, nombre de détections identifiées par espèce / groupe, nombre de détection validées par un opérateur par espèce / groupe).

VI.5.3. Rapport annuel

Le livrable final sera transmis 15 mois après le démarrage de la collecte annuelle des données. Ce rapport comportera :

- ✓ Une synthèse des conditions d'expertises présentant notamment des tableaux et cartes indiquant, pour chaque station, sa position géographique de la station, la hauteur du dispositif, la nature du fond ;
- ✓ Une analyse statistique du bruit physique ;
- ✓ Une cartographie sonore sur les zones échantillonnées par modélisation et calibration par les données mesurées aux points fixes. Les résultats seront établis sous la forme de percentiles (ou quantiles) mensuels et annuels pour des niveaux large bande et pour chaque bande de perception des groupes d'espèces ;
- ✓ Une analyse des niveaux de bruit moyens par station ;
- ✓ Contribution à la DCSMM pour le suivi des indicateurs 11a.1.1 (sons impulsifs haute fréquence, basse fréquence et moyenne fréquence) et 11a.2.1 (sons continus à basse fréquence) ;
- ✓ Une synthèse des résultats collectés (occurrence des taxons, types d'activités, intensité de la fréquentation, patrons saisonniers, phénologie de la fréquentation, comparaison de la fréquentation entre les capteurs, comparaison entre les années) ;
- ✓ Une estimation de l'évolution de la fréquentation des mammifères marins autour des points de mesure fixes. Un soin particulier est apporté à la caractérisation de la statistique de la portée de détection des hydrophones pour chaque bande de perception considéré afin de permettre leur exploitation et leur confrontation aux résultats des autres suivis (visuels notamment).

Chapitre VII. Organisation des équipes et modalités de suivi

Organisation de l'équipe en charge de la mesure			
Responsable de la mise en œuvre	QUIET OCEANS	Administratif et commercial	Carl Bois
		Responsable mission Autorisations administratives Préparation et calibration du matériel Déploiement en mer, Maintenance Récupération du matériel	Philippe Billand
Autres parties prenantes	CERES	Moyens à la mer	Dominique Clorennec Justine Chompert Bruno Jaubert



Figure 8 : illustration du navire CERES

FIN DU DOCUMENT