

N°A1000160 – EDF Fécamp – Etat de référence
Suivi acoustique passif du bruit ambiant et des
mammifères marins

Rapport Final



SINAY
MARITIME DATA SOLUTION

SUIVI DU DOCUMENT

Version	Date de rédaction	Rédacteurs	Relecture et validation
1.1	26/04/2021	Achraf Drira Alessio Maglio Laura Couraud Ludivine Martinez	Ludivine Martinez Cédric Gervaise Yanis Souami
1.2	02/06/2021	Achraf Drira Alessio Maglio Laura Couraud Ludivine Martinez	Laura Couraud
Finale	06/08/2021	Achraf Drira Alessio Maglio Laura Couraud Ludivine Martinez	Alessio Maglio Laura Couraud

SOMMAIRE

1	Contexte et enjeux.....	13
1.1	Généralités sur l'acoustique sous-marine, le bruit sous-marin et les impacts potentiels.....	13
1.2	Contexte scientifique	17
1.3	Contexte réglementaire	18
1.4	Présentation du projet de Fécamp	20
1.5	Définition des aires d'études.....	22
1.5.1	L'aire d'étude éloignée	22
1.5.2	L'aire d'étude rapprochée	24
1.6	Enjeux biologiques en Manche-Est.....	27
1.7	Enjeux biologiques de la zone d'étude	36
1.8	Objectifs de l'état de référence acoustique.....	38
2	Méthodologie et moyens utilisés.....	39
2.1	Approche adoptée	39
2.2	Moyens technologiques	40
2.3	Matériel utilisé pour la mesure de l'ambiance sonore et des signaux biologiques	43
2.3.1	Les enregistreur RTsys avec hydrophone HDI-99-HF.....	43
2.3.2	Les C-PODs	44
2.4	Positionnement du matériel d'enregistrement acoustique	45
2.4.1	Prise en compte des paramètres physiques	48
2.4.2	Activités anthropiques.....	51
2.5	Réalisation des campagnes de mesures acoustiques in situ	55
2.5.1	Plannings prévisionnel et opérationnel	55
2.5.2	Déploiement des dispositifs acoustiques	56
2.6	Méthodologie générale de l'analyse employée	58
2.7	Méthodologie de l'étude du bruit ambiant	60
2.7.1	Introduction à la modélisation numérique du bruit	60
2.7.2	Principes des études de modélisation du bruit sous-marin	61
3	Bruit ambiant et signaux biologiques.....	64
3.1	Evolution du niveau de bruit dans la zone d'étude durant la période des enregistrements	64
3.1.1	Quantification des niveaux de bruit	64
3.1.2	Analyse des résultats des mesures.....	66
3.1.3	Analyses Temps-Fréquences	68
3.2	Evolution des detections de signaux biologiques dans la zone d'étude durant la période des enregistrements	73
3.2.1	Méthodes d'analyse	73
3.2.2	Indicateurs d'activité bioacoustique des delphinidés et marsouins extraits des données des C-PODs	73
3.2.3	Contextualisation des résultats bio acoustiques	82
4	Modélisation du bruit ambiant	84
4.1	La zone de modélisation.....	84
4.2	Recueil des données d'entrée du modèle.....	84

4.2.1	Les données utilisées dans la modélisation du bruit ambiant	84
4.2.2	Identification des sources de bruit	85
4.2.3	Les données de l'environnement	86
4.2.4	Les données anthropiques.....	90
4.2.5	Les données d'entrée des sources sonores	91
4.3	Choix du modèle de propagation	94
4.4	Calibration active	95
4.5	Calibration passive	100
4.6	Résultats de la modélisation	100
5	Conclusion	109
6	Références.....	112
7	Annexes.....	128
7.1	Identification des Zones Natura 2000 et ZNIEFF marines, présentes au sein de l'aire d'étude éloignée.....	128
7.2	Calibration et rayon de détection.....	133
7.3	Calibration des C-PODs.....	137
7.4	Analyse des résultats de mesures	137
7.5	Résultats des C-PODs	137
7.6	Calibration active	138

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1. Distribution des observations et de la densité estimée de marsouin commun ; (a) avant battage de pieux (mars/avril 2009) et (b) pendant battage de pieux (1 ^{er} mai 2009) (Dähne et al., 2013a).	15
Figure 2 : Densité du trafic maritime dans la Manche Mer du Nord en 2017 (Source&Data : EMODnet).....	16
Figure 3 : Distribution spatiale des niveaux maximaux annuels par maille pour la bande de tiers d'octave centrée sur 63 Hz dans la SRM MMN en 2016 (Le Courtois et al., 2017).	17
Figure 4 : Localisation de la zone d'implantation du futur parc éolien au large de Fécamp (EOHF).	21
Figure 5 : Aires d'étude du projet de parc éolien en mer de Fécamp. L'aire d'étude éloignée (en orange) et l'aire d'étude rapprochée (en noir).	22
Figure 6 : Zones Natura 2000 (ZPS, ZSC, SIC et ZICO), ZNIEFF continentales et marines et autres réglementations au sein de l'aire d'étude éloignée.	24
Figure 7 : Bathymétrie et élévation de la zone de projet.	25
Figure 8 : Zone N2000 et ZNIEFF marine au sein de l'aire d'étude rapprochée.	26
Figure 9 : Estimation des densités de marsouins (individus/km ²) communs lors des recensements SCAN de 1994 (gauche) et SCANS II de 2005 (droite) (Hammond, 2017).	27
Figure 10 : Estimation des densités dans chaque zone de survol pour le marsouin commun (A), le grand dauphin (B), le dauphin commun (C), le dauphin bleu et blanc (D), le petit rorqual (E) et le rorqual commun (F) (Hammond, 2017).	28
Figure 11 : Principaux repositoires pour les phoques gris (en rouge) et veau marin (en vert) en Manche (Vincent et al., 2017).	31
Figure 12 : Estimation des zones de chasse du phoque gris (en bleu) et du phoque veau marin (en vert) en Manche Est (Planque et al., 2020).	32
Figure 13 : Nombre de marsouins communs mort de captures accidentelles entre 1990 et 2015 sur les façades Manche et Atlantique ainsi que les seuils de soutenabilité associés (1,7% des effectifs de la population) calculés à partir des calculs à partir des campagnes SAMM et SCANS III (Spitz et al., 2018)).	33
Figure 14 : Distribution spatiale des échouages des espèces permanentes de Manche-Mer du Nord : A = le grand dauphin, B = le marsouin commun, C = le globicéphale noir, D = le dauphin commun, E = le dauphin bleu-et-blanc, F = le petit rorqual et le rorqual commun, G = le dauphin de Risso et le lagénorhynque à bec blanc, H = le phoque gris et I = le phoque veau-marin (Martinez et al., 2012).	34
Figure 15 : Cartes de densités des cétacés sur la façade Manche-Atlantique (nombre d'observations par km ²) en hiver et en été pour le marsouin commun (a et b), les delphininés -dauphins commun et dauphins bleu et blanc- (c et d), le grand dauphin (e et f), les globicéphalinés – globicéphales noirs et dauphins de Risso- (g et h) et les rorquals (i). La ligne rouge en (i) délimite les observations de petits rorquals et de rorquals (Pettex et al., 2014).	35
Figure 16 : Distribution saisonnière des échouages de marsouin commun entre 1971 et 2012 (Martinez et al., 2013).	36
Figure 17 : Phénologie d'observation des mammifères marins lors de la campagne 2008/2009 (A) et 2012/2013 (B) par avion et bateau (BIOTOPE, 2014).	37
Figure 18 : Schéma de l'approche BACI (source : Secor D. 2017. Priorities and challenges of monitoring).	39
Figure 19 : Exemple de plan d'échantillonnage sur gradient spatial, avec plusieurs sites d'échantillonnage mais seulement 2 périodes (Before After Gradient).	40

Figure 20 : Illustration des fonctions du Hub digital SINAY.	41
Figure 21 : Exemple de technologies intégrées au Hub SINAY	41
Figure 22 : Exemple de tableau de bord, interface proposée à EOHF dans le cadre d'une étude acoustique pour visualiser les données acquises et les indicateurs produits	42
Figure 23 : Localisation globale des lignes de mouillage porteuses des enregistreurs acoustiques (H1/H2) et des C-PODs (C1/C2/C3).	46
Figure 24 : Bathymétrie et élévation sur la zone de projet (SHOM, 2018).	48
Figure 25 : Faciès morpho-sédimentaires de la zone de projet (SHOM).	49
Figure 26 : Courants et vitesses maximales de Basse-Normandie (DREAL Normandie, 2015).	50
Figure 27 : Marnage de la zone de projet (SHOM)	50
Figure 28 : Illustration du trafic maritime (densités). Données AIS année 2017, résolution 2 minutes.	51
Figure 29 : Illustration du trafic maritime (trajectoires). Données AIS année 2017, résolution 2 minutes.	52
Figure 30 : Illustration de l'activité de pêche (densité) à partir des données AIS 2017, résolution 2 minutes. .	53
Figure 31 : Illustration de l'activité de pêche (trajectoires). Données AIS année 2017, résolution 2 minutes. .	54
Figure 32 : Planning prévisionnel 2019-2021 des campagnes de mesures acoustiques in situ.	55
Figure 33 : Planning de réalisation 2019-2021 des campagnes de mesures acoustiques in situ.	55
Figure 34 : Schéma de la ligne de mouillage porteuses des dispositifs acoustiques (Flèche verte : manille de jonction ; flèche bleue : manille lyre ; flèche orange : émerillon ; flèche violette : manille d'ancre).	57
Figure 35 : illustration des trois composantes d'un paysage acoustique marin.....	61
Figure 36 : principe de modélisation du bruit anthropique à l'échelle de la zone d'étude.	63
Figure 37 : niveau de bruit RMS enregistré dans la zone témoin (H1) du 21/11/2020 au 10/12/2020. La ligne rouge présente la moyenne du niveau de bruit durant cette période.....	65
Figure 38 : Niveau de bruit RMS enregistré dans la zone témoin (H1) du 08/03/2021 au 24/03/2021. La ligne rouge présente la moyenne du niveau de bruit durant cette période.....	66
Figure 39 : Echantillon du niveau de bruit RMS pour 3 jours dans la zone témoin (H1).	66
Figure 40 : Niveau de bruit RMS sur 24h dans la zone témoin pour un enregistrement du 20/11 au 10/12/2020).	67
Figure 41 : Modèle de Wenz simplifié	69
Figure 42 : Distribution de la moyenne des niveaux DSP sur les tiers d'octaves jusqu'à 10 kHz dans la zone témoin (en rouge). Les courbes sous-jacentes (en noir) sont les niveaux de bruit du modèle de Wenz, illustrés dans ce graph pour comparaison avec nos mesures. Les courbes à gauche correspondent au bruit typique des navires, celles de droite au bruit du vent transmis dans l'eau.	71
Figure 43 : Niveau du bruit DSP tiers d'octave dans la zone témoin.....	71
Figure 44 : Percentiles 90 % (en bleu), 50% (en vert) et 10% (en rouge) de la densité spectrale de puissance de la zone témoin. Le modèle de Wenz est visible dans les courbes sous-jacentes, en noir.	72
Figure 45 : Variation de la présence de delphinidés (à gauche) et marsouins (à droite) sur la période de mars 2019 à mars 2021, sur l'ensemble de la zone (somme des détections (Dpm) de tous les capteurs). Le ! sur les détections de 2019 indique que la raison principale des valeurs faibles est technique (perte des capteurs)...	76
Figure 46. Probabilité présence (%) saisonnière des marsouins (orange) et delphinidés (bleu) par trimestre, sur l'ensemble de la zone. Les données sont agrégées par trimestre et pondérées par la durée des enregistrements de chaque trimestre.	78

Figure 47. Variation de l'indicateur de présence (Dpm) mensuelle des delphinidés (à gauche) et marsouins (à droite) sur la période 2019-2021. Le carré met en évidence les variations au sein d'un même trimestre.	79
Figure 48. Variation journalière des détections des delphinidés (en bleu) et marsouins (en orange) sur la période de mars 2019 à mars 2021, sur toutes les zones confondues.....	80
Figure 49. Variation des détections sur les trois sites de déploiement des CPOD	81
Figure 50 : Zone de modélisation pour l'état de référence acoustique du projet éolien offshore de Fécamp..	84
Figure 51 : Fréquences et niveau sonores de quelques sources acoustiques : sources anthropiques (orange), sources biologiques (vert) et abiotiques (bleu et rouge) (Boyd, 2008).	86
Figure 52 : Bathymétrie et élévation de l'aire d'étude éloignée utilisée pour les simulations acoustiques (SHOM 2018).....	87
Figure 53 : Profils bathymétriques de la Manche (Turbout, 2013).	88
Figure 54 : Faciès morpho-sédimentaires de l'aire d'étude éloignée (SHOM 2010).....	89
Figure 55 : Les Profils de vitesse calculés pour chaque saison, en bleu l'hiver, en vert le printemps, en rouge pour l'été et en jaune pour l'automne.	90
Figure 56 : Un exemple des données AIS à un instant T de la Manche (source MarineTraffic.com).	91
Figure 57 : Niveau de bruit en fonction de la vitesse du vent.	92
Figure 58 : Liste de source de bruit lors de déplacement d'un navire.	93
Figure 59 : Niveau d'émission DSP d'un bateau estimé avec les différentes approches présentes dans la littérature.	94
Figure 60 : la figure illustre le spectrogramme du Signal Chirp (signal modulé en fréquence) de 100 Hz à 20 KHz pour trouver la fonction du transfert de toutes les fréquences du milieu de propagation. Les couleurs présentent l'intensité du signal. Plus la couleur est rouge plus l'intensité du signal est élevée.....	96
Figure 61 : La figure illustre le spectrogramme d'un sifflement de dauphin utilisé pour étudier l'effet du masquage avec le bruit ambiant et la distance maximal de détection sur les enregistreurs.	96
Figure 62 : La séquence des signaux envoyé pour chaque point mesuré à 1 m du l'émetteur (Lubell), la figure illustre le spectrogramme des différents types de signaux envoyés.....	97
Figure 63 : Illustration du matériel utilisé pour la calibration active des enregistreurs.....	98
Figure 64 : Calibration active de l'enregistreur H1 Sylence EA-SDALP le 20/11/2020.	99
Figure 65 : Calibration active de l'enregistreur H2 Sylence EA-SD14 , le 20/11/2020.	99
Figure 66 : Illustration d'une simulation de bruit généré par le trafic maritime avec 84 bateaux à un instant T. chaque icone jaune sur la carte présente l'emplacement d'un bateau sur le réseau AIS.....	101
Figure 67. Variation de l'indicateur d'abondance (Dpm) par semaine des delphinidés (en bleu) et marsouins (en orange) sur la période de mars 2019 à mars 2021, sur toutes les zones confondues	137
Figure 68 : Variation de l'indicateur de présence (Dpm) par jour des delphinidés (en bleu) et marsouins (en orange) sur la période de mars 2019 à mars 2021, sur toutes les zones confondues	137

Tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques techniques du futur parc éolien (Société Offshore des Hautes Falaises, s. d.).....	21
Tableau 2 : Identification de Zones N2000 et ZNIEFF marine à l'intérieur de la zone de projet.	26

Tableau 3 : Abondance des principales espèces ou groupe d'espèce de mammifères marins en Manche à partir des recensements SAMM (Pettex et al., 2014).	29
Tableau 4 : Abondance des principales espèces de cétacés en Manche à partir du recensement SCANS III réalisé à l'été 2016 (Hammond, 2017).....	29
Tableau 5 : Synthèse des caractéristiques et paramètres des enregistreurs RTsys déployés.....	44
Tableau 6 : Présentation du C-POD, avantages et limites.	45
Tableau 7 : Coordonnées des points de dépôts des dispositifs acoustiques (ellipsoïde WGS 84).	47
Tableau 8 : Descriptif du navire Celtic Warrior (Société STO Logistique) utilisé pour l'ensemble des missions et conditions de navigation et d'opération.	56
Tableau 9 : Valeurs limites de vent et de vagues associées aux opérations du Celtic Warrior.	56
Tableau 10. Nombre de mois d'enregistrement disponibles	78
Tableau 11 : Liste exhaustive des types et des sources de données.	85
Tableau 12 : Liste des publications utilisées pour estimer SL le niveau du bruit généré par le vent et les navires.	91
Tableau 13 : Comparaison d'efficacité des différentes méthodes de modélisation dans les différentes conditions de fonds et de sources	95
Tableau 14 : Modélisation du niveau de bruit dépassant le niveau indiqué pendant 80% du temps pour les différentes saisons (automne, hiver, printemps et été).	103
Tableau 15 : Modélisation du niveau de bruit dépassant le niveau indiqué pendant 50% du temps pour les différentes saisons (automne, hiver, printemps et été).	105
Tableau 16 : Modélisation du niveau de bruit dépassant le niveau indiqué pendant 5% du temps pour les différentes saisons (automne, hiver, printemps et été).	107
Tableau 17 : Identification des Zones Natura 2000 et ZNIEFF marines, présentes au sein de l'aire d'étude éloignée.	128

Glossaire

A

AIS

Automatique Identification System 59

ASCOBANS

Accord sur la conservation des petits cétacés de la mer Baltique, du nord-est de l'Atlantique et des mers d'Irlande et du Nord 18

B

BACI

Before-After-Control-Impact 40

BSH

Federal Maritime and Hydrographic Agency 20

C

CBD

Convention sur la diversité biologique 18

CEFAS

Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science 20

célérité

Vitesse de propagation d'une onde mécanique progressive 60

CIEM

, Convention internationale pour l'exploration de la mer 18

CMS

Convention sur la protection des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage 18

COPIL

COmité de PIlotage 25

CSRPN

Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel 26

D

dB re 1 µPa

Les dB sous-marins sont référencés à une pression de 1 microPascal (µPa) , qui est abrégé en dB re 1 µPa. 69

DCSMM

Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin 18

DEFRA

Department for Environment, Food and Rural Affairs 20

DOCOB

DOcument d'OBjectifs Natura 2000 25

DSP

densité spectrale de puissance du signal 61

E

EOHF

Eoliennes Offshore des Hautes-Falaises 20

F

FSD

Formulaire Standard de Données 25

M

Marnage

la différence de hauteur entre une pleine mer et une basse mer consécutives, donnant l'amplitude des marées. 60

N

NBHF

détecteur de clics 'haute fréquence' pour les marsouins 74

O

OSPAR

Convention Oslo-Paris, sur la protection de l'Atlantique Nord-Est contre les pollutions. 18

P

PNM

Parc Naturel Marin 23

R

RMS

Root Mean Square 61

RNN

Réserve Naturelle Nationale 23

S

SAMM

Survol Aérien de la Mégafaune Marine 29

SCAN

Small Cetaceans in European Atlantic watersand the North Sea 27

SEL

Sound Exposure Level 61

SHOM

Service hydrographique de la marine 25

SIC

Site d'intérêt communautaire 23

SPL

SPL-crête (zero-to-peak), en dB re 1µPa 61

SPL - peak

Sound Pressure Level peak 65

SPL rms

Sound Pressure Level root mean square 65

SRM MMN

Sous-Région Marine de la Manche-Mer du Nord 16

Z

ZEE

Zones Economiques et Exclusives 23

ZICO

Zones Importantes pour la Conservations des Oiseaux 23

ZNIEFF

Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique 23, 24

ZPS

Zone de Protection Spéciale 23

ZSC

Zone Spéciale de Conservation 23

Zones Spéciales de Conservation 23

Résumé de l'étude

EOHF a obtenu en date du 05 avril 2016 une autorisation d'aménager et d'exploiter le parc éolien en mer au titre de l'article L214-3 du Code de l'Environnement. L'article 9 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.

La société SINAY a réalisé un état de référence du bruit sous-marin et de la fréquentation des cétacés dans la zone du futur parc d'éolien de Fécamp. Cet état initial permet de caractériser et quantifier les différentes sources de bruit et de connaître la distribution statistique du bruit ambiant ainsi que de décrire la présence des différentes espèces de mammifères marins dans la zone d'étude.

Méthodologie

La Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises (EOHF) a décidé de confier à SINAY la réalisation l'état de référence du suivi acoustique passif du bruit ambiant et des mammifères marins.

La présente étude s'intègre dans une démarche de type BACI effectuée par divers opérateurs au cours du temps. SINAY intervient en tant qu'auteur de l'état de référence, après la réalisation de l'état initial et de l'étude d'impact acoustique effectués par le bureau d'étude Quiet Océan en 2013, qui a permis de définir les grands axes des suivis à mettre en place avant, pendant et après les travaux d'installation du parc éolien en mer de Fécamp.

SINAY et ses partenaires ont veillé à la reproductibilité des opérations entreprises afin d'améliorer la cohérence de la démarche à l'échelle de la vie du parc considéré dans le respect de l'application de la démarche BACI (Before-After-Control-Impact).

L'objectif du suivi acoustique, lié à l'article 9 de l'article L214-3 du Code de l'Environnement, est de :

- Suivre le bruit ambiant sous-marin (MSu3a) ;
- Suivre l'occupation et les comportements des mammifères marins (MSu3b).

Les protocoles de l'état de référence acoustique ont également été consolidés et validés le 18 avril 2018 à la suite de l'avis rendu par le comité scientifique et le comité de suivi.

Opérationnel

Les résultats de cette étude sont basés sur des relevés saisonniers issus de 4 grandes campagnes acoustiques qui se sont tenues entre mars 2019 et mars 2021.

Ces campagnes ont permis de recueillir un jeu de données statistiquement représentatif :

- d'acoustique passive, pour la caractérisation de l'occupation du site par les mammifères marins via la détection de leurs clics et de mesurer le niveau de bruit de la zone du parc et dans la zone témoin ;
- d'acoustique active, pour calibrer le modèle de propagation qui va permettre de décrire le bruit ambiant de la zone d'étude.

Résultats des mesures du bruit

L'analyse des enregistrements menée par SINAY a montré un niveau de bruit sous-marin élevé : Les niveaux de bruit dans les plus basses fréquences sont plus élevés que le niveau de bruit dans le modèle de Wenz pour l'indice de trafic 7 surtout sur dans la zone témoin. Ces résultats sont retrouvés pendant toute la période de l'enregistrement. Ceci montre que le niveau de bruit anthropique est fort sur cette zone et que le trafic maritime domine toute la bande fréquence de 1 Hz à 10 kHz.

Les analyses ont également révélé une légère différence entre le niveau du bruit pendant le jour et la nuit, notamment en basses et moyennes fréquences, en relation avec les activités quotidiennes anthropiques dans la zone.

Résultats de la cartographie du bruit

Le niveau de bruit ambiant est très impacté par le trafic maritime. Les analyses des résultats de modélisation dans la zone ont également permis de distinguer les bruits notables auxquels le secteur est exposé, à savoir, le bruit généré par les grands bateaux de commerces.

Ce qu'il est possible de conclure de cette étude, c'est que le bruit généré par le trafic maritime est plus élevé sur la zone témoin, avec environ 10 dB de plus pour les médianes comparées au reste de la zone.

Les paramètres du milieu de propagation des ondes acoustiques dans la zone de projet ainsi que les faibles hauteurs d'eau ont montré une forte absorption des basses fréquences. Les niveaux de bruit les plus élevés sont identifiables dans les zones les plus profondes et à la sortie des ports comme Le Havre et Southampton.

Résultats de l'étude de la présence des mammifères marins

La majeure partie de l'activité des dauphins (les espèces appartenant à la famille des delphinidés) et marsouins (*Phocoena phocoena*) a été détectée durant l'automne et l'hiver. L'activité des delphinidés est beaucoup moins importante que les marsouins. La zone d'étude est exploitée régulièrement par le marsouin, plus sporadiquement par les delphinidés. L'activité bioacoustique montre aussi un cycle journalier : moins intense dans les heures centrales de la journée, plus intense le soir et la nuit.

Cette étude nous a permis de caractériser l'ambiance sonore initiale de la zone du futur parc éolien de Fécamp et nous a fourni des informations importantes pour la phase d'évaluation de l'impact du bruit des futurs travaux.

1 CONTEXTE ET ENJEUX

1.1 GENERALITES SUR L'ACOUSTIQUE SOUS-MARINE, LE BRUIT SOUS-MARIN ET LES IMPACTS POTENTIELS

L'environnement marin est caractérisé par des conditions acoustiques spécifiques (Wenz, 1962) auxquelles les espèces marines, les cétacés en particulier, sont extrêmement bien adaptées. Pour les mammifères marins, la communication et la perception acoustique ont acquis un rôle privilégié par rapport aux autres sens et aux autres groupes zoologiques. Ils vivent dans un milieu qui a une faible capacité de transmission de la lumière, mais à travers lequel le son se propage très bien, même sur de longues distances.

Les différents groupes de faune marine (Poissons, Invertébrés), et les mammifères marins en particulier, ont développé un système d'émission sonore (écholocation) leur permettant de localiser les éléments de leur environnement dans un milieu où la vue est inefficace à cause du manque de lumière (Joncquez & Moissonier, 2010). Pour cela, les animaux émettent des ondes sonores, perceptibles ou non par l'oreille humaine. Celles-ci sont renvoyées lorsqu'elles se heurtent à un obstacle ou une proie puis sont enregistrées et visualisées par le cerveau de l'animal, lui fournissant ainsi une image en trois dimensions de son environnement. Le principe de l'écholocation est fondé sur l'effet Doppler, du nom du mathématicien autrichien qui présenta cette théorie en 1842 pour les ondes sonores (Hartenberger, Encyclopædia Universalis [en ligne]). Ces groupes espèces dépendent fortement du son pour communiquer, coordonner leurs mouvements, naviguer, exploiter et étudier le milieu, trouver de la nourriture, pour la reproduction, pour éviter les prédateurs ainsi que d'autres menaces. Ces capacités sont le résultat de l'adaptation évolutive de la faune marine à l'environnement marin, dont les aspects acoustiques sont d'une importance primordiale.

Ce que l'on appelle « habitat acoustique » est aujourd'hui altéré par les bruits anthropiques. Quand un tel habitat est dégradé, la communication acoustique est dégradée, avec des dysfonctionnements conséquents dans le système social et les autres fonctions vitales. Comme proposé par plusieurs scientifiques, chaque espèce possède sa « niche acoustique » spécifique au sein d'un plus grand « habitat acoustique » (Agardy et al., 2007; Pavan, 2008; P. Tyack, 2008). Des effets directs et indirects sur les individus et sur les populations des différents groupes faunistiques marins se manifestent en réponse à un habitat acoustique dégradé. Ces effets comprennent les modifications comportementales comme l'évitement d'une certaine région marine, ou bien l'endommagement des systèmes auditifs, temporaire ou permanent, des malformations, ou encore des blessures mortelles dans des cas extrêmes (NRC, 2000, 2003; Simmonds et al., 2004; Agardy et al., 2007; Lurton & Antoine, 2007; Weilgart, 2007a; M. André et al., 2011; Aguilar de Soto, Delorme, et al., 2013). La notion que le bruit d'origine anthropique puisse être une cause d'impact pour les mammifères marins a été énoncée pour la première fois au début des années '70 (Payne & Webb, 1971). Ces auteurs proposaient l'idée que la somme des bruits de très basse fréquence (< 100 Hz) générés par le trafic maritime au niveau global puisse réduire les distances sur lesquelles les grands cétacés sont capables de communiquer. Plusieurs études ont par la suite quantifié la diminution de l'espace de communication, en particulier sur les grands cétacés (Clark et al. 2009; Hatch et al. 2012; Dunlop 2019). Cette prise de conscience s'est renforcée au cours des 25 dernières années, principalement à cause des effets reconnus de l'emploi de sources sonores très intenses sur les cétacés et autre faune marine (poissons, mollusques et crustacés principalement). Ces sources sont utilisées lors de beaucoup d'activités comprenant, entre autres, le transport maritime, la recherche et l'exploitation d'hydrocarbures, les activités militaires et industrielles avec sonar (et autres sources sonores actives), les explosions sous-marines, les travaux de génie civil et militaire, la construction et l'exploitation des parcs éoliens en mer, les travaux de construction offshore et côtiers, ...(Maglio, 2013).

Contrairement à d'autres modifications physiques de l'habitat, les impacts anthropiques engendrés par ces activités sont à la fois très récents (en termes évolutifs) et relativement rapides par rapport aux temps d'adaptation des espèces. Ces sources sonores envahissent l'espace acoustique et physique des organismes marins et l'estimation des conséquences négatives sur l'équilibre naturel du milieu marin et sur la biodiversité marine à courts, moyens et longs-termes, est un exercice complexe.

Selon le cadre établi grâce à la Directive-cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM, 2008/56/EC), les perturbations sonores impactant les espèces marines sont générées par deux grandes catégories d'émissions sonores sous-marines :

- **Les bruits impulsifs** : émissions de forte intensité et de durée très courte (quelques millisecondes à quelques secondes). Ces signaux peuvent être isolés (par exemple une opération de déminage) ou répétés (battages de pieux, tirs de canons à air lors de prospections sismiques...). Il s'agit de sources sonores capables d'engendrer des impacts physiologiques aigus dans les différents groupes de faune marine ;
- **Le bruit continu** : émissions continues, de niveaux généralement plus faibles, mais persistants voire permanents. Le trafic maritime est généralement identifié comme la source de bruit continu contribuant le plus souvent par son omniprésence aux niveaux de bruit ambiant.

Beaucoup de travaux scientifiques démontrent l'existence d'effets négatifs des différentes sources sonores sous-marine impulsives sur les différents groupes faunistiques :

- Les battages de pieux, en particulier sur les mammifères marins et les poissons (Hastings & Popper, 2005; Brandt et al., 2009; OSPAR, 2009; Tougaard et al., 2009; Thompson et al., 2010; Dähne et al., 2013b; Thomsen et al., 2015; Tougaard et al., 2015) ;
- Les explosions sous-marines, pour tout groupe faunistique (Chapman, 1985; Ketten, 1995; Schmidtke et al., 2009; Koschinski, 2011; Von Benda-Beckmann et al., 2015) ;
- Les prospections sismiques, en particulier sur les cétacés et les poissons, mais aussi sur les tortues, les mollusques et crustacés (A. N. Popper et al., 2005; Stone & Tasker, 2006; Boyd et al., 2008; Castellote et al., 2012; Aguilar de Soto, Delorme, et al., 2013; Southall et al., 2013; Hawkins et al., 2014b; Castellote & Llorens, 2016; Nelms et al., 2016) ;
- Les sonars militaires, en particulier sur les cétacés (Frantzis, 1998; Fernandez et al., 2004; Martin et al., 2004; Filadelfo et al., 2009; P. L. Tyack et al., 2011; Aguilar de Soto, Cañadas, et al., 2013; Aguilar de Soto, Delorme, et al., 2013; Deruiter et al., 2013; Fernández et al., 2013) ;

En ce qui concerne les bruits continus, le trafic maritime est généralement considéré le principal contributeur des niveaux de bruit ambiant marin (Hildebrand, 2009) :

- A l'échelle mondiale le bruit généré par le trafic maritime est créé par un réseau de sources mobiles d'intensité intermédiaire et aux caractéristiques variables (Scrimger & Heitmeyer, 1991). Le bruit produit par la circulation des navires permet de considérer deux scénarios, l'un à proximité de navires bruyants et l'autre à plus grande distance où le bruit rayonné par un certain nombre de navires se fusionne dans un bruit de fond relativement constant, plus élevé que le bruit naturel ;
- D'autres sources peuvent contribuer aux bruits ambiants comme les opérations de forages, de dragages, d'ensouillage des câbles sur les parcs éoliens en mer lors de la phase des travaux ou bien par le bruit rayonné de fond très large bande pendant la phase d'exploitation (Quiet oceans, 2013). Des sources de bruits similaires sont également rencontrés sur les

plateformes offshore type pétrolières, gazières, et d'autres trucs type regassificateurs, ... (Hildebrand, 2009).

Les deux types de bruit mentionnés (continus et impulsifs) sont généralement associés aux changements de comportement (dérangement de la communication, évitement de zones, altération du comportement de chasse, de reproduction...), au masquage et aux réactions physiologiques (augmentation de la production d'hormones de stress, accélération des battements de cœurs, du rythmes de respirations (Rolland et al., 2012), alors que les effets des signaux impulsifs très intenses peuvent, en plus, provoquer des dommages physiologiques aigus (type blessures, traumatismes et lésions des systèmes auditifs, malformations des stades larvaires/précoces pour les mollusques et les crustacés etc.) (Hawkins et al., 2014a; A. N. Popper et al., 2014; Southall et al., 2019).

Les effets cumulés et synergiques des différents types de sons anthropiques, bien que complexes, sont alors à considérer, en particulier au niveau des populations. Les aspects comportementaux peuvent en effets concerner la perturbation de l'activité d'un seul individu, à court terme, mais aussi de toute une population, à long terme. Les coûts écologiques associés aux modifications de l'habitat acoustique peuvent être nombreux, à savoir la réduction de l'efficacité de recherche de nourriture (Aguilar de Soto et al., 2006), la diminution du succès de reproduction, la diminution de la capacité d'éviter les menaces (Weilgart, 2007b) et finalement une diminution de la capacité de survie (Southall, 2005; Pavan, 2008).

Grâce aux études menées dans d'autres pays européens, en particulier ceux où le développement de l'éolien en mer est plus avancé comme l'Allemagne et le Danemark, il est possible d'avoir des retours d'expérience sur les effets attendus de la construction d'un parc. Par exemple, lors des opérations de battages de pieux pour la construction du 1^{er} parc éolien en mer en Allemagne (2009), il a été possible de mesurer que les marsouins communs se sont éloignés du site de battage sur une distance de 20 à 40 km, comme montré en **Figure 1** (Dähne et al., 2013a). D'autres études confirment ces observations, avec des résultats du même ordre de grandeur (Brandt et al., 2009; Tougaard et al., 2009; Brandt, Dragon, Diederichs, Schubert, Kosarev, & Nehls, 2016). Les taux de détection des marsouins, relevés en 2010 et 2011 sur le 1^{er} parc éolien en Allemagne sont plus élevés. Cependant, les travaux de construction ont été effectués involontairement sur une période de faible taux de détections pouvant être causés par une combinaison de variations saisonnières et l'effet des battages de pieux (Dähne et al., 2013a).

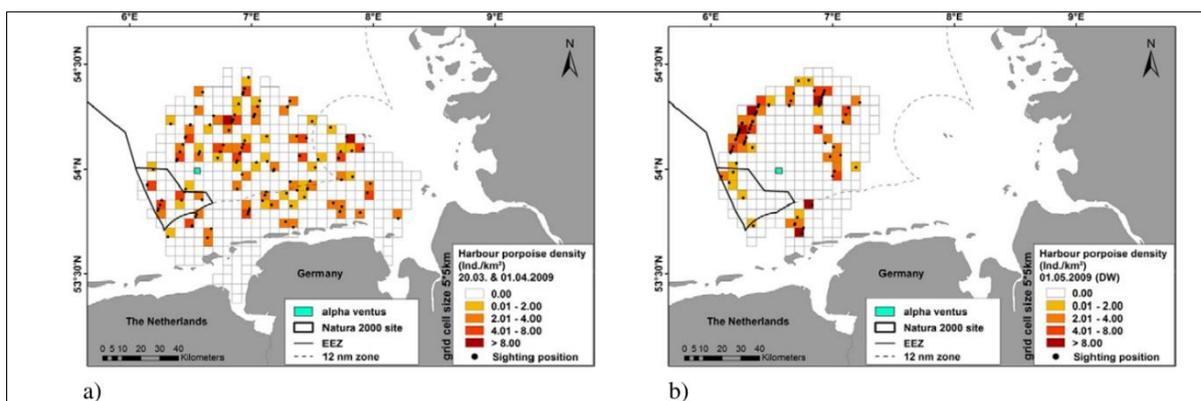


Figure 1. Distribution des observations et de la densité estimée de marsouin commun ; (a) avant battage de pieux (mars/avril 2009) et (b) pendant battage de pieux (1^{er} mai 2009) (Dähne et al., 2013a).

Ces résultats confirment la nécessité de mettre en place les démarches nécessaires pour répondre aux obligations relatives au cadre réglementaire en vigueur, en particulier concernant la Directive HABITATS (92/43/CEE) et la Directive EIE (2011/92/UE).

Grâce aux projets antérieurs de SINAY, les niveaux de bruit enregistrés et/ou modélisés dans différentes zones de la Manche montrent bien que cette région marine est un système fortement dominé par des bruits anthropiques, en particulier le bruit causé par le trafic maritime (**Figure 2**) avec la présence d'une voie de navigation majeure au niveau mondial. Sur cette zone, une variété de chantiers portuaires et offshores vient s'ajouter pour générer de la pollution sonore sous-marine, en continu ou par intermittence. Cette contribution pourrait être augmentée par la construction de parcs éoliens dans les mois et années à venir.

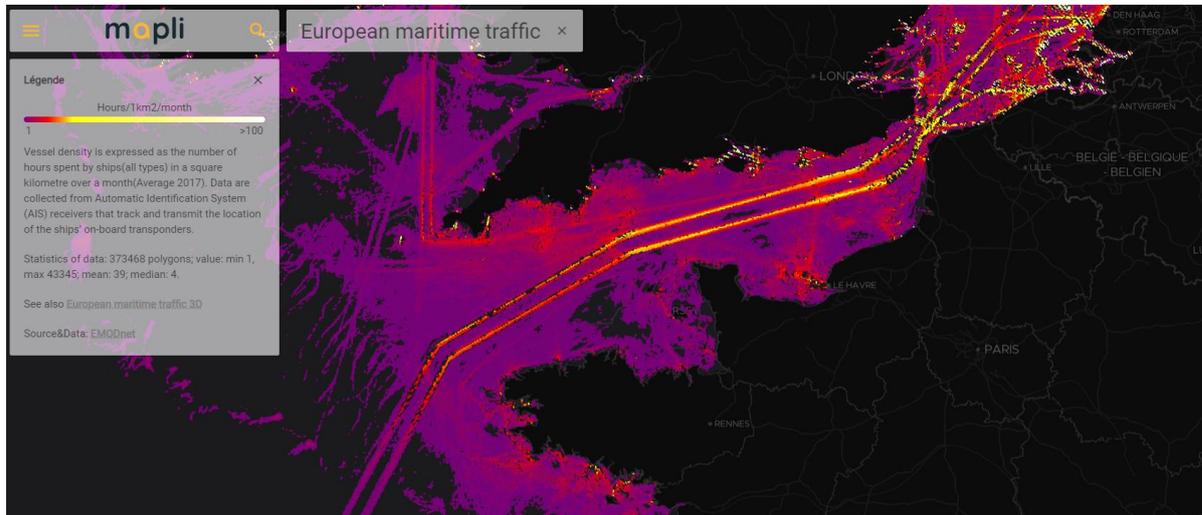


Figure 2 : Densité du trafic maritime dans la Manche Mer du Nord en 2017 (Source&Data : EMODnet).

Les sons continus constituent l'un des critères de définition du bon état écologique pour le descripteur 11 relatif à la pression du bruit généré par les activités anthropiques dans le cadre de la DCSCMM (D11C2). Un des indicateurs retenus pour l'évaluation du critère D11C2 est la distribution spatiale du bruit ambiant annuel à 125 Hz (D11C2.2). La pression considérée pour l'évaluation du critère est le bruit généré par le trafic maritime, principalement dans sa composante commerce et transport qui fait l'objet d'une surveillance réglementaire par système d'identification automatique (AIS) (Le Courtois, et al., 2017). La **Figure 3** présente les niveaux acoustiques maximaux observés en 2016 pour la Sous-Région Marine de la Manche-Mer du Nord (SRM MMN) pour les bandes de tiers d'octave centrées sur les fréquences 63 Hz. Pour la bande de tiers d'octave centrée à 63 Hz, 90 % des niveaux du bruit ambiant est compris entre 66 et 125 dB re 1 μPa^2 en 2016 (Le Courtois et al., 2017).

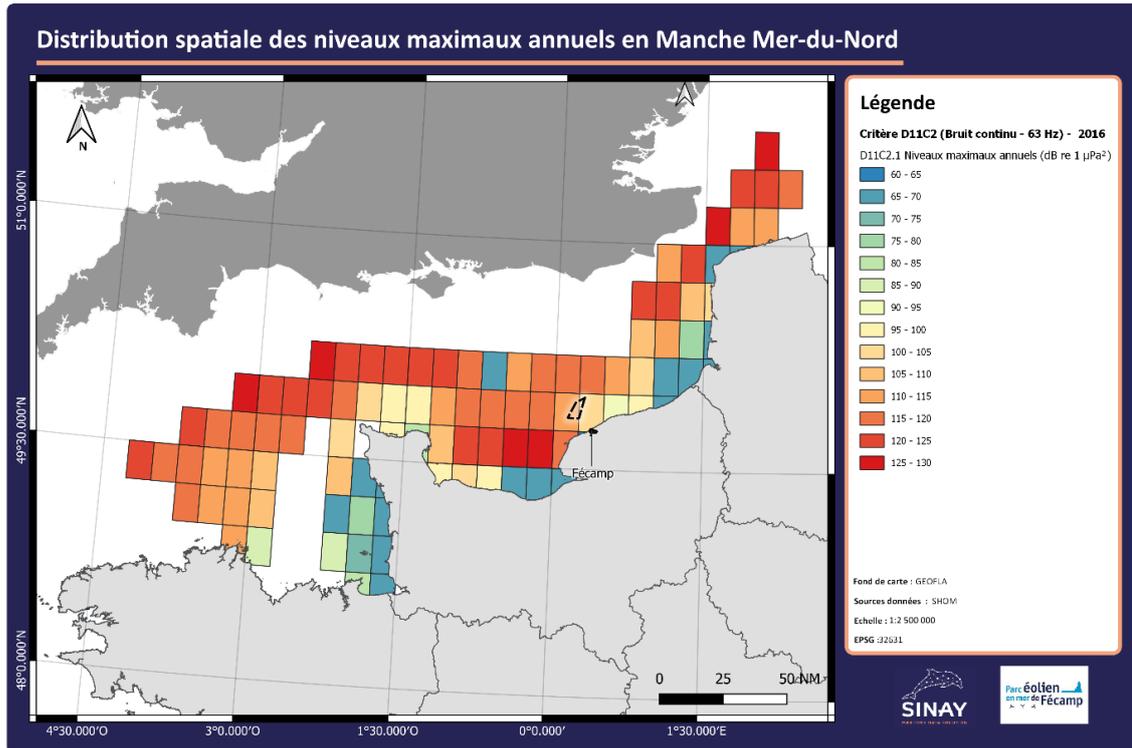


Figure 3 : Distribution spatiale des niveaux maximaux annuels par maille pour la bande de tiers d'octave centrée sur 63 Hz dans la SRM MMN en 2016 (Le Courtois et al., 2017).

1.2 CONTEXTE SCIENTIFIQUE

Le bruit ambiant en milieu sous-marin subit une augmentation générale en relation avec le développement du trafic maritime dont, en particulier, celui du trafic marchand. Par exemple, le nombre total de navires commerciaux a doublé entre 1965 et 2003 et les projections prévoient que le tonnage transporté par ces grands navires de fret devrait encore doubler ou tripler d'ici à 2025 (Frisk, 2012). De plus, les bruits issus de la circulation maritime n'ont pas cessé d'évoluer durant les 20 dernières années (20 dB d'augmentation entre 1965 et 2003) (Andrew et al., 2002; McDonald et al., 2008). La contribution des pollutions acoustiques à la dégradation des habitats des cétacés avait été considérée comme secondaire jusqu'à une époque assez récente. Mais l'évidence de plusieurs événements graves liés au bruit anthropique ont amené les communautés militaires et industrielles à s'interroger, avec la communauté scientifique, sur les dangers potentiels de leurs activités. Cette démarche leur a permis de développer des pistes de recherche afin d'étudier les effets du bruit sur l'environnement marin ainsi que les solutions adéquates (Wartzok et al., 2003; Buckstaff, 2004; Wahlberg & Westerberg, 2005). L'examen des résultats récents permet de prendre en considération l'impact provoqué par les pollutions acoustiques sur les cétacés. Ils s'étendent de la simple perception jusqu'à la lésion traumatique grave, constatée dans certains cas d'intensité sonore très forte.

Ces résultats de recherche récents ont montré que les émissions sonores sous-marines des diverses activités humaines en milieu océanique (industrielles, de défense, scientifiques) posent le problème de leur impact sur les populations de mammifères marins, poissons et invertébrés (Thomsen et al., 2006; Mueller-Blenkle et al., 2010; A. Popper & Hawkins, 2012).

1.3 CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Le contexte réglementaire français relatif à la gestion du bruit sous-marin et de son impact sur l'environnement représente l'expression des engagements de la France à l'échelle internationale en matière de gestion, de protection et de valorisation de l'environnement marin et de son patrimoine naturel. Toutefois, il est important de souligner que les textes réglementaires pertinents pour les suivis liés aux projets industriels sont ceux qui abordent ces projets individuellement. Dans ce cas, les suivis et les mesures de réduction des impacts portent uniquement sur le projet visé et n'ont pas vocation à s'inscrire dans un programme plus vaste relatif à une approche écosystémique.

La mise en œuvre d'une approche écosystémique dans la gestion du milieu marin est un des principes fondamentaux d'autres instruments réglementaires, tels que la DCSMM. Les dispositions de cette directive ne s'appliquent pas aux suivis de l'environnement d'un projet industriel en mer. Or, l'impulsion du développement scientifique et technologique enclenchée par la DCSMM a été, et est toujours, bénéfique pour améliorer l'efficacité des suivis acoustiques lors de la construction et de l'exploitation des parcs éoliens en mer. La France est à la fois un état membre de l'Union européenne (UE) et partie prenante de plusieurs traités internationaux ayant compétence en protection de l'environnement marin :

- OSPAR, ou Convention Oslo-Paris, sur la protection de l'Atlantique Nord-Est contre les pollutions ;
- CIEM, Convention internationale pour l'exploration de la mer ;
- CBD, Convention sur la diversité biologique ;
- CMS, Convention sur la protection des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage ;
- ASCOBANS, Accord sur la conservation des petits cétacés de la mer Baltique, du nord-est de l'Atlantique et des mers d'Irlande et du Nord.

Toutes ces entités, y compris l'UE, disposent, en leur sein, d'un groupe de travail sur le bruit sous-marin. Ces groupes de travail coopèrent régulièrement pour définir les lignes directrices des programmes de suivi acoustique nécessaires à évaluer les effets d'un chantier maritime sur le milieu ainsi que l'impact sur la faune marine sensible au bruit.

Ci-après sont cités les derniers textes réglementaires pertinents au niveau de l'UE, des conventions des mers régionales et françaises :

- Directive 2014/52/UE sur l'étude d'impact (*DIRECTIVE 2014/•52/•UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL - du 16 avril 2014 - modifiant la directive 2011/•92/•UE concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement*, 2014) ;
- Directive 92/43/CEE - Directive habitats (*DIRECTIVE 92 / 43 / CEE DU CONSEIL du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages*, 1992) ;
- Arrêté du 24 octobre 2008 modifiant la liste des types d'habitats naturels qui peuvent justifier la désignation de zones spéciales de conservation au titre du réseau écologique européen Natura 2000, 2008 (MEEDDAT) ;
- Résolution CMS 10.24 « *Nouvelles mesures visant à réduire la pollution acoustique sous-marine pour la protection des cétacés et autres espèces migratrices* » (CMS, 2011) ;
- Résolution ASCOBANS 6.2 (ASCOBANS, 2009) ;
- LOI no 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (1), s. d.

- Arrêté du 1er juillet 2011 fixant la liste des mammifères marins protégés sur le territoire national et les modalités de leur protection, 2011.

Textes de référence ainsi que les dernières lignes directrices et guides de bonnes pratiques disponibles :

- CMS « *Technical support information family guidelines on environmental impact assessment for marine noise-generating activities* » (Prideaux, 2017);
- « *Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens* » (MEEDDM, 2010);
- « *Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens en mer* » (MEEM, 2017);
- OSPAR « *Guidance on Environmental Considerations for Offshore Wind Farm Development* » (Coates et al., 2008);
- Recommandations de l'Organe subsidiaire scientifique, technique et technologique de la Convention sur la diversité biologique : « *Gestion des incidences des débris marins et du bruit sous-marin d'origine anthropique sur la diversité biologique marine et côtière* » (CDB, 2016);
- ASCOBANS « *Mitigation Guidance for intense noise generating activities in the ASCOBANS region* » (Götz, 2009);
- « *Guide de bonnes pratiques pour la collecte et l'analyse des données acoustiques, avec proposition de standards* » (Robinson, 2014);
- Proposition de standard par l'institut TNO des Pays-Bas (de Jong et al., 2011) ;
- Note NR614 proposé par Bureau Veritas portant sur une certification pour les émissions de bruit sous-marin (Bureau Veritas, 2018);
- Wind Energy Development and NATURA 2000 (European Commission. Directorate-General for the Environment, 2011);
- « *Methodologies for measuring and assessing potential changes in marine mammal behaviour, abundance or distribution arising from the construction, operation and decommissioning of offshore windfarms* » (Diederichs et al., 2008a) ;
- « *Implementation of Directive 2001/42 on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment* » (European Commission, 2004) ;
- « *Guidance document on the strict protection of animal species of Community interest under the 'Habitats Directive' 92/43/EEC* » (European Commission, 2007);
- Préconisations du Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES) pour limiter les impacts des émissions acoustiques en mer d'origine anthropique sur la faune marine (Persohn, et al., 2020) .

Une mise à jour de l'état actuel des connaissances sur les impacts environnementaux des parcs éoliens offshore a été réalisé en 2019 (Commission Particulière du Débat Public, 2019) se basant sur l'article suivant : Royal Haskoning DHVI, 2019 Update on the Current state of Knowledge on the Environmental Impacts of Offshore Wind Farms, 2020.

De plus, il est rappelé ci-après les lignes directrices et/ou autres recommandations existant dans d'autres pays européens et pouvant représenter une référence pour les travaux menés en France :

- Au Royaume Uni : Lignes directrices et guides sur l'étude d'impact et les suivis des départements CEFAS et DEFRA (CEFAS, 2004) ainsi que les dispositions en matière d'atténuation de risque sur les mammifères marins pendant le battage de pieux (JNCC, 2010).

- En Allemagne : Guides préparés par le BSH (Federal Maritime and Hydrographic Agency) incluant les seuils de bruit règlementaires à respecter pendant la construction des parcs (Müller BBM, 2013);
- En Irlande: « *Guidance to Manage the Risk to Marine Mammals from Man-made Sound Sources in Irish Waters* » (DAHG, 2014).

Plusieurs rapports de suivi des travaux de construction et d'exploitation des parcs éoliens sont devenus récemment disponibles. Ils se rapportent à des projets menés dans plusieurs pays européens, notamment l'Allemagne, le Royaume Uni, le Danemark et les Pays Bas. De plus, plusieurs travaux de recherche récents apportent de nouvelles connaissances sur les impacts des parcs éoliens sur les mammifères marins. Ils proposent des protocoles de collecte et d'analyse de données de plus en plus efficaces, ainsi que de nouvelles recommandations sur les niveaux d'exposition sonore pour certaines espèces clés. Sont notamment disponibles :

- Des critères et seuils sur les niveaux pouvant engendrer des traumatismes mortels ou réversibles et des pertes d'auditions temporaires sur les poissons et les tortues marines (Robinson, 2014);
- Les critères sur les limites d'exposition sonore pour les marsouins communs, améliorant le cadre disponible auparavant (Tougaard et al., 2015) ;
- De nouvelles connaissances sur les impacts du bruit sur les invertébrés (Nedelec et al., 2014) ;
- De nouveaux résultats sur les différentes techniques d'estimation d'abondance, dont acoustiques, de marsouin commun dans le cadre d'un suivi environnemental (Mikkelsen et al., 2016) ;
- Les résultats du suivi des travaux de construction de 8 parcs éoliens dans les eaux allemandes (Brandt, Dragon, Diederichs, Schubert, Kosarev, Nehls, et al., 2016) ;
- « *Impacts de l'empilage sur les poissons dans les sites éoliens offshore : Rassemblement des informations sur les populations, analyse des lacunes et évaluation des options d'atténuation* » (Commission Particulière du Débat Public, 2019) ;
- « *Effets des bruits de battage de pieux sur l'ouïe des phoques communs (Phoca vitulina)* » (Kastelein et al., 2018) ;
- « *Les réactions des marsouins communs au battage de pieux diminuent avec le temps* » (Graham et al., 2019) ;
- Les critères d'exposition au bruit des mammifères marins : recommandations scientifiques actualisées concernant les effets auditifs résiduels (Southall et al., 2019) ;
- Une synthèse de tous les battages de pieux lors des constructions des fermes éoliennes en Allemagne (Bellmann et al., 2020).

Ce dernier travail scientifique décrit notamment la disposition des capteurs acoustiques sur le terrain, ainsi que de nouvelles méthodes statistiques d'analyse pour l'évaluation des impacts du bruit sur le comportement et la fréquentation des marsouins lors des opérations de battage de pieux.

1.4 PRÉSENTATION DU PROJET DE FECAMP

La société Eoliennes Offshore des Hautes-Falaises (EOHF) s'est vue, après le premier appel d'offres éolien en mer français, attribuer le site au large de Fécamp (Seine-Maritime) pour le développement et l'exploitation d'un parc éolien en mer de 71 éoliennes pour une puissance d'environ 500 MW. EOHF a obtenu en date du 05 avril 2016 une autorisation d'aménager et d'exploiter le parc éolien en mer au titre de l'article L214-3 du Code de l'Environnement. L'article 9 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.

La durée de construction du parc devrait être de 24 mois avec une date prévisionnelle de mise en service en fin d'année 2023. La phase d'exploitation du parc éolien en mer est prévue pour une durée de 20 à 25 ans. La **Figure 4** montre une vue d'ensemble de la zone et du schéma d'implantation des éoliennes et les descriptions générales du projet sont présentées dans le **Tableau 1**.

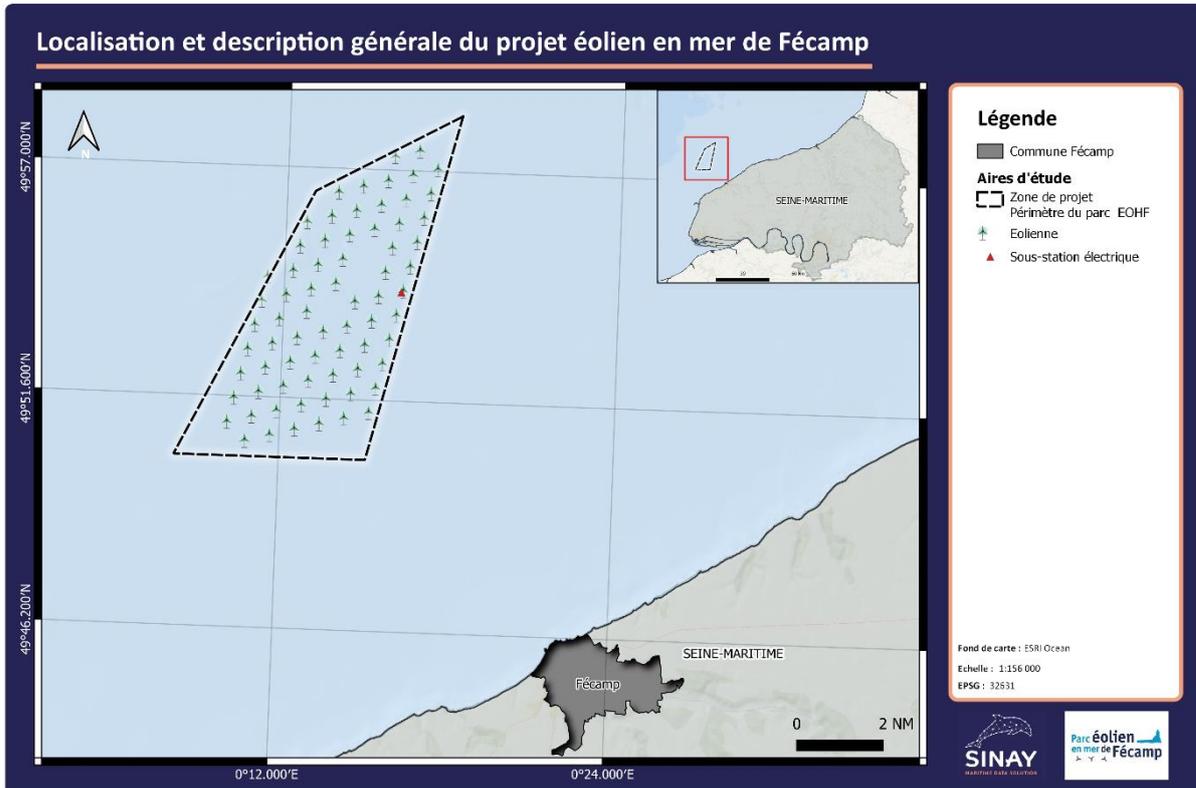


Figure 4 : Localisation de la zone d'implantation du futur parc éolien au large de Fécamp (EOHF).

Tableau 1 : Caractéristiques techniques du futur parc éolien (Société Offshore des Hautes Falaises, s. d.)

Descriptions générales du projet	
Eléments	Caractéristiques
Nombre d'éoliennes Siemens Gamesa	71
Puissance totale du parc	≈ 500 MW
Surface totale du parc	60 km ²
Surface totale de la zone d'appel d'offre	88 km ²
Distance à la côte	Entre 13 et 22 km
Nombre de sous-stations électriques	1

1.5 DÉFINITION DES AIRES D'ÉTUDES

Le terme « aire d'étude » correspond à la zone géographique susceptible d'être impactée par le projet et donc au périmètre pour l'évaluation des impacts. Le choix des aires d'étude peut être modifié ou affiné au cours de l'étude d'impact pour tenir compte des résultats obtenus. Dans le cas d'implantation des éoliennes en mer des Hautes-Falaises, deux aires d'étude illustrées dans la **Figure 5** ont été identifiées lors de l'étude d'impact de 2014 et sont présentées dans les paragraphes suivants.

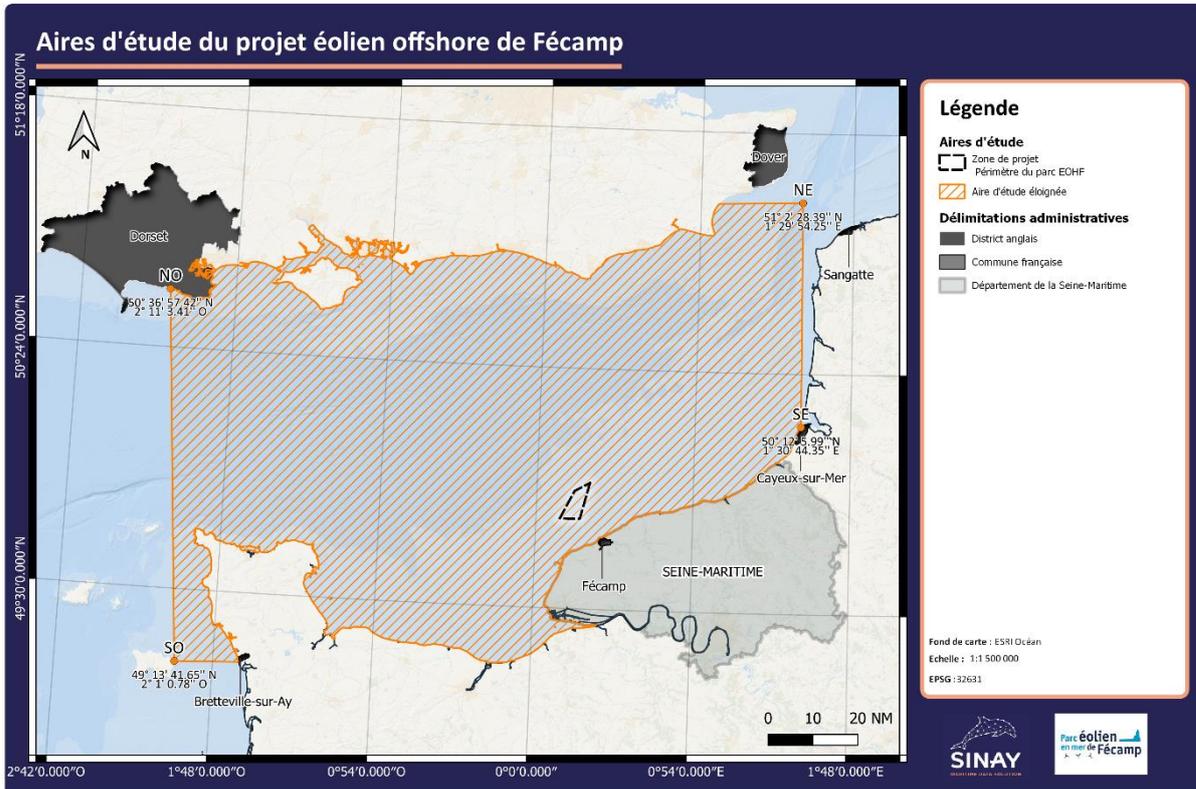


Figure 5 : Aires d'étude du projet de parc éolien en mer de Fécamp. L'aire d'étude éloignée (en orange) et l'aire d'étude rapprochée (en noir).

1.5.1 L'AIRES D'ÉTUDE ÉLOIGNÉE

L'aire d'étude éloignée est la zone qui englobe tous les impacts potentiels du projet, y compris ceux relatifs à l'utilisation de l'habitat et aux impacts cumulés. Le périmètre de cette aire d'étude a été défini par Quiet Océan lors de l'étude d'impact acoustique du parc éolien en mer de Fécamp en 2014.

Dans le cadre de l'état de référence, cette aire a été retenue pour la modélisation et l'analyse de l'état de référence avant la construction du parc. Elle permet par ailleurs de comparer les paramètres du suivi du bruit ambiant et des mammifères marins avec les stations situées à l'intérieur et à l'extérieur de la zone de projet. Le périmètre de l'aire d'étude éloignée est délimité par un trait orange sur la **Figure 5**.

Un tel périmètre doit notamment permettre d'identifier :

- Les caractéristiques de la propagation de bruit généré par les activités anthropiques comme le trafic maritime ou les travaux offshore ainsi qu'aux statistiques du bruit existant sur zone ;

- Les principales conditions environnementales de propagation, les sources de bruits associées aux types d'activité maritime et l'établissement des prévisions de distribution du bruit ambiant ;
- Les espèces qui font un usage régulier, mais non exclusif de la zone de projet à certains stades de leur cycle biologique parce qu'elles y trouvent un milieu propice au nourrissage, à la reproduction, à la mise bas des jeunes ou bien comme zone de repos ;
- Les espèces qui font un usage plus occasionnel de la zone de projet en la traversant lors de phases de migration.

- Caractéristiques générales

L'aire d'étude éloignée comprend l'ensemble de la Manche Centrale et Orientale. Elle est située dans les Zones Economiques et Exclusives (ZEE) françaises et anglaises de la pointe du Cotentin jusqu'au Détroit du Pas-de-Calais. A l'Ouest, elle est délimitée par le district anglais de Dorset (Nord-Ouest) et la commune de Bretteville-sur-Ay (Sud-Ouest). Du côté Est, sa limite Nord est située entre le district anglais de Dover et la commune de Sangatte (Nord-Est). Sa limite Sud se trouve au niveau de la commune de Cayeux-sur-Mer. Sa superficie est de 34 883 532,6 km².

- Outils de protection et aspects réglementaires

Natura 2000 est le réseau écologique européen dont l'objectif est d'assurer la conservation des espèces et habitats d'intérêts communautaires. Le déploiement de ce réseau de sites protégés permet d'assurer une cohérence et une connectivité minimale entre les différents composants d'un écosystème. Le principal objectif est de maintenir ses fonctionnalités biologiques et services écosystémiques et d'assurer une coexistence durable et équilibrée entre activités humaines et biodiversité. Les deux directives européennes qui composent ce réseau sont la Directive Oiseaux (n°79/409/CEE) datant de 1979 et la Directive Habitats (n°92/43/CEE) datant de 1992. Ces directives imposent que les projets soumis à autorisation administrative dans le cadre de la législation existante, tels les parcs éoliens, fassent l'objet d'une évaluation de leurs incidences sur les habitats et espèces qui ont justifié la désignation des sites Natura 2000. Un total de 39 zones N2000 ont été identifiées en Manche et Mer-du-Nord, elles sont présentées ci-dessous et illustrées par la **Figure 6** :

- 18 Zones Spéciales de Conservation (ZSC) dont 4 dans les eaux britanniques ;
- 1 Site d'intérêt communautaire (SIC) ;
- 11 Zones de Protection Spéciale (ZPS) dont 2 dans les eaux britanniques ;
- 3 Zones Importantes pour la Conservations des Oiseaux (ZICO) ;

La Manche Centrale et la Manche Est incluent donc de nombreuses zones Natura 2000 auxquelles s'ajoutent des zones soumises à une réglementation nationale, telles que les Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF), Réserve Naturelle Nationale (RNN) et Parc Naturel Marin (PNM).

Ces zones sont illustrées par la **Figure 6** et listées ci-dessous :

- 33 ZNIEFF marine de type I et II ;
- 2 ZNIEFF de type continental ;
- 1 RNN ;
- 1 PNM.

Contrairement aux zones N2000, une ZNIEFF ne constitue pas une mesure de protection, mais un élément d'expertise qui signale la présence d'espèces (ou d'habitats) remarquables ou protégées par la loi. L'inventaire des ZNIEFF n'a donc pas de portée réglementaire directe sur le territoire délimité, ni sur les activités humaines qui peuvent continuer à s'y exercer sous réserve du respect de la législation sur les espèces protégées (DREAL Normandie, 2021). Une ZNIEFF correspond à une zone qui a été identifiée, décrite, et cartographiée parce qu'elle présente :

- un intérêt faunistique et/ou floristique de par la présence d'espèces ou d'habitats rares et caractéristiques du patrimoine naturel régional ;
- un intérêt écologique en participant au maintien des grands équilibres naturels et à la richesse de la biodiversité régionale.

L'aire d'étude éloignée dispose également d'une zone OSPAR, cette aire est donc à resituer dans un contexte réglementaire européen voire international.

L'ensemble des zones identifiées dans cette partie sont détaillées et disponibles en **Annexe 7.1**

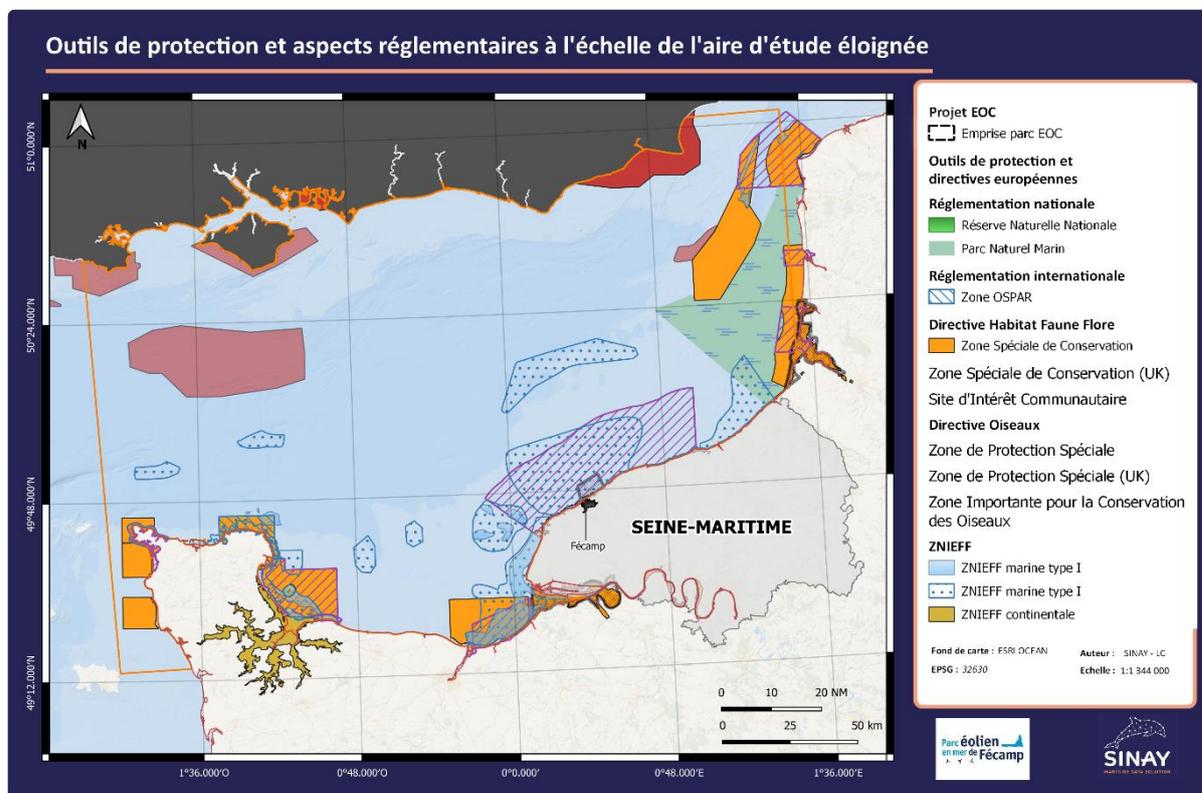


Figure 6 : Zones Natura 2000 (ZPS, ZSC, SIC et ZICO), ZNIEFF continentales et marines et autres réglementations au sein de l'aire d'étude éloignée.

1.5.2 L'AIRES D'ÉTUDE RAPPROCHÉE

L'aire d'étude rapprochée, appelée également **zone de projet**, englobe la zone d'implantation du parc éolien. C'est à l'intérieur de cette aire que se feront sentir, principalement, les effets directs du projet ainsi que certains effets indirects. Cette zone se rapporte également au périmètre des études environnementales permettant d'évaluer le bruit ambiant et les fonctionnalités de la zone d'implantation du projet de parc éolien en mer de Fécamp pour les mammifères marins. Il s'agit du périmètre d'étude des campagnes en mer. La zone de projet est délimitée par un contour en tirets noir sur la **Figure 5**.

- Caractéristiques générales

La zone de projet est située au large de la commune de Fécamp à une distance minimale de 13 km de la côte, son emprise est de 88 km². La zone de projet a fait l'objet d'une couverture presque totale par le SHOM en 2017. La bathymétrie (**Figure 7**) varie entre -40 et -24m CM.

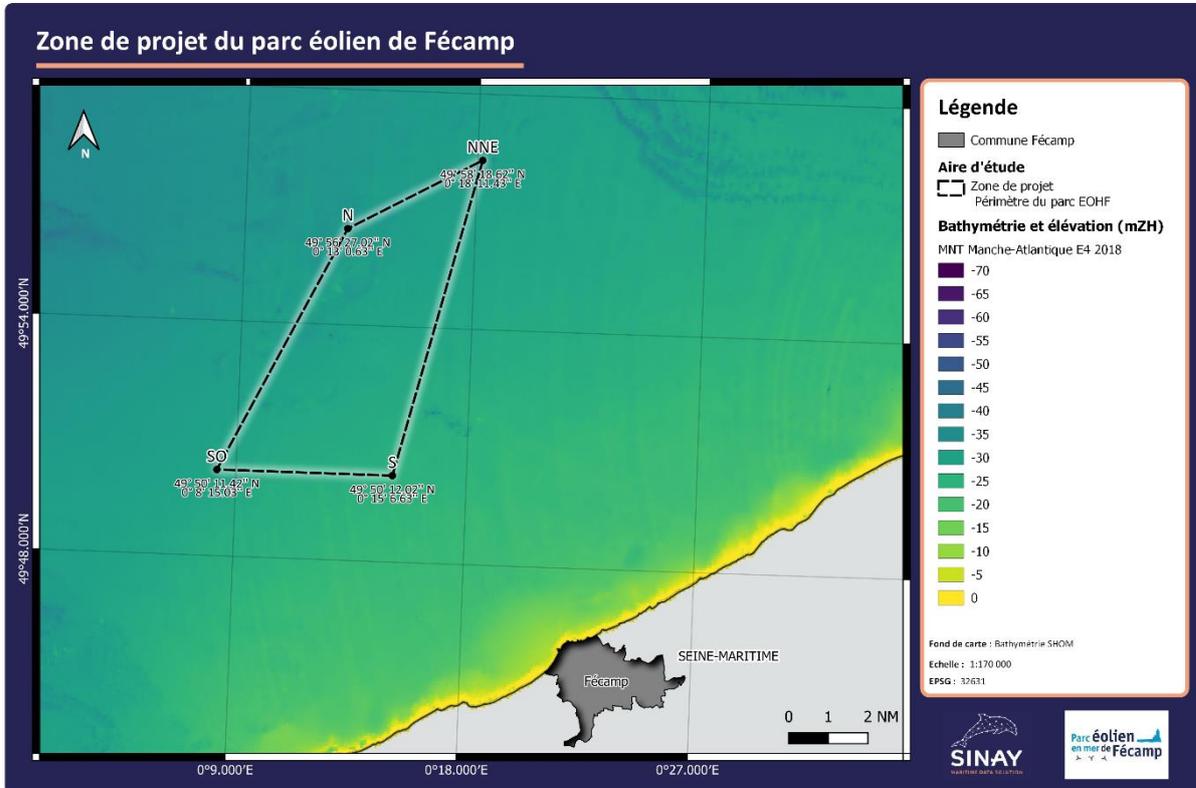


Figure 7 : Bathymétrie et élévation de la zone de projet.

- Outils de protection et aspects réglementaires

La zone d'aménagement du futur projet éolien en mer de Fécamp, se situe au sein de la ZPS Littoral Seino-Marin (FR2310045), désignée par la directive Oiseaux (n°79/409/CEE). C'est un site essentiellement côtier qui s'étend sur un peu plus de 70 km de linéaire cotier, de Saint-Jouin-Bruneval à l'Ouest jusqu'à Sainte Marguerite-sur-Mer à l'Est. Ce site N2000 a été désigné selon des critères de présence et d'abondance d'espèces vulnérables à l'échelle européenne. Un Formulaire Standard de Données (FSD) présente pour chacun la justification de leur désignation et récapitule les enjeux de conservation (MNHN, 2021). Le comité de pilotage (COFIL) est chargé d'assurer le suivi et la réalisation du document d'objectifs Natura 2000 (DOCOB), qui définit les préconisations de gestion nécessaires à la préservation durable des milieux et espèces animales d'intérêt européen. Il a été créé et mis en place par l'arrêté préfectoral N°12/2018 du 23 mars 2018. La présidence du comité de pilotage est assurée conjointement par le préfet de la Seine-Maritime et le préfet maritime de la Manche et de la mer du Nord.

La zone de projet se situe également au sein de la ZNIEFF marine type II « Cailloutis à épibiose sessile du littoral cauchois » (23M000013). Cette ZNIEFF a été validée par le Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel (CSRPN) de Haute-Normandie le 11/12/2015. Elle correspond à une forte concentration de marsouins communs lors des périodes hivernales durant lesquelles ils préfèrent se rapprocher de la côte (Baffreau, 2020). Ces deux zones sont présentées par la **Figure 8** et le **Tableau 2** ci-dessous.

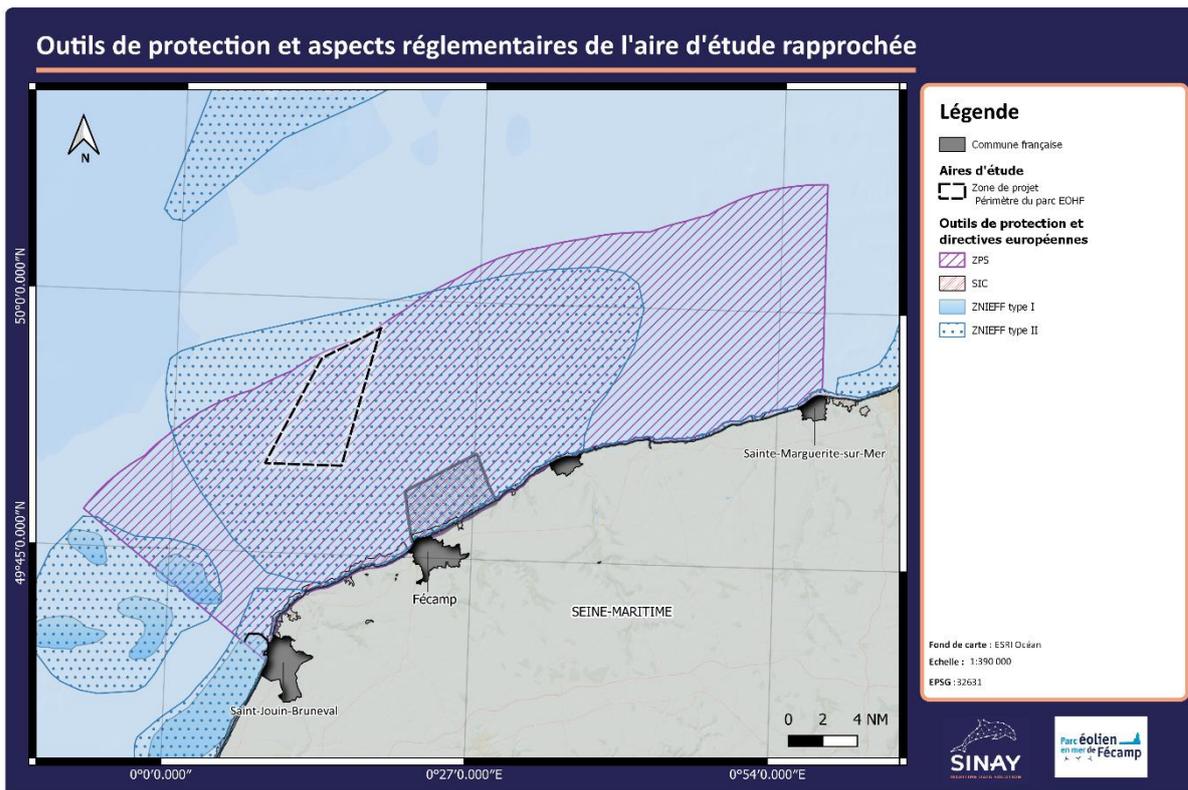


Figure 8 : Zone N2000 et ZNIEFF marine au sein de l'aire d'étude rapprochée.

Tableau 2 : Identification de Zones N2000 et ZNIEFF marine à l'intérieur de la zone de projet.

Nom du site	Code	Protection / Réglementation	Coordonnées du centre (WGS 84)	Superficie (ha)
Littoral Seino-marin (ZPS)	FR2310045	DO	Longitude : 49.89278 Latitude : 0.41889	180 050
Cailloutis à épibiose sessile du littoral cauchois	23M000013	ZNIEFF marine Type II	Longitude : 49.89048 Latitude : -0.32974	113 916

1.6 ENJEUX BIOLOGIQUES EN MANCHE-EST

Les eaux françaises de la Manche abritent une quinzaine d'espèces de mammifères marins de façon occasionnelle ou permanente. La sous-région marine est incluse dans les distributions européennes permanentes du phoque gris (*Halichoerus grypus*), du phoque veau-marin (*Phoca vitulina*), du marsouin commun (*Phocoena phocoena*), du grand dauphin (*Tursiops truncatus*), du dauphin commun (*Delphinus delphis*) et du lagénorhynque à bec blanc (*Lagenorhynchus albirostris*). Le dauphin de Risso (*Grampus griseus*), le globicéphale noir (*Globicephala melas*), le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) et le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) ont une présence saisonnière à l'échelle de la Manche. Les autres espèces sont considérées comme occasionnelles, erratiques ou insuffisamment connues (Martinez et al., 2012).

Les distributions de chacune de ces espèces dépassent largement les limites de la sous-région marine. Le phoque gris et le lagénorhynque à bec blanc sont présents dans les eaux tempérées froides, de l'Atlantique Nord tandis que toutes les autres espèces présentent des distributions très étendues ; les deux rorquals, le grand dauphin, le dauphin commun et le dauphin de Risso sont cosmopolites. Les unités de gestions auxquelles appartiennent les individus des espèces en Manche ont des répartitions beaucoup plus étendues que la sous-région marine elle-même.

Les données macro-échelle issues des échouages et des grands recensements aériens (**Figure 9** et **Figure 10**) montrent des différences nettes de distribution générale des espèces à l'échelle de l'ensemble de la façade Manche. Ces recensements à grande échelle montrent également des changements de distribution de certaines populations, à l'instar du marsouin commun pour qui les recensements SCANS ont mis en lumière le déplacement de la population vers le sud de la mer du Nord (Hammond, 2017).

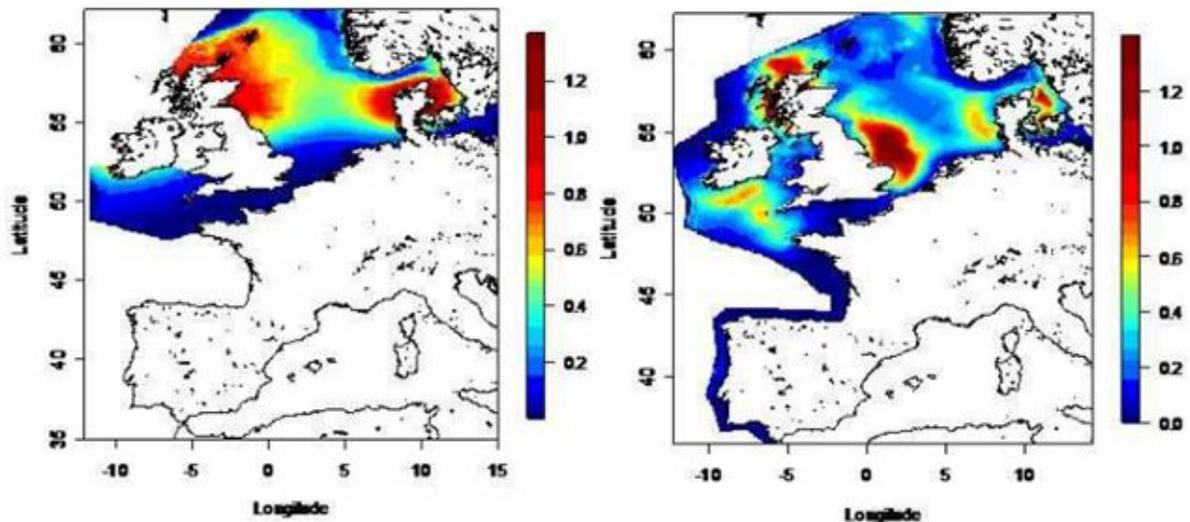


Figure 9 : Estimation des densités de marsouins (individus/km²) communs lors des recensements SCAN de 1994 (gauche) et SCANS II de 2005 (droite) (Hammond, 2017).

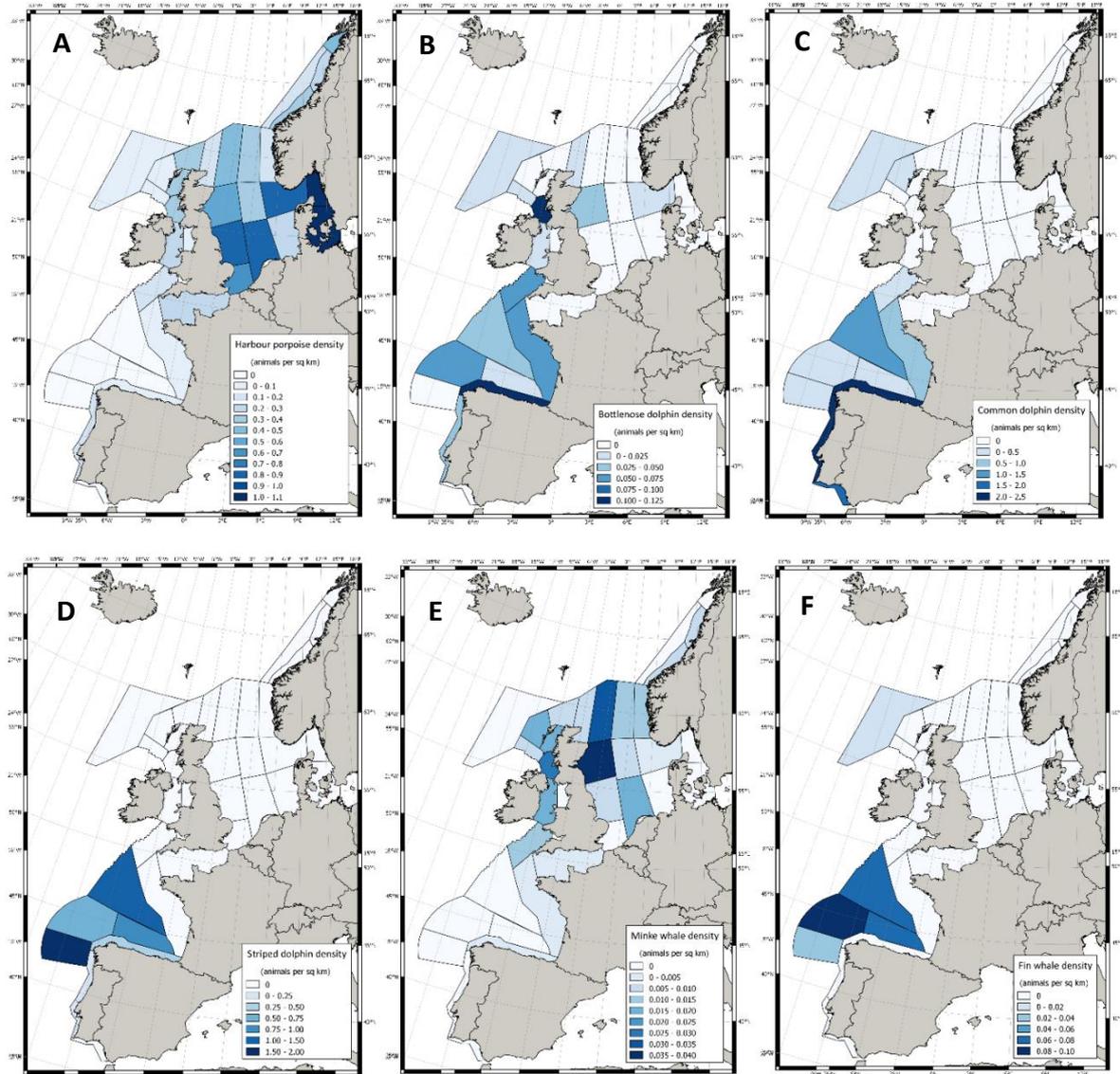


Figure 10 : Estimation des densités dans chaque zone de survol pour le marsouin commun (A), le grand dauphin (B), le dauphin commun (C), le dauphin bleu et blanc (D), le petit rorqual (E) et le rorqual commun (F) (Hammond, 2017).

Le marsouin commun apparaît comme l'espèce majoritaire avec des effectifs variant entre 17 et 26 000 individus (Pettex et al., 2014; Hammond, 2017). Le grand dauphin et les petits delphininés (dauphins communs et dauphins bleu-et-blanc) sont les autres espèces principales, bien que nettement moins abondantes.

D'une façon globale, le dauphin commun et le grand dauphin sont essentiellement présents en Manche ouest, tandis que le marsouin est observé dans toute la sous-région marine, avec des densités maximales en Manche orientale et dans le sud de la mer du Nord. Le lagénorhynque à bec blanc est limité au secteur le plus oriental de la sous-région marine. Le dauphin de Risso et le globicéphale noir fréquentent en effectifs a priori faibles les côtes françaises occidentales de la Manche, notamment en été.

Les différentes espèces présentent des variations saisonnières dans leur abondance et leur distribution (**Figure 15, Tableau 3 et Tableau 4**).

Tableau 3 : Abondance des principales espèces ou groupe d'espèce de mammifères marins en Manche à partir des recensements SAMM (Pettex et al., 2014).

Espèce	Saison	Abondance estimée	Estimation basse	Estimation haute
Marsouin commun	Hiver	26 556	16 797	41 984
	Été	26 417	18 946	36 833
Petits delphininés	Hiver	13 484	10 763	17 493
	Été	1 209	398	3 671
Grand dauphin	Hiver	1 412	530	3 760
	Été	2 317	896	5 992
Petit rorqual et rorqual commun	Hiver	76	15	394
	Été	291	98	863
Dauphin de Risso	Hiver	229	55	947
	Été	84	15	467

Tableau 4 : Abondance des principales espèces de cétacés en Manche à partir du recensement SCANS III réalisé à l'été 2016 (Hammond, 2017).

Espèce	Abondance estimée	Estimation basse	Estimation haute
Marsouin commun	17 323	8 853	29 970
Petits delphininés	1 765	0	5 494
Petit rorqual	186	0	819

D'une façon générale, la Manche ouest apparait comme une zone de fort intérêt écologique pour les mammifères marins, avec une variété importante d'espèces. La diversité spécifique est plus faible pour la partie est de la Manche (McClellan et al., 2014).

Le grand dauphin est davantage présent en Manche est durant l'hiver et en Manche ouest durant l'été, en particulier à proximité du Cotentin mais son abondance est 2 fois plus importante en été (de l'ordre de 2 000 individus). La distribution des grands dauphins est principalement expliquée par la température et la pente, avec une préférence pour des températures moyennes et des pentes modérées (Lambert et al., 2017). Deux écotypes, génétiquement isolés, co-existent à l'échelle de la façade Manche-Atlantique : un écotype côtier, représentés par des populations souvent résidentes

ou régulièrement présentes près des côtes ; et un écotype pélagique, rencontrés uniquement au large, sur le talus (Louis et al., 2014). A l'inverse du dauphin commun, le grand dauphin s'alimenterait d'un vaste éventail de proies de taille variable mais localisées essentiellement dans des couches d'eau plus profondes (plus de 30m) (Lambert et al., 2017).

Les delphininés (dauphins communs et dauphins bleu-et-blanc) sont présents en Manche ouest en hiver (13 000 individus) mais sont quasiment absents de la sous-région marine en été. Les modèles d'habitats montrent que la distribution des petits delphininés varie en fonction des saisons : ils sont plus côtiers en hiver qu'en été, leur présence étant essentiellement expliquée par la température et la stabilité des activités tourbillonnaires (Lambert et al., 2017). Le dauphin commun s'alimenterait essentiellement de proies de petite taille (moins de 10 cm) mais dans l'ensemble de la colonne d'eau (Lambert et al., 2017).

Le marsouin commun présente quant à lui une constance en termes d'effectifs (26 000 individus pour les 2 saisons) mais une distribution saisonnière très contrastée. Essentiellement présent dans le sud de la mer du Nord et en baie de Seine durant l'hiver, l'espèce se disperse en Manche ouest durant l'été. Les habitats préférentiels du marsouin varient en fonction de saisons : ils semblent privilégier les eaux peu profondes en hiver, des zones de courants de marées moyens et une eau relativement fraîche en été (13-15°C), conditions favorisant des agrégations de proies. L'importance des courants de marée pour le marsouin commun semble être un paramètre récurrent, que cela soit au gré des saisons ou des régions (Lambert et al., 2017).

Les dauphins de Risso et globicéphales présentent des abondances faibles pour les 2 saisons, sans variation significative (entre 100 et 200 individus) et surtout localisés en Manche ouest. La distribution des globicéphalinés est principalement expliquée par la température et la pente. Hiver comme été, leurs préférences à l'échelle de la façade Manche-Atlantique associent des zones dynamiques à températures, de l'ordre de 13 à 19° et des pentes modérées à fortes. On les retrouve donc surtout sur le talus, des mers celtiques à la Galice, mais aussi au niveau des zones dynamiques de la Manche, comme l'entrée de la Manche ouest et l'est du Cotentin (Lambert et al., 2017).

Les petits rorquals et rorquals communs, estimés entre 100 et 300 individus essentiellement dans la partie ouest de la Manche, enregistrent également peu de variations saisonnières (Pettex et al., 2014).

Les phoques sont observés en échouage autour des principaux sites de repos ou colonies connus : la Manche occidentale et les estuaires picards pour le phoque gris et les baies du Mont Saint-Michel, des Veys et de Somme pour le veau-marin (**Figure 11** et **Figure 12**).

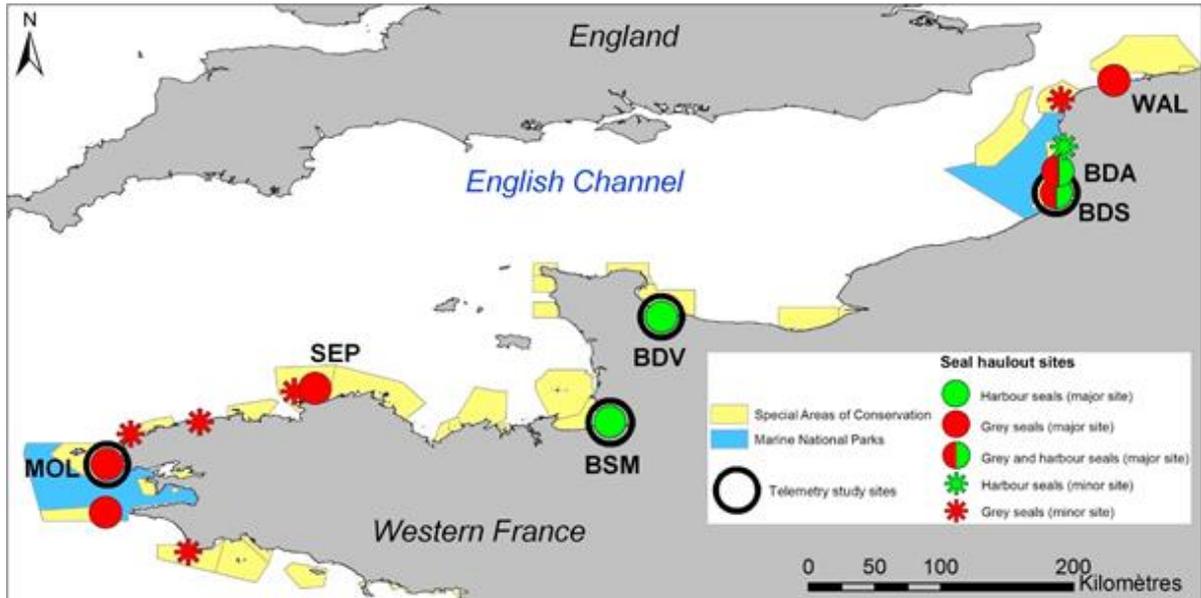


Figure 11 : Principaux reposoirs pour les phoques gris (en rouge) et veau marin (en vert) en Manche (Vincent et al., 2017).

Les habitats d'alimentation des veaux-marins ont été étudiés par télémétrie à partir des trois principaux sites de fréquentation permanente : la baie du Mont Saint-Michel, la baie des Veys et la baie de Somme. Dans tous les cas les déplacements alimentaires sont limités à quelques kilomètres ou dizaines de kilomètres autour des sites de repos et les profondeurs exploitées sont le plus souvent dans la zone de balancement des marées, ou à moins de 20 mètres de profondeur autour des zones de repos à terre (plongées généralement sur ou à proximité du fond). La nature des habitats exploités est essentiellement sableuse, mais des récifs rocheux, épaves ou structures aquacoles peuvent être des micro-habitats d'alimentation (Vincent et al., 2017).

Les habitats utilisés pour le repos, la mue et la reproduction des phoques gris sont limités à quelques sites répartis sur l'ensemble des côtes de la Manche. Les sites de repos des phoques gris pour la partie Est de la Manche sont des bancs de sable ou de vase depuis la baie du Mont Saint-Michel jusqu'à la frontière belge. Pendant la mue, de décembre à mars-avril et au cours de laquelle les phoques limitent leurs déplacements en mer, et pendant la reproduction (mise bas et allaitement en automne), les animaux concernés se concentrent sur les reposoirs. Les habitats d'alimentation des phoques gris peuvent être situés à proximité des reposoirs mais aussi jusqu'à plus de 1200 km et à des profondeurs de quelques mètres à plus de 120 m. La nature des habitats d'alimentation varie selon les préférences individuelles et inclut des estuaires, des littoraux rocheux, des fosses et, de manière générale, les affleurements rocheux seraient spécialement recherchés (Huon et al., 2015; Vincent et al., 2017).

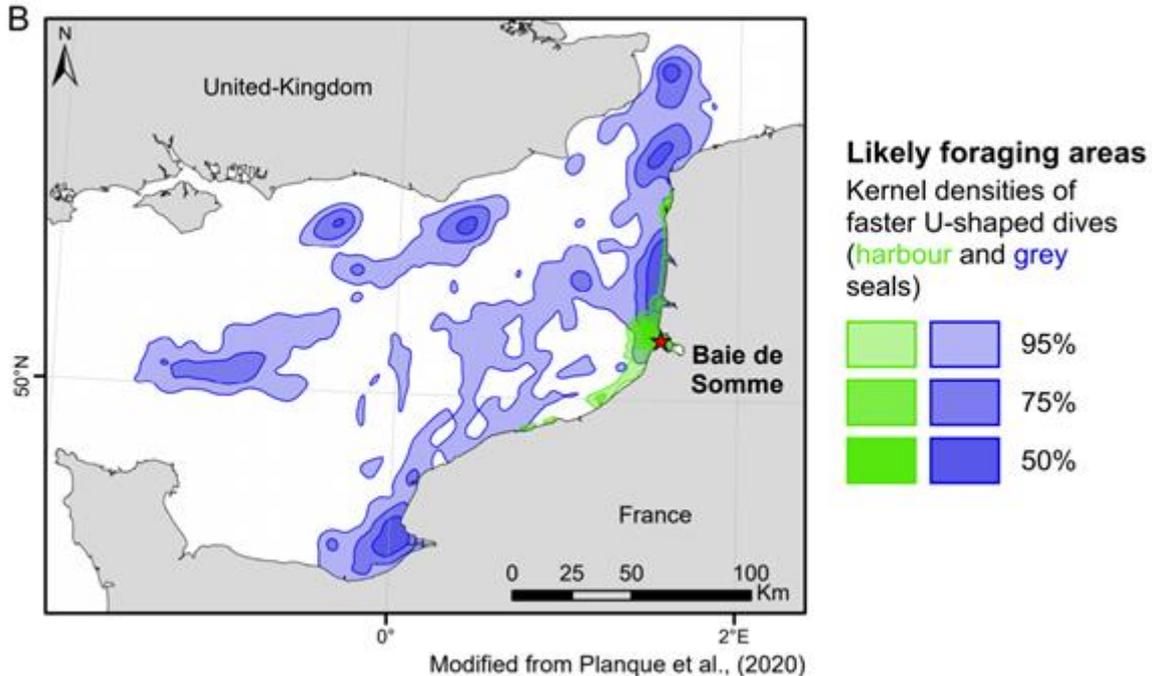


Figure 12 : Estimation des zones de chasse du phoque gris (en bleu) et du phoque veau marin (en vert) en Manche Est (Planque et al., 2020).

A l'échelle de la Manche Est, les zones présumées de chasse sont représentées sur la **Figure 12** à partir des données issues des suivis télémétriques (Planque et al., 2020). Le phoque veau-marin présente ainsi une forte préférence pour des secteurs très côtiers à proximité de la Baie de Somme (reposoir depuis lequel les animaux ont été équipés). Le phoque gris en revanche semble utiliser une variété de zones, depuis le Pas de Calais jusqu'au Cotentin. La baie de Somme, la baie de Seine et le détroit du Pas de Calais apparaissent comme des zones particulièrement utilisées.

Les populations de phoques dans la sous-région marine se portent bien et ont augmenté depuis 2009 : 28% d'augmentation pour le phoque gris, 12% pour le phoque veau marin (Vincent et al., 2017; Spitz et al., 2018). Bien que cette augmentation ne soit vraisemblablement pas le résultat d'une hausse de la reproduction et des naissances mais plutôt d'un glissement des populations de Mer du Nord vers des zones plus favorables (Vincent et al., 2017), leur état écologique a été qualifié de bon, dans le cadre de la dernière évaluation DCSMM (Spitz et al., 2018). La dernière évaluation DCSMM qualifie également le bon état écologique pour les populations côtières de grands dauphins en Manche comme atteint pour le maintien de l'abondance et de la distribution.

La situation du marsouin commun est beaucoup plus contrastée. En effet, les taux de captures accidentelles du marsouin commun dépassent les valeurs seuils du bon état écologique et sont susceptibles d'affecter la dynamique des populations. Le bon état écologique n'est donc pas atteint pour cette espèce (**Figure 13**, (Spitz et al., 2018)).

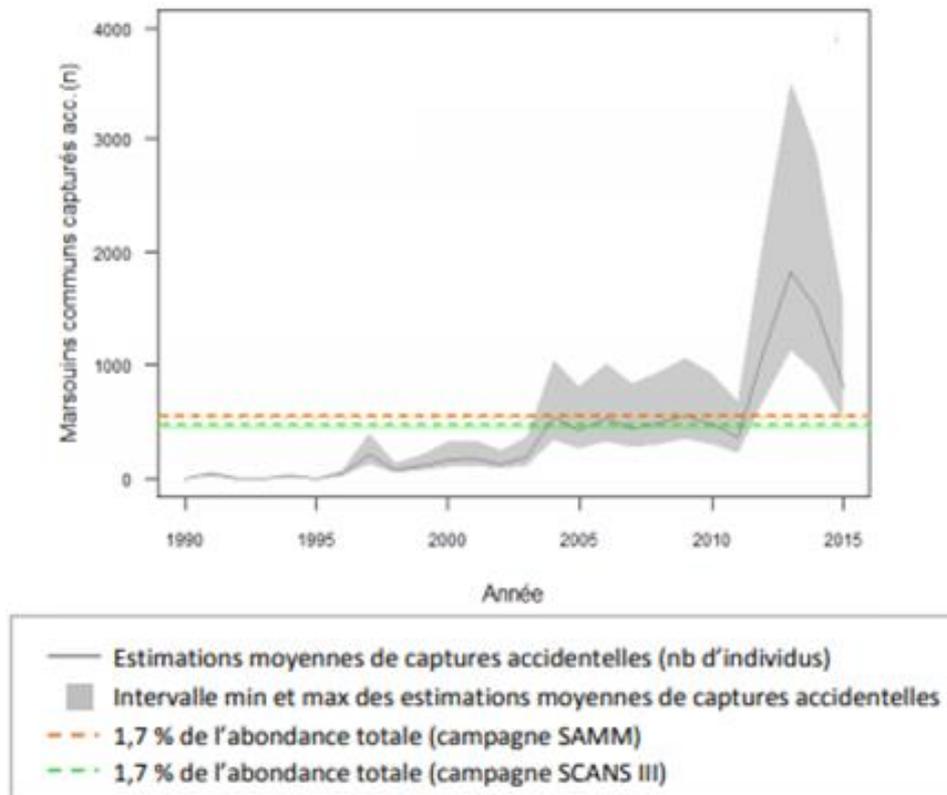


Figure 13 : Nombre de marsouins communs mort de captures accidentelles entre 1990 et 2015 sur les façades Manche et Atlantique ainsi que les seuils de soutenabilité associés (1,7% des effectifs de la population) calculés à partir des calculs à partir des campagnes SAMM et SCANS III (Spitz et al., 2018).

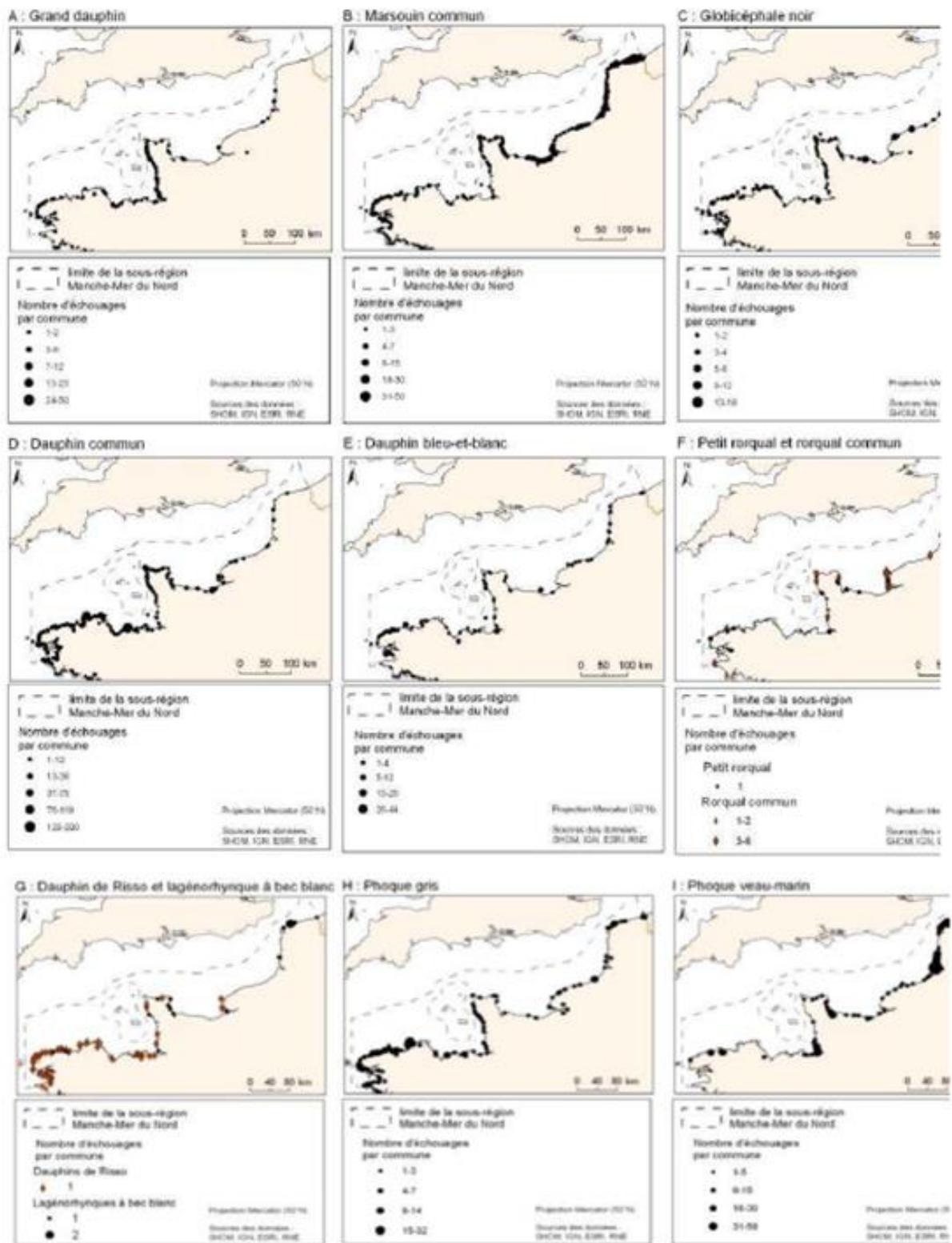


Figure 14 : Distribution spatiale des échouages des espèces permanentes de Manche-Mer du Nord : A = le grand dauphin, B = le marsouin commun, C = le globicéphale noir, D = le dauphin commun, E = le dauphin bleu-et-blanc, F = le petit rorqual et le rorqual commun, G = le dauphin de Risso et le lagénorhynque à bec blanc, H = le phoque gris et I = le phoque veau-marin (Martinez et al., 2012).

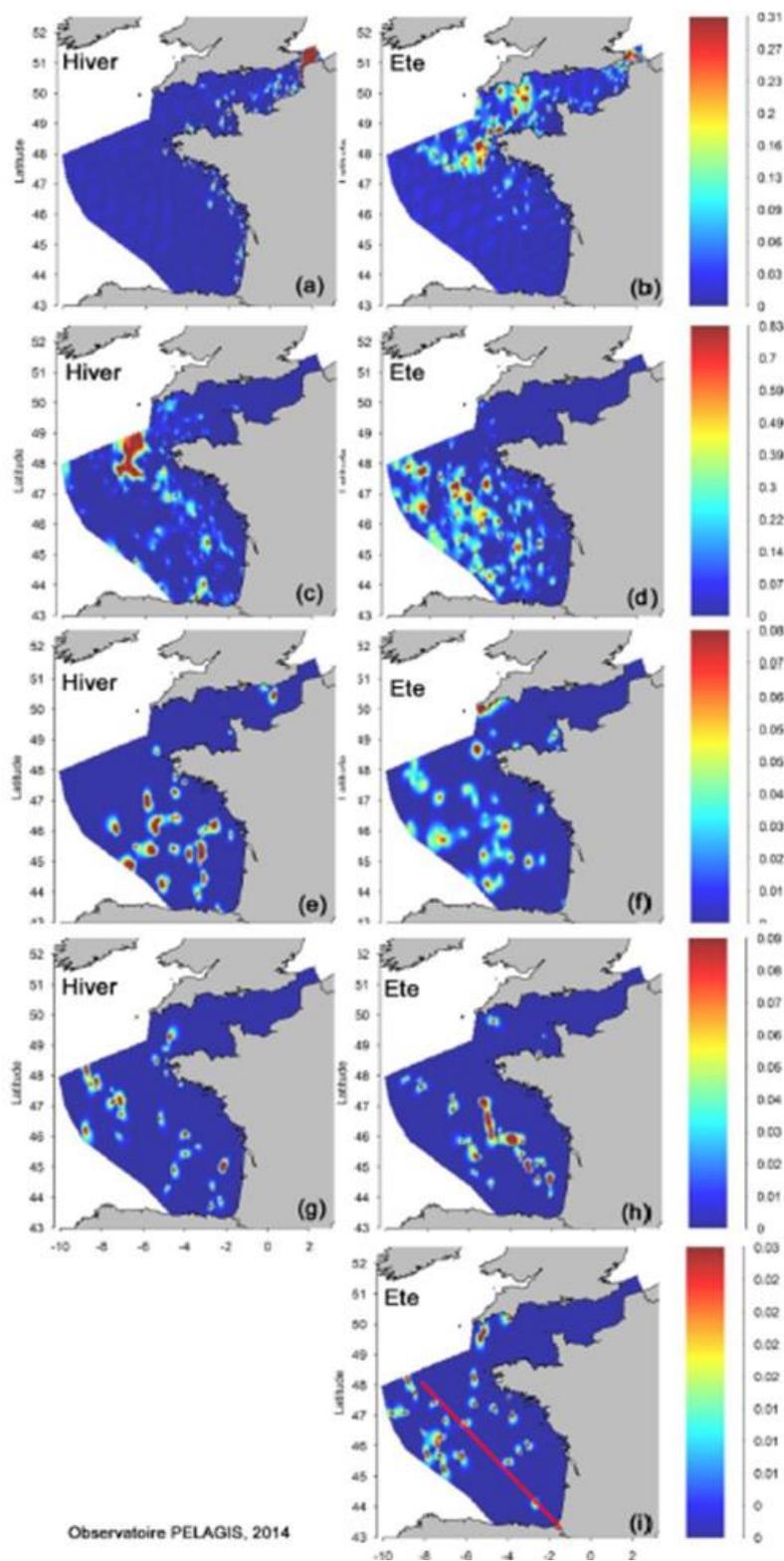


Figure 15 : Cartes de densités des cétacés sur la façade Manche-Atlantique (nombre d'observations par km²) en hiver et en été pour le marsouin commun (a et b), les delphininés -dauphins commun et dauphins bleu et blanc- (c et d), le grand dauphin (e et f), les globicéphalinés – globicéphales noirs et dauphins de Risso- (g et h) et les rorquals (i). La ligne rouge en (i) délimite les observations de petits rorquals et de rorquals (Pettex et al., 2014)

1.7 ENJEUX BIOLOGIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

L'analyse des données bibliographiques existantes (échouages, observations opportunistes, recensements nationaux, suivis télémétriques) menée en 2013 dans la zone de Fécamp a confirmé que le marsouin commun est l'espèce majoritairement rencontrée en Manche Est, où il enregistre de fortes densités de présence comparativement au reste des littoraux français. Si la zone de Fécamp n'est pas située dans les zones de densités maximales de marsouins en Manche, elle n'en reste pas moins un secteur très fréquenté tout au long de l'année, avec des maximas de présence en hiver et au début du printemps (**Figure 16**). Concernant le grand dauphin, les effectifs apparaissent faibles sur ce secteur de Manche, l'espèce étant plutôt rencontrée en Manche ouest.

Les phoques gris et veaux-marins sont également présents sur la zone en raison de la proximité de deux des principales colonies françaises, la baie des Veys et la baie de Somme. La télémétrie a montré que de phoques veaux-marins des deux colonies (baie des Veys et baie de Somme) se déplacent peu, et s'alimentent généralement à proximité des reposoirs. Pour les phoques gris, leurs déplacements sont beaucoup plus vastes. Certains phoques de la colonie de la baie de Somme sont venus au niveau des projets de parcs de Courseulles et Fécamp, et certains sont même passés dans la zone d'implantation de Fécamp. La zone ne semble toutefois pas être un site d'alimentation, mais juste un site de passage.

En résumé, les phoques gris de la baie de Somme et le marsouin commun sont présents toute l'année en effectifs importants, mais peu d'informations existent sur le rôle fonctionnel de la zone d'étude et l'utilisation qui en est faite par ces espèces (Martinez et al., 2013).

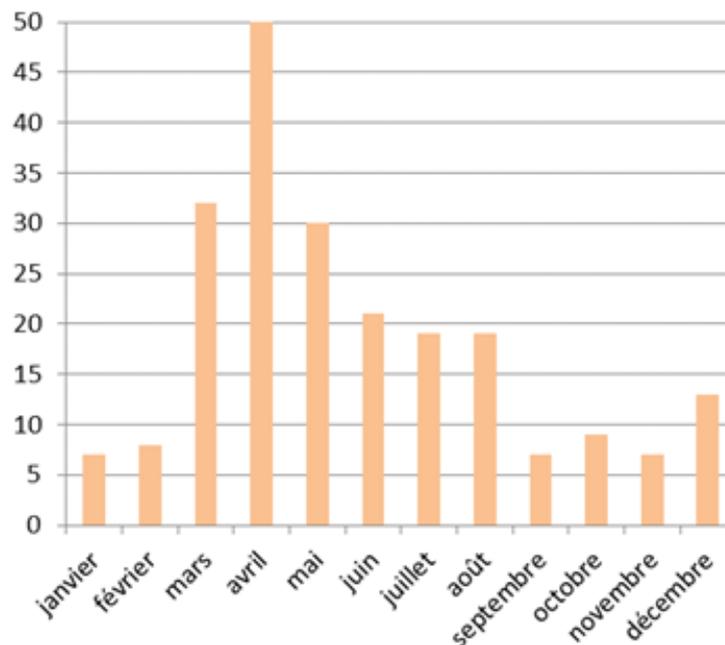


Figure 16 : Distribution saisonnière des échouages de marsouin commun entre 1971 et 2012 (Martinez et al., 2013).

Lors des acquisitions de données menées spécifiquement sur le site de Fécamp, plusieurs espèces ont été observées : des grands dauphins, des dauphins bleu-et-blanc, des marsouins communs et des phoques (BIOTOPE, 2014). Les observations ont lieu toute l'année mais les effectifs les plus importants ont été observés entre janvier et avril, en particulier pour le marsouin commun. Le

marsouin a été observé toute l'année (entre novembre et août), les grands dauphins en mars, juin et juillet, et les phoques en décembre, février mai et août (**Figure 17**).

Ainsi, le marsouin commun et le grand dauphin sont les 2 espèces de cétacés considérées comme régulièrement présentes, accompagnée du phoque gris et phoque veau-marin. Le globicéphale noir, le dauphin commun et le dauphin bleu-et-blanc sont considérés comme espèces occasionnelles (BIOTOPE, 2014).

Ainsi, le marsouin commun semble l'espèce la plus régulière sur la zone d'étude associée au projet, il est présent quasiment toute l'année avec de plus fortes densités entre janvier et avril. Des échouages de femelles gestantes ou de jeunes ont été notés en Normandie, suggérant que la zone pourrait être un secteur de reproduction. Le grand dauphin semble être présent en période estivale. Le phoque veau-marin fréquente uniquement la frange côtière depuis la Baie de Somme tandis que le phoque gris fréquente l'ensemble de la baie de Seine et notamment le large y compris l'aire d'implantation du projet. Trois autres espèces peuvent être jugées comme irrégulières voir occasionnelles et notamment présentes au cours de leur déplacement migratoire : le globicéphale noir, visiteur régulier en fin d'été ; le dauphin commun et le dauphin bleu et blanc dont la présence semble très occasionnelle dans la zone d'étude (BIOTOPE, 2014).

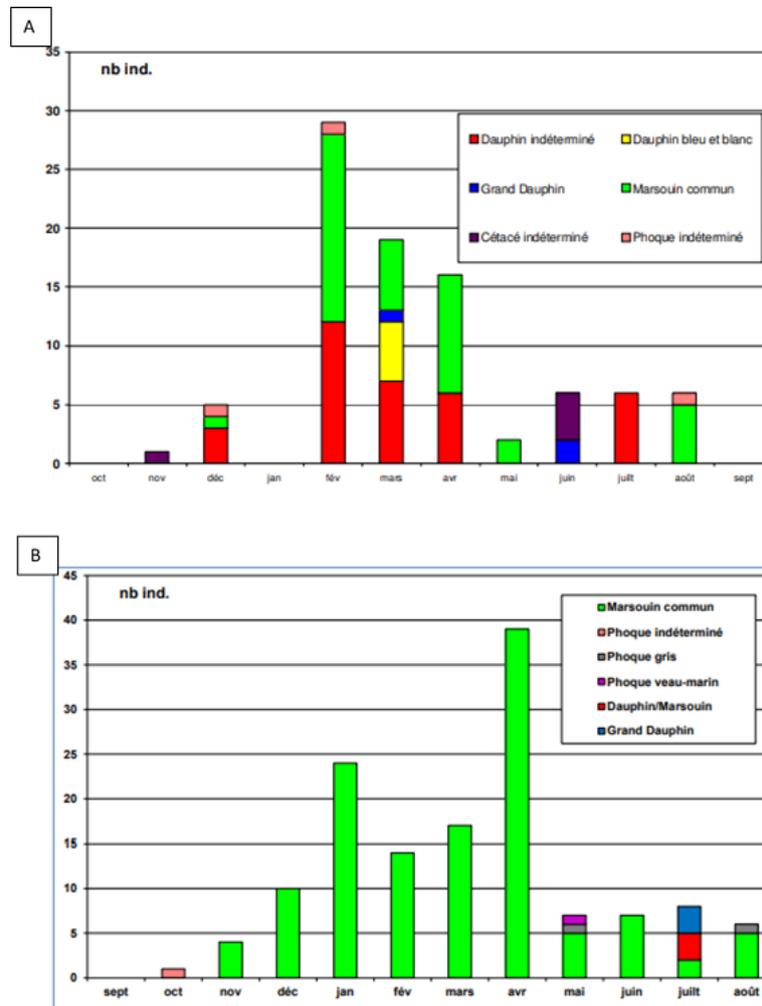


Figure 17 : Phénologie d'observation des mammifères marins lors de la campagne 2008/2009 (A) et 2012/2013 (B) par avion et bateau (BIOTOPE, 2014).

1.8 OBJECTIFS DE L'ÉTAT DE RÉFÉRENCE ACOUSTIQUE

L'objectif du suivi acoustique, lié à l'article 9 de l'article L214-3 du Code de l'Environnement, est de :

- Suivre le bruit ambiant sous-marin (MSu3a) ;
- Suivre l'occupation et les comportements des mammifères marins (MSu3b).

L'état de référence d'un projet d'éolien ne peut être considéré comme pertinent sur le plan scientifique que si l'on dispose d'un ensemble d'observations portant sur le territoire précis d'implantation des éoliennes, et susceptible de décrire sa fréquentation avant tout aménagement. Cela signifie que des zones tests présentant des caractéristiques identiques à la zone d'implantation des éoliennes peuvent servir de témoins (Y. André, 2004).

L'objectif de ce rapport final est de fournir des cartes et graphes contenant des indicateurs du bruit ambiant et de présence des mammifères marins à travers leurs signaux biologiques, avant la phase de travaux (état 0) sur le futur parc éolien de Fécamp.

La première phase de l'établissement d'un état acoustique de référence consiste à analyser l'ensemble des données à produire :

- L'évolution du niveau du bruit dans la zone d'étude en fonction du temps ;
- La distribution statistique du bruit moyen dans la zone d'étude durant la période de déploiement ;
- Le niveau des bruits de chaque type de source durant l'état initial : anthropique, bio-phonique et géo-phonique ;
- L'étude de la fréquentation des mammifères marins dans la zone d'étude.

La mesure de bruit permet d'obtenir un jeu de données représentatif de :

- La diversité sonore des bruits environnementaux et anthropiques de la zone d'étude sur trois saisons (hiver, été et automne), pendant une année ;
- La présence de mammifères marins à partir d'appareils d'écoute acoustique capable de discriminer les bruits biologiques, pendant 2 années.

La seconde phase permet de réaliser la modélisation du bruit sous-marin et de la propagation des ondes acoustiques ambiant à plus grande échelle (aire d'étude éloignée), complétée avec les données enregistrées in situ par l'intermédiaire d'hydrophones/enregistreurs et de C-PODs sur la période de mars 2019 à mars 2021. Pour l'étape de modélisation, SINAY utilise son Hub digital dédié à l'environnement marin.

Pour l'état de référence, ces éléments sont produits à partir d'enregistrements effectués sur deux sites : le site « projet » à l'intérieur de la zone de construction du parc, et le site « témoin », en dehors. Pour cela, des enregistreurs sont mouillés sur les deux sites à des périodes représentatives de la variabilité naturelle. L'approche adoptée est la méthode BACI (décrite dans le paragraphe suivant), elle est applicable dès lors que les impacts à étudier sont d'origine anthropique et que l'aménagement intervient à un moment précis. Il est ainsi possible de faire un diagnostic environnemental précis avant, pendant et après le changement.

2 METHODOLOGIE ET MOYENS UTILISES

2.1 APPROCHE ADOPTÉE

La présente étude est basée sur une approche BACI. Cette approche, de l'acronyme anglais pour Before-After-Control-Impact, a été introduite en 1979 lors de la publication de l'œuvre « *Sampling design and statistical methods for environmental biologists*, (Green, 1979) ». Comme le dit le titre de l'œuvre de Green, BACI est une approche statistique qui sert à définir la structure d'une étude environnementale et en particulier le plan d'échantillonnage : position, période et fréquence des activités de collecte de données, qui doivent être fonctionnelles aux méthodes d'analyse statistiques employées.

BACI est aujourd'hui une approche standard pour les processus de prise en compte des aspects environnementaux lors des développements industriels et est préconisée pour les mesures MSu3a et MSu3b du programme de suivi des travaux de construction du parc éolien en mer des Hautes Falaises.

Le concept à la base de BACI est la comparaison de paramètres (environnementaux, biologiques, écologiques) mesurés dans deux situations géographiques et deux moments différents (**Figure 18**) :

- Une zone impactée (proche des travaux par exemple) ;
- Une zone témoin (non impactée, normalement loin des travaux) ;
- Avant que les impacts se vérifient (c'est à dire avant les travaux) ;
- Après le début des activités ayant un impact potentiel.

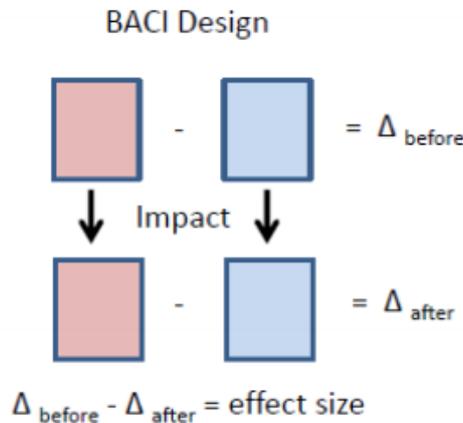


Figure 18 : Schéma de l'approche BACI (source : Secor D. 2017. *Priorities and challenges of monitoring*).

Depuis l'œuvre de Green (1979), un nombre de révisions de cette approche, ainsi que des critiques et des suggestions d'amélioration ont été présentés par plusieurs auteurs (Underwood, 1992; Benedetti-Cecchi, 2001). Les questions soulevées dans ces documents comprennent la difficulté à déterminer la causalité entre les variations mesurées et l'origine anthropique de ces variations ; aussi, le faible nombre de sites de mesures (deux, dans une BACI classique), réduit potentiellement la fiabilité des statistiques appliquées. Par conséquent, le besoin de plusieurs sites de contrôle et/ou impact (et non seulement un de chaque comme dans l'approche BACI classique), est évoqué. Les études ainsi construites sont basées sur une approche dite « par gradient spatial » (nommée BAG

dans plusieurs travaux sur ce sujet, de l'acronyme anglais *Before After Gradient*, **Figure 19**) car la collecte de données est réalisée dans plusieurs sites établis sur un gradient spatial.

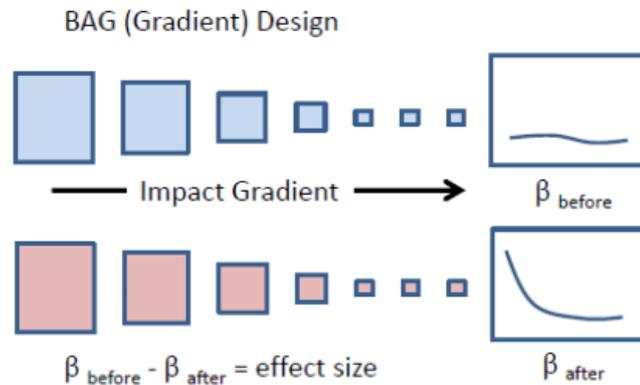


Figure 19 : Exemple de plan d'échantillonnage sur gradient spatial, avec plusieurs sites d'échantillonnage mais seulement 2 périodes (Before After Gradient).

De plus, quand la collecte de données est répliquée plusieurs fois dans le temps (plusieurs périodes avant, pendant et après les travaux) l'on parle également d'approche par « gradient temporel ». L'ensemble de ces approches peuvent tout de même être considérées comme des évolutions ou des variantes de l'approche BACI classique, et non pas des approches différentes. A cet égard, il est bien possible de combiner une approche classique avec des méthodes par gradient spatial et temporel lors d'une même étude, grâce à la mise en œuvre de plusieurs techniques et technologies complémentaires.

Pour cela, les conclusions d'autres études scientifiques récentes affirment que l'approche BACI reste solide pour les études et suivis environnementaux, du moment que les analyses statistiques sont menées soigneusement, en vérifiant les hypothèses, en explorant la sensibilité de ces analyses, en identifiant la part de variation naturelle et/ou aléatoire, et en vérifiant les modèles et les résultats (Steward et al., 2007; Smokorowski & Randall, 2017).

L'approche BACI mise en œuvre par SINAY prend en considération l'ensemble de ces raisonnements scientifiques pour produire les éléments nécessaires pour établir l'état de référence acoustique, à savoir le paysage acoustique de la période avant travaux. Ces éléments sont produits à partir d'enregistrements effectués sur deux sites : le site « impact » à l'intérieur de la zone de construction du parc, et le site « témoin », en dehors. Pour cela, des enregistreurs sont mouillés sur les deux sites à des périodes représentatives de la variabilité naturelle.

De plus, une étape de modélisation est réalisée afin de produire une cartographie du bruit ambiant à plus grande échelle (l'aire d'étude éloignée, Cf chapitre 1.5.1), qui permettra d'exploiter une approche complémentaire par gradient spatial (BAG).

2.2 MOYENS TECHNOLOGIQUES

Pour l'étape de modélisation, SINAY utilise son Hub numérique dédié à l'environnement marin. Ce dernier comprend un catalogue de données, un portfolio d'algorithmes et de traitements automatisés des données et un choix de systèmes de visualisations d'indicateurs (**Figure 20**).

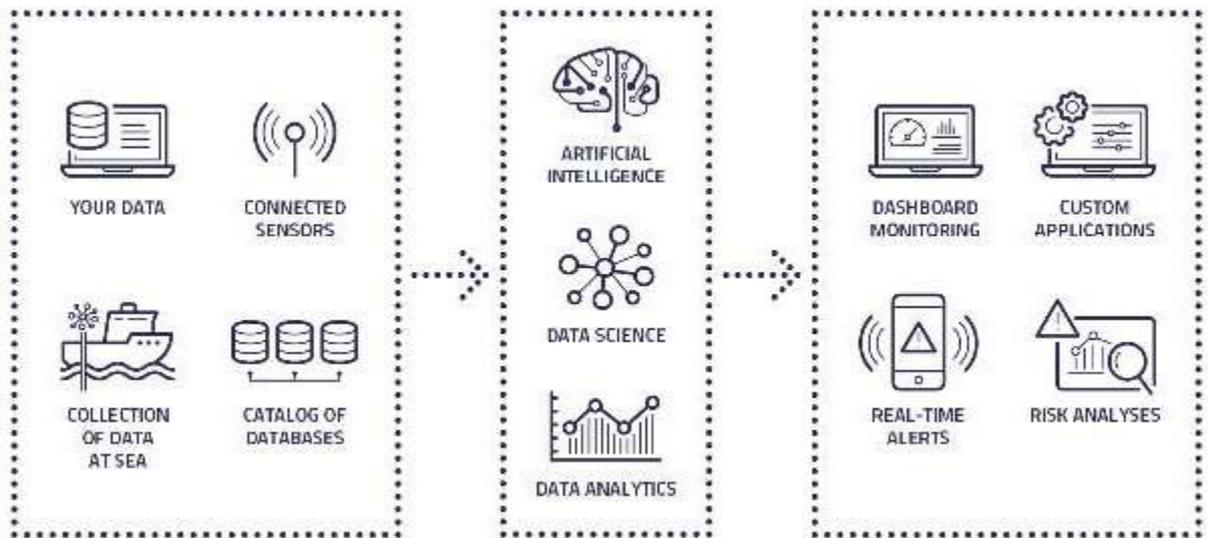


Figure 20 : Illustration des fonctions du Hub digital SINAY.

La plateforme et les algorithmes utilisent les technologies reconnues du Big Data (Figure 21) :



Figure 21 : Exemple de technologies intégrées au Hub SINAY

SINAY dispose d'un partenariat avec le CRIANN : Centre Régional Informatique et d'Applications Numériques de Normandie. Le CRIANN fournit son supercalculateur Myria, en particulier pour les opérations nécessitant d'importants calculs comme l'analyse de fichiers acoustiques ou la modélisation de la propagation sonore.

Myria dispose d'environ 10 000 cœurs de calcul Intel Broadwell et intègre des accélérateurs GPU Nvidia de dernière génération ainsi que des nœuds hybrides Intel Phi. Myria dispose par ailleurs d'un espace de stockage rapide d'environ 2,5 Po.

Le traitement des données est effectué sur l'ensemble des enregistrements. Initialement, SINAY a proposé un mois d'enregistrement en continu sur la bande de fréquence [3 Hz à 150 kHz] avec une fréquence d'échantillonnage de 312 kHz.

Une interface de visualisation et de contrôle des résultats (Dashboard, Figure 21) est également proposée à EOHF afin d'accéder aux résultats sous différents formats en adéquation avec les demandes exprimées dans le cahier des charges.

La méthodologie détaillée est illustrée dans les chapitres suivants.

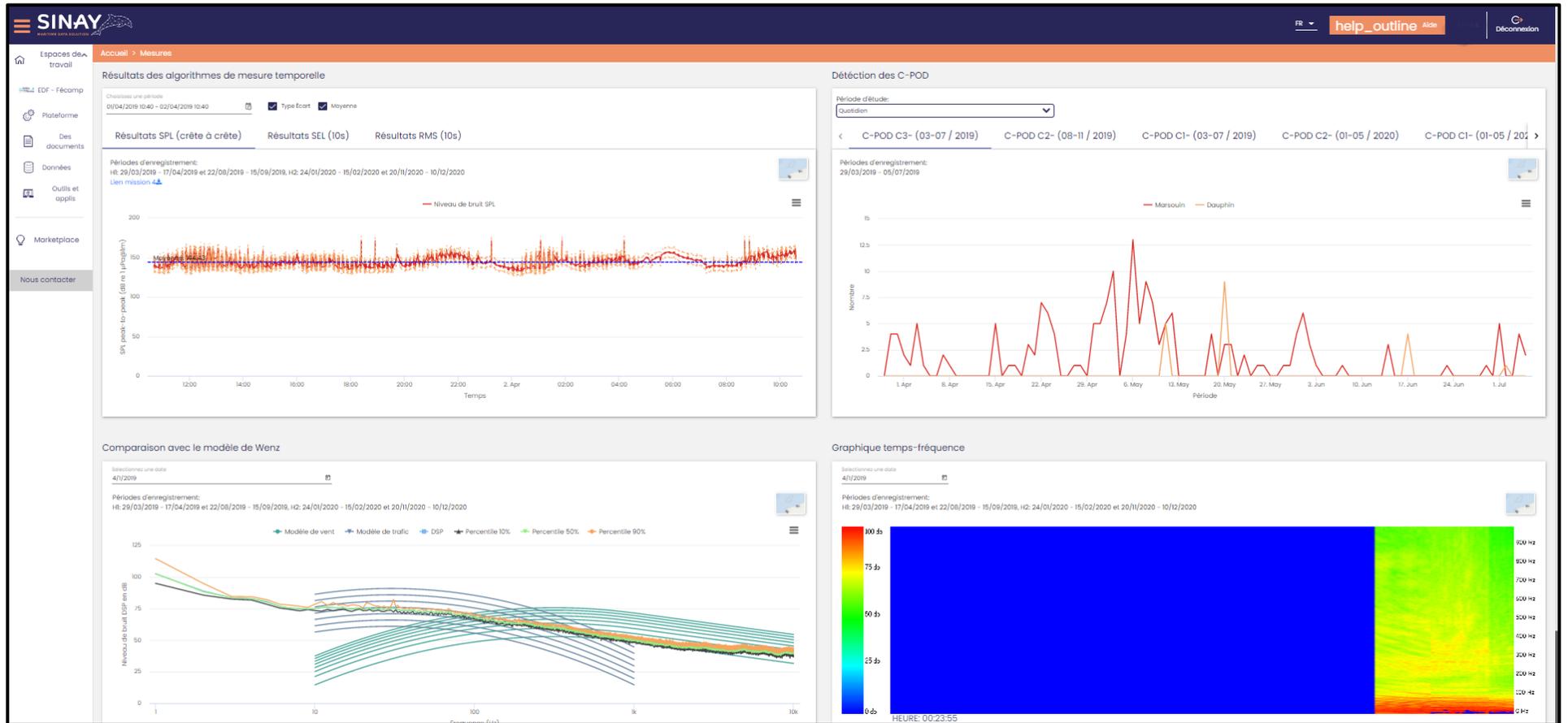


Figure 22 : Exemple de tableau de bord, interface proposée à EOHF dans le cadre d'une étude acoustique pour visualiser les données acquises et les indicateurs produits

2.3 MATÉRIEL UTILISÉ POUR LA MESURE DE L'AMBIANCE SONORE ET DES SIGNAUX BIOLOGIQUES

2.3.1 LES ENREGISTREUR RTSYS AVEC HYDROPHONE HDI-99-HF

Afin de pouvoir évaluer les effets sonores des projets dans la zone d'étude, il est nécessaire d'établir un état acoustique de référence dans les zones des futurs travaux avant que ces derniers aient lieu. Cette démarche consiste à mesurer l'ambiance sonore habituellement présente à l'échelle des points de mesures.

Pour réaliser le volet MSu3a avec un suivi par hydrophone et garantir des enregistrements acoustiques de qualité, les équipements suivants ont été déployés :

- Enregistreur RTsys de type EA-SD14 ;
- Enregistreur RTsys de type Sylence EA-SDALP ;
- Hydrophones HDI-99-HF.

Le **Tableau 5** ci-dessous présente les caractéristiques et paramètres des enregistreurs.

Ces appareils, systèmes autonomes enregistrant numériquement les sons sous-marins, sont constitués d'un hydrophone (microphone sous-marin) et d'un enregistreur de données (carte électronique et d'un compartiment pour les piles). Ils peuvent être déployés pendant de longues périodes en adaptant le nombre de piles utilisées et le mode d'enregistrement choisi.

La chaîne d'acquisition possède plusieurs qualités remarquables qui font qu'elle est parfaitement adaptée aux besoins du suivi acoustiques pour le projet EOHF :

- Autonomie de plusieurs mois permettant des mesures sur des données écologiquement significatives ;
- Calibrée ;
- Large bande fréquentielle d'écoute pour permettre la mesure simultanée des sons de cétacés (moyennes et hautes fréquences) et les sons anthropiques (basses fréquences) ;
- Faible bruit permettant de mesurer des signaux de petites amplitudes et donc d'optimiser les distances de détection ;
- Grande dynamique d'acquisition (24 bits) permettant de mesurer des signaux de faibles amplitudes (signaux biologiques) en présence de signaux forts (passage de bateaux).

L'amplificateur ajustable qui équipe la carte électronique permet de choisir le gain entre 0, 14,7 et 18 dB. Comme nos appareils sont mouillés dans une zone relativement bruitée et vues les capacités des hydrophones, nous avons réglé les gains de nos appareils à 14,7 dB. Plus la valeur de Gain est élevée plus la sensibilité de l'hydrophone aux sons augmente. Ce qui nous permet d'augmenter la probabilité d'enregistrer les faibles sons émis par des espèces présentes sur la zone d'étude, en contrepartie, la valeur de la saturation de l'hydrophone diminue. A titre d'exemple avec un Gain de 14,7 pour l'enregistreur Rtsys, le plus haut niveau qu'il est possible d'enregistrer est de 169 dB, ce qui couvre pratiquement l'ensemble du bruit ambiant sauf dans des cas particuliers (le passage d'un cargo juste au-dessus de l'enregistreur peut saturer l'enregistreur pour un petit moment, par exemple). Si nous choisissons le Gain de 0 dB nous pouvons enregistrer jusqu'à des niveaux très élevés (184 dB) mais en diminuant considérablement la sensibilité de l'hydrophone aux sons de niveau faible. L'hydrophone HTI-99-HF est conçu pour les mesures de fréquence jusqu'à 150 kHz. Conformément au cahier des charges, il permet ainsi de capter le bruit ambiant, le bruit anthropique et l'ensemble des signaux de mammifères marins.

Tableau 5 : Synthèse des caractéristiques et paramètres des enregistreurs RTsys déployés.

Caractéristiques et paramétrages des enregistreurs RTsys			
	Sylence EA-SDALP	EA-SD14	
			
Caractéristiques			
Format de l'enregistrement	24 Bits	16, 24, 32 Bits	
Stockage	Cartes SD	Disque dur	
Format fichiers	Audio	Audio	
Plage de fréquence	[3 Hz à 250 kHz]	[3 Hz à 150 kHz]	
Amplificateur (gain)	0 à 15 dB	0 à 15 dB	
NB batteries Alcaline	15	54	
Mode d'enregistrement	Continu / Echelonné	Echelonné	
Taux d'échantillonnage	256 kHz	312 kHz	
Autonomie d'enregistrement sur la plage [3 Hz à 150 kHz] / fréquence d'échantillonnage (%)	Jusqu'à 6 mois à 39 kHz	12 jours	100 %
		18 jours	75 %
		27 jours	50 %
		48 jours	25 %
Paramétrages			
Format de l'enregistrement	24 Bits	24 Bits	
Mode d'enregistrement	Continu	5 min / 10 min (50 % tu temps).	
Plage de fréquence	[3 Hz à 150 kHz]	[3 Hz à 150 kHz]	
Amplificateur (gain)	14,7 dB	14,7 dB	
Autonomie d'enregistrement réelle [3 Hz à 150 kHz] / fréquence d'échantillonnage	26 jours	15 jours	
Dimensions			
Diamètre	90 mm	120 mm	
Longueur	430 mm	1210 mm	
Poids	4,5 kg (air) / 1,4 kg (eau)	20 kg (air) / 10 kg (eau)	
Profondeur max	250 m	200 m	

Dans le cadre des processus qualité de SINAY, les enregistreurs et hydrophones sont systématiquement testés et contrôlés avant leur déploiement dans un plan d'eau (bassin de Calix à Caen) proche du siège. Les points de contrôle sont la charge des piles, les cartes SSD, l'étanchéité, la configuration et les enregistrements à l'aide d'émetteurs acoustiques. Les tests sont documentés par un rapport, des photos et vidéos qui sont transmises au maître d'ouvrage

2.3.2 LES C-PODS

Le C-POD fait partie des instruments de mesure acoustique sous-marine spécialisés dans la détection de cétacés par la détection automatique de leurs clics. L'enregistrement en continu de l'environnement sonore permet de repérer la présence de mammifères marins à l'intérieur du périmètre de détection de l'appareil (rayon de 300 mètres), ce rayon varie selon la profondeur de l'eau et la nature du fond. Le but est de déterminer la présence et la fréquentation des mammifères

marins sur une zone. Ces résultats peuvent être utilisés ensuite pour évaluer l'impact de la pollution sonore sur ces espèces.

L'enregistrement des C-POD est omnidirectionnel et repose sur l'enregistrement de clics ou trains d'écholocation émis par de nombreuses espèces de mammifères marins tels que les marsouins et les différentes espèces de dauphins. Le C-POD fournit des données temporelles sur l'activité de l'animal, indicateur de la présence et de l'usage de l'habitat. Le C-POD est un outil autonome, statique, et à faible coût, comparé aux autres instruments. Il permet d'optimiser les coûts du suivi et de constituer d'importantes bases de données pendant de longues périodes avec un effort d'échantillonnage optimisé. Les avantages et limites du C-POD sont présentés dans le **Tableau 6** ci-dessous.

Tableau 6 : Présentation du C-POD, avantages et limites.

C-POD-Dispositif pour enregistrer les clics des mammifères marins



Avantages du C-POD : Un système très opérationnel

- Analyse robuste ;
- Très nombreuses publications scientifiques prouvant sa validité ;
- Vaste communauté d'utilisateurs ;
- Les capteurs acoustiques sont optimisés spécifiquement pour la détection de cétacés ;
- L'installation est compacte et robuste, le déploiement aisé ;
- Grande capacité d'enregistrement et d'autonomie avec logistique réduite ;
- Flottabilité positive du C-POD facilitant sa mise en œuvre.

Limites : Un système parfois perçu comme une boîte noire

- Enregistrements bruts non accessibles ;
- Algorithme de détection non accessible par la communauté scientifiques ;
- Détection uniquement des clics (sifflements et autres vocalises non détectés).

A chaque campagne, trois C-PODs ont été déployés (C1, C2, C3). Les C-PODs utilisés font l'objet d'une calibration pour identifier leur rayon de détection, mise au point par Cédric Gervaise pour l'Agence des Aires Marines Protégées dans le cadre du programme PACOMM : « C. Gervaise, O. Le Bot, F. Samaran, (2015), Définition et réalisation d'un protocole de calibration d'un détecteur de clics de cétacés de type CPOD pour le volet du projet PACCOM, Agence des Aires Marines Protégées. ».

2.4 POSITIONNEMENT DU MATÉRIEL D'ENREGISTREMENT ACOUSTIQUE

La position du matériel, illustrée par la **Figure 23**, a été définie avant tout selon les contraintes de l'environnement et des activités humaines afin que la pose, le suivi et la récupération soient facilités et se déroulent en sécurité. Ensuite, la position a été déterminée pour convenir au mieux aux mesures de données scientifiques. Car la connaissance de la zone d'étude est indispensable à la caractérisation statistique du bruit existant sur zone et à l'établissement des prévisions de

distribution des bruits liés au projet. Cette connaissance est reportée dans le chapitre **4.2 Recueil des données d'entrée du modèle** qui a pour objectif de définir et détailler l'importance de chaque paramètre sur la propagation de l'onde acoustique ainsi que les sources de données utilisées dans cette étude.

Les activités humaines et les composantes environnementales prises en compte pour déterminer les points de mouillage sont présentées dans les parties suivantes de ce chapitre. Les acteurs locaux (comité des pêches, préfecture, capitainerie, etc.) et les partenaires du projet ont été consultés pour déterminer le meilleur compromis. Les positions des lignes de mouillage ont donc été déterminées de la façon suivante :

- Volet 1 : suivi par hydrophones
 - Hydrophone H2 disposé au centre du parc ;
 - Hydrophone H1 « témoin » disposé au Sud-Ouest (à 6 nautiques du port du Havre-Antifer) sur le même emplacement que lors de l'étude d'impact (Quiet Océans, 2013).
- Volet 2 : suivi par C-PODs
 - C-POD C1 disposé au Nord du projet ;
 - C-POD C3 disposé au Sud du projet près du mât de mesure ;
 - C-POD C2 « témoin » disposé à l'Est du projet (à 6 nautiques du port de Veulettes-sur-Mer).

La **Figure 23** ci-dessus présente une vue d'ensemble de la localisation du matériel.

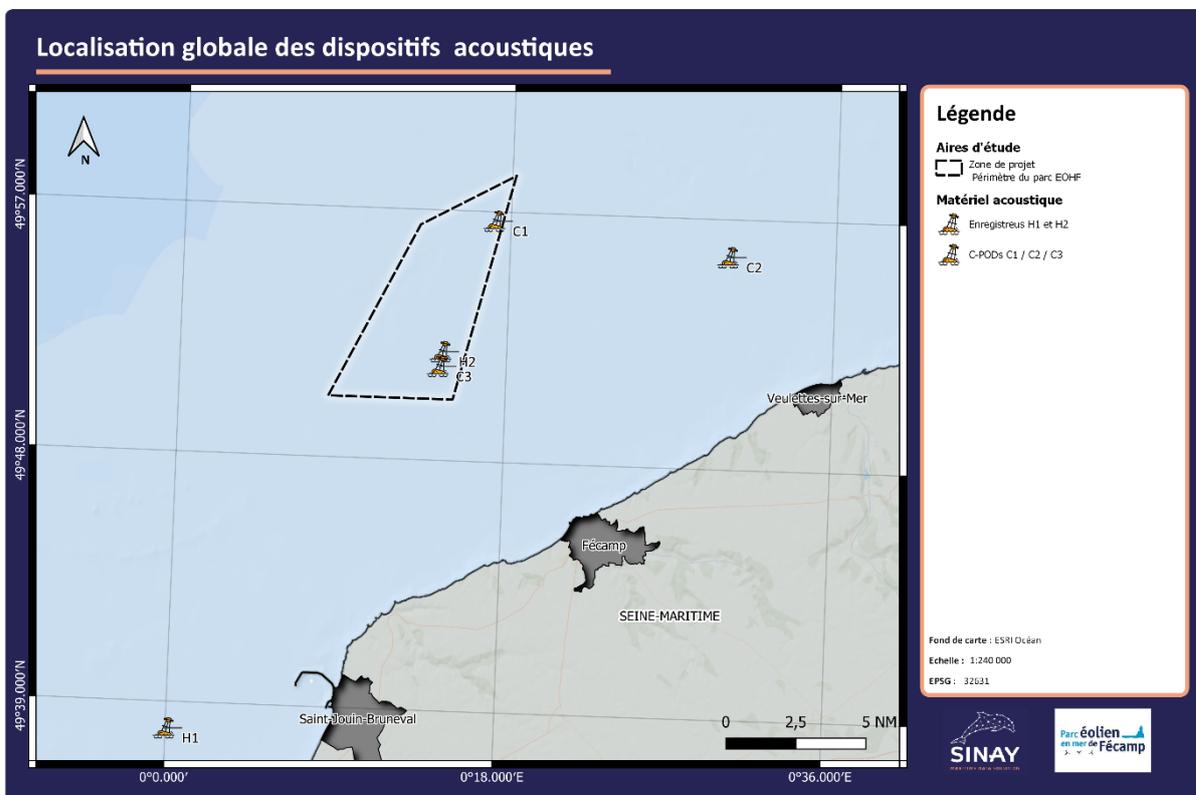


Figure 23 : Localisation globale des lignes de mouillage porteuses des enregistreurs acoustiques (H1/H2) et des C-PODs (C1/C2/C3).

Le **Tableau 7** suivant précise les coordonnées de chaque point. A partir de l'année 2020, l'enregistreur H2 a été couplé sur la ligne de mouillage du C-POD C3 afin de limiter la perte de matériel, lié à des évènements de tempêtes ou chalutage accidentel du matériel par des professionnels.

Tableau 7 : Coordonnées des points de dépôts des dispositifs acoustiques (ellipsoïde WGS 84).

Points	Coordonnées (EPSG : 4326, WGS 84)
H2	<p>Coordonnées sexagésimales 49°51'54.3441"N, 0°14'20.8414"E</p> <p>Coordonnées degrés minutes décimales 49°51.9057'N, 0°14.3474'E</p> <p>Coordonnées décimales 49.86509559, 0.239122615</p>
H1	<p>Coordonnées sexagésimales 49°38'1.4633"N, 0°0'4.7544"O</p> <p>Coordonnées degrés minutes décimales 49°38.0244'N, 0°0.0792'O</p> <p>Coordonnées décimales 49.6337398148777, -0.0013206730726748</p>
C3	<p>Coordonnées sexagésimales 49°51'22.5555"N, 0°14'13.5557"E</p> <p>Coordonnées degrés minutes décimales 49°51.3759'N, 0°14.2259'E</p> <p>Coordonnées décimales 49.8562654261323, 0.237098815160892</p>
C1	<p>Coordonnées sexagésimales 49°56'39.5535"N, 0°17'3.4546"E</p> <p>Coordonnées degrés minutes décimales 49°56.6592'N, 0°17.0576'E</p> <p>Coordonnées décimales 49.94432041084, 0.284292941955875</p>
C2	<p>Coordonnées sexagésimales 49°55'38.4389"N, 0°30'1.8429"E</p> <p>Coordonnées degrés minutes décimales 49°55.6406'N, 0°30.0307'E</p> <p>Coordonnées décimales 49.9273441355401, 0.500511913517772</p>

2.4.1 PRISE EN COMPTE DES PARAMÈTRES PHYSIQUES

Afin que les opérations de mise à l'eau et de récupération du matériel se déroulent au mieux, plusieurs composantes environnementales ont été prises en compte. A partir de ces informations il a été possible de préciser le placement des points de dépôt du matériel.

- La bathymétrie

A l'intérieur de la zone du projet (**Figure 24**), les fonds sont approximativement compris entre -26 m et -32 m ; la pente des fonds y est assez douce, de l'ordre de 0,5 ‰. La ligne des -30 m est au plus proche (cap d'Antifer) à un peu plus de 10 km du rivage ; au sud-ouest, elle s'éloigne jusqu'à 25 km (cap de la Hève) ; au nord-est, sa distance à la côte croît progressivement jusqu'au niveau des Bas-Champs de la Somme (40 km). La ligne des -20 m est généralement située à une distance de l'ordre de 3 à 5 km de la côte depuis le sud du cap d'Antifer jusqu'à la pointe d'Ailly. Au nord-est, cette distance augmente brutalement, passant aux alentours de 20 km à l'ouest du Tréport (ACTIMAR, 2014). Pour des raisons logistiques et de sécurité il a été décidé de ne pas placer le matériel au-delà de 30 m CM de profondeur et également sur une surface à bathymétrie stable pour éviter les déplacements au fond.

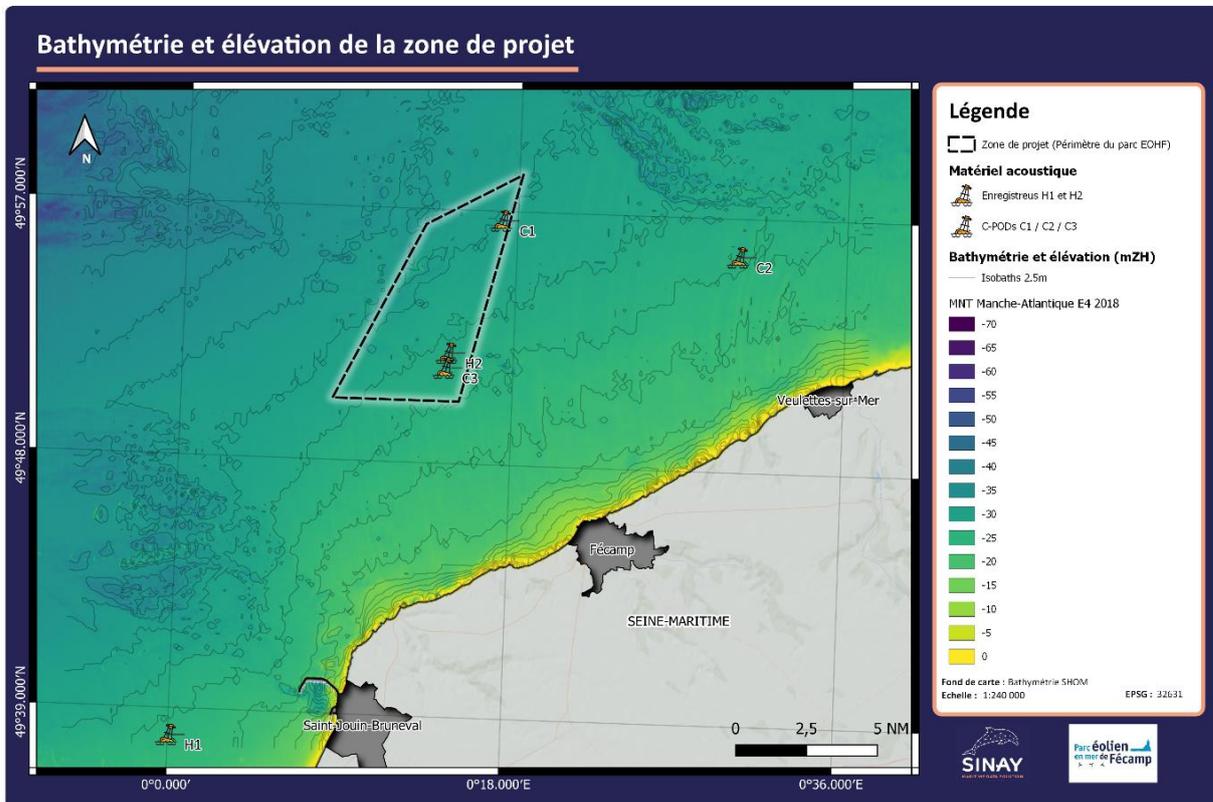


Figure 24 : Bathymétrie et élévation sur la zone de projet (SHOM, 2018).

- Facies morfo sédimentaires

La **Figure 25** fournit la répartition des faciès sédimentaires sur la zone de projet. Les sédiments les plus grossiers couvrent les fonds marins du cap d'Antifer à Veulettes-sur-Mer. De part et d'autre de cette zone, les sédiments s'affinent progressivement sud du cap d'Antifer vers des graviers, puis sables graveleux, sables grossiers et enfin sables fins (ACTIMAR, 2014). Le sédiment sur lequel le matériel acoustique a été déployé est composé essentiellement de sable et de graviers.

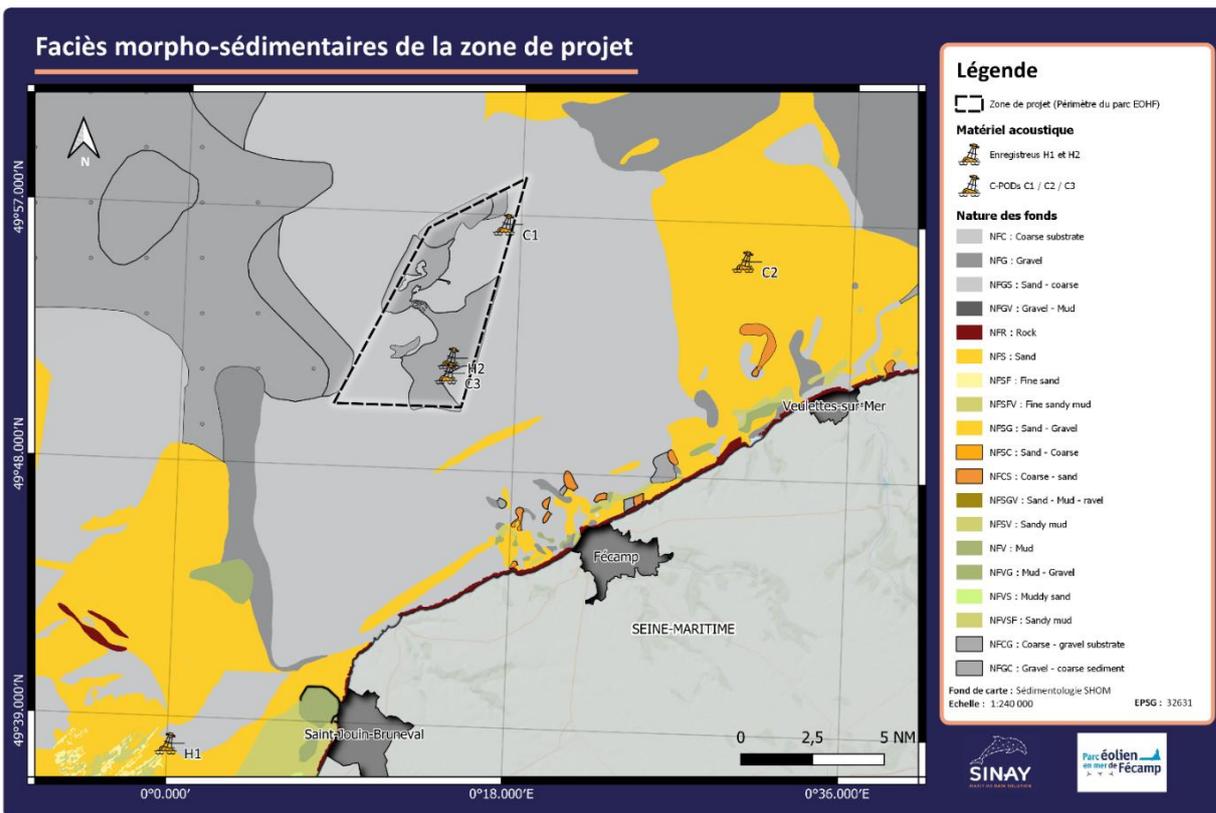


Figure 25 : Faciès morpho-sédimentaires de la zone de projet (SHOM).

- Courants et marnages

La **Figure 26** illustre les courants et vitesses maximales rencontrés dans l’aire d’étude éloignée. Dans la zone du parc éolien, le courant de flot porte à l’est-nord-est, son intensité maximale dans la zone du projet est de 2,72 nœuds en marée de vive-eau (C95) et de 1,36 nœuds en marée de morte-eau (C45). Le courant de jusant porte à l’ouest-sud-ouest et est légèrement plus faible que le courant de flot : 2,33 nœuds en marée de vive-eau (C95) et de 1,36 nœuds en marée de morte-eau (C45) (ACTIMAR, 2014). Les marnages peuvent être au maximum de 490 cm à 585 cm (**Figure 27**).

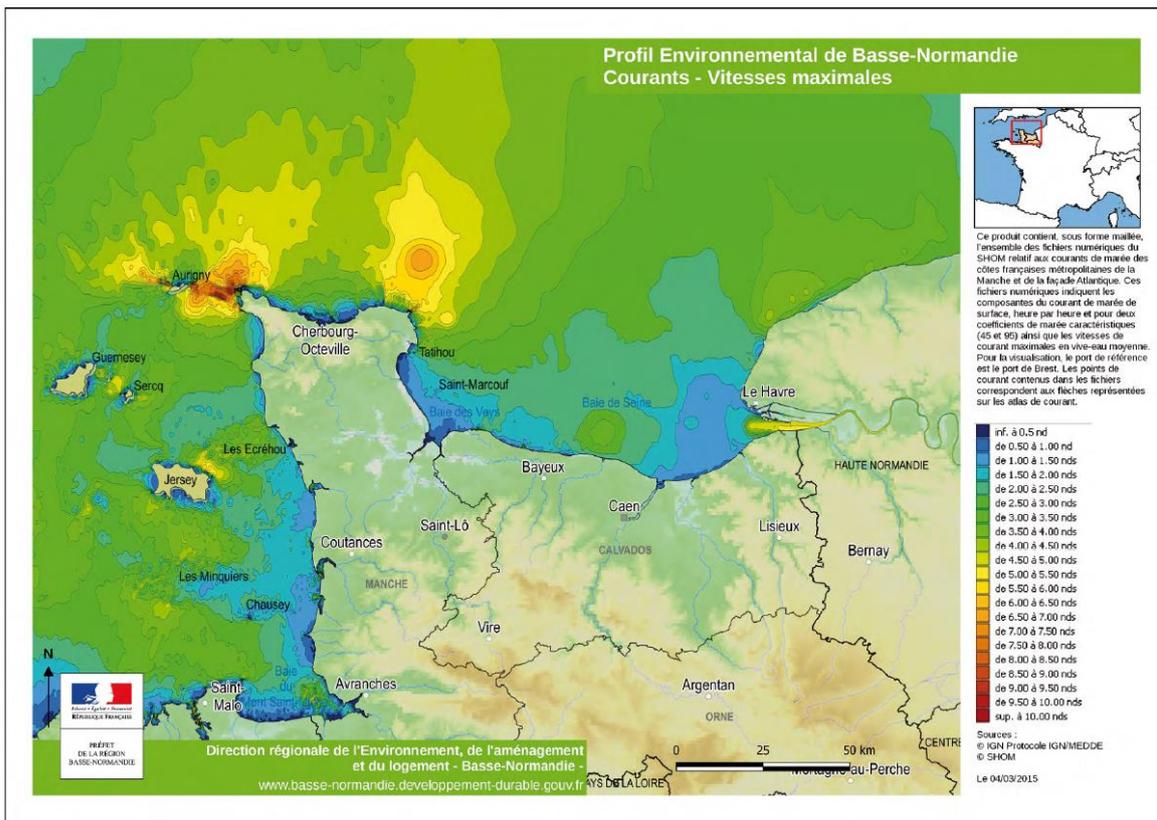


Figure 26 : Courants et vitesses maximales de Basse-Normandie (DREAL Normandie, 2015).

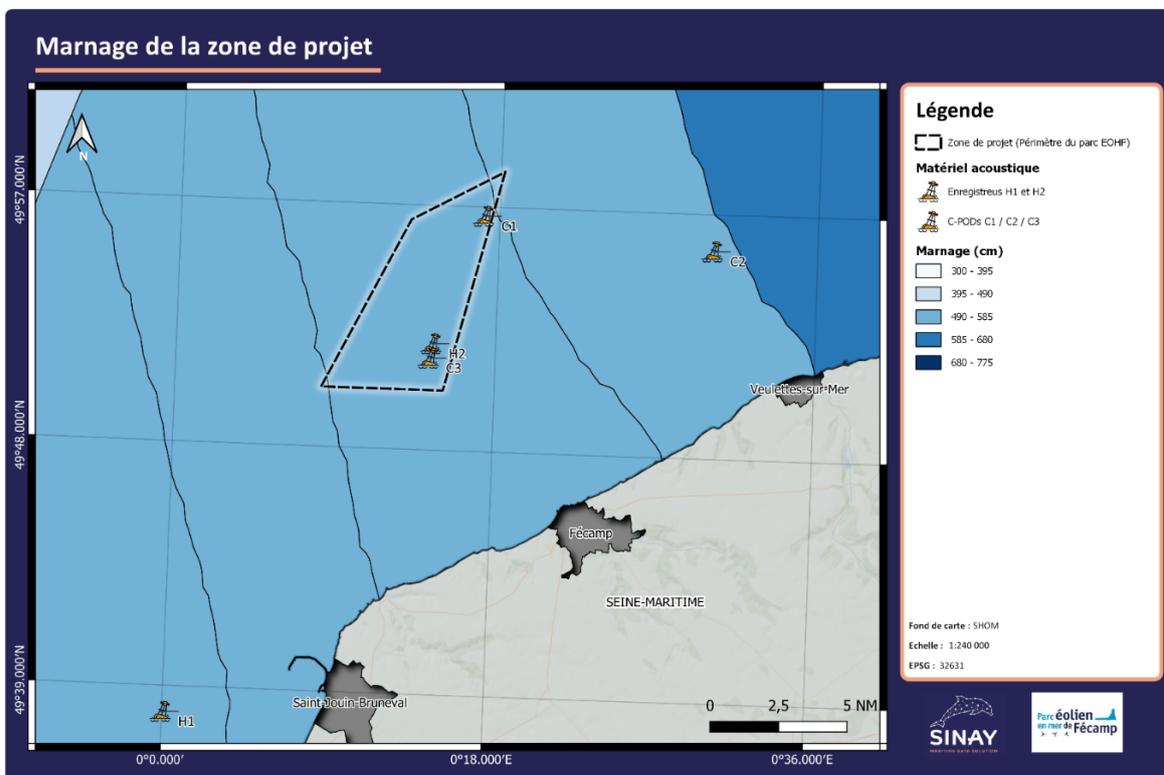


Figure 27 : Marnage de la zone de projet (SHOM)

2.4.2 ACTIVITÉS ANTHROPIQUES

- Navigation

Comme le montre la **Figure 28** ci-dessous sur les zones de dépôt du matériel et à proximité, les activités humaines sont très présentes. Il est possible d'observer des couloirs de navigation ainsi que des zones d'attentes où le nombre de positions AIS peut dépasser plusieurs milliers dans une seule maille de grille (500 m x 500 m) avec une résolution de 2 minutes. Les trajectoires illustrées par la **Figure 29** amplifient cet effet « couloir », notamment sur la zone de l'hydrophone B où l'on observe une forte concentration de trajectoires à la sortie du port du Havre.

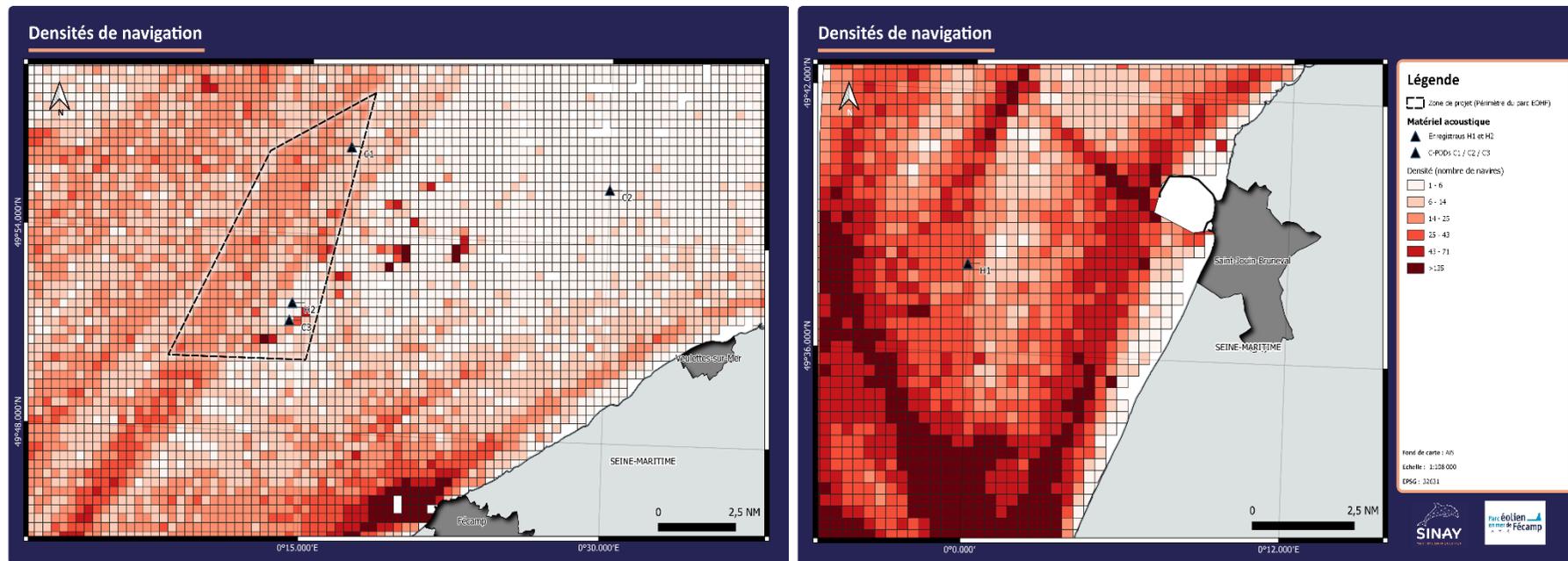


Figure 28 : Illustration du trafic maritime (densités). Données AIS année 2017, résolution 2 minutes.

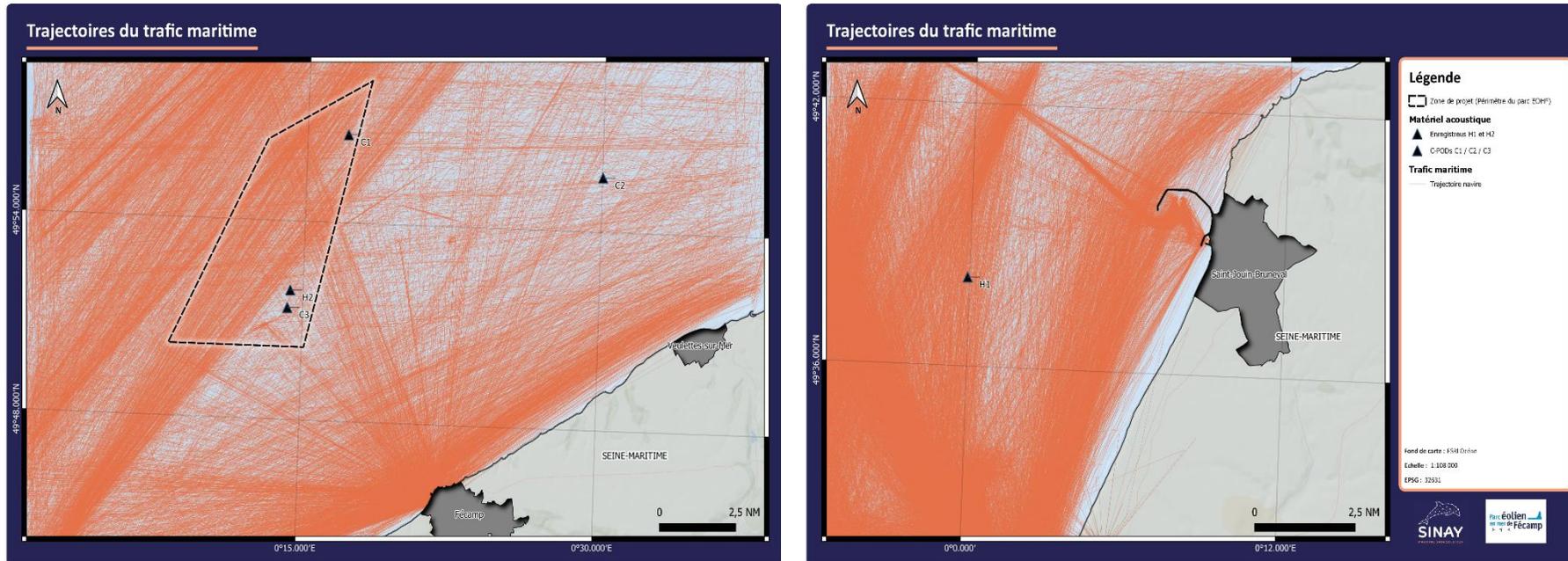


Figure 29 : Illustration du trafic maritime (trajectoires). Données AIS année 2017, résolution 2 minutes.

- Activées de pêche

Concernant l'activité de pêche, il est observé des zones privilégiées par les professionnels (**Figure 30**). Une observation plus fine des trajectoires permet de repérer les virages réalisés par des chalutiers, ou encore des passages réguliers sur une même zone par un même navire (**Figure 31**). Les points de pose du matériel ont donc été placés dans des zones où l'activité est peu importante, tout en respectant les autres paramètres de l'environnement, ainsi que les contraintes scientifiques. Ces points sont situés dans des zones où seulement 14 positions de navire ont été enregistrées sur l'année.

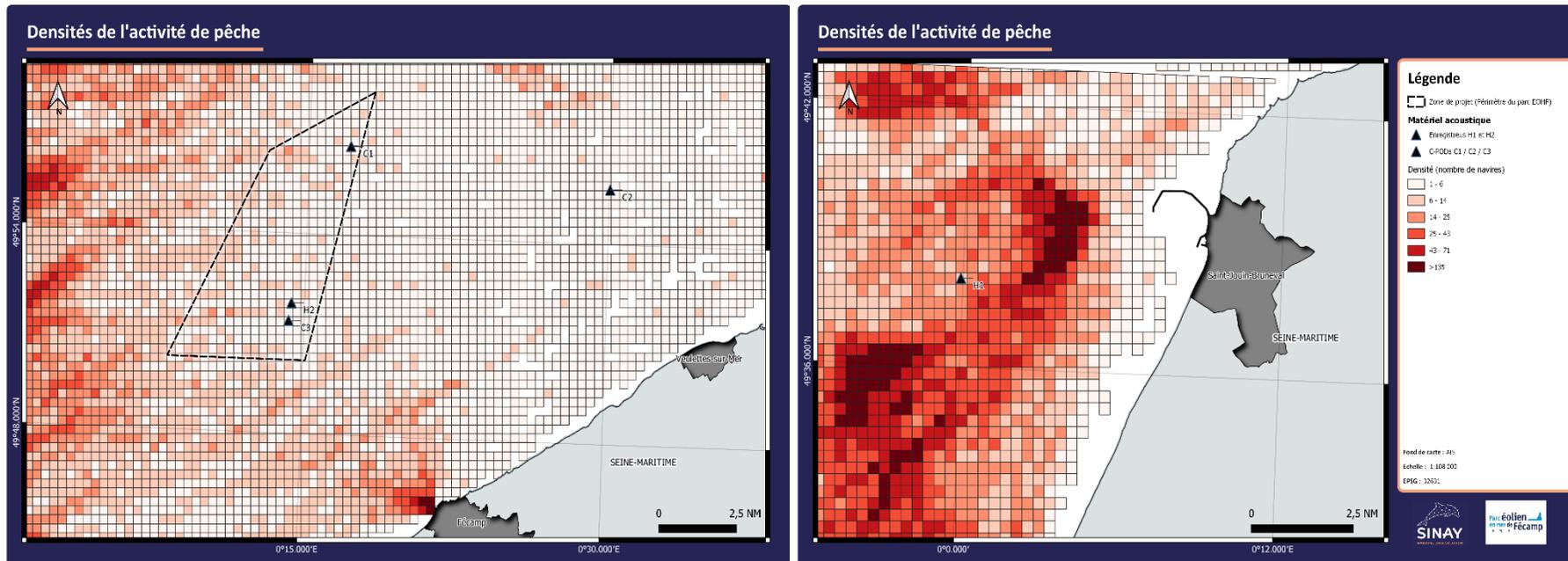


Figure 30 : Illustration de l'activité de pêche (densité) à partir des données AIS 2017, résolution 2 minutes.

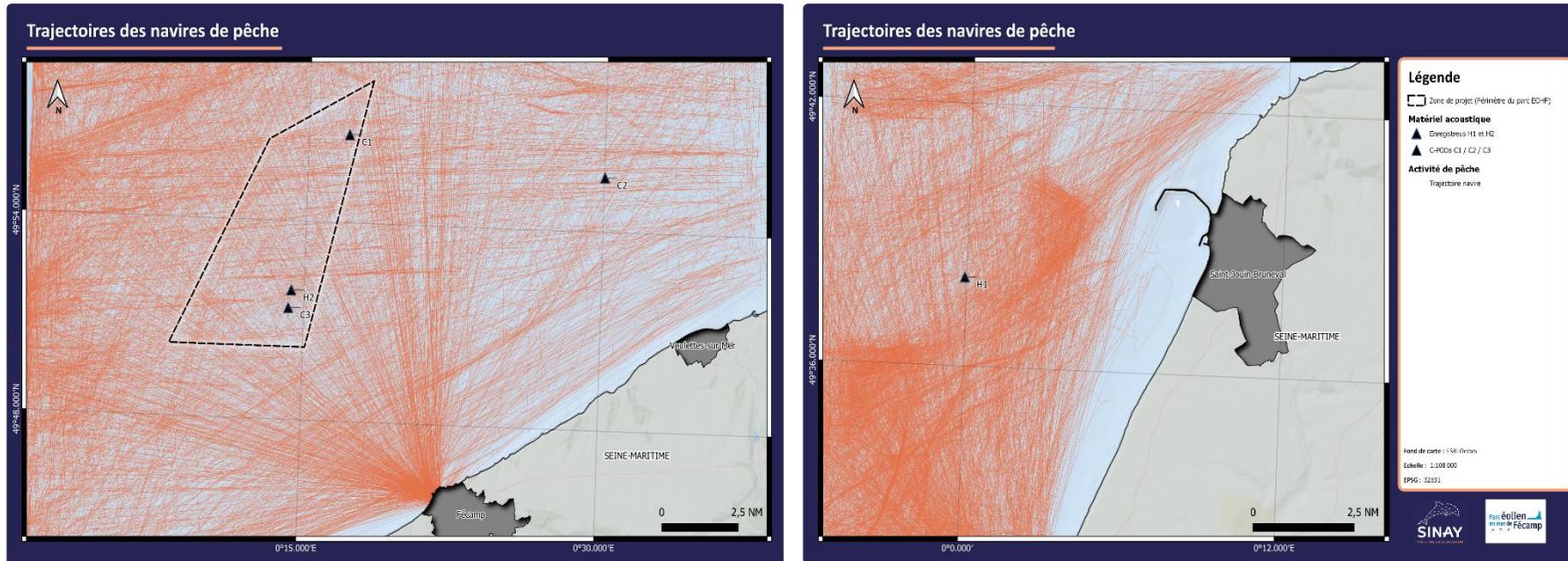


Figure 31 : Illustration de l'activité de pêche (trajectoires). Données AIS année 2017, résolution 2 minutes.

2.5 REALISATION DES CAMPAGNES DE MESURES ACOUSTIQUES IN SITU

2.5.1 PLANNINGS PREVISIONNEL ET OPERATIONNEL

L'état de référence acoustique de Fécamp a débuté en décembre 2018. Les campagnes d'acquisitions de données à l'intérieur et extérieur du parc ont été réalisées pendant la période de février 2019 à mars 2021. Le planning prévisionnel validé en début de projet est présenté dans la **Figure 32** et le planning des campagnes de mesures acoustiques réalisé est illustré par la **Figure 33**. Les différences entre périodes d'acquisitions de données, observées entre les plannings ci-dessous, ont été justifiées dans les rapports d'incidence transmis au client. La nécessaire adaptation des périodes d'acquisition de données avait été discutée en comité scientifique et de suivi, puis validée lors d'une réunion quadripartite EOHF/DREAL/DDTM/OFB en juin 2020.



Figure 32 : Planning prévisionnel 2019-2021 des campagnes de mesures acoustiques in situ.

Au total, 4 campagnes d'écoute du bruit ambiant et des mammifères marins et les suivis par acoustique passive ont permis de recouvrir les 4 saisons (printemps, été, automne et hiver) sur l'ensemble du projet. Avec une durée d'enregistrement à analyser d'environ 15 jours pour les hydrophones larges bandes et 4 mois pour les C-PODs.



Figure 33 : Planning de réalisation 2019-2021 des campagnes de mesures acoustiques in situ.

2.5.2 DEPLOIEMENT DES DISPOSITIFS ACOUSTIQUES

- Moyen nautique

Tableau 8 : Descriptif du navire Celtic Warrior (Société STO Logistique) utilisé pour l'ensemble des missions et conditions de navigation et d'opération.

CELTIC WARIOR – STO Logistique	
	
<p>CARACTERISTIQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Longueur : 15 m ; • Largeur : 5 m ; • Tirant d'eau : 0,70 m ; • Propulsion : 2 x 430 cv ; • Vitesse moyenne : 12 nds / Max : 18 nds ; • Surface espace de travail extérieur : > 20m² ; • Capacité d'accueil de 12 personnes et 2 équipages. 	<p>EQUIPEMENTS ELECTRONIQUES</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3 VHF Sailor ; • 1 sondeur Furuno ; • 1 système NavNet Furuno ; • Pilote automatique Furun ; • Système navigation Maxsea Time Zéro ECS ; • Géolocalisation MOB Tayo ; • 3 GPS Furuno Internet clé 3G ; • Sonar latéral hummingbird ; • CCTV samsung autonomie 180 jours.

Tableau 9 : Valeurs limites de vent et de vagues associées aux opérations du Celtic Warrior.

Valeurs limites de vent et de vagues	
Opérations de mobilisation des dispositifs acoustiques	Vent < 12 – 15 nds selon orientation. L'orientation Sud est la moins limitante. Hauteur significative des vagues < 0,5 m Courant < 1,5 nds
Opérations de démobilitation des dispositifs acoustiques	Vent < 12 – 15 nds selon orientation. L'orientation Sud est la moins limitante. Hauteur significative des vagues < 0,5 m Courant < 0,8 nds

- Description de la ligne de mouillage

La ligne de mouillage proposée par SINAY (**Figure 34**) est prévue pour être déployée en pleine mer. Elle a été conçue en fonction des contraintes environnementales décrites dans le paragraphe précédent **2.4. Positionnement du matériel d'enregistrement acoustique**. Elle est donc adaptée aux conditions météo et océaniques annuelles et également à la nature des fonds sur la zone d'étude. En effet, le mouillage doit pouvoir supporter des conditions extrêmes avec de forts coups de vent (10 beauforts) et de fortes houles (7 à 8 mètres). Les fonds sont constitués de platiers rocheux et de cailloutis avec une bathymétrie comprise entre 25 et 35 mètres de profondeur sur la zone du projet. L'emprise physique du matériel correspond à l'ensemble de la ligne de mouillage à la surface, dans la colonne d'eau et au fond. Le positionnement des enregistreurs et C-PODs sur la ligne de mouillage et le choix des matériaux utilisés ont été définis pour limiter les bruits parasites de la chaîne.

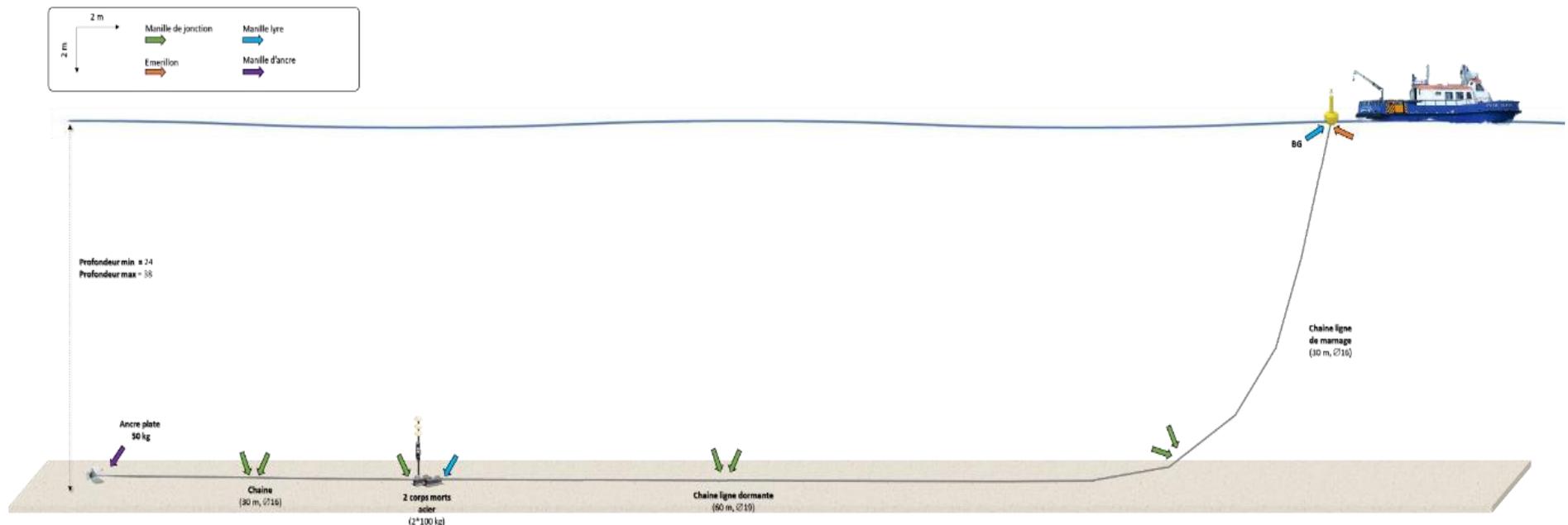


Figure 34 : Schéma de la ligne de mouillage porteuses des dispositifs acoustiques (Flèche verte : manille de jonction ; flèche bleue : manille lyre ; flèche orange : émerillon ; flèche violette : manille d'ancre).

- Procédures terrain pour la mobilisation et démobilitation du matériel

Cette opération est la plus délicate de la mission en termes de sécurité. Elle nécessite la mise à l'eau d'une grande quantité de matériel (masse et volume). L'opération est également déterminante pour la qualité des mesures. En effet, la ligne de mouillage doit être bien positionnée sur le fond pour une tenue optimale du matériel malgré les courants, et bien localisée sur le point prévu dans le protocole de mesure acoustique. Le fond marin est une source de bruit (mouvement des sédiments, etc.) tout comme la surface (ultrasons de pluie, des vagues, etc.). Il est donc généralement recommandé de déployer les enregistreurs ou C-PODs au moins 3 mètres au-dessus du fond et 5 mètres en dessous de la surface.

Les procédures de mobilisation (paragraphe 3.2.1) et de démobilitation (paragraphe 3.2.2) ont été mises en place pour l'ensemble des missions. Elles sont décrites dans le document Plan d'action V5 (A11000160_EDF FECAMP ACOUSTIQUE_Plan d'action_12052020_V5) reporté en annexe.

2.6 MÉTHODOLOGIE GENERALE DE L'ANALYSE EMPLOYÉE

Tout d'abord, les données disponibles pour la détermination des sources de bruits actuelles sont identifiées et exploitées. En particulier, des données récentes relatives à la bathymétrie ainsi que des données sur les conditions de navigation mises à disposition de SINAY.

La méthode consiste à cartographier les niveaux sonores dans la zone d'étude pendant la phase initiale en l'absence du projet mais de toutes les autres sources sonores naturelles et anthropiques. Pour ce faire, nous utilisons un modèle de propagation acoustique ($RL(r,f)=SL - TL(r,f)$) qui permet de calculer les pertes de transmission (TL) et le niveau rayonné (RL) en tous points autour de la zone de travaux.

- Les données d'entrée utilisées sont :
 - La bathymétrie du site ;
 - Les propriétés géo-acoustiques du fond ;
 - Les profils célé-bathymétriques (acquisition in situ) ;
 - La marée ;
 - Les données AIS (Automatique Identification System).

Une analyse bibliographique permet de préciser les calculs des pertes de transmission (TL) en les adaptant aux petits fonds, aux basses-fréquences et fréquences les plus hautes. Cette démarche renforce l'adéquation entre le modèle et le site étudié. Son choix est particulièrement pertinent pour mettre en relation les données produites par SINAY, les données de la bibliographie et le modèle choisi.

Ensuite, l'ambiance acoustique actuelle, c'est-à-dire l'état sonore initial, doit être caractérisée à partir :

- Du recueil des données disponibles :
 - Biologiques ;
 - D'activités maritimes ;
 - Socio-économiques ;
 - ...

- Des résultats de mesures in situ, réalisées à l'aide d'enregistreurs d'acoustiques passifs et autonomes (hydrophones), immergés à des points fixes ;
- Des mesures acoustiques actives qui sont également nécessaires (émissions de signaux calibrés et contrôlés) afin de caractériser la transmission des ondes sonores dans la zone d'étude.

Cette démarche aboutit à une représentation spatiale et statistique du bruit actuel en présentant la proportion du temps et de l'espace pour laquelle le bruit dépasse un seuil donné en tenant compte des variations saisonnières.

L'étude de l'état acoustique de l'état de référence se réalise en 5 étapes menant à une cartographie.

1- Production de données brutes

- Mesures de données in situ
- Exploitation de bases de données

Les paramètres influant sur la propagation acoustique sont pris en compte :

- La célérité (la vitesse du son dans l'eau);
 - Température ;
 - Salinité ;
 - Profondeur ;
- La nature des fonds ;
- La bathymétrie ;
- Le marnage.

SINAY produit les données de mesure les plus précis possibles afin de permettre, d'une part une modélisation fine et, d'autre part, de rechercher la résolution la plus fine possible des bases de données exploitées.

2- Identification des sources de bruit

Les cartes sonores sont établies en prenant en compte les deux principaux contributeurs de bruit ambiant :

- Le trafic maritime
- Le vent (état de la mer)

Ces données sont acquises par SINAY au moyen de flux en temps réel produits par deux réseaux dont SINAY est déjà contributeur depuis l'installation d'une antenne AIS. Ces données sont structurées dans un second temps dans la plateforme SINAY pour être directement analysées par des algorithmes de calcul automatisés pour la modélisation du bruit sous-marin.

3- Calibration du modèle

Les données produites à partir des mesures *in situ* sont utilisées pour calibrer le modèle établi selon des méthodes acoustiques passives et actives.

- Active : Caractérisation des paramètres réels du milieu de propagation ;

- Passive : Comparaison des résultats de simulation avec les valeurs réelles.

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

4- Identification du niveau de bruit

A partir des résultats de mesures in-situ, l'état initial du bruit ambiant est décrit au moyen d'indicateurs :

- RMS ;
- SPL ;
- SEL ;
- DSP ;
- Tiers d'octave.

La distributions statistique (centiles), la moyenne et l'écart type sont calculées pour chaque paramètre.

Les résultats de mesure sont comparés avec le modèle de Wenz (modèle empirique médian du bruit dans l'océan, (Wenz, 1962) qui produit un niveau de bruit ambiant pour chaque bande de fréquence en fonction :

- Indice du trafic ;
- Indice de la vitesse du vent.

5- Cartographie statistique du bruit ambiant

Pour plus de précision, trois paramètres statistiques indispensables pour chaque saison sont produits :

- Percentile 10%, 50% et 90% ;
- Moyenne, écart-type.

Chacun de ces paramètres est calculé pour chaque

- Niveau de profondeur ;
- Tiers d'octave.

2.7 MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE DU BRUIT AMBIANT

2.7.1 INTRODUCTION À LA MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU BRUIT

Le bruit ambiant est le résultat de la somme des bruits produits par de nombreuses sources sonores en mer (**Figure 35**). Il est possible de distinguer des sources de bruit naturelles, biologiques et anthropiques. Le bruit issu de sources naturelles est produit par des processus physiques : l'activité tectonique (volcans sous-marins, tremblements de terre, etc.), le vent, les vagues ainsi que la pluie en frappant la mer en surface. Les sources sonores biologiques proviennent des animaux capables de vocaliser ou de produire des bruits au travers de mécanismes très différents. Parmi eux, on peut

trouver les mammifères marins et certaines espèces de crevettes et de poissons. Le bruit d'origine anthropique est généré par les activités de navigation commerciale, militaire et de loisir, ainsi que par des ouvrages d'aménagement en mer ou encore par des opérations de recherche et exploitation des ressources marines.

Avec la modélisation numérique, nous réalisons une cartographie statistique du bruit ambiant de l'état de référence avec différents indicateurs dont, en particulier, le DSP et par percentile. La cartographie du bruit du trafic maritime par simulation est une tâche complexe reposant sur de nombreux intrants environnementaux, des descriptions de la distribution spatio-temporelle des navires et de leur niveau d'intensité de la source, des hypothèses simplificatrices et des paramètres du modèle. Les principaux contributeurs de bruit ambiant considérés dans cette étude pour l'établissement des cartes sonores du bruit ambiant sont le trafic maritime et le vent (ou l'état de la mer). Les principaux paramètres considérés pour l'influence de la propagation acoustique sont la célérité (liée à la température et la salinité), la nature des fonds, la bathymétrie et le marnage.

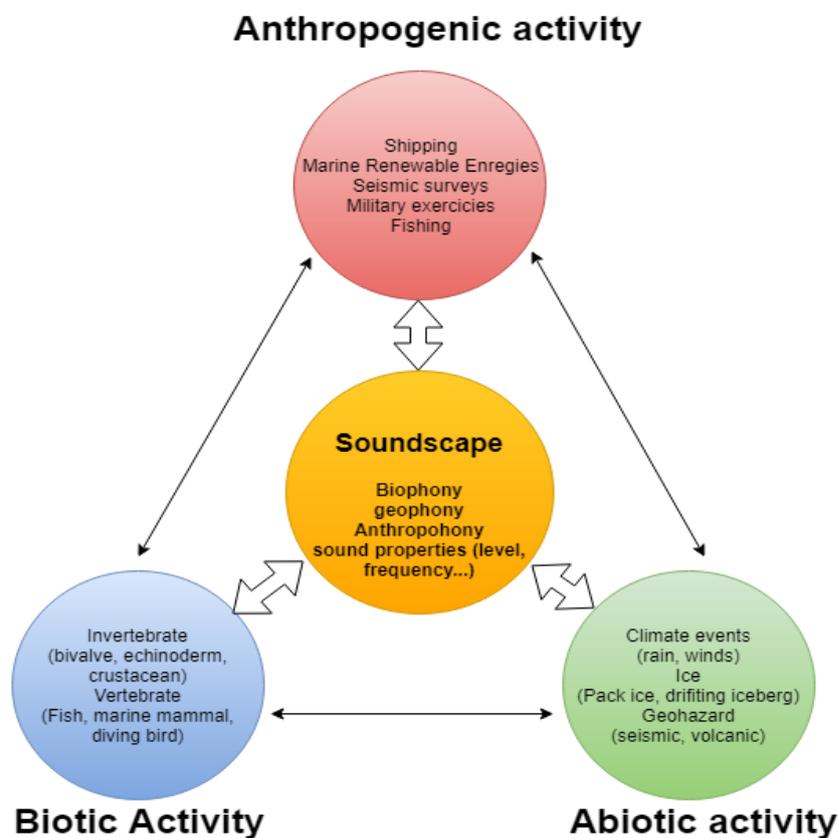


Figure 35 : illustration des trois composantes d'un paysage acoustique marin.

2.7.2 PRINCIPES DES ÉTUDES DE MODÉLISATION DU BRUIT SOUS-MARIN

La modélisation du bruit sous-marin et de la propagation des ondes acoustiques en mer consiste à calculer les valeurs d'atténuation des ondes tout au long de leur propagation dans l'environnement. L'atténuation est la diminution de l'intensité acoustique ou du niveau de pression lors de la propagation d'une onde sonore dans un milieu entre deux points. Elle est causée par trois phénomènes indépendants :

- **La perte de divergence géométrique** qui est habituellement notée TL pour la perte de transmission. C'est l'énergie acoustique distribuée dans l'espace pendant la propagation de l'onde ;
- **L'absorption** qui est l'effet de la viscosité, de la relaxation moléculaire et de la friction inter-grains dans l'eau ou le sédiment. Plus la fréquence de propagation est élevée plus l'absorption du milieu est forte ;
- **Les interactions** avec les obstacles (une interface comme le fond de la mer ou un objet) dans l'eau qui génèrent une diffusion ou une réflexion.

L'objectif principal consiste à modéliser les propagations des ondes acoustiques générées par les différents types de source de bruit dans une zone sélectionnée afin d'estimer le niveau du bruit total pour chaque point de la carte et à chaque niveau de profondeur en tenant compte des paramètres des milieux de propagation. Pour y parvenir, le plan suivant a été adopté :

- Sélectionner une zone géographique d'étude ;
- Identifier les paramètres d'entrée du modèle de propagation ;
- Identifier les sources de bruit (du trafic maritime dans notre cas) ;
- Choisir un modèle de propagation ;
- Calculer le niveau de bruit émis pour chaque source et son gabarit fréquentiel ;
- Calibrer le modèle avec des enregistrements *in situ* ;
- Additionner les pressions acoustiques de chaque point de la zone sélectionnée en 3D ;
- Faire une étude statistique du bruit en percentiles pour chaque bande de fréquence ;
- Etudier les corrélations des cartes de bruit avec la présence des mammifères marins.

L'organigramme illustré par la **Figure 36** ci-dessous, présente le principe de modélisation du bruit généré par le trafic maritime et l'impact sur les différentes espèces présentes dans la zone d'étude. Ce logiciel de modélisation est développé et amélioré durant 5 ans par SINAY. C'est un outil de cartographie sonore sous-marine tout compris conçu pour modéliser en 3D les bruits anthropogéniques comme le bruit du trafic maritime et les travaux côtiers.

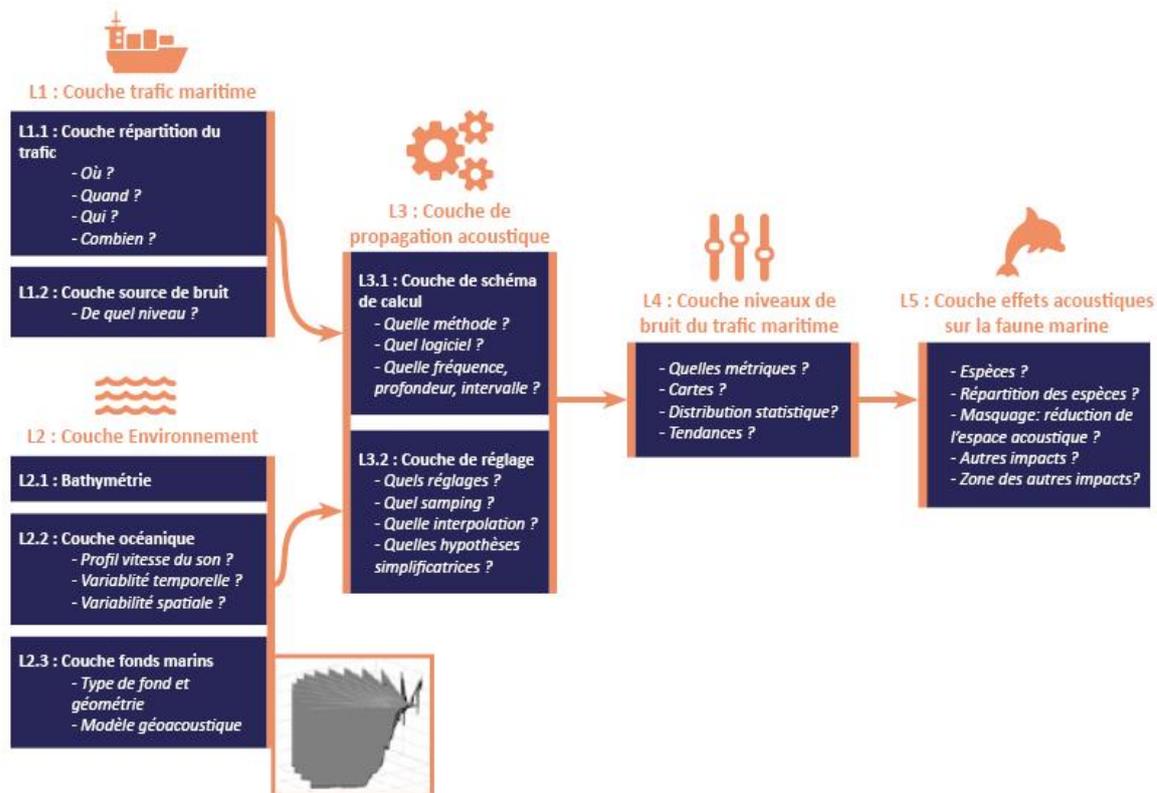


Figure 36 : principe de modélisation du bruit anthropique à l'échelle de la zone d'étude.

3 BRUIT AMBIANT ET SIGNAUX BIOLOGIQUES

Le présent chapitre décrit les travaux réalisés pour établir un état acoustique de référence dans la zone du futur parc d'éolien de Fécamp à partir des mesures in situ. Ce dernier permet de caractériser et de quantifier les différentes sources à l'origine du bruit ambiant ainsi que de connaître la distribution statistique du niveau du bruit dans la zone.

La première phase de l'établissement d'un état acoustique de référence consiste à analyser l'ensemble des données à produire :

- L'évolution du niveau du bruit dans la zone d'étude en fonction du temps ;
- Le niveau du bruit moyen dans la zone d'étude durant période de déploiement ;
- Le niveau des bruits de chaque type de source durant l'état de référence: anthropique, bio-phonique et géo-phonique ;
- L'étude de la fréquentation des mammifères marins dans la zone d'étude.

3.1 EVOLUTION DU NIVEAU DE BRUIT DANS LA ZONE D'ETUDE DURANT LA PERIODE DES ENREGISTREMENTS

Pour chaque période de mesures nous évaluons les séries temporelles et les distributions statistiques (moyenne, écart-type et percentiles) des descripteurs des niveaux sonores reçus (RL : Received Level) et du bruit de fond (ANL : Ambient Noise Level, niveau sonore reçu minoré des sources sonores individualisables).

Les sons mesurés et le bruit de fond sont chiffrés par plusieurs descripteurs dont la liste est recommandée par les références de la communauté ([Popper et al., 2014](#); [Southall et al., 2019](#)) pour étudier les impacts des sons anthropiques sur la faune :

- SPL rms (Sound Pressure Level root mean square) large bande [5 Hz, 125 kHz] dB re. 1 μ Pa,
- SPL - peak (Sound Pressure Level peak) large bande [5 Hz, 125 kHz] dB re. 1 μ Pa,
- SEL (Sound Exposure Level) large bande [5 Hz 125 kHz] dB re. 1 μ Pa²s, avec un pas de 10 secondes.
- DSP (Densité Spectrale de Puissance) (dB re. 1 μ Pa²/Hz) entre 5 Hz et 125 kHz.
- Spectre tiers d'octave

3.1.1 QUANTIFICATION DES NIVEAUX DE BRUIT

Le niveau SPL RMS renseigne sur le niveau efficace acoustique moyen contenu dans un signal. Cet indicateur est utile pour calculer la moyenne des valeurs de la pression acoustique sur une période donnée pour déterminer le niveau sonore dans cet intervalle du temps. Le RMS est très utile pour pouvoir comparer les niveaux de bruit moyen produits pendant la phase des travaux et durant la phase initiale.

Le niveau SPL- peak renseigne sur les niveaux maximaux de pression sonore. A l'inverse du RMS qui lisse les valeurs sur un intervalle du temps, cet indicateur nous permet de quantifier le niveau de bruit généré par un événement sonore court. Le SPL peak est utile en tant que métrique pour une forme d'onde pulsée, pour les mesures de bruit impulsif (explosion, battage de pieux, déroctage, etc..).

Le niveau SEL renseigne sur le niveau d'exposition sonore durant un intervalle de temps. Elle correspond à l'énergie totale cumulée du bruit, produite dans une période donnée.

Pour calculer le SEL, un intervalle très fin de dix secondes a été choisi, afin de voir avec précision l'effet des événements de courte durée. Chaque point sur les courbes présentées ici est calculé à partir de dix secondes d'enregistrement.

Il faut d'abord souligner la limite d'enregistrement de notre hydrophone qui est de 172 dB crête pour le **Sylence EA-SDALP** et de 170,3 dB pour le **EA-SD14**. En effet, ces appareils sont équipés d'un hydrophone d'une sensibilité de -165 dBV / μPa et mesure sur une plage d'amplitude de 2.5 V. Comme les gains de nos appareils sont réglés à 0 (resp 14.7 dB), le niveau crête de saturation est donné par l'équation du SONAR suivante :

$$20\text{Log}_{10} \left[2.5v \cdot 10^{\frac{165}{20}} \cdot 10^{\frac{0}{20}} \right] = 172 \text{ dB } \mu\text{Pa}$$

$$20\text{Log}_{10} \left[2.5v \cdot 10^{\frac{165}{20}} \cdot 10^{\frac{14.7}{20}} \right] = 170.3 \text{ dB } \mu\text{Pa}$$

Les **Figure 37**, **Figure 38**, **Figure 39** présentent des échantillons de l'évolution des niveaux RMS, du signal enregistré par les appareils dans la zone témoin pour les périodes d'enregistrement allant respectivement du 20/11/2020 au 10/12/2020 et du 8/03/2021 au 24/03/2021. Sur chaque figure, la période couverte est mentionnée, la valeur moyenne et l'écart-type sont également donnés. Les drops observés sous la moyenne sont liés à dysfonctionnement temporaire de l'enregistreur.

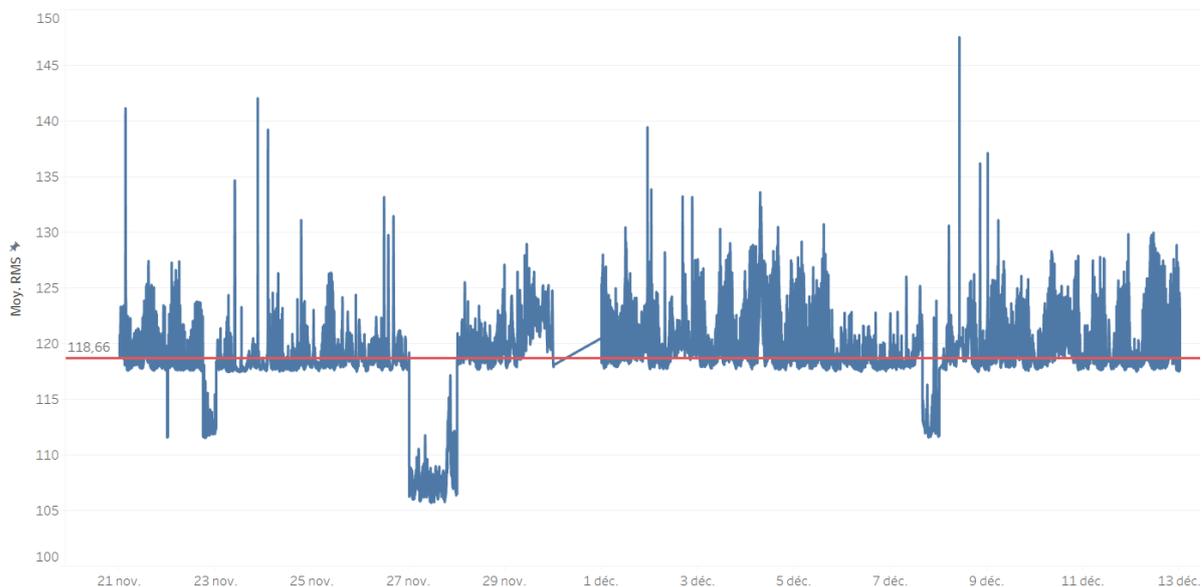


Figure 37 : niveau de bruit RMS enregistré dans la zone témoin (H1) du 21/11/2020 au 10/12/2020. La ligne rouge présente la moyenne du niveau de bruit durant cette période.

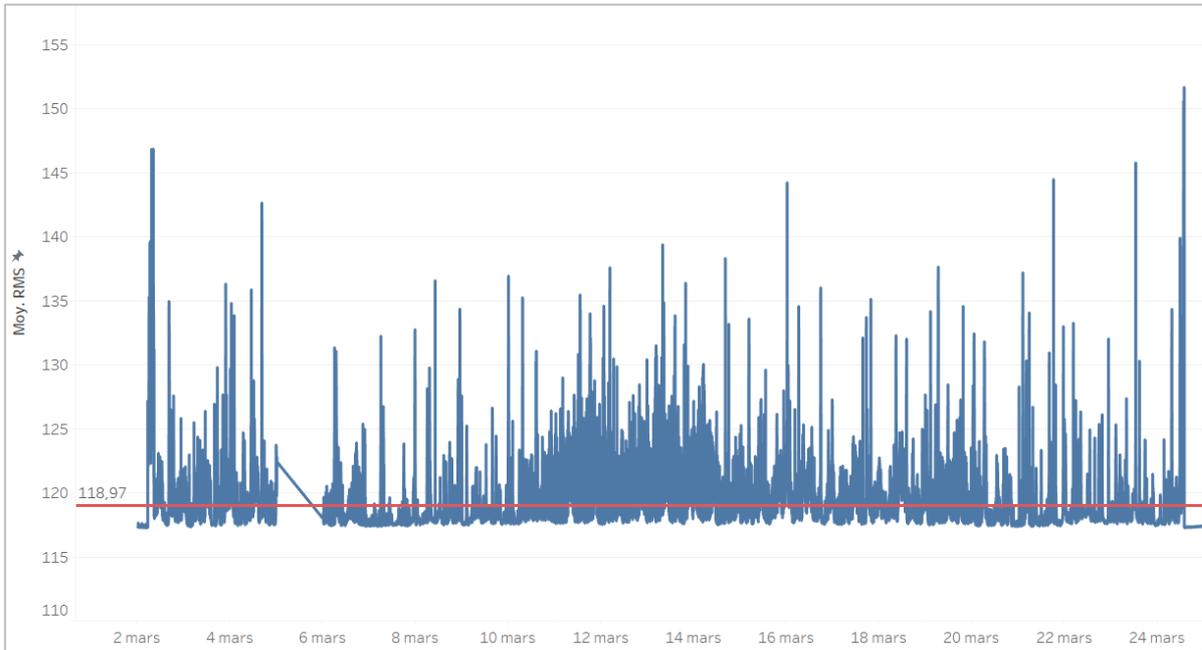


Figure 38 : Niveau de bruit RMS enregistré dans la zone témoin (H1) du 08/03/2021 au 24/03/2021. La ligne rouge présente la moyenne du niveau de bruit durant cette période.

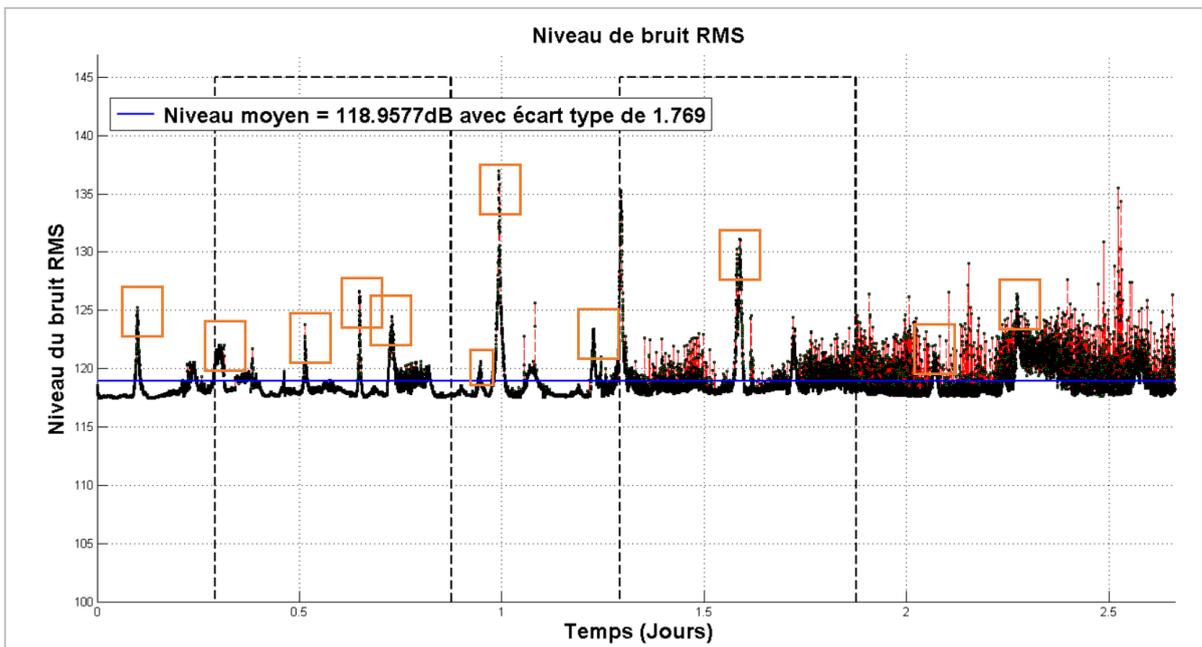


Figure 39 : Echantillon du niveau de bruit RMS pour 3 jours dans la zone témoin (H1).

3.1.2 ANALYSE DES RÉSULTATS DES MESURES

Le niveau sonore mesuré pendant les périodes d'enregistrement montre un bruit permanent présentant une variabilité dépendant essentiellement des activités anthropiques en relation avec la

pêche, des passages des navires comme les cargos et les Ferries et des perturbations météorologiques comme le vent, la houle, les marées et les précipitations.

Les résultats de cette étape montrent que certaines journées sont un peu plus bruyantes que d'autres, ce qui est justifié par le fait que le passage des grands navires de commerce et les activités de pêche y contribuent constamment (voir les pics en jaune sur la **Figure 39**) plus ou moins de la même façon, cependant le vent, la houle et les précipitations contribuent également de manière significative à la génération du bruit ambiant voir le cadre vert sur la **Figure 39**Figure 39 surtout sur les moyens fréquences (voir partie analyse fréquentiels **3.1.3**).

3.1.2.1 Analyse des résultats des mesures de la zone témoin

Les mesures des niveaux RMS durant la période d'étude montrent que le niveau de bruit moyen dans la zone d'étude est relativement élevé, avec une valeur moyenne de 118 dB et un écart-type de 13,50 dB (Voir annexe). Le niveau moyen crête (SPL) ainsi obtenu pour les différentes périodes est de 131,38 dB. Les valeurs oscillent entre 169,8 et 117 dB re 1 μ Pa (crête) avec un écart type de 71,11 dB en considérant l'ensemble des fichiers. (Voir annexe)

Le niveau SPL laisse supposer la présence continue de navires proches, cela correspond au niveau le plus élevé du modèle de Wenz (**Figure 42**) avec un Indice de trafic égale à 7 et 20 nœuds pour la force du vent. Le niveau moyen SEL ainsi obtenu pour les différentes périodes est de 128 dB avec un écart type de 13 dB sur l'ensemble des fichiers (Voir annexe).

Les périodes de nuit sont légèrement plus calmes avec 1.8 dB de moins que dans la journée. Aussi, les résultats de cette étape montrent qu'il n'y a pas de journées plus bruyantes que d'autres, ce qui est justifié par l'impact des passages continu des navires et les activités de pêche qui y contribuent également.

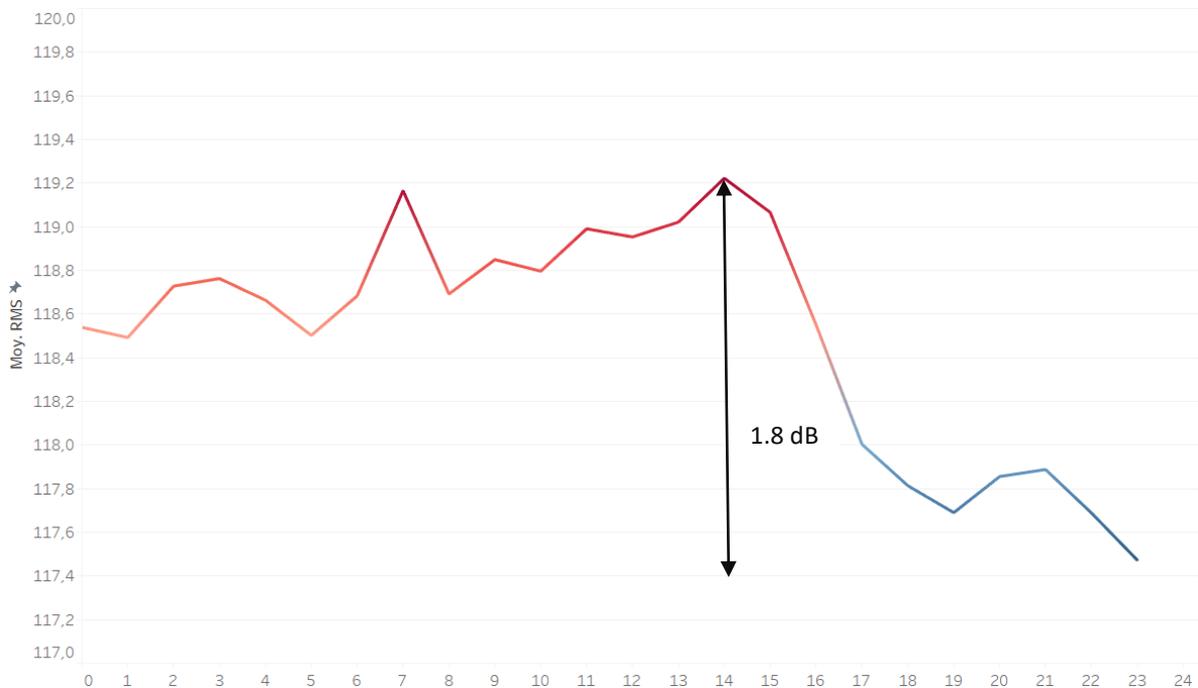


Figure 40 : Niveau de bruit RMS sur 24h dans la zone témoin pour un enregistrement du 20/11 au 10/12/2020).

- Activités de pêche autour du point de mouillage

Des activités anthropiques ont été identifiées via le bruit de moteurs sur plusieurs heures. Le niveau de bruit n'est pas très élevé, il ne dépasse pas 140 dB RMS ; ce qui correspond bien au bruit d'un petit navire de pêche.

- Passage des Ferry et des cargos

Des niveaux de bruit très élevés ont été enregistrés, mais ils n'atteignent pas la saturation des hydrophones (niveau de bruit < 170 dB). Ce bruit fort domine le bruit permanent pendant des durées de l'ordre de quelques dizaines de minutes. Cette durée correspond au passage de navires à proximité de l'hydrophone.

3.1.2.2 Analyse des résultats de mesures de la zone du parc

Les mesures des niveaux RMS durant la période d'enregistrement possèdent un niveau moyen égal à 107 dB± 10,03. Le niveau de bruit moyen dans la zone d'étude est moins élevé, que dans la zone témoin avec une variation de 10 dB.

Le niveau SPL correspond à un niveau 6 de trafic maritime du modèle de Wenz (**Figure 42**) et avec 10 nœuds pour la force du vent.

Le niveau moyen crête (SPL) ainsi obtenu pour les différentes périodes est de 137,43 dB. Les valeurs oscillent entre 120 et 165 dB re 1 µPa (crête) avec un écart type de 12,5378 dB sur l'ensemble des fichiers.

Le niveau moyen SEL ainsi obtenu pour les différentes périodes est de 126,76 dB, il oscille essentiellement entre 115 et 150 dB re 1 µPa avec un écart type 10 dB sur l'ensemble des fichiers

La zone du parc à un niveau de bruit ambiant moins élevé que sur la zone témoin d'environ 10 dB, cela peut être expliqué par le fait que la zone témoin est plus proche du port du havre et des lignes maritimes. Les résultats de modélisation confirment bien cette hypothèse (voir les résultats de modélisations)

3.1.3 ANALYSES TEMPS-FREQUENCES

Dans cette étude nous utilisons le modèle de Wenz comme référence pour évaluer le niveau du bruit du trafic maritime et le bruit ambiant.

Les résultats des recherches récentes sur le bruit ambiant, après traitement approprié, sont comparés sur la base des spectres de pression dans la bande de fréquences 1 Hz à 20 kHz. Plusieurs sources possibles sont examinées pour déterminer l'origine la plus probable du bruit observé.

En règle générale, le bruit ambiant est composé d'au moins quatre composantes qui se chevauchent :

- Les fluctuations de la pression turbulente effective dans la bande allant de 1 Hz à 100 Hz ;
- Le bruit dépendant du vent, des bulles et des aérosols résultant principalement de l'agitation en surface, 50 Hz à 20 kHz ;
- Le trafic océanique, 10 Hz à 1000 Hz. Les caractéristiques de spectre de chaque composant et du composite sont présentées ;
- Des sources supplémentaires, notamment celles ayant des effets intermittents et locaux, sont également abordées.

En résumé, le modèle de Wenz présente les caractéristiques les plus répandues et dominantes du bruit ambiant dans l'océan. Le **Figure 41** présente une version simplifiée du modèle de Wenz mettant en évidence les différentes composantes du bruit ambiant sous-marin, les plages de fréquence ainsi que les gammes d'intensités typiques.

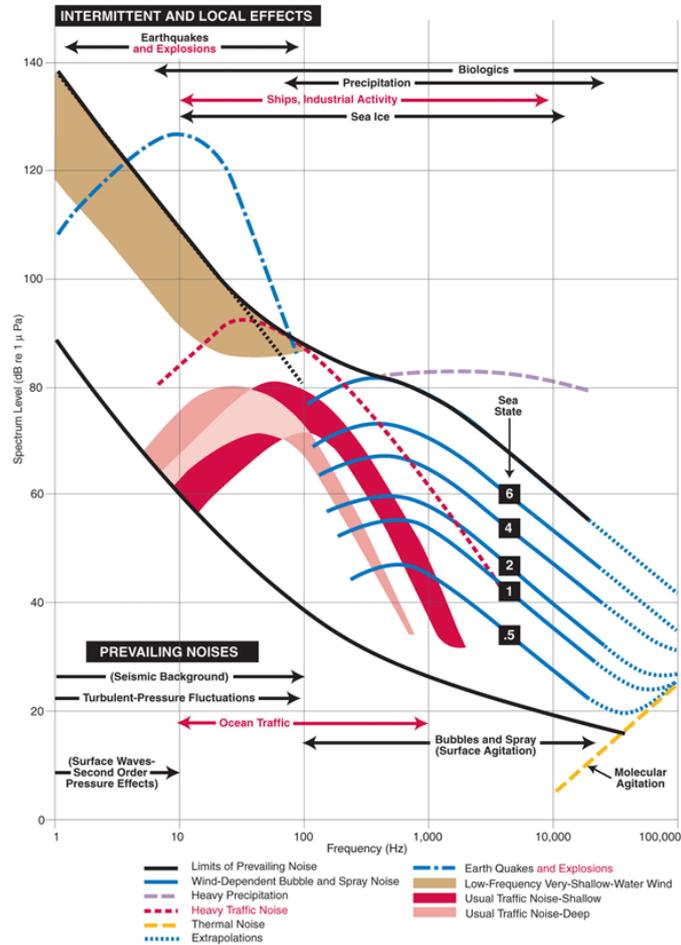


Figure 41 : Modèle de Wenz simplifié

3.1.3.1 Analyse des résultats de mesures de la zone témoin

Les résultats présentés jusqu'ici fournissent une vue globale de l'évolution du niveau du bruit à l'échelle de la zone d'étude. Afin d'avoir une idée précise du niveau de bruit moyen sur toute la période avec la distribution fréquentielle de l'énergie, nous avons calculé le spectre moyen pour des échantillons de signaux enregistrés. Le modèle de Wenz (indice de trafic de 1 à 7 et vitesse du vent de 5 à 35 m/s) est associé à chaque spectre moyen afin de connaître la nature de bruit.

Il est tout d'abord possible de remarquer que les densités spectrales de puissances moyennes ne présentent pas toutes un profil comparable au bruit ambiant typique. Cela est dû à deux facteurs :

- **Le premier facteur** est la profondeur de l'eau, les enregistrements sont effectués dans des petits fonds, ceux-ci favorisent l'absorption des basses fréquences par les sédiments en raison des multiples réflexions qu'ils provoquent ;

- **Le deuxième facteur** est le nombre de sources anthropiques. Le niveau de bruit reste élevé pour les moyennes fréquences entre 2 kHz et 10 kHz en raison du grand nombre de bateaux qui passent à côté de l'enregistreur.

Le niveau du bruit moyen est situé entre 80 dB re 1 μ Pa @1m et 90 dB re 1 μ Pa @1m, selon la période, dans les très basses fréquences (< 20 Hz). Ce niveau décroît avec une pente d'environ 20 et 30 dB décade pour se situer entre 70 dB et 80 dB dans la plage fréquentielle 30 Hz à 1 kHz. Ce dernier niveau reste relativement faible en lien avec la forte absorption du terrain des basses fréquences.

Dans la plage fréquentielle 1 kHz - 10 kHz, le bruit décroît linéairement jusqu'à atteindre les 50 dB re 1 μ Pa @1m. Sur cette bande de fréquence le bruit anthropique domine le bruit de fond, car durant cette période la vitesse du vent ne dépasse pas les 20 m/s, ce qui correspond à des niveaux de bruit plus faibles. Or le niveau de bruit enregistré dépasse l'indice de 30 m/s. Cela n'est donc pas lié à l'agitation générée en surface par le vent mais au bruit produit par le trafic maritime.

La **Figure 42** montre aussi que le niveau de bruit dans les plus basses fréquences (<30 Hz) est plus élevé que le niveau de bruit dans le modèle de Wenz pour l'indice de trafic 5/6 essentiellement. Le niveau de bruit est le même ou plus fort que l'indice de trafic maximal sur la bande de fréquence [30 à 100 Hz]. Ces résultats sont retrouvés pendant toute la période de l'enregistrement. Ceci montre que le niveau de bruit anthropique est fort sur cette zone et que le trafic maritime domine toute la bande fréquence de 1 Hz à 10 kHz. Cela est dû à l'impact du trafic maritime dans la Manche, car la ligne de mouillage a été déposée à côté du port du Havre.

La **Figure 43** présentent la distribution de la moyenne des niveaux DSP sur les tiers d'octaves jusqu'à 10 kHz. Sur toutes les figures des tiers d'octaves, il est possible de constater que sur les basses fréquences (< 10 Hz) les niveaux sont faibles. Comme décrit précédemment, cela est dû à la pénétration de ces ondes dans les sédiments en raison des multiples réflexions dans les petits fonds. Et à la sensibilité de l'hydrophone sur cette bande de fréquence. Le niveau des tiers d'octaves à partir de 10 Hz jusqu'aux les 1,2 kHz se lève à un niveau entre 85 et 98 dB. Ces valeurs valident bien la théorie de la domination du bruit anthropique durant les périodes d'enregistrements. Cela permet aussi de caractériser les niveaux de bruit sur chaque bande de fréquence durant la phase initiale.

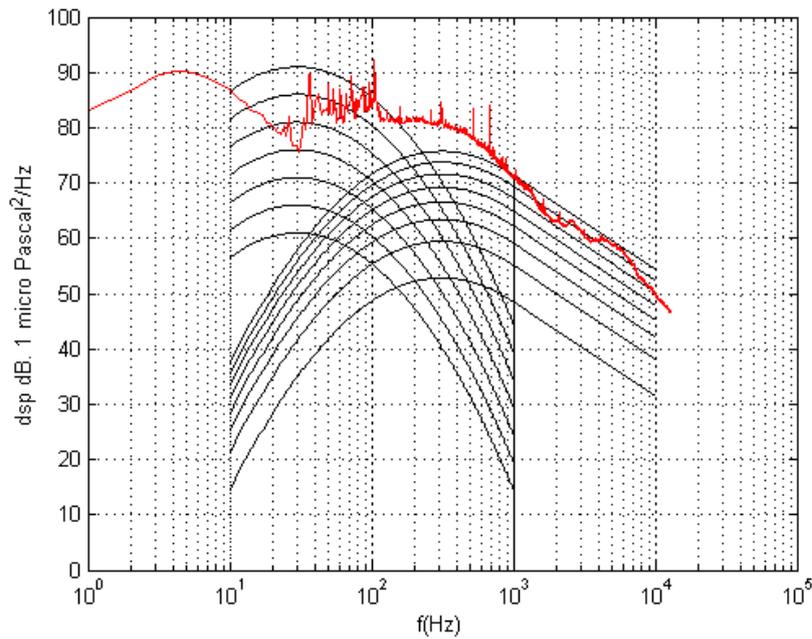


Figure 42 : Distribution de la moyenne des niveaux DSP sur les tiers d'octaves jusqu'à 10 kHz dans la zone témoin (en rouge). Les courbes sous-jacentes (en noir) sont les niveaux de bruit du modèle de Wenz, illustrés dans ce graph pour comparaison avec nos mesures. Les courbes à gauche correspondent au bruit typique des navires, celles de droite au bruit du vent transmis dans l'eau.

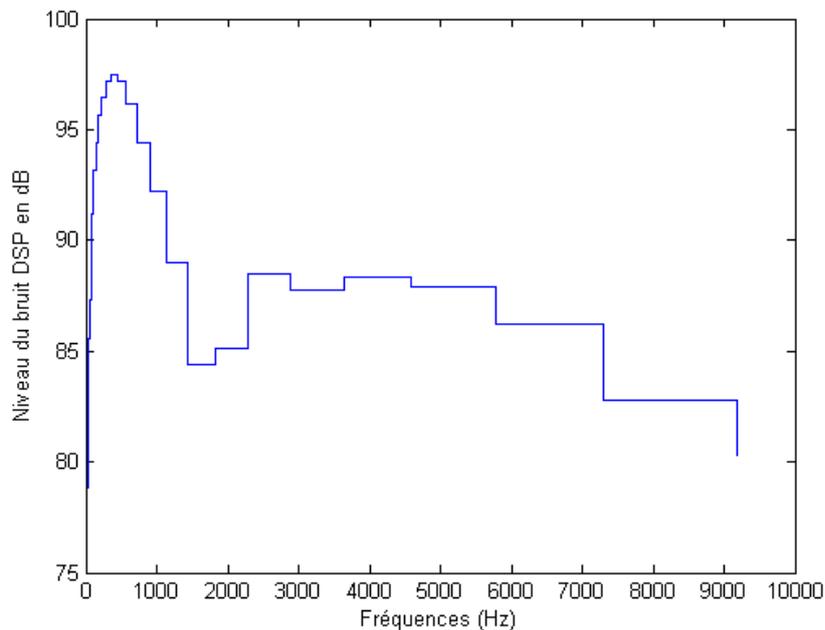


Figure 43 : Niveau du bruit DSP tiers d'octave dans la zone témoin.

Afin de bien étudier le niveau de bruit à un état de référence, la distribution statistique du spectre sonore mesuré (densité spectrale de puissance dB réf. 1 μ Pa²/Hz) a été représentée sous la forme de percentiles (en bleu 90 %, en vert 50 % et en rouge 10 %) sur la **Figure 44**.

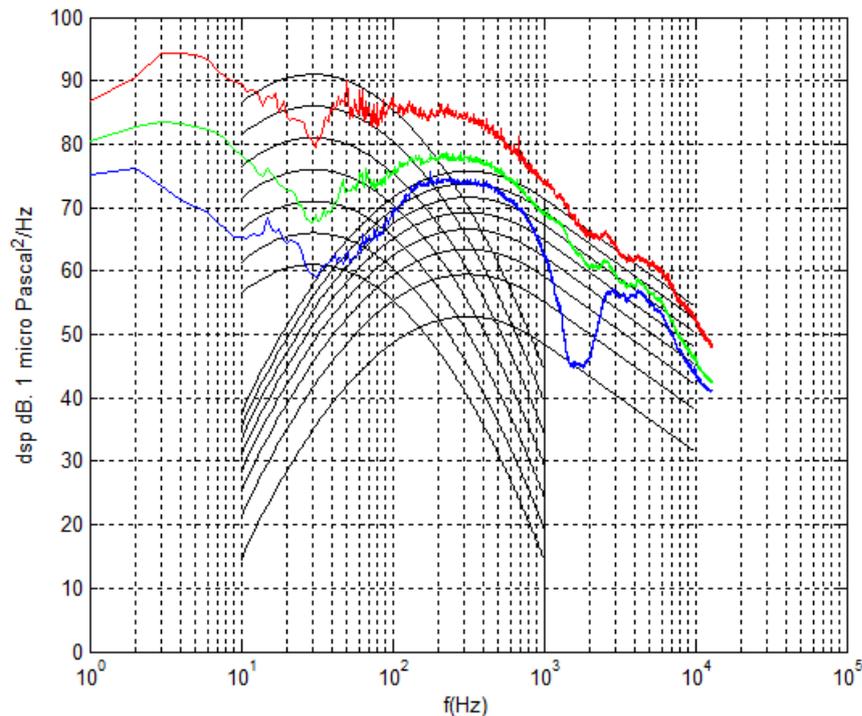


Figure 44 : Percentiles 90 % (en bleu), 50% (en vert) et 10% (en rouge) de la densité spectrale de puissance de la zone témoin. Le modèle de Wenz est visible dans les courbes sous-jacentes, en noir.

Ici, la définition donnée par la norme internationale ISO 1996-1 a été appliquée : 2003 (E), définissant les percentiles comme les niveaux de dépassement. Selon cette définition, le percentile N est le niveau de bruit dépassé pour N % du temps de la période d'étude. Par conséquent, les niveaux exprimés en percentiles montrent pour chaque courbe combien de temps le niveau de bruit est dépassé au cours de la période d'enregistrement.

A partir de la définition des percentiles, le niveau 90 % présente le niveau du bruit ambiant sans la contribution du trafic maritime. Le niveau 50% présente la médiane du niveau de bruit sur la zone d'étude, et 10% présente le niveau au moment du passage des bateaux autour de la zone d'étude.

Les spectres mesurés (90 % et 50 %) sont globalement compatibles avec le modèle de Wenz pour les niveau et forme. Cependant pour le percentile 10 % le niveau enregistré est bien supérieur au modèle d'environ 20 dB, ce qui est expliqué par la forte densité de trafic sur la zone.

3.1.3.2 Analyse des résultats de mesures de la zone du parc

Il est possible d'observer que la densité spectrale de puissances moyennes enregistrée pendant cet intervalle du temps pour la zone de projet est moins élevée que la zone témoin. Le bruit anthropique impacte moins les moyennes fréquences. Même en considérant la faible profondeur et la forte absorption des ondes de basse fréquence par le milieu, dans ce cas, le niveau de bruit dans les basses fréquences reste assez élevé.

Le principe retenu consiste à prendre au moins un échantillon du temps pour remplacer les données perdues avec l'enregistreur, et que cet échantillon soit au niveau maximum pour pouvoir comparer le bruit de la phase initiale avec celles des travaux ultérieurs.

Le niveau de bruit moyen est compris entre 70 dB re 1 μ Pa @1m et 80 dB re 1 μ Pa @1m, dans les très basses fréquences (< 20 Hz). Ce niveau reste constant jusqu'à 200 Hz et puis s'atténue pour se situer entre 75 dB et 60 dB dans la plage fréquentielle 30 Hz à 1 kHz, ce qui constitue un niveau relativement bas.

Dans la plage fréquentielle 1 kHz - 2 kHz, le niveau de bruit atteint de nouveau les 56 dB puis de 2 kHz à 10 kHz le bruit décroît linéairement jusqu'à atteindre 53 dB re 1 μ Pa @1m. Ceci montre que sur ces bandes de fréquence le bruit anthropique n'impacte pas trop le bruit ambiant.

Ces résultats montrent aussi que le niveau de bruit est plus élevé que le niveau de bruit dans le modèle de Wenz pour l'indice de trafic 5. Cependant il est moins fort que la zone témoin qui est à l'indice 7. Cette différence peut être expliquée par le fait que la zone témoin est plus proche à la ligne maritime provenant du port du Havre. Ce résultat montre que le niveau de bruit anthropogénique est fort à l'échelle de cette zone et que le trafic maritime domine toutes les bandes fréquences de 1 Hz à 1 kHz. Cela se confirme avec les résultats de mesure de tiers d'octaves (voir Annexe).

A partir de la définition des percentiles et en raison du niveau de bruit qui atteint 80 dB pendant 10 % du temps d'enregistrement, il est possible de constater que l'effet du bruit des bateaux est quasiment présent sur toute la période.

3.2 EVOLUTION DES DETECTIONS DE SIGNAUX BIOLOGIQUES DANS LA ZONE D'ETUDE DURANT LA PERIODE DES ENREGISTREMENTS

3.2.1 METHODES D'ANALYSE

Deux algorithmes de détection et classification de clics sont implémentés dans le logiciel fourni par le producteur du CPOD (CPOD.exe) :

- **Le détecteur de clics 'haute fréquence' pour les marsouins communs** : cet algorithme détecte les clics haute fréquence à bande étroite [100 kHz-180 kHz]. Les espèces émettant ce type de clic incluent tous les marsouins (famille des Phocoenidae), tous les dauphins du genre *Cephalorhynchus*, certains dauphins du genre *Lagenorhynchus*, le cachalot nain et le cachalot pygmée du genre *Kogia*, le dauphin de la Plata (*Pontoporia blainvillei*). Les détections de clics haute fréquence à bande étroite émis par les marsouins communs peuvent être extraites comme nombre de minutes contenant des clics (indicateur Dpm, de *Detection positive minute*).
- **Le détecteur de clics 'moyenne fréquence' pour les autres espèces appartenant à la famille des delphinidés non inclus dans le point précédent** : cet algorithme extrait les clics avec fréquence comprises entre 30 kHz et 80 kHz. Comme pour les marsouins, ces détections sont extraites comme nombre de minutes contenant des clics (indicateur Dpm, de *Detection positive minute*).

3.2.2 INDICATEURS D'ACTIVITE BIOACOUSTIQUE DES DELPHINIDES ET MARSOUINS EXTRAITS DES DONNEES DES C-PODS

Dans ce chapitre nous présentons les résultats des détections des clics de marsouins communs (*Phocoena phocoena*) et delphinidés (Delphinidae) obtenus avec C-POD. Les périodes d'enregistrement ont permis d'obtenir un échantillonnage sur les 4 saisons (printemps, été, automne et hiver) sur une période de 2 ans.

En ce qui concerne le marsouin commun, les résultats présentés ici peuvent être corrélés directement avec la fréquentation de la zone pour cette espèce. L'analyse des données des CPOD permet en effet de distinguer nettement les clics de marsouin commun par rapport aux autres cétacés.

En revanche, **en ce qui concerne les delphinidés**, nous devons nécessairement utiliser des connaissances bibliographiques pour interpréter les résultats présentés ici. En effet, nous savons que les espèces de delphinidés dont l'habitat s'étend en Manche orientale sont le grand dauphin (*Tursiops truncatus*), le dauphin commun (*Delphinus delphis*), le dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*), le lagénorhynque à bec blanc (*Lagenorhynchus albirostris*) et du globicéphale noir (*Globicephala melas*). De plus, la comparaison de nos détections avec les résultats des suivi visuels par bateau ou par avion pourrait aider l'interprétation, en fournissant des connaissances sur les espèces observées pendant la période de déploiement des capteurs acoustiques. Des comparaisons dans ce sens serait à prévoir dans le cadre des suivis des travaux. Dans ce chapitre nous faisons donc référence aux « delphinidés » en tant que famille taxonomique, sachant que cela regroupe plusieurs espèces non discernables avec les données issues des CPODs. Nos conclusions porteront en revanche sur les espèces de delphinidés les plus présentes sur la zone selon les connaissances bibliographique.

Les figures ci-après montrent l'évolution de l'indicateur *Dpm*, de l'acronyme anglais *Detection positive minutes*. Il s'agit du nombre de minutes contenant des clics.

Le *Dpm* est un indicateur d'activité bioacoustique des marsouins et des delphinidés. Celui-ci est utilisé comme un indicateur de la présence d'une espèce sur la zone. Il n'est pas recommandé en revanche comme indicateur indirect de l'abondance (D. Anderson, 2001; D. R. Anderson, 2003).

Selon l'agrégation temporelle choisie, cet indicateur peut montrer l'activité bioacoustique par minute, par 10 minutes, par jour, par mois ou autre type d'agrégation temporelle (Teilmann, 2003; Carstensen et al., 2006; Diederichs et al., 2008b; Benhemma-Le Gall et al., 2021). Dans ce rapport nous montrons plusieurs types d'agrégation :

- Activité bioacoustique annuelle (*Dpm/an*), montrant l'évolution années après années.
- Activité bioacoustique saisonnière, (*Dpm/saison*) avec agrégation des périodes d'enregistrement sur la même saison à des années différentes, par exemple :
 - hiver = (détection de janvier 2019 + janvier 2020 + janvier 2021) + (détection de février 2019 + février 2020 + février 2021) + (détection de mars 2019 + mars 2020 + mars 2021)
 - Et ainsi de suite pour chaque saison
- Activité bioacoustique mensuelle, (*Dpm/mois*) mettant en évidence l'évolution mois après mois
- Activité bioacoustique journalière, (*Dpm/jour*) avec agrégation des mêmes plages horaires pour chaque jour d'enregistrement

Pour les besoins de cette phase du projet, nous voulons décrire la fréquentation de la zone par les cétacés avant les travaux. Pour cela **nous avons utilisé la somme des détections (*Dpm*) de tous les capteurs, afin de décrire la zone dans son ensemble.**

Lors de la phase suivante du projet (travaux), il sera nécessaire de revenir sur les jeux de données de l'état de référence pour réaliser des analyses au niveau de chaque capteur, afin de comparer statistiquement les résultats de la zone témoin (CPOD-C2) et de la zone du parc (impact, CPOD C1 et C3). De plus, il conviendra de comparer les résultats des deux CPOD à l'intérieur de la zone du parc entre eux pour caractériser de manière détaillée la zone « impact ». Enfin, il est possible de mettre en place des analyses plus complexes pour distinguer différents types de comportements selon

l'activité bioacoustique. Il est en effet possible de distinguer le comportement de chasse/alimentation en analysant les variations de certains paramètres des clics. Ce qu'on appelle les buzz, ce sont en effet des clics très rapides associés à la phase finale de la capture d'une proie (DeRuiter et al., 2009; Wisniewska et al., 2014). Les données du CPOD permettent de faire ces distinctions de l'activité acoustique.

Ces analyses fines sont fonctionnelles à la mise en œuvre de l'approche BACI, mais il n'est pertinent de les mettre en place qu'une fois que le plan de collecte de données de la phase travaux est établi et maîtrisé (points de mesure, période et durée de déploiement, type d'instruments, etc.), et ceci afin que les comparaisons soient menées par des méthodes statistiques adéquates et robustes. Sinay garantit la mise en place de l'ensemble de ces analyses dès validation du protocole de collecte de données pour la phase « pendant les travaux ». Néanmoins, une comparaison préliminaire des détections dans les différents sites est présentée dans ce rapport, ainsi qu'une discussion sur les variations observées du taux d'activité bioacoustique.

En synthèse, les analyses décrivant l'état de référence concernant la présence et l'utilisation du site par les cétacés comprennent :

1. Une description de l'activité bioacoustique sur l'ensemble de la zone pour les marsouins communs et pour les delphinidés (**ce rapport**) ;
2. L'évolution du taux de détection pour l'ensemble de la zone, selon différentes fenêtres temporelles : variations interannuelles, saisonnières, mensuelles, journalières (**ce rapport**) ;
3. Une première analyse statistique BACI pour comparer les zones témoin et impact (**à réaliser au début de la prochaine phase du projet de parc**) ;
4. L'analyse fonctionnelle sur la base des typologies de vocalisations (clics, buzz) correspondant à des activités différentes des cétacés (**à réaliser au début de la prochaine phase du projet de parc**).

3.2.2.1 Description de l'activité bioacoustique sur l'ensemble de la zone

- Activité bioacoustique annuelle

Le graphique (**Figure 45**) ci-dessous présente l'activité acoustique (Dpm) annuelle enregistrée sur l'ensemble de la période de l'étude pour les delphinidés (à gauche) et les marsouins (à droite). Sur l'année 2019, le faible taux de détection de mammifères marins s'explique principalement par la perte des C-PODs C2 (mars à juillet 2019), C1 et C3 (août à novembre 2019) (**Cf 2.5.1**).

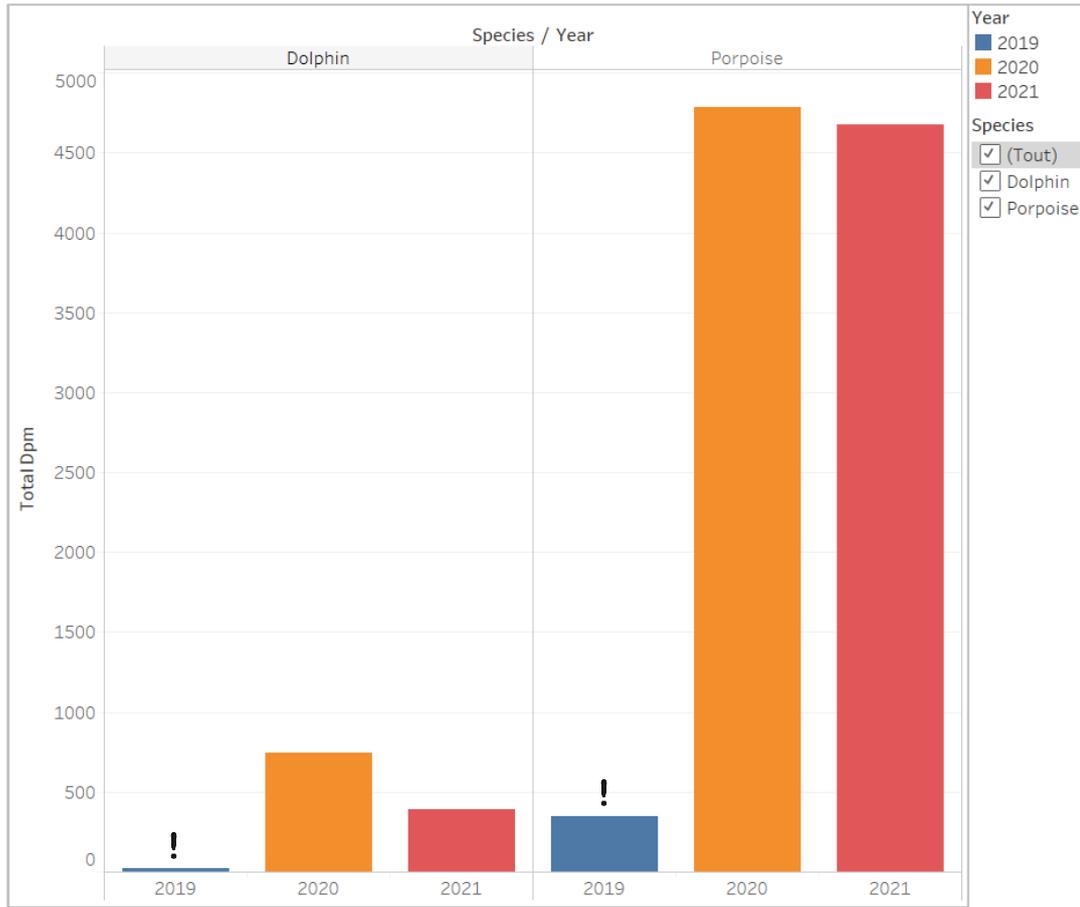


Figure 45 : Variation de la présence de delphinidés (à gauche) et marsouins (à droite) sur la période de mars 2019 à mars 2021, sur l'ensemble de la zone (somme des détections (Dpm) de tous les capteurs). Le ! sur les détections de 2019 indique que la raison principale des valeurs faibles est technique (perte des capteurs).

Nous avons observé la présence de delphinidés et de marsouins sur la zone de projet pendant toute la période de l'étude, chaque déploiement présentant à la fois des détections de marsouin et de delphinidé.

Le marsouin commun est l'espèce majoritairement rencontrée, avec son taux d'activité bioacoustique considérablement supérieur aux delphinidés. Nous observons en effet la somme de 4784 minutes contenant des clics (Dpm) sur l'année 2020, contre 745 pour les delphinidés. En 2021, le taux de détection des delphinidés est inférieur, avec 389 minutes positives soit une diminution de 47,8%. Pour les marsouins la diminution est très faible (-2,3%) et l'activité bioacoustique reste à des niveaux similaires entre 2020 et 2021.

Pour rappel, le Dpm étant un indicateur de présence sur une zone et il n'est pas recommandé de l'utiliser pour extrapoler sur l'abondance (D. Anderson, 2001; D. R. Anderson, 2003). En effet nous ne pouvons pas distinguer avec l'acoustique passive s'il s'agit plusieurs fois des mêmes individus à l'origine de détections distinctes et séparés par un certain laps de temps. En revanche, le taux de détection Dpm indique l'importance d'une zone pour une espèce.

Au vu des résultats du même ordre de grandeur pour les détections de marsouin entre 2020 et 2021, il est possible d'en déduire que la zone est fréquentée avec la même intensité et qu'il s'agit donc d'une partie de son habitat exploitée régulièrement. En prenant l'année 2020, 4 784 Dpm représentent en effet environ 1% du temps de déploiement des CPOD (11,5 mois étalés sur 2 ans). Si

on rapporte ce pourcentage à 1 journée, il s'agirait, en moyenne, de 14 minutes d'activité bioacoustique enregistré chaque jour pendant toute la période de l'étude. Etant données que les points de mesure sont fixes et que le rayon de détection est faible (300 à 500 m autour du CPOD), cela nous donne une idée de l'intensité moyenne de l'activité bioacoustique enregistrée et permet de conclure qu'il s'agit d'une zone importante pour le marsouin. Cela est en accord avec la bibliographie (Pettex et al., 2014; Laran et al., 2017). Ces auteurs montrent en effet une population de marsouin sur la Manche d'environ 18 000 individus, globalement constante le long de l'année mais avec certaines différences de distribution géographique entre l'hiver et l'été. Ces différences ne sont pas révélées par la valeur moyenne d'activité bioacoustique que nous avons enregistré (14 min/jour) et **méritent une analyse temporelle**, illustrés plus bas dans ce chapitre.

En ce qui concerne les delphinidés, nous avons constaté à la fois une présence considérablement plus faible que pour les marsouins (jusqu'à 12 fois moins de détections en 2021) et une différence importante entre 2020 et 2021 (-47,8%). Cela indiquerait que la zone est exploitée moins régulièrement par les delphinidés. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la zone représente un couloir de passage parmi d'autres, qui est emprunté ou pas selon les saisons ou les années, et non pas une zone de présence régulière. Une autre explication possible serait simplement qu'il s'agit d'une zone moins favorable pour les delphinidés. Au niveau de l'espèce, il pourrait s'agir plus probablement de détections de grand dauphin :

- Les études disponibles nous montrent que la Manche abrite deux populations côtières de grand dauphin (*T. truncatus*) présentes toute l'année sur des zones spécifiques: une localisée autour des îles anglo-normandes et la baie de Seine d'environ 400 individus (Louis et al., 2014), l'autre dans les côtes du Sud-ouest de l'Angleterre d'environ 100 individus¹. De plus, des populations « offshore » de grand dauphin, non liées à une zone en particulier, sont décrites par plusieurs travaux scientifiques (par exemple (Oudejans et al., 2015)). Les estimations disponibles de l'abondance de grand dauphin sur la Manche indiquent une population globale d'environ 900 individus en hiver et 3 500 en été (Pettex et al., 2014; Laran et al., 2017). Si les populations côtières sont présentes toute l'année, les différences entre hiver et été sur la population globale devraient être dues à la migration de populations offshore en entrée et en sortie de la Manche.
- Les autres espèces d'odontocètes (dauphins à bec blanc, dauphin à flanc blanc, dauphin communs, dauphin bleu et blanc, etc.) sont rares ou absentes sur la zone de la Manche centrale et orientale (Laran et al., 2017).

Au vu de ces éléments, les détections sur la zone des éoliennes offshore des Hautes Falaises pourraient être causés par des individus de grand dauphin de populations offshore fréquentant sporadiquement la zone.

- Activité bioacoustique saisonnière

Le graphique ci-dessous (**Figure 46**) présente l'activité enregistrée trimestriellement (2019 à 2021) pour les delphinidés (en bleu) et les marsouins (en orange). Comme la durée des enregistrements n'est pas homogène sur les trimestres, nous avons divisé la somme des détections (Dpm) pour la durée des enregistrements (en minutes) afin d'obtenir des probabilités de présence qui deviennent donc comparables entre trimestres différents. Le **Tableau 10** suivant présente les données à disposition selon les trimestres.

¹ <https://moat.cefas.co.uk/biodiversity-food-webs-and-marine-protected-areas/food-webs/inshore-bottlenose-dolphin-abundance/>

Tableau 10. Nombre de mois d'enregistrement disponibles

Trimestre	2019	2020	2021	Total en mois	Total en min
T1 – Janvier, février mars	0,5	2,5	2,5	5,5	237 600
T2 – Avril, mai, juin	3	1,5	0	4,5	194 400
T3 – Juillet, août, septembre	1,5	0	0	1,5	64 800
T4 – Octobre, novembre, décembre	1,5	1,5	0	3	129 600

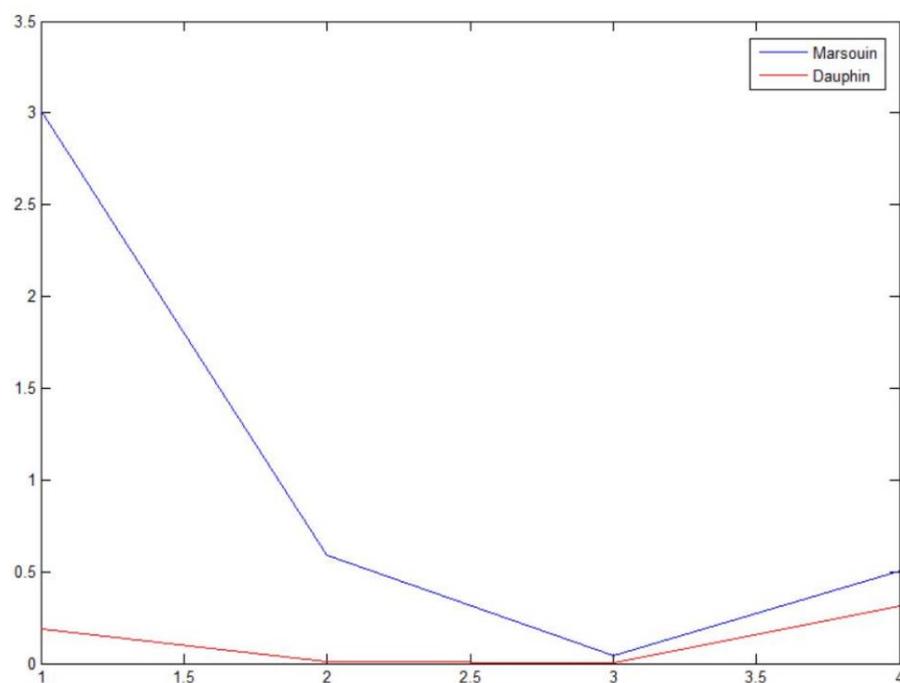


Figure 46. Probabilité présence (%) saisonnière des marsouins (orange) et delphinidés (bleu) par trimestre, sur l'ensemble de la zone. Les données sont agrégées par trimestre et pondérées par la durée des enregistrements de chaque trimestre.

Ce graphique présente une variabilité intra-annuelle du taux de détection, plus prononcée pour les marsouins communs. Il est possible d'observer une forte activité bioacoustique pour le marsouin sur le premier trimestre avec une probabilité de détection de 3%, qui décroît ensuite aux trimestres 2 et 3 pour remonter au trimestre 4. En effet, même si cette espèce est observée à l'année sur la zone de projet, elle présente une distribution saisonnière plutôt contrastée avec une abondance maximale durant l'hiver dans le sud de la mer du Nord (déroit de Calais). En été, la zone du déroit de Calais reste importante mais la population globalement se déplace en Manche Occidentale (Laran et al. 2017), ce qui expliquerait un taux de détection plus faible sur la zone du parc pendant le trimestre 3 (mois d'été), quand nous retrouvons seulement 104 *Dpm* et 0,15% de probabilité de détection.

Concernant les delphinidés, les taux de détection sont beaucoup plus faibles. L'évolution temporelle est similaire aux marsouins, avec les taux d'activité les plus importants sur la période automne-hiver.

Le pic de détection est observé sur le trimestre 4 avec 745 Dpm, quand la probabilité de présence est environ 0,4%. Ce résultat au niveau local contraste avec les connaissances macro-échelle sur l'abondance : en effet, les estimations d'abondance à disposition indiquent environ 900 individus l'hiver pour l'ensemble de la Manche, quand nous observons une probabilité de détection plus élevée, et 3 500 individus l'été, alors qu'à la même période nous observons des probabilités de détection acoustique nettement plus faibles.

L'explication dans ce cas serait trouvée dans des processus écologiques locaux. Selon l'étude de Lambert et co-auteurs (2016), si globalement pour la Manche les effectifs de grand dauphin augmentent de 900 à 3 500 de l'hiver à l'été, cela intéresse plutôt la zone occidentale (Golfe normand-breton, Bretagne nord, côtes Sud-ouest anglaises, et zones au large correspondantes), alors que la zone de la Manche orientale est identifiée comme peu favorable pour le grand dauphin tout au long de l'année, sans différence remarquable entre hiver et été. En conclusion, si cela est vraie que l'activité bioacoustique de delphinidés est causée principalement par des individus de grand dauphin de populations offshore fréquentant sporadiquement la zone (voir **Figure 45** et discussion correspondante), ces individus seraient présents principalement à l'automne et en hiver.

- Activité bioacoustique mensuelle

Le graphique ci-dessous (**Figure 47**) présente l'activité enregistrée mensuellement sur l'ensemble du projet (2019 à 2021) pour les delphinidés (à gauche) et les marsouins (à droite).

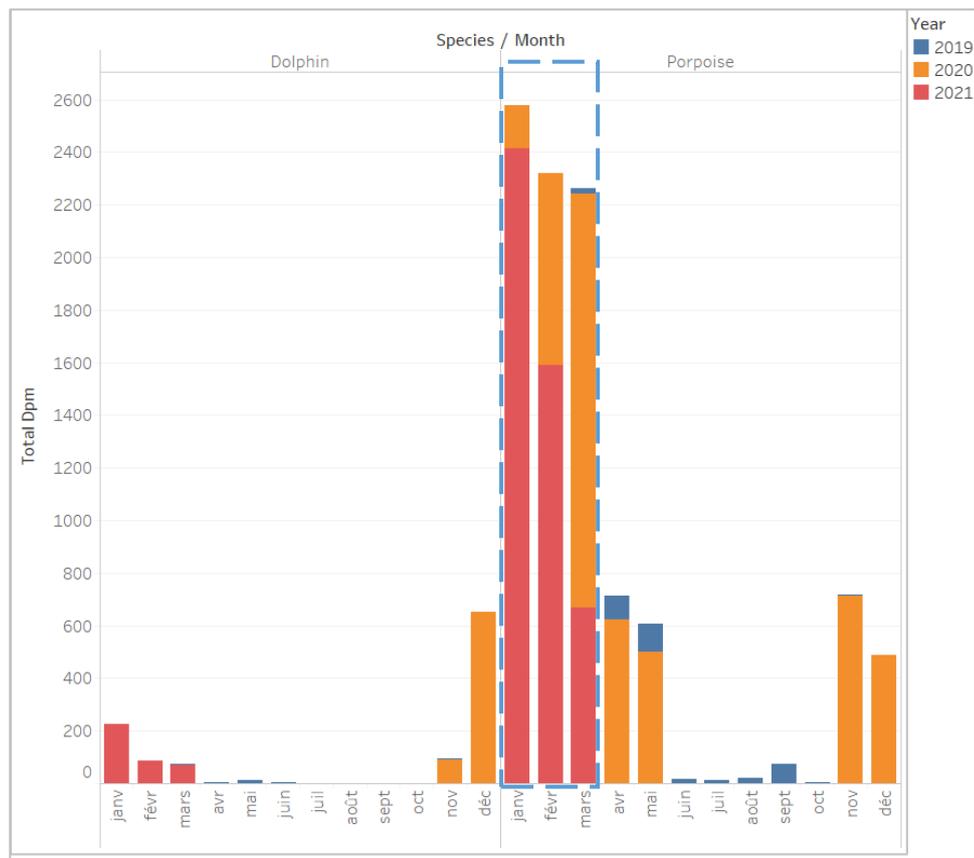


Figure 47. Variation de l'indicateur de présence (Dpm) mensuelle des delphinidés (à gauche) et marsouins (à droite) sur la période 2019-2021. Le carré met en évidence les variations au sein d'un même trimestre.

L'évolution mensuelle montrée en figure 47 confirme d'abord les tendances trimestrielles avec une présence plus marquée des marsouins et delphinidés à l'automne et en hiver. De plus, nous pouvons voir sur ce graphique les variations au sein d'un même trimestre. En particulier, cette variation est visible sur le trimestre 1 (janvier, février, mars) sur le graphique des marsouins : il est possible d'apprécier la présence plus marquée en début de trimestre (janvier) pour 2021, en fin de trimestre pour 2020. Comme la probabilité de détection au niveau trimestrielle ne semble pas changer entre 2020 et 2021, ces variations fines au niveau temporel pourraient être d'origine naturelle (l'évolution des paramètres physiques tels que la température de surface, ou biologique comme les mouvements des proies) ou bien être dues à une raison d'origine anthropique ayant un effet temporaire à court terme (comme par une augmentation du trafic maritime). Au moment de la mise en œuvre des analyses BACI, il sera nécessaire de réaliser de plus amples analyses pour distinguer les causes de ces variations.

- Activité bioacoustique journalière

Le graphique ci-dessous (**Figure 48**) présente la variation journalière des *Dpm* sur l'ensemble du projet (2019 à 2021) pour les delphinidés (en bleu) et les marsouins (en orange).

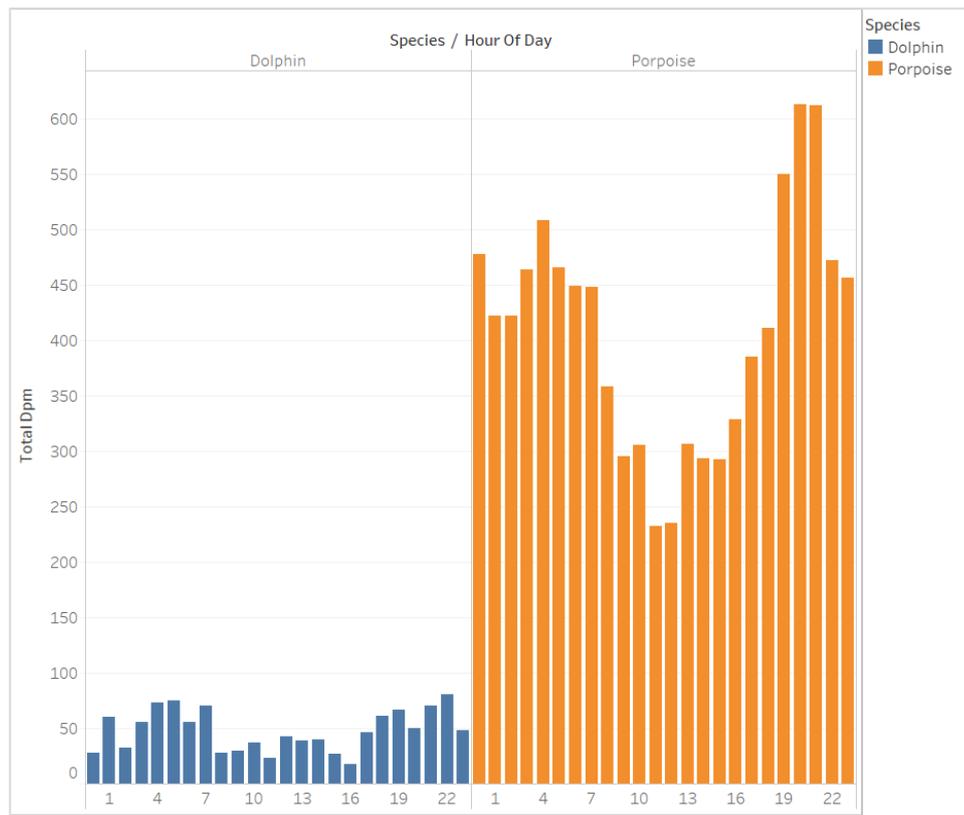


Figure 48. Variation journalière des détections des delphinidés (en bleu) et marsouins (en orange) sur la période de mars 2019 à mars 2021, sur toutes les zones confondues

Bien que la durée d'enregistrement ne soit pas homogène sur les deux ans, avec une sur-représentation des mois de janvier à juin, l'analyse horaire permet de dégager une tendance générale concernant le comportement acoustique des marsouins et delphinidés le long d'une journée.

Il est possible d'apprécier des valeurs plus élevées le soir et la nuit par rapport au milieu de journée, mais de façon plus marquée pour le marsouin par rapport aux dauphins. Ces résultats sont en accord

avec la bibliographie (par exemple : (Carlström, 2005)). L'explication la plus probable est une augmentation des émissions de clics pendant la nuit afin de pouvoir continuer de « voir » (acoustiquement), explorer son environnement et/ou s'alimenter en absence de lumière.

3.2.2.2 Répartition préliminaire de l'activité acoustique par site

La **Figure 49** ci-dessous présente la somme des détections enregistrée par site de déploiement sur l'ensemble de la période (2019 à 2021) pour les delphinidés (en bleu) et les marsouins (en orange).

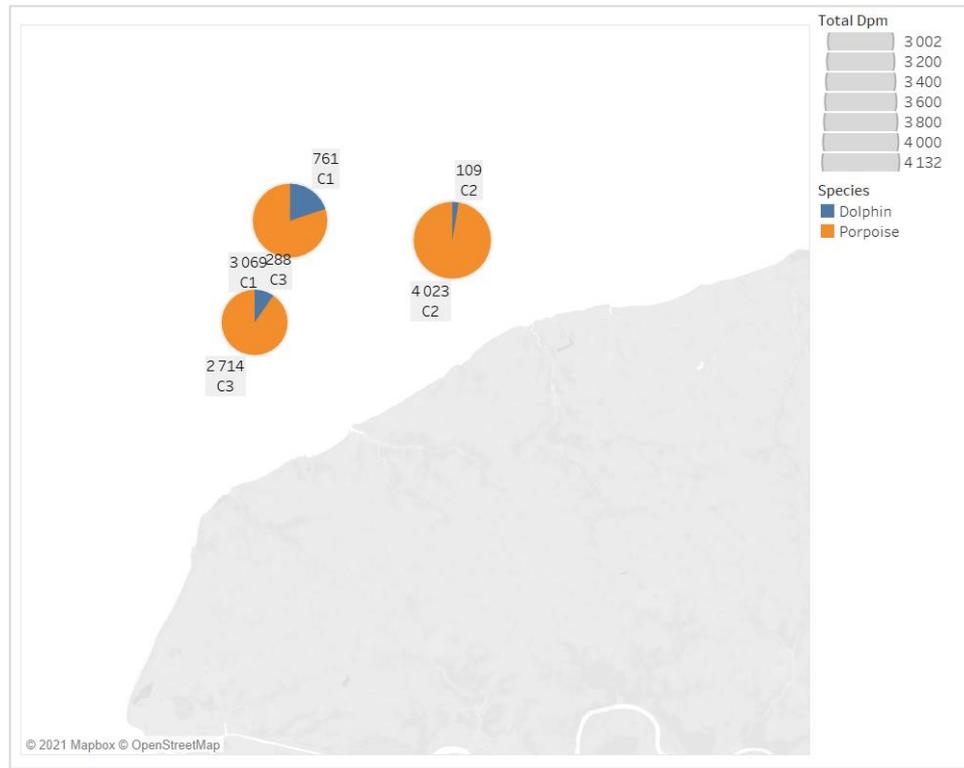


Figure 49. Variation des détections sur les trois sites de déploiement des CPOD

La **Figure 49** met en évidence deux aspects :

- La présence majoritaire du marsouin, en accord avec les résultats précédents ;
- La présence plus prononcée de delphinidés à la position C1 par rapport à C3 (x2,5) et C2 (x7).

En termes de Dpm, l'activité bioacoustique du marsouin varie entre valeurs du même ordre de grandeur entre les différents sites et, au vu des connaissances disponibles, cela confirme que cette zone maritime est un habitat important pour le marsouin (Lambert et al., 2017).

En ce qui concerne les delphinidés, on pourrait expliquer les différences observées avec des processus écologiques connus. En effet, le point C1 est le plus au large et celui qui présente le plus de présence détectée d'animaux. Sachant que sur la zone il n'y a pas de population côtière et résidente de grand dauphin ou de toute autre delphinidé, il est possible que sur ce point l'on détecte les vocalisations des individus appartenant aux populations offshores de grand dauphin (jusqu'à 3000 individus en été sur la Manche selon la bibliographie à disposition (Louis et al., 2014; Laran et al., 2017)). Cependant, la limite entre offshore et côtier n'est pas clairement établie, ce qui rend cette interprétation difficile. Un autre aspect à considérer est que les points C1 et C3 sont les plus proches

de la baie de Seine, qui représente la limite orientale de l'aire de répartition de la population de grand dauphin du golfe normand-breton. Cela pourrait également expliquer le nombre plus élevé de détections sur les points C1 et C3 par rapport à C2.

Des analyses plus fines, à réaliser dans les phases successives du projet, permettront d'approfondir ces aspects selon les règles BACI.

3.2.3 CONTEXTUALISATION DES RESULTATS BIO ACOUSTIQUES

Les résultats bioacoustiques confirment que le marsouin commun est l'espèce majoritairement présente dans l'aire d'étude rapprochée : sa présence représente jusqu'à 10 fois celle des delphinidés. Ces résultats sont conformes aux connaissances existantes qui attestent que le sud de la mer du Nord et l'ensemble de la Manche Est enregistrent une présence importante de marsouins communs, que cela soit via les recensements nationaux (Pettex et al., 2014) ou les études précédentes liées au projet (BIOTOPE, 2014).

Le marsouin est recensé toute l'année sur l'aire d'étude, mais présente tout de même une saisonnalité bien marquée : sa présence est maximale de la fin de l'automne au début du printemps. Ces résultats sont concordants avec les connaissances issues des campagnes SAMM, qui indiquaient une présence plus importante en Manche Est en hiver (Pettex et al., 2014). Les études préalables indiquaient une présence entre novembre et août, mais des densités maximales de janvier à avril (Martinez et al., 2013; BIOTOPE, 2014). Lors des suivis visuels menés entre 2019 et 2020, le marsouin a également été l'espèce majoritairement observée, avec un maximum de présence en été, mais une distribution plus côtière en hiver et au printemps (BIOTOPE, 2021). L'espèce entreprendrait des migrations saisonnière côte-large et nord-sud (Rosel et al., 1995), ce qui expliquerait les variations de détection et de distribution observées (Lambert et al., 2017; Laran et al., 2017). Nos résultats révèlent tout de même une variabilité interannuelle significative : ainsi la période de plus forte abondance varie d'une année sur l'autre. Elle était située entre février et mai en 2020, avec un pic de moindre intensité en novembre-décembre ; en 2021, le pic de présence était de janvier à mars. La distribution des espèces reflète des préférences écologiques majoritairement liées aux besoins alimentaire (Redfern et al., 2006). Les variations saisonnières dans la composition des masses d'eaux, la production primaire et la distribution des proies peuvent varier d'une année sur l'autre, et induire des distributions et des effectifs de mammifères marins variables au sein des zones d'étude considérées.

Concernant les delphinidés, bien que moindre, leur présence sur la zone est tout de même récurrente. Leur saisonnalité diffère d'une année à l'autre : leur présence est maximale entre janvier et mars en 2021, entre novembre et décembre en 2020. Les études précédentes enregistraient la présence du grand dauphin entre mars et juillet (BIOTOPE, 2014). La présence occasionnelle de globicéphale noir était également rapportée en période estivale (BIOTOPE, 2014). Les suivis visuels 2019-2021 ont aussi relevé la présence de delphinidés : le grand dauphin, de la fin du printemps au début de l'automne ; le dauphin commun en hiver ; le dauphin bleu-et-blanc au printemps (BIOTOPE, 2021). D'une manière générale, la présence des delphinidés est plus importante en Manche ouest qu'en Manche est. Le grand dauphin ferait des incursions en Manche est durant l'hiver. Le dauphin commun et dauphin bleu et blanc fréquenteraient la Manche ouest en été, mais seraient absent de la Manche durant l'hiver (Pettex et al., 2014). Il est donc difficile de définir avec exactitude quelle espèce peut être concernée par les détections acoustiques réalisées par les CPODs.

A l'échelle journalière, les marsouins communs montrent un patron de présence spécifique, caractérisé par une activité nocturne plus importante que durant la journée. Cela est un schéma

fréquemment rapporté pour l'espèce (Carlström, 2005; Schaffeld T et al., 2016). Ces pics d'activité acoustique peuvent être corrélés à des épisodes de recherche alimentaire ou de chasse, mais pas exclusivement, l'espèce s'alimentant également en journée. Une forte activité acoustique aux heures du lever et du coucher de soleil est également rapportée (Osiecka et al., 2020). Certaines études suggèrent que les séquences de clics seraient influencées par les proies disponibles et leurs habitats : les clics émis pour chasser des proies pélagiques seraient plus nombreux que ceux émis pour chasser des proies néritiques (Schaffeld T et al., 2016). La présence de signaux acoustiques est donc bien révélatrice de la présence d'individus, mais l'absence de signaux détectés n'est pas forcément révélatrice de l'absence d'individus.

Le rythme journalier des détections de delphinidés est plus difficile à interpréter en raison de la présence potentielle de plusieurs espèces, et donc de comportements différents.

Les détections de delphinidés ont été plus importantes en position C1, soit la position la plus au large de l'aire d'étude. La localisation C2 enregistre quant à elle les plus forts taux de détection de marsouins. Ces variations ne sont probablement pas statistiquement significatives mais elles peuvent tout de même attester de la distribution côtière du marsouin, et de celle un peu plus au large d'espèces de delphinidés comme le grand dauphin, le dauphin commun ou le dauphin bleu-et-blanc, conformément aux observations réalisées lors de campagnes précédentes (BIOTOPE, 2014).

4 MODÉLISATION DU BRUIT AMBIANT

4.1 LA ZONE DE MODELISATION

La connaissance de la zone d'étude acoustique (aire d'étude éloignée) est indispensable à la caractérisation de la propagation de bruit généré par les activités anthropiques comme le trafic maritime ou les travaux offshore ainsi qu'aux statistiques du bruit existant sur zone. Le choix de l'aire d'étude éloignée (**Figure 50**) permet aussi d'identifier les principales conditions environnementales de propagation, les sources de bruits associées aux types d'activité maritime et l'établissement des prévisions de distribution du bruit ambiant. Les coordonnées de la zone d'étude sont fixées de manière empirique autour de la zone du projet. Elles ont été calculées par rapport au point de localisation des futurs travaux. Un rayon de 150 km autour de la zone des travaux a été choisi car les pertes de transmission ($TL=20 \log_{10}(R)$) sont de l'ordre de 105 dB. Cette perte d'énergie acoustique ramène les niveaux de bruit des navires aux alentours de la zone à la valeur du bruit ambiant (Abiotic activity).

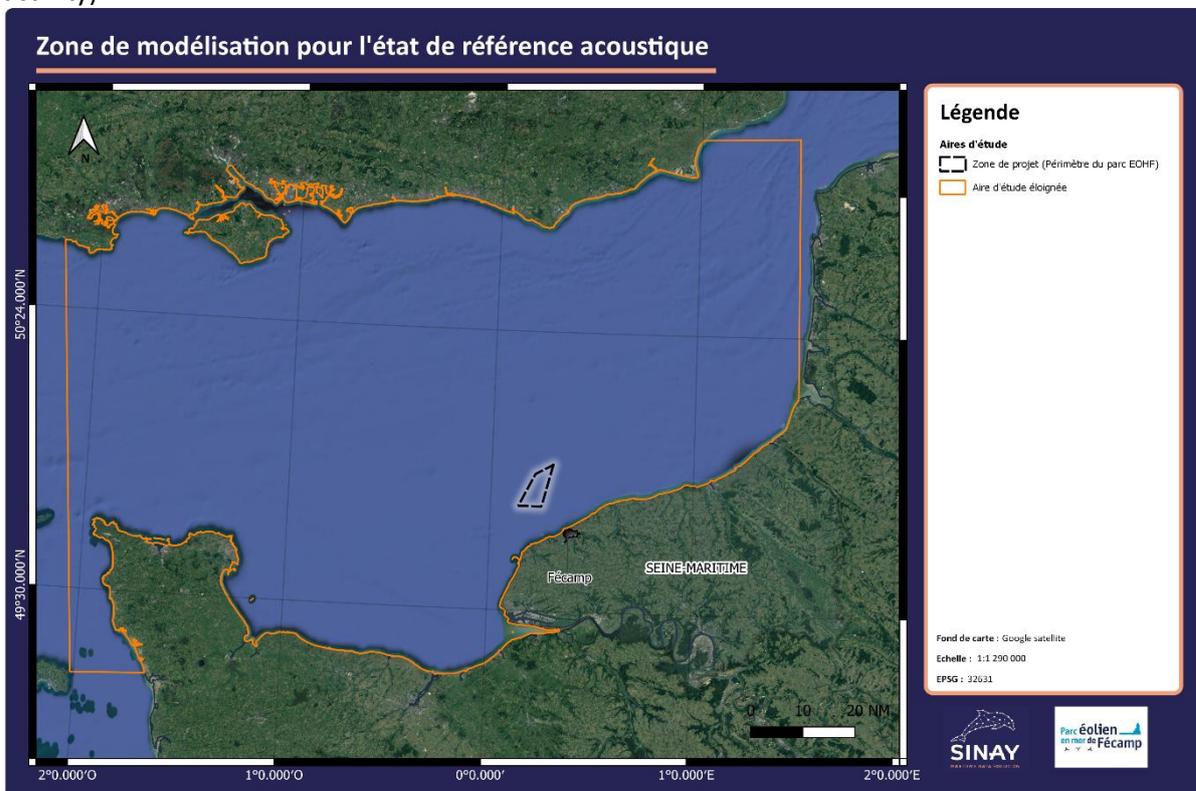


Figure 50 : Zone de modélisation pour l'état de référence acoustique du projet éolien offshore de Fécamp.

4.2 RECUEIL DES DONNEES D'ENTREE DU MODELE

4.2.1 LES DONNEES UTILISEES DANS LA MODELISATION DU BRUIT AMBIANT

Les paramètres de l'environnement et du trafic maritime, listés dans le **Tableau 11** sont collectés à l'échelle de l'aire d'étude éloignée car :

- Ils ont des effets sur les conditions de propagation acoustique ;
- Ils génèrent des bruits propres ;
- Ils peuvent être corrélés à la présence de mammifères marins.

Tableau 11 : Liste exhaustive des types et des sources de données.

Types de données	Sources de données
AIS	Spire
Bathymétrie	Emodnet
Température	Mesures réalisées in-situ
Salinité	NOAA
Vent	SHOM
Précipitation	Copernicus
Marée	
Nature du fonds	

4.2.2 IDENTIFICATION DES SOURCES DE BRUIT

Comme tout environnement sous-marin, la zone du futur parc d'éolien de Fécamp est un environnement relativement bruyant. De plus, cette zone présente une activité humaine quotidienne bruyante en lien avec le trafic maritime, les travaux, la pêche, etc. La **Figure 51** présente les différents sons qui contribuent au bruit sous-marin. Les bruits anthropiques sont représentés en orange, les bruits d'origine naturelle en bleu et les bruits d'origine biologique en vert. Le niveau de bruit ambiant typique est également présenté sur cette figure. Il est également possible d'observer le spectre donnant le bruit ambiant en fonction des fréquences, illustré par un trait noir.

- Les principales sources naturelles contribuant à l'ambiance sonore de la zone d'étude :
 - L'agitation de la surface, liée à l'état de la mer et donc à la force du vent. Elle engendre un bruit ambiant doté d'une large gamme de fréquence allant de quelques centaines de Hertz à quelques dizaines de KiloHertz ;
 - La pluie, est également une source de bruit importante. Ce dernier est généré par les impacts des gouttes d'eau sur la surface de la mer. Le niveau du bruit ainsi créé est relativement élevé, il est situé dans la gamme de fréquence du bruit ambiant en mer ;
 - L'agitation thermique des molécules d'eau crée également un bruit. Il intervient à des fréquences relativement élevées, au-delà de 100 kHz.

En plus de ces différents bruits d'origine naturelle, certaines espèces animales telles que les cétacés, les poissons et les crustacés, constituent également une source de bruit que l'on appelle « bruits biologiques ». Ces derniers peuvent être composés de signaux impulsifs ou modulés plus ou moins importants selon l'espèce émettrice (ex : sifflements et clics des dauphins, clics de crevettes calqueuses, etc.).

Quant aux bruits d'origine humaine, dits anthropiques, ils viennent principalement, dans cette phase d'étude, du trafic maritime et des activités de pêche.

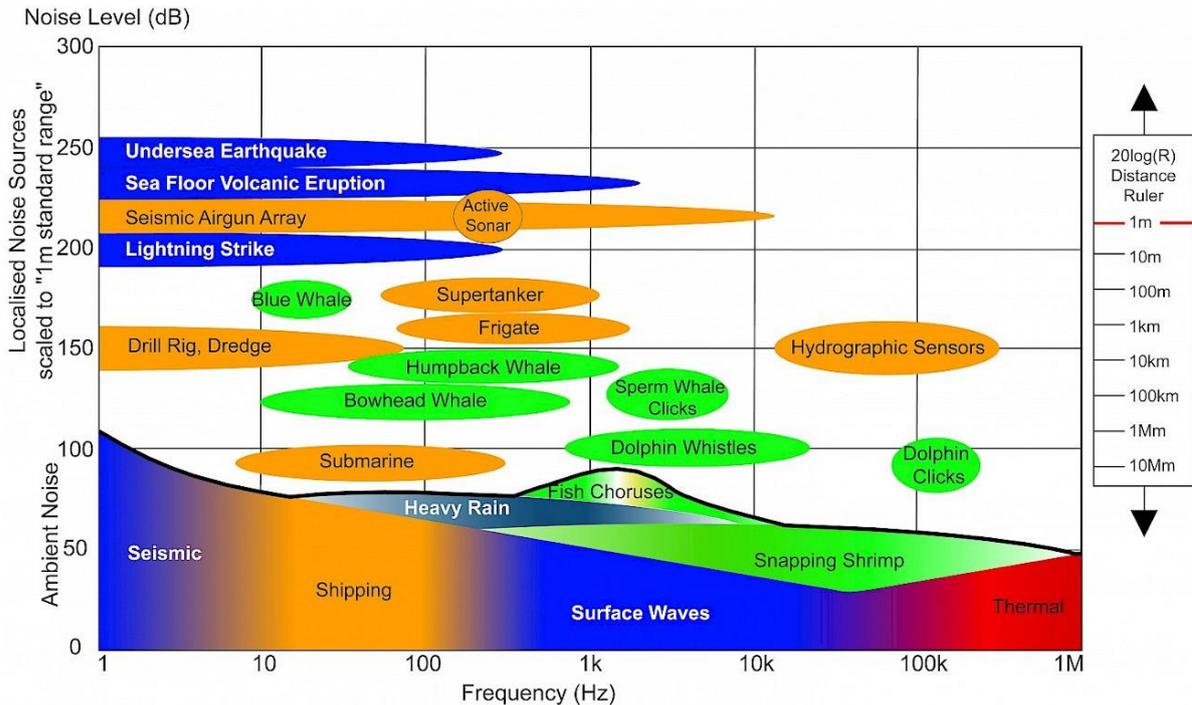


Figure 51 : Fréquences et niveau sonores de quelques sources acoustiques : sources anthropiques (orange), sources biologiques (vert) et abiotiques (bleu et rouge) (Boyd, 2008).

- Trafic maritime

Le trafic maritime est l'une des sources de bruit les plus importantes. Les navires génèrent un bruit situé dans les basses fréquences. Le niveau de ce bruit dépend du type de navire, de sa taille et de sa vitesse. La zone d'étude est un lieu de passage de tous types de navires, des voiliers des plaisanciers jusqu'aux grands bateaux de commerce et de transport en passant par les navires de pêches.

- Fréquence de ces bruits anthropiques

Les effets des bruits anthropiques sont souvent étudiés pour évaluer leurs impacts potentiels sur la faune sous-marine. Dans ce genre d'étude, trois critères sont considérés :

- L'intensité ou le niveau du bruit généré ;
- Sa bande fréquentielle (bande des émissions sonores) ;
- Son étalement dans le temps.

4.2.3 LES DONNEES DE L'ENVIRONNEMENT

Les données environnementales décrivent le milieu de propagation des ondes acoustiques, plus ces données sont précises ou proches de la réalité, plus les résultats de la modélisation seront précis. C'est pour cette raison que les sources de ces bases de données et leurs résolutions sont essentielles pour une modulation efficace. Une calibration passive et active avec des mesures *in situ* permet de corriger et ajuster les paramètres de l'environnement.

Cette section a pour objectif de définir et détailler l'importance de chaque paramètre sur la propagation de l'onde acoustique ainsi que les sources de données utilisées dans cette étude.

- Bathymétrie

La propagation des ondes acoustiques dans l'océan peut être définie en deux phases principales : la propagation libre et les interactions avec les frontières et les obstacles. Lorsqu'une onde acoustique rencontre le fond, une partie est transmise au sédiment, tandis que l'autre partie est réfléchi. C'est pourquoi les pertes d'énergie dans les eaux peu profondes sont beaucoup plus importantes que dans les eaux profondes et donc le niveau de bruit est plus bas dans la zone peu profonde surtout pour les ondes de basse fréquence. La forme du fond est également importante. De nombreux phénomènes peuvent être considérés tels que la diffusion des ondes, la réflexion totale ainsi que l'angle d'incidence de l'onde dans les sédiments. Ceux-ci affectent la quantité d'énergie transmise et réfléchi. Par conséquent, la résolution des données bathymétriques est un paramètre important dans le choix de la base de données. Plusieurs sources proposent des données bathymétriques présentant des résolutions plus ou moins acceptables. La bathymétrie de la zone d'étude acoustique (**Figure 52**) provient de la dalle bathymétrique MNT Bathymétrie Manche-Atlantique E4 2018 fournie par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). Il s'agit d'une des meilleures résolutions disponibles ; elle est surtout assez fine par rapport à la taille de la zone d'étude.

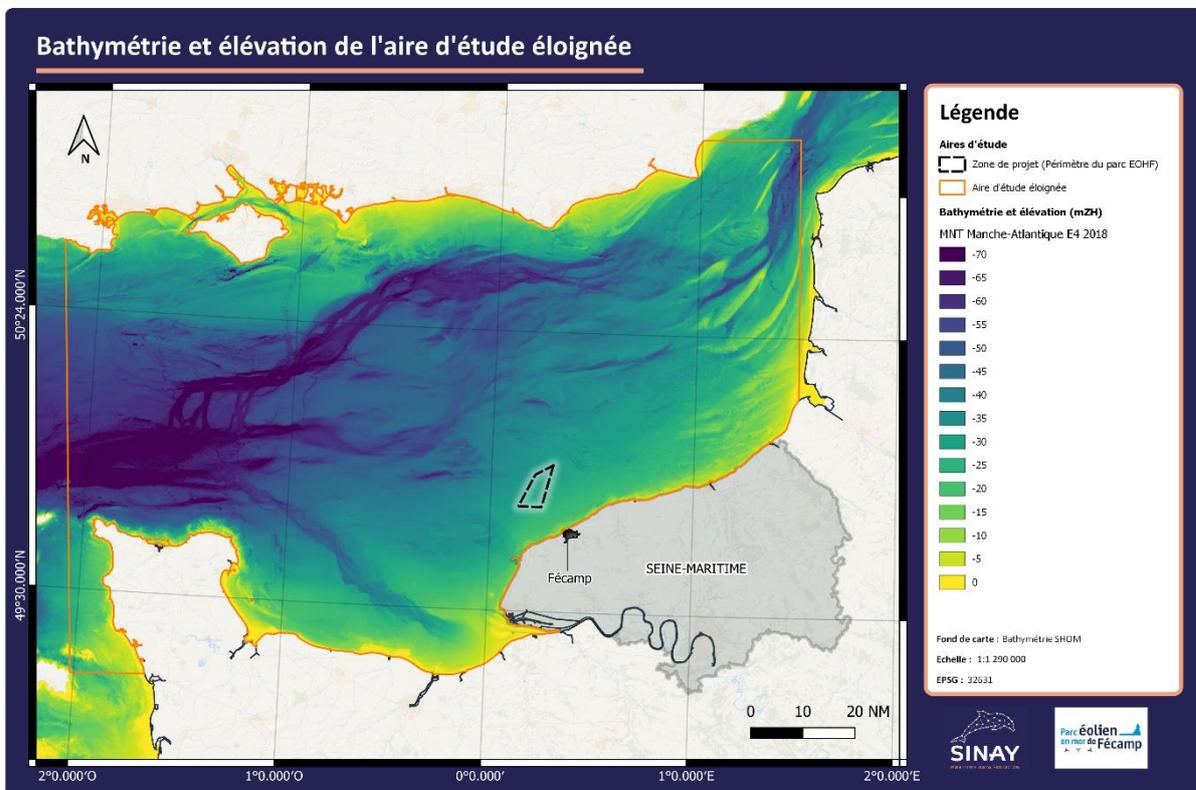


Figure 52 : Bathymétrie et élévation de l'aire d'étude éloignée utilisée pour les simulations acoustiques (SHOM 2018).

L'aire d'étude éloignée est située exclusivement sur le plateau continental. Sous l'eau, le relief est peu accidenté et les profondeurs faibles varient de 38 mètres au niveau du détroit du Pas-de-Calais pour atteindre, en s'abaissant progressivement, 75 mètres au niveau du Cap de la Hague (**Figure 53**).

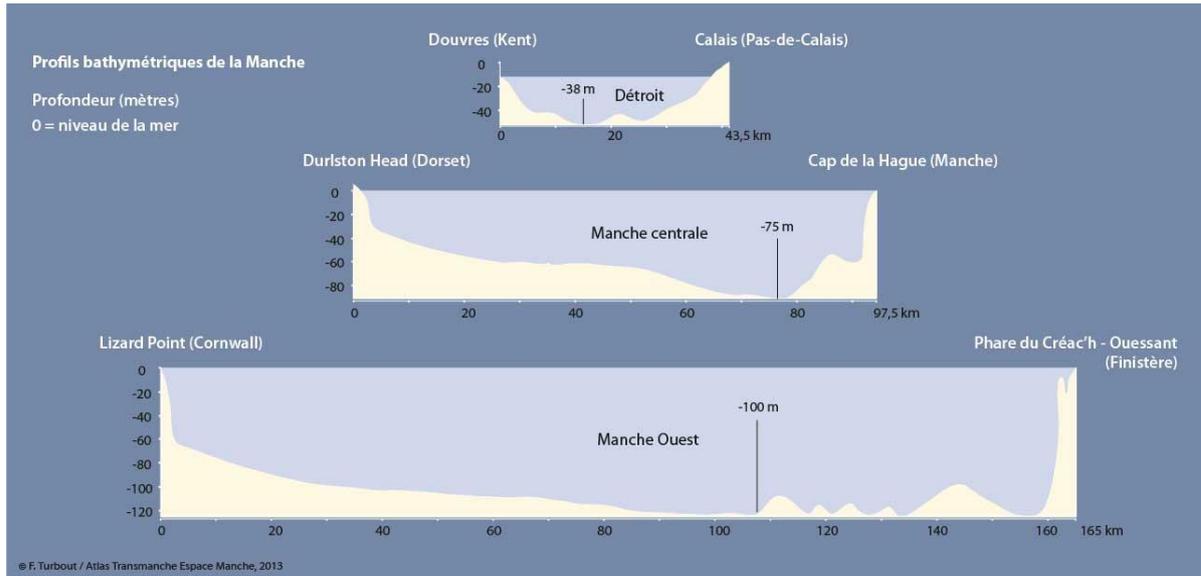


Figure 53 : Profils bathymétriques de la Manche (Turbout, 2013).

- Nature du fond

La formation de sédiments conduit, dans la plupart des cas, à leur stratification verticale. L'influence du fond marin est beaucoup plus complexe que celle de la surface, de nombreux phénomènes se produisent simultanément : diffusion par le relief de l'interface du fond, la pénétration de l'onde incidente dans les sédiments, l'amortissement des sédiments, les réfractions et les réflexions dans les couches sédimentaires et l'atténuation des ondes P (longitudinales) et S (de cisaillement). Avec le type de sédiment nous pouvons appréhender les valeurs de la densité et le coefficient d'atténuation de l'onde acoustique dans ce milieu.

La **Figure 54** suivante représente une synthèse cartographique de la nature sédimentaire des fonds de la Manche et de la Mer du Nord (réalisée à une échelle au 1/500 000). Cette carte peut être résumée ainsi (Claudel et al., 2015) :

- les sédiments sont majoritairement grossiers à très grossiers, graviers et cailloutis d'origine glaciaire, lessivés de leurs particules fines par les forts courants de marée du centre de la Manche ;
- les zones de sables constituent des bancs et des dunes : la construction de structures sédimentaires est favorisée à la limite Manche - Mer du Nord ;
- les dépôts permanents de vases et sables vaseux sont rares et limités aux zones protégées de la houle et des courants marins.

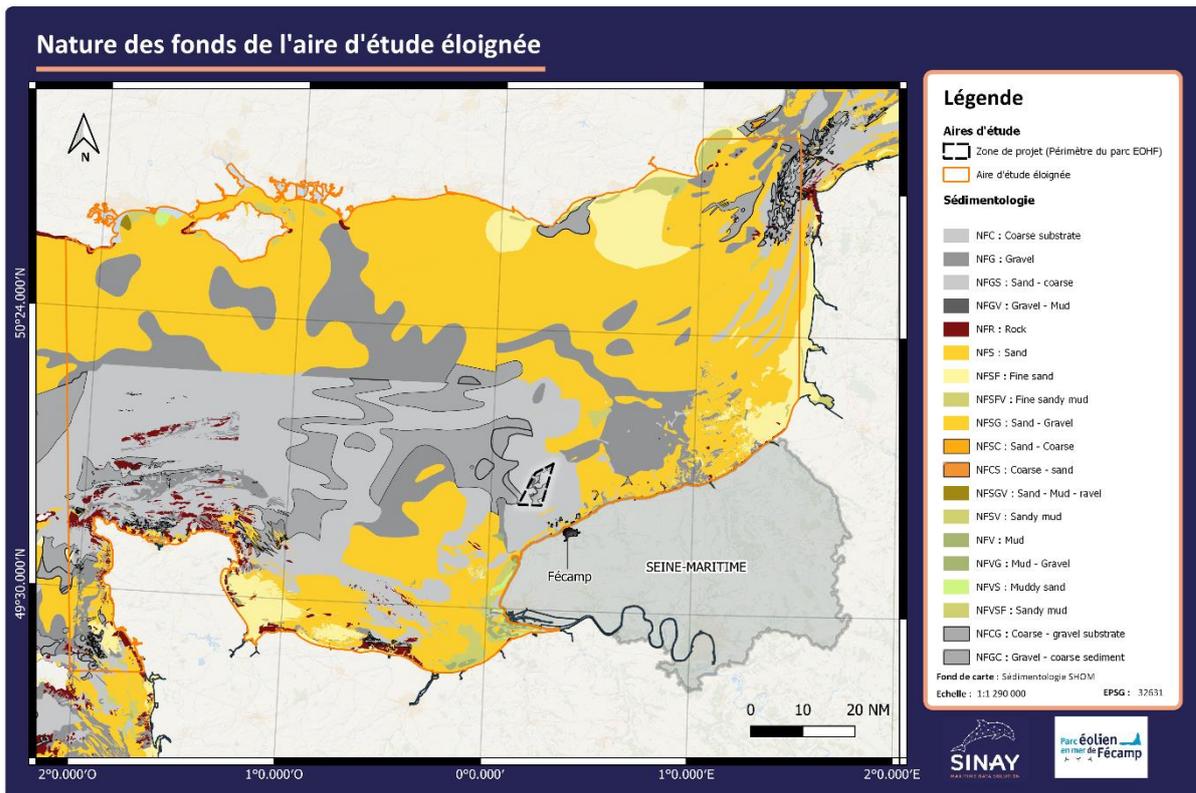


Figure 54 : Faciès morpho-sédimentaires de l'aire d'étude éloignée (SHOM 2010).

- Le profil de vitesse du son

Du fait de la limitation du milieu de propagation par la surface et le fond marin, l'onde acoustique subit des réflexions successives sur les interfaces. De plus, les variations de la vitesse du son peuvent provoquer des déformations des trajets d'ondes sonores. La vitesse du son dépend à la fois de la température, de la salinité et de la profondeur, et varie dans le même sens que ces trois grandeurs. C'est pour cette raison que la température et la salinité de la zone sont deux paramètres-clés pour le calcul du profil de vitesse du son dans le milieu de propagation.

Les données pour les paramètres physiques de la zone d'étude sont issues de la base de données Copernicus. Afin d'avoir les résultats les plus proches possibles des données réelles, le profil de vitesse est calculé pour chaque saison au cours de la période de l'étude. La **Figure 55** ci-dessous montre la différence entre le profil de vitesse pour chaque saison, en bleu l'hiver, en vert le printemps, en rouge pour l'été et en jaune pour l'automne. La différence entre les valeurs maximales et minimales dépasse les 30 m/s d'où l'intérêt de calculer le profil de vitesse pour chaque simulation. Et sur tout que cette différence impact la direction et les angles de propagation des ondes acoustiques dans la zone d'étude.

La variation du profil du vitesse entre la surface et le fond impact la direction de propagation vu que le milieu n'est plus homogène et donc cette variation impacte la quantité de l'énergie sonore qui va pénétrer dans les sédiments et réfléchir à la surface. Les profils de vitesse de l'été et de l'automne montrent que la vitesse augment vers le fond donc nous avons plus d'absorption dans les sédiments alors que les profils de l'hiver et du printemps sont plutôt l'inverse et améliore la propagation des ondes, néanmoins cette variation n'impact pas le niveau de bruit de manière très significatif vu que la profondeur de l'eau ne dépasse pas les 150 mètres.

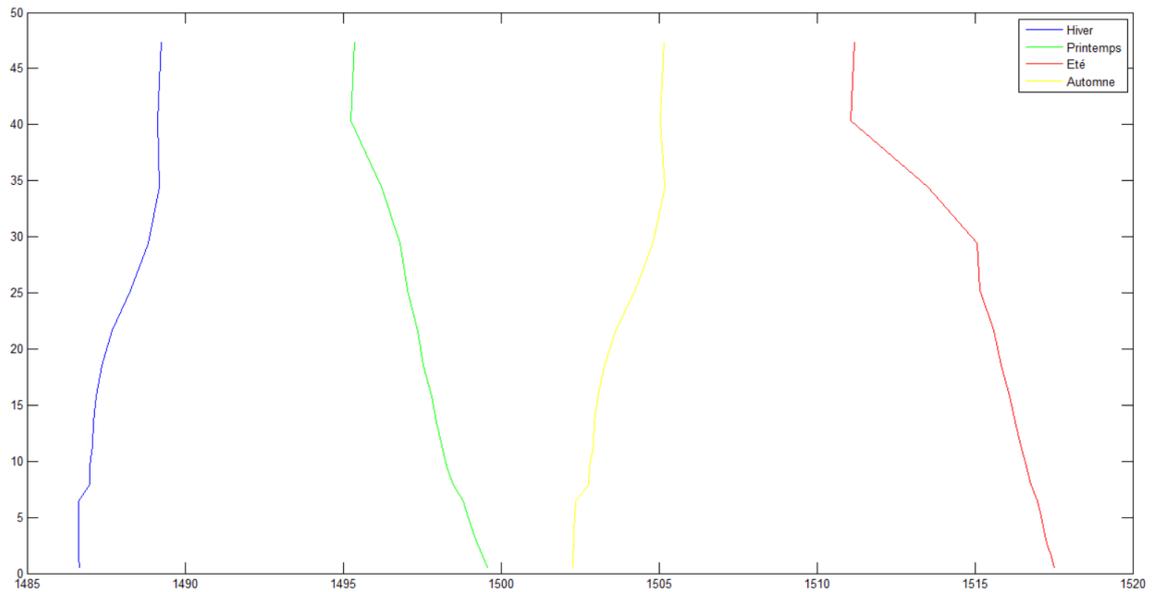


Figure 55 : Les Profils de vitesse calculés pour chaque saison, en bleu l'hiver, en vert le printemps, en rouge pour l'été et en jaune pour l'automne.

4.2.4 LES DONNÉES ANTHROPIQUES

- Automatic Identification System (AIS)

L'AIS est un système d'échange automatisé de messages entre navires par radio VHF. Généralement, ce système est utilisé pour éviter les collisions, identifier et localiser les informations. Les données AIS sont également utilisées pour la connaissance du domaine maritime, la recherche et le sauvetage, la surveillance de l'environnement et les applications de renseignement maritime. Ces positions AIS peuvent également être consultées sur le site [MarineTraffic](#) (Figure 56). Ce système permet de connaître l'identité, le statut, la position en temps quasi réel, ainsi que la taille, la vitesse, la charge et l'itinéraire des navires situés dans la zone. Ainsi, les données AIS sont structurées de manière à pouvoir être directement exploitées par des algorithmes de modélisation du bruit sous-marin. Grâce à l'installation d'antennes AIS, SINAY est contributeur de deux réseaux de distribution des données AIS. Cette situation offre un accès privilégié aux flux de données en temps réel. SINAY structure les données AIS dans sa plateforme de manière qu'elles soient directement exploitables par des algorithmes de calcul tels que les algorithmes de modélisation du bruit sous-marin. De plus, nous suivons plus particulièrement en temps réel les navires impliqués sur la zone d'études.

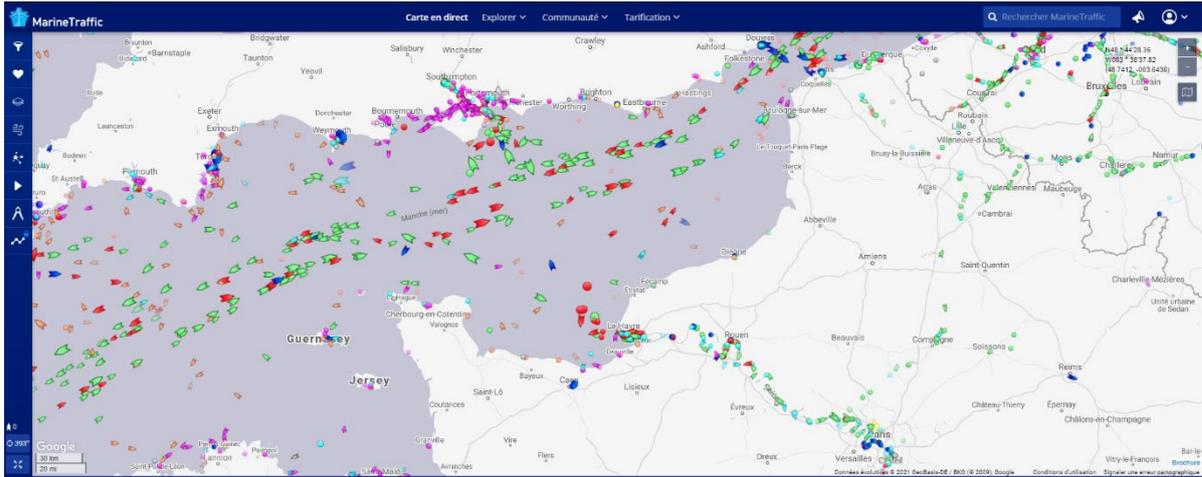


Figure 56 : Un exemple des données AIS à un instant T de la Manche (source MarineTraffic.com).

4.2.5 LES DONNEES D'ENTRÉE DES SOURCES SONORES

Dans cette étude de l'état de référence, aucune activité anthropique spécifique n'a été communiquée. Nous nous concentrons sur le bruit généré par le trafic maritime dans la zone d'étude et sur un rayon de 60 km autour de cette zone.

Les sources sonores utilisées dans les modèles de propagation sont caractérisées à partir de la littérature scientifique, des enregistrements *in situ* effectués par SINAY au cours de ses différentes campagnes et sur des modèles d'estimation.

Tableau 12 : Liste des publications utilisées pour estimer SL le niveau du bruit généré par le vent et les navires.

Nature du bruit	Publications sources
Bruit généré par le vent	(Wenz, 1962)
Bruit généré par les navires	(Arveson & Vendittis, 2000; Wales & Heitmeyer, 2002; Hildebrand, 2009; McKenna et al., 2012; Maglio, 2013; Merchant et al., 2013)

Les sons naturels de l'océan sont produits par le vent, les vagues, les précipitations, les événements sismiques naturels et les créatures, qui viennent créer un environnement bruyant (Tavolga, 1967; Wenz, 1962). Pour prédire le niveau du bruit ambiant généré par les conditions météo, et surtout le vent, nous utilisons le modèle de Wenz. Ce modèle nous permet de représenter des spectres moyens de bruit ambiant généré par le vent pour différents niveaux d'expression, et de l'état de la mer (ou des vitesses de vent de 1 jusqu'à 35 par pas de 5). Ci-dessous, la **Figure 57** montre un exemple de niveau de bruit généré pour différentes vitesses du vent de 1 à 35 m/s avec un intervalle de 5 m/s.

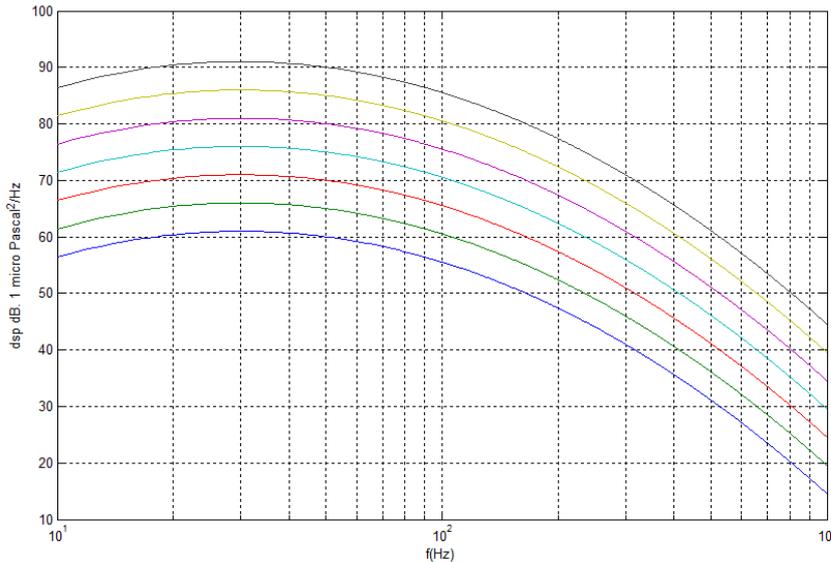


Figure 57 : Niveau de bruit en fonction de la vitesse du vent.

A partir des enregistrements réalisés *in situ* dans la zone d'étude (sur les points 1 et 2), nous avons constaté que dans la plupart du temps le bruit du vent est négligeable par rapport au niveau de bruit rayonné par le trafic maritime, vu que la différence du niveau dépasse les 10 dB (voir la **Figure 42**).

C'est pour cette raison que nous négligeons le bruit du vent dans notre modèle pour cette étude.

- Bruit du trafic maritime :

Le niveau source (SL) est l'entrée du modèle pour prévoir le bruit de la navigation dans l'océan. Plusieurs phénomènes physiques peuvent générer du bruit dans le déplacement d'un navire. Par exemple l'effet de la cavitation, de la vibration de la ligne d'arbre, de la vibration de la machine tournante transmise par la coque etc (**Figure 58**). Chacun de ces phénomènes produit un bruit sur une bande de fréquence différente et avec un niveau différent. Ce qui nous intéresse dans cette étude sont les basses et moyennes fréquences qui ont le niveau le plus élevé et qui se propagent mieux dans le milieu de propagation. Nous nous concentrons alors sur le bruit des hélices des navires qui génèrent le plus de bruit situé dans les basses fréquences avec l'amplitude la plus élevée. Le niveau de ce bruit dépend du type de navire, de sa taille et de sa vitesse.



Figure 58 : Liste de source de bruit lors de déplacement d'un navire.

La zone d'étude est un lieu de passage de tous types de navires : des voiliers et bateaux de pêche jusqu'aux grands bateaux de commerce et de transport. Pour effectuer des mesures efficaces du niveau de bruit généré réellement par chaque type de bateau, il faut suivre un protocole standard, difficile à réaliser, car il nécessite une certaine profondeur (environ 150 m) qui dépasse largement le niveau de l'eau dans la zone d'étude (maximum 35 m). Pour ces raisons, nous utilisons des modèles qui simulent le niveau de source, de plus cette démarche a montré son efficacité dans plusieurs études (Gassmann et al., 2017; Simard et al., 2016).

Liste non-exhaustive des noms des modèles utilisés aujourd'hui :

- Recall of ANSI standard;
- Biases and limitations of SL collection in shallow water;
- Ross model;
- Randi model;
- Wales and Heitmeyer;
- Simard *et al.*,

Le graphique suivant (**Figure 59**) illustre des gabarits acoustiques (SL) utilisés pour mesurer le niveau d'émission SL d'un bateau avec les différents types de modèles utilisés dans la littérature.

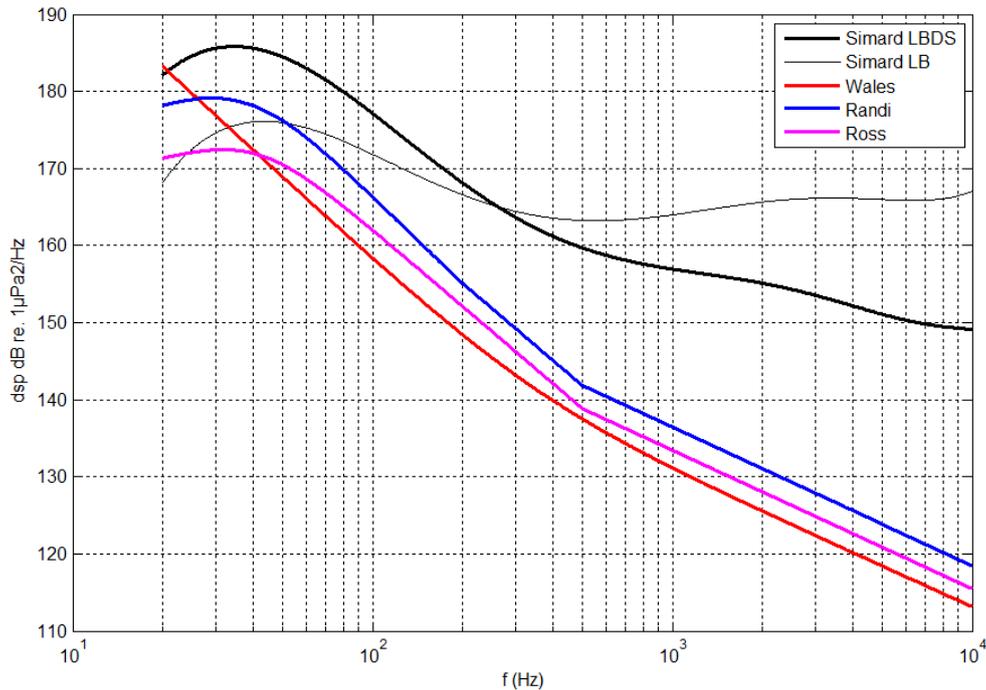


Figure 59 : Niveau d'émission DSP d'un bateau estimé avec les différentes approches présentes dans la littérature.

Compte tenu du nombre de méthodes proposées, les méthodes les plus efficaces ont été sélectionnées pour l'état de référence. Après recherche bibliographique, il est constaté que chaque méthode présente des avantages par rapport aux autres, en relation avec l'état de la mer, les informations disponibles sur le navire, la profondeur de l'eau, la distance de mesure, etc. Le choix du modèle a été effectué de manière empirique en utilisant les données de calibration (voir partie calibration).

Le modèle final a été choisi après une calibration passive en utilisant les données enregistrées sur la zone d'étude. Nous avons comparé les niveaux de bruit sur la zone d'étude avec les niveaux SL des bateaux générés avec chaque type de modèle présent dans la liste ci-dessus. Pour cette calibration nous avons pris en compte les bateaux passés à proximité de nos enregistreurs afin d'éviter l'impact du milieu de propagation. Le modèle le plus proche des niveaux enregistrés dans les basses fréquences a été Randi et Simard pour les moyennes et hautes fréquences.

4.3 CHOIX DU MODELE DE PROPAGATION

Il existe plusieurs méthodes mathématiques pour résoudre l'équation d'onde, pour calculer les pertes de transmission et tenir compte des phénomènes physiques de la propagation de l'onde acoustique. Les méthodes diffèrent car elles sont spécialisées pour l'environnement dépendant du

champ lointain et du champ proche, « Range dépendant (RD) »² ou « Range indépendant (RI) »³ ; cf tableau ci-dessous (Farcas et al., 2016)

Le choix du modèle de propagation est directement lié à la nature et à la profondeur du fond. Les méthodes de modélisation les plus adaptées pour cette étude (**Tableau 12**) petit fond (< 30 m) dans le cas de RD est l'équation parabolique pour les basses fréquences, et le tracé de rayons pour les hautes fréquences.

Tableau 13 : Comparaison d'efficacité des différentes méthodes de modélisation dans les différentes conditions de fonds et de sources

Les approches	Algorithme de modélisation	Applications							
		Zone peu profonde				Zone profonde			
		Basses Fréquences		Hautes Fréquences		Basses Fréquences		Hautes Fréquences	
		RI	RD	RI	RD	RI	RD	RI	RD
Tracé de rayons	Bellhop (Porter et Liu)								
Mode Normaux	Kraken (Porter)								
Équation parabolique	RAM (Collins)								

Adéquat

Pas adéquat

4.4 CALIBRATION ACTIVE

L'obtention d'une modélisation calibrée nécessite de procéder à une phase de mesures actives à l'échelle de la zone étudiée. Cette dernière consiste à faire se propager dans la zone ciblée, via la chaîne de calibration, des signaux acoustiques dont le niveau et la forme sont connus et contrôlés par ordinateur.

Ci-dessous quelques exemples de signaux émis et leurs niveaux d'émission (**Figure 60**, **Figure 61**, **Figure 62**) :

² Variation des paramètres du milieu de propagation en fonction de la distance

³ Les paramètres du milieu de propagation ne varient pas avec la distance

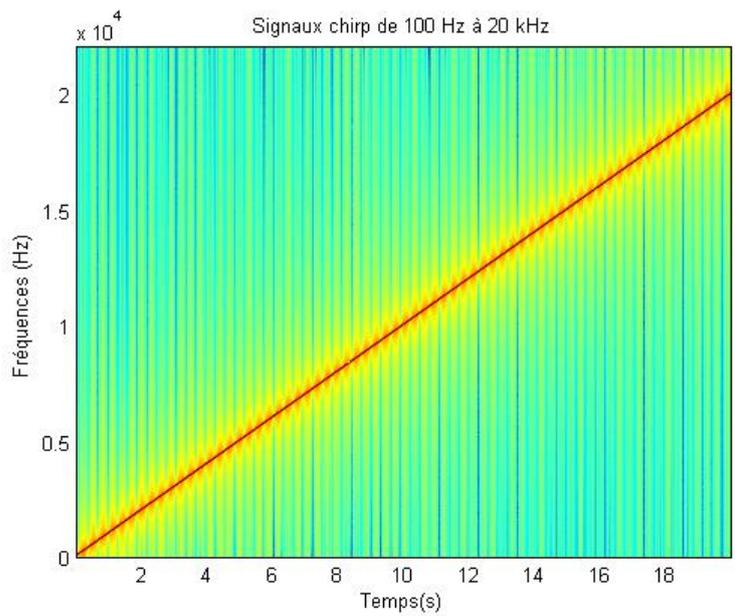


Figure 60 : la figure illustre le spectrogramme du Signal Chirp (signal modulé en fréquence) de 100 Hz à 20 KHz pour trouver la fonction du transfert de toutes les fréquences du milieu de propagation. Les couleurs présentent l'intensité du signal. Plus la couleur est rouge plus l'intensité du signal est élevée.

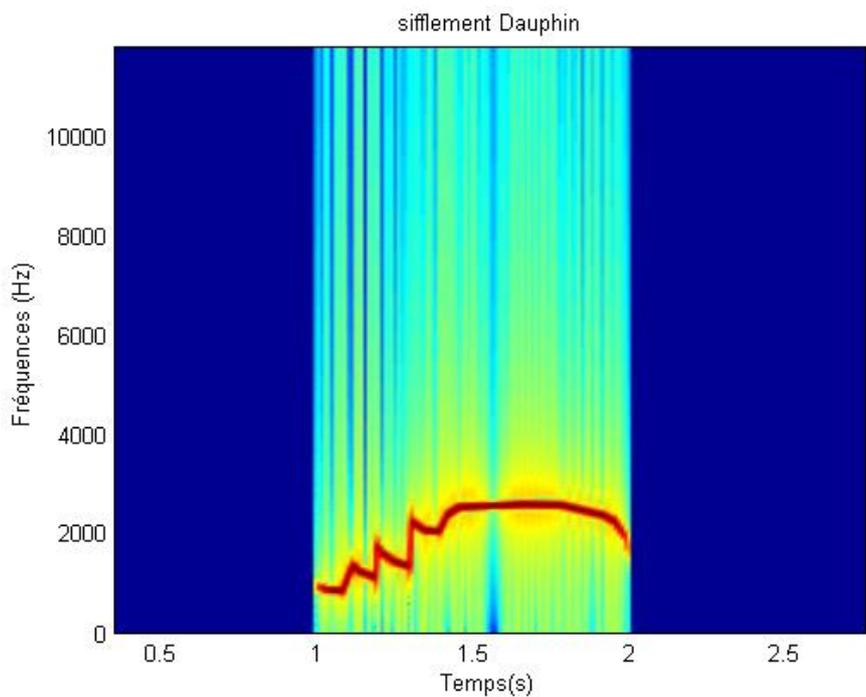


Figure 61 : La figure illustre le spectrogramme d'un sifflement de dauphin utilisé pour étudier l'effet du masquage avec le bruit ambiant et la distance maximal de détection sur les enregistreurs.

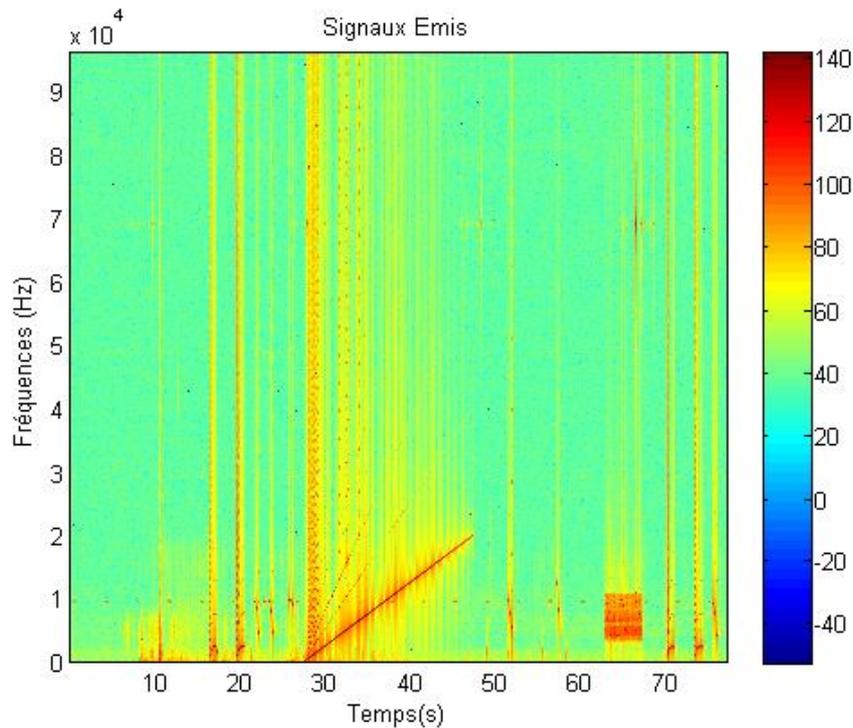


Figure 62 : La séquence des signaux envoyés pour chaque point mesuré à 1 m de l'émetteur (Lubell). La figure illustre le spectrogramme des différents types de signaux envoyés

La séquence est constituée d'un ensemble de signaux naturels comme des sifflements de dauphin et des signaux artificiels comme des signaux modulés en fréquence. La durée de chaque séquence est d'environ une minute. Les émissions sont réalisées à partir d'un ensemble de positions (voir **Figure 64** **Figure 65**) choisies (15, 50, 100, 200, 500 et 1000 m) à différents volumes sonores (20%, 50% et 100%) et sont captées par un enregistreur. La calibration in situ des enregistreurs s'est déroulée le 20/11/2020. La comparaison des niveaux des résultats modélisés avec les niveaux réellement mesurés permet d'identifier les paramètres du milieu et donc de calibrer le modèle.

- Matériels utilisés pour la calibration active (**Figure 63**)
 - Enregistreur autonome ;
 - Transmetteur Lubel© (A) ;
 - Système de contrôle des émissions par ordinateur (B).



Figure 63 : Illustration du matériel utilisé pour la calibration active des enregistreurs.

- Campagnes de calibration

L'ensemble des enregistreurs déployés au cours de cette étude ont été soumis à une calibration in situ. Les **Figure 64** et **Figure 65** ci-dessous, illustrent les points d'émission pour la calibration dernière de H1 et H2 en novembre 2020 (**Annexe 7.5**).

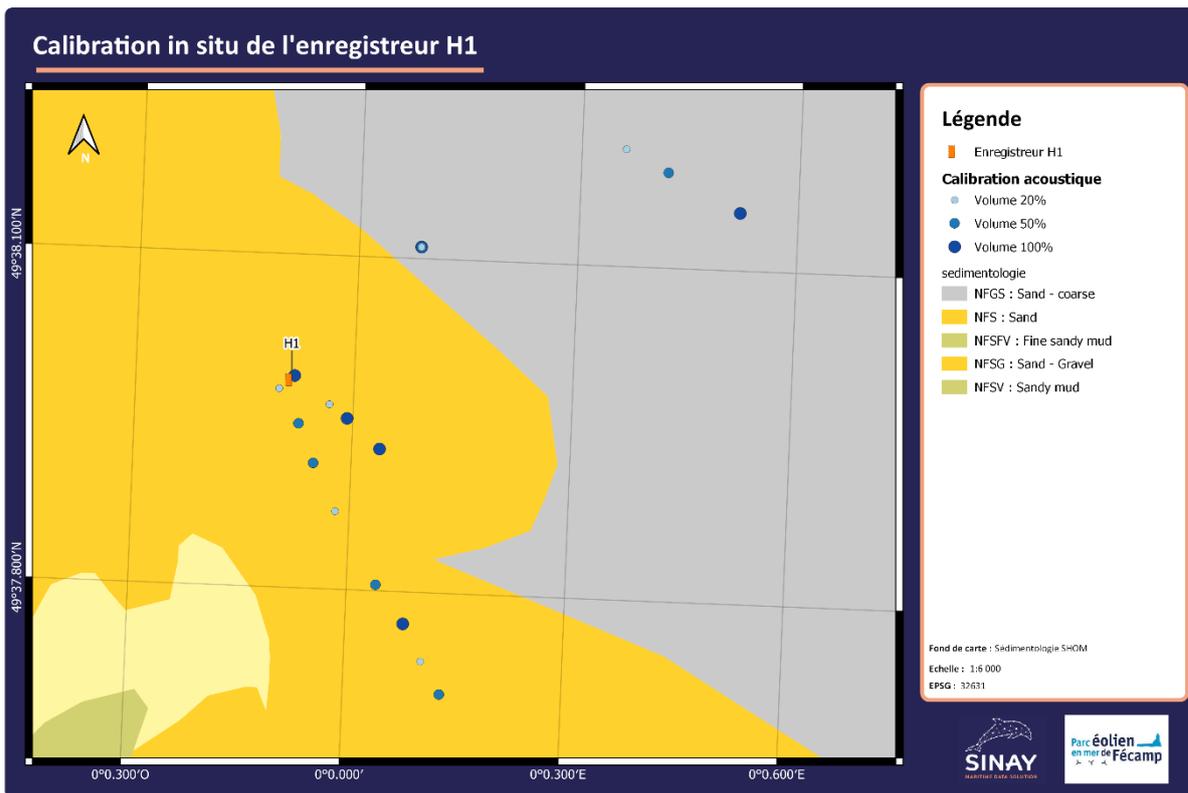


Figure 64 : Calibration active de l'enregistreur H1 Sylence EA-SDALP le 20/11/2020.

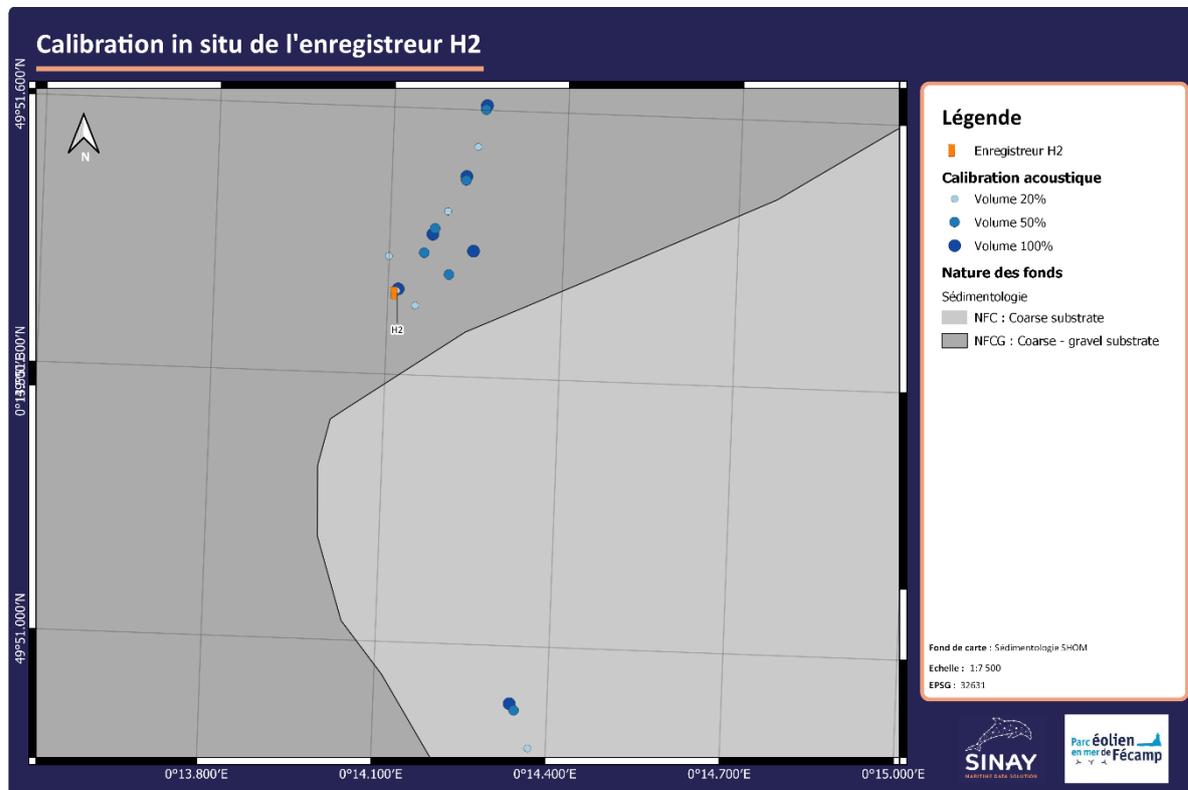


Figure 65 : Calibration active de l'enregistreur H2 Sylence EA-SD14 , le 20/11/2020.

4.5 CALIBRATION PASSIVE

Cette phase consiste à enregistrer in situ et caractériser les signaux émis (niveau et fréquence de bruit rayonné) durant la phase initiale pour calibrer et valider les résultats de modélisation.

Les résultats de modélisation aux mesures ponctuelles réalisées ont été comparés afin de les valider à l'échelle de toute la zone étudiée. En effet, ce mode opératoire permet de valider le modèle et ainsi de produire des cartographies sonores calibrées représentatives à l'échelle locale.

Pour cette tâche, il est nécessaire de sélectionner tous les bateaux qui sont passés à côté de l'enregistreur, de 7 km à quelques centaines de mètres, durant la période d'enregistrement. Des mesures du niveau de bruit émis pour chaque type de bateau sont mesurés sur toute les bandes de tiers d'octaves (< 6 kHz). Ensuite les niveaux SL générés sont calculés pour chaque modèle : Randi, Ross, Wales et Simard. Les résultats de chaque modèle par rapport au niveau enregistré à chaque fréquence ont pu être comparés. Il a été constaté que les résultats des modèles sont proches des valeurs réelles mais à des fréquences différentes. Par exemple pour les basses fréquences (<150 Hz) ce sont les modèles de Ross et Randi qui correspondent le mieux aux données réelles, le modèle de Wales est le plus adapté de 150 à 200 Hz et le modèle de Simard pour les fréquences supérieures à 200 Hz.

4.6 RESULTATS DE LA MODELISATION

La modélisation du bruit ambiant sur la zone d'étude est effectuée à l'échelle d'un an de trafic maritime, du 01/01/19 jusqu'à 31/12/19. Une simulation du niveau de bruit sur toute la hauteur d'eau est exécutée pour chaque scénario. Ces scénarios prennent en considération l'ensemble des navires présents sur la zone d'étude durant un intervalle de temps de 20 minutes. Avec ces échantillons, des cartes sont produites toutes les 8 heures sur la totalité de la période, conformément à la norme MFCD. Les échantillons du temps sont choisis comme suit : 8 heures du matin pour la journée, à 16 heures pour l'après midi et à minuit pour la nuit.

La **Figure 66** présente un exemple de résultat de simulation de bruit généré par le trafic maritime, à la surface à un instant T (la conf_2019_08_12_0_00_00 à 8 heures). Elle indique la distribution spatiale du bruit ambiant à l'échelle de la zone d'étude. Cet exemple permet de montrer un scénario typique d'environ 100 bateaux et l'effet de chaque type, taille et vitesse, de navire sur la zone d'étude.

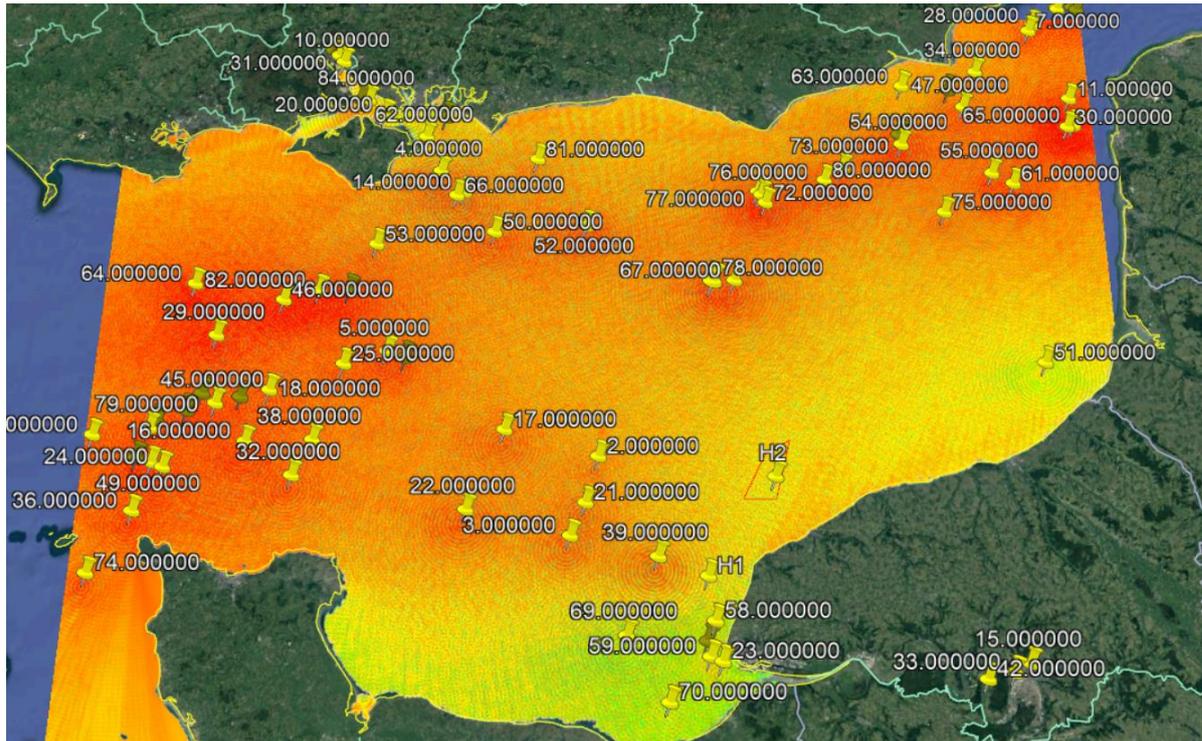


Figure 66 : Illustration d'une simulation de bruit généré par le trafic maritime avec 84 bateaux à un instant t . Chaque icône jaune sur la carte présente l'emplacement d'un bateau sur le réseau AIS.

Comme l'illustre la figure, les niveaux de bruit sont bas (< 80 dB), sur les côtes vu la faible hauteur d'eau et la forte absorption du milieu des basses fréquences. Le niveau de bruit est assez élevé autour des sources (> 130 dB), et la propagation des ondes est importante surtout pour les grands navires avec des rayons de 10 km autour de la source avec un niveau qui dépasse les 100 dB.

La présence de plusieurs bateaux impacte le bruit ambiant de toute la partie nord et au milieu du chenal de la zone d'étude. Ceci pourrait expliquer la faible présence des mammifères marins sur la zone dans la journée. Sur le reste de la zone d'étude le bruit est hétérogène, ceci est dû à la distribution aléatoire des bateaux et surtout à la bathymétrie.

Les cartes générées, pour chaque scénario des données AIS, sont disponibles en format Png, KML et KMZ. Chaque carte présente le bruit généré par un ou plusieurs bateaux présents au même moment sur la zone d'étude.

Afin d'avoir une vision plus fine de la distribution spatiale du bruit durant toute la période de l'étude, l'ensemble des cartes calculées ont été étudiées avec des méthodes statistiques. Pour cela, les cartes de bruit dans la zone d'étude sont établies et présentées par percentile. Leur définition est donnée par la norme internationale ISO 1996-1 : 2003 (E), spécifiant les percentiles comme les niveaux de dépassement. Selon cette définition, le percentile N est le niveau de bruit dépassé pendant N % du temps de la période d'étude. Par conséquent, les niveaux exprimés en percentiles montrent pour chaque point de la zone d'étude combien de temps un niveau de bruit est dépassé au cours de la période d'étude.

Des calculs statistiques réalisés sont basés sur les résultats des percentiles pour chaque saison de l'année 2019.

Les résultats ci-dessous présentent les percentiles 80 (**Tableau 14**), 50 (**Tableau 15**) et 5 (**Tableau 16**), ce qui signifie que les niveaux de bruit dépassent le niveau présenté respectivement pendant 80

%, 50 % et 5 % du temps. Ces figures présentent le niveau de bruit à la surface dans la bande de fréquence de [63 Hz à 4 kHz].

Remarque :

Les études réalisées avec ces modèles de simulation donnent une idée globale sur le niveau du bruit généré par le trafic maritime pendant la période sélectionnée. Cependant, il est important de considérer que le niveau du bruit calculé avec les modèles de simulation ne sont pas comparables avec les résultats de mesures pendant un enregistrement complet, pour plusieurs raisons :

- 1- Pour comparer les résultats de mesures avec les modèles il faut reprendre un scénario à un instant précis comme nous l'avons fait pour la calibration.
- 2- Ces études statistiques sont basées sur des échantillons des scénarios et non pas sur toute la période.
- 3- Pour chaque point de la carte, la contribution de bruit des navires sur la zone est uniquement prise en compte. Les moments du silence ou il y a la contribution du bruit naturel n'ont pas été retenus.

Quel que soit la période ou la saison, les résultats d'étude de bruit sont hétérogènes, ceci est dû au nombre de bateaux présents sur la zone, leur distribution aléatoire, et à la bathymétrie. Cependant il est possible de remarquer les effets de la variation de la bathymétrie sur la propagation des ondes acoustiques ainsi que les routes maritimes. L'intensité du bruit est proportionnelle à la profondeur.

De plus, une légère différence des niveaux de bruit entre les saisons est constatée, notamment sur les percentiles 50% et 80%. Ceci est dû à l'accroissement du trafic maritime tel que celui lié à la plaisance et passages de ferry. Les effets de thermocline (variation rapide de la température de surface) n'affectent pas les résultats à cause de la faible profondeur de la zone.

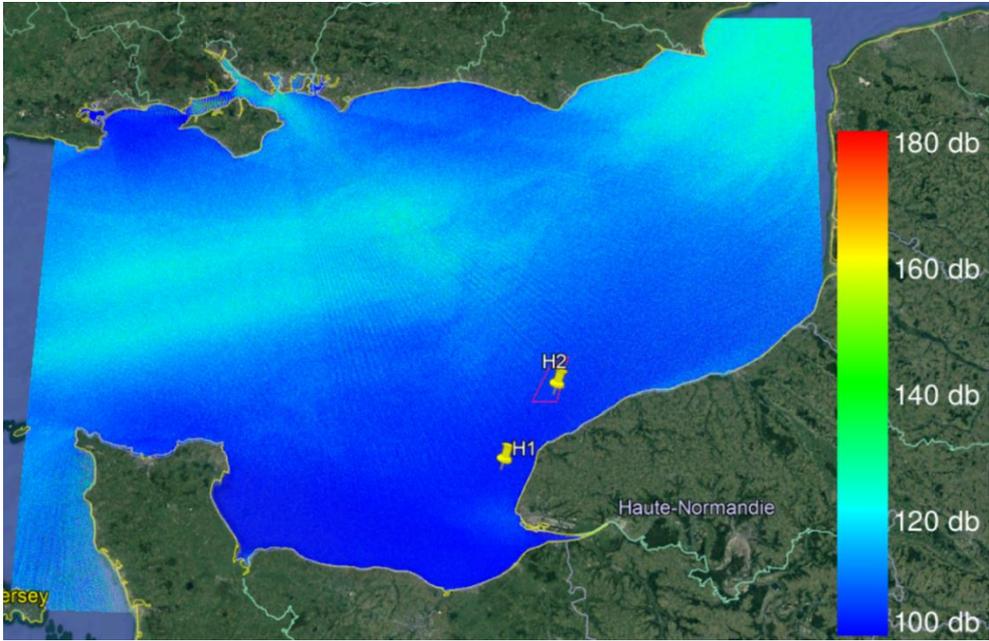
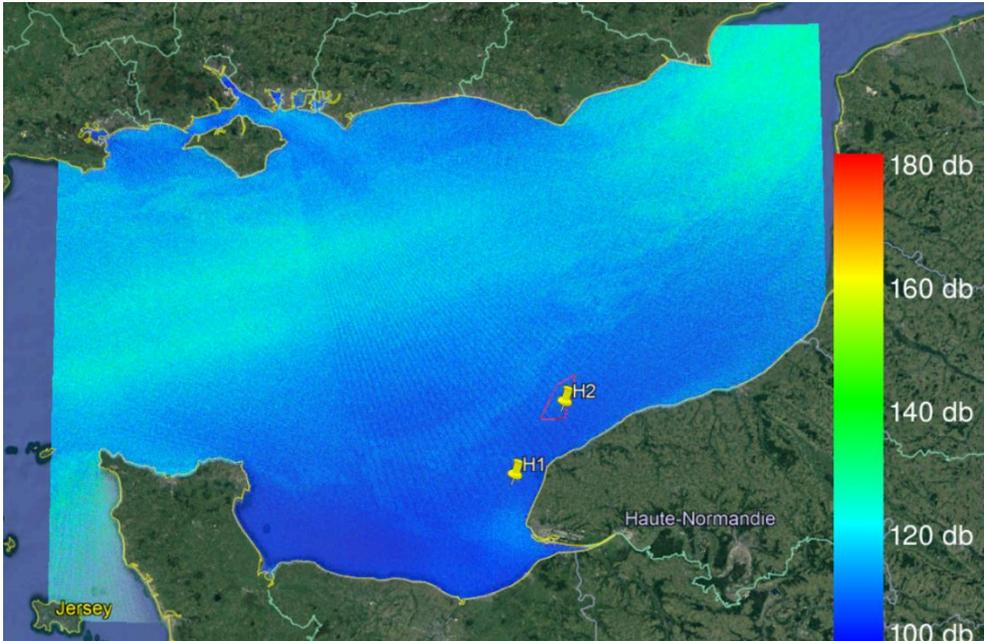
Les résultats des modèles montrent que pour toutes les saisons le bruit dans le chenal dépasse les 90 dB pendant 80% du temps. Cette zone est affichée en bleu pour le percentile 80%, en vert pour le percentile 50% et en rouge pour les percentiles 5%. Ces résultats s'expliquent par le nombre de bateaux qui traversent le chenal et impactent cette zone.

Cette étude statistique sur la zone éloignée permet de conclure que le bruit généré par le trafic maritime est plus élevé sur les côtés nord (surtout à côté du port de Southampton), à la sortie du chenal et sur la route maritime avec environ 15/20 dB de plus pour les percentiles 50% (médiane comparée au reste de la zone). Sur le reste de la zone les niveaux de bruit les plus élevés sont dans les zones les plus profondes (**Figure 52**). L'augmentation du niveau de profondeur réduit le nombre des multiples réflexions sur le fond et favorise la propagation des ondes de basses fréquences qui ont le niveau le plus élevé.

Le niveau de bruit généré par les bateaux, sur toutes les bandes de basses et moyennes fréquences, domine 90% du temps le niveau de bruit naturel (vent et houle) sur une grande partie de la zone d'étude (voir étude fréquentielle).

Les niveaux du bruit sur la zone du parc et la zone témoin sont d'environ 100 dB pendant 80% du temps, d'environ 120 dB pendant 50% du temps et supérieur à 145 dB pendant 5% du temps.

Tableau 14 : Modélisation du niveau de bruit dépassant le niveau indiqué pendant 80% du temps pour les différentes saisons (automne, hiver, printemps et été).

Percentile 80 %	Le niveau du bruit dépasse le niveau en dB indiqué sur la carte pendant 80% du temps
AUTOMNE	
HIVER	

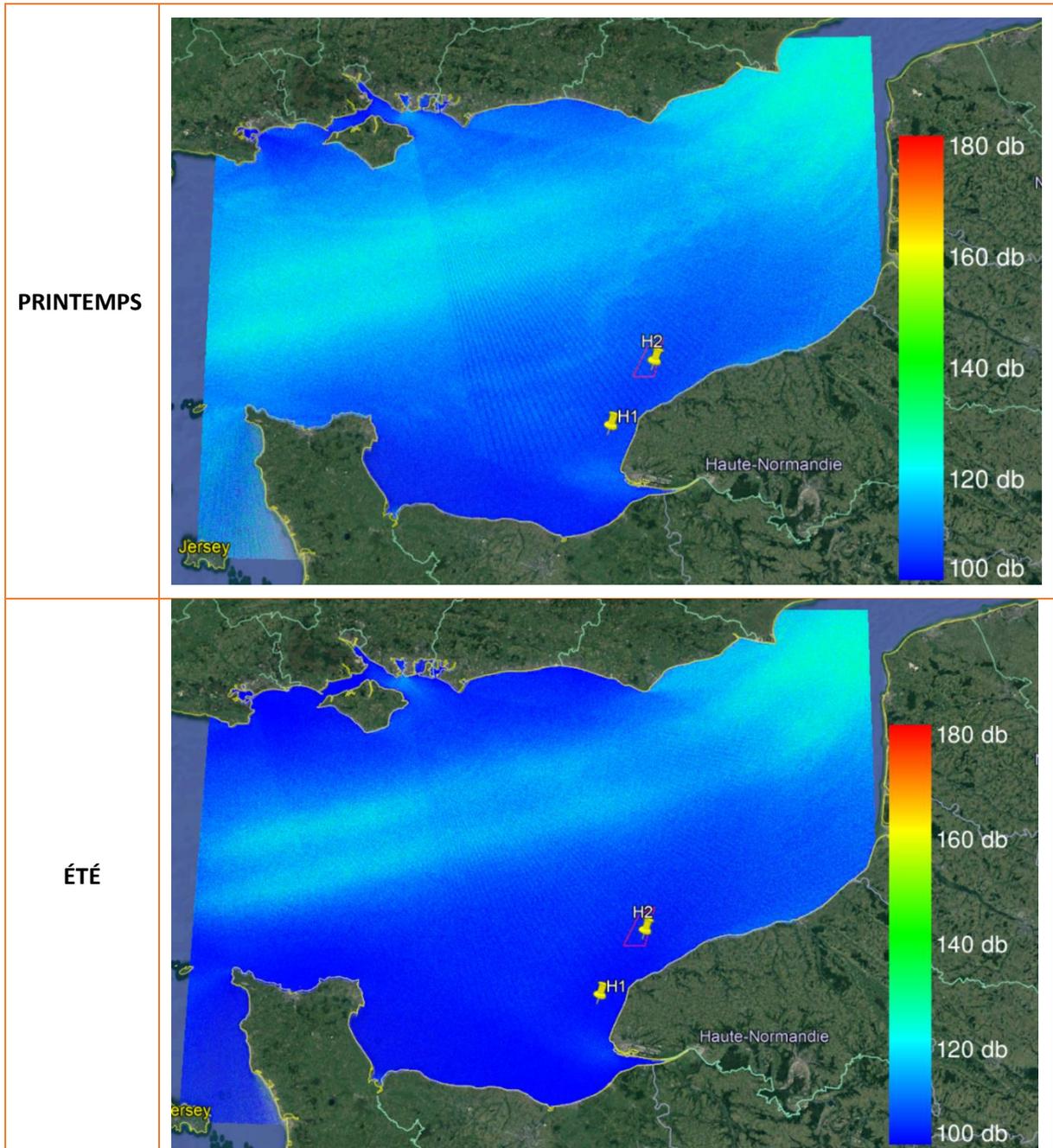


Tableau 15 : Modélisation du niveau de bruit dépassant le niveau indiqué pendant 50% du temps pour les différentes saisons (automne, hiver, printemps et été).

Percentile 50 %	Le niveau du bruit dépasse le niveau en dB indiqué sur la carte pendant 50% du temps
AUTOMNE	
HIVER	

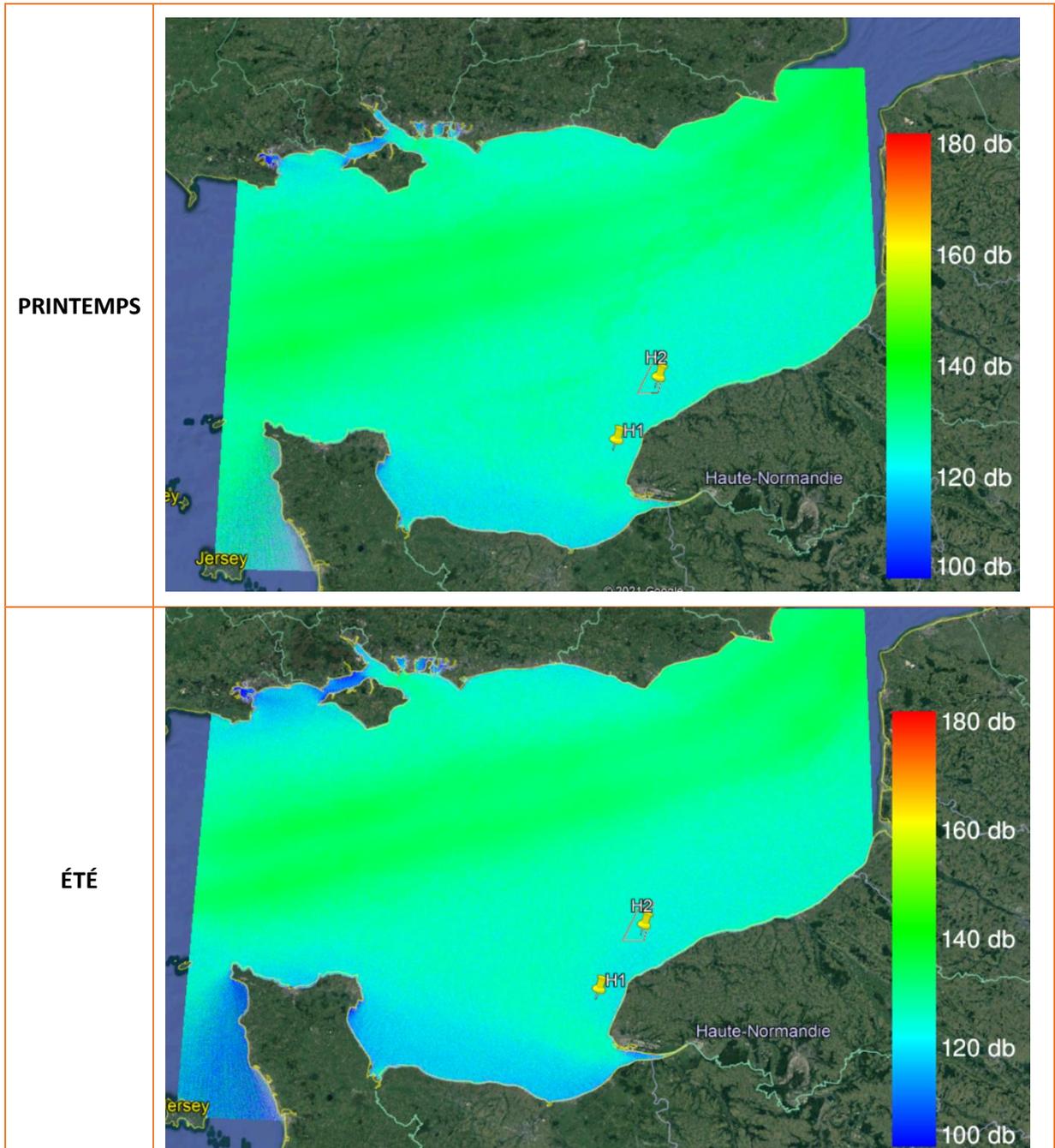
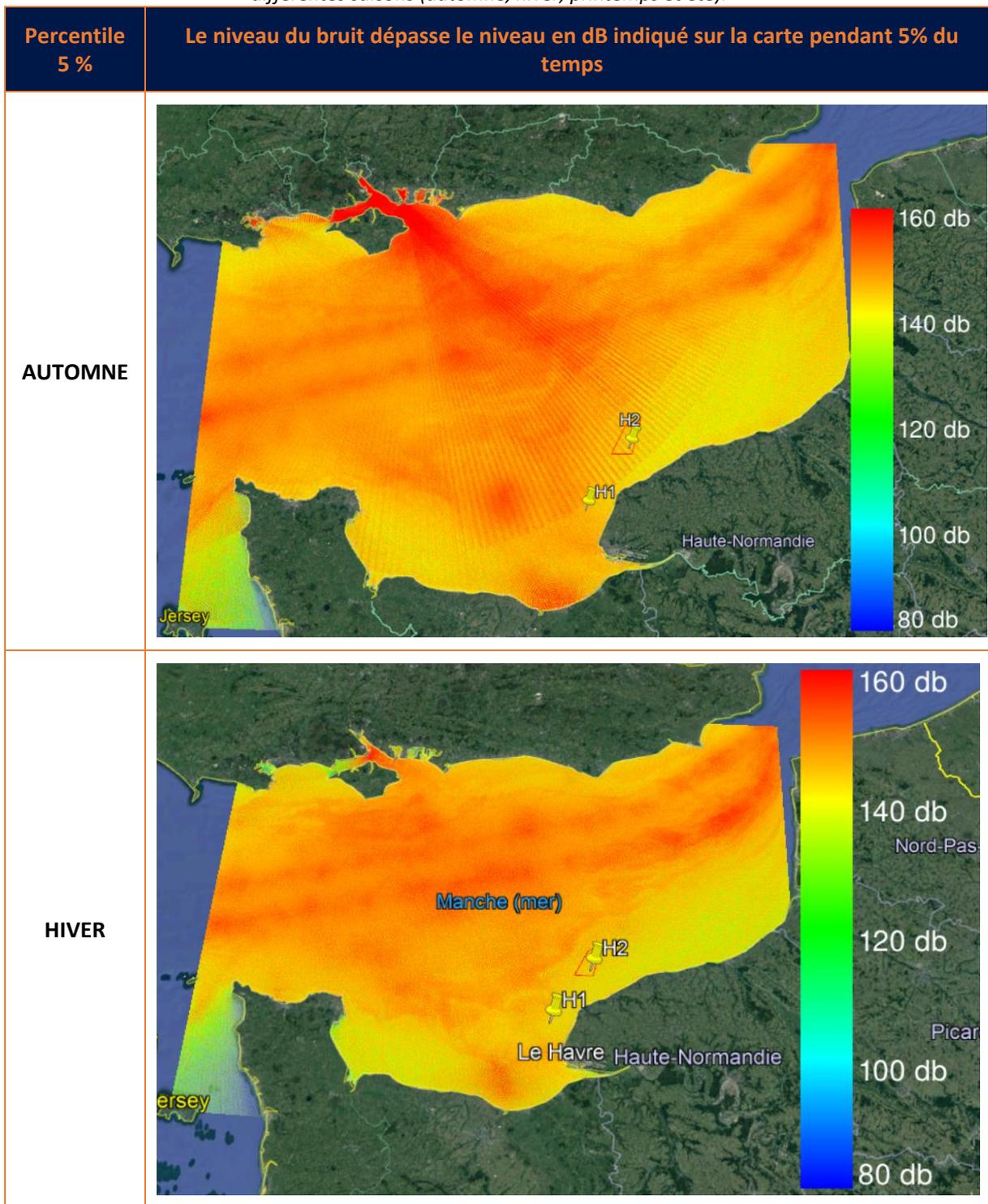
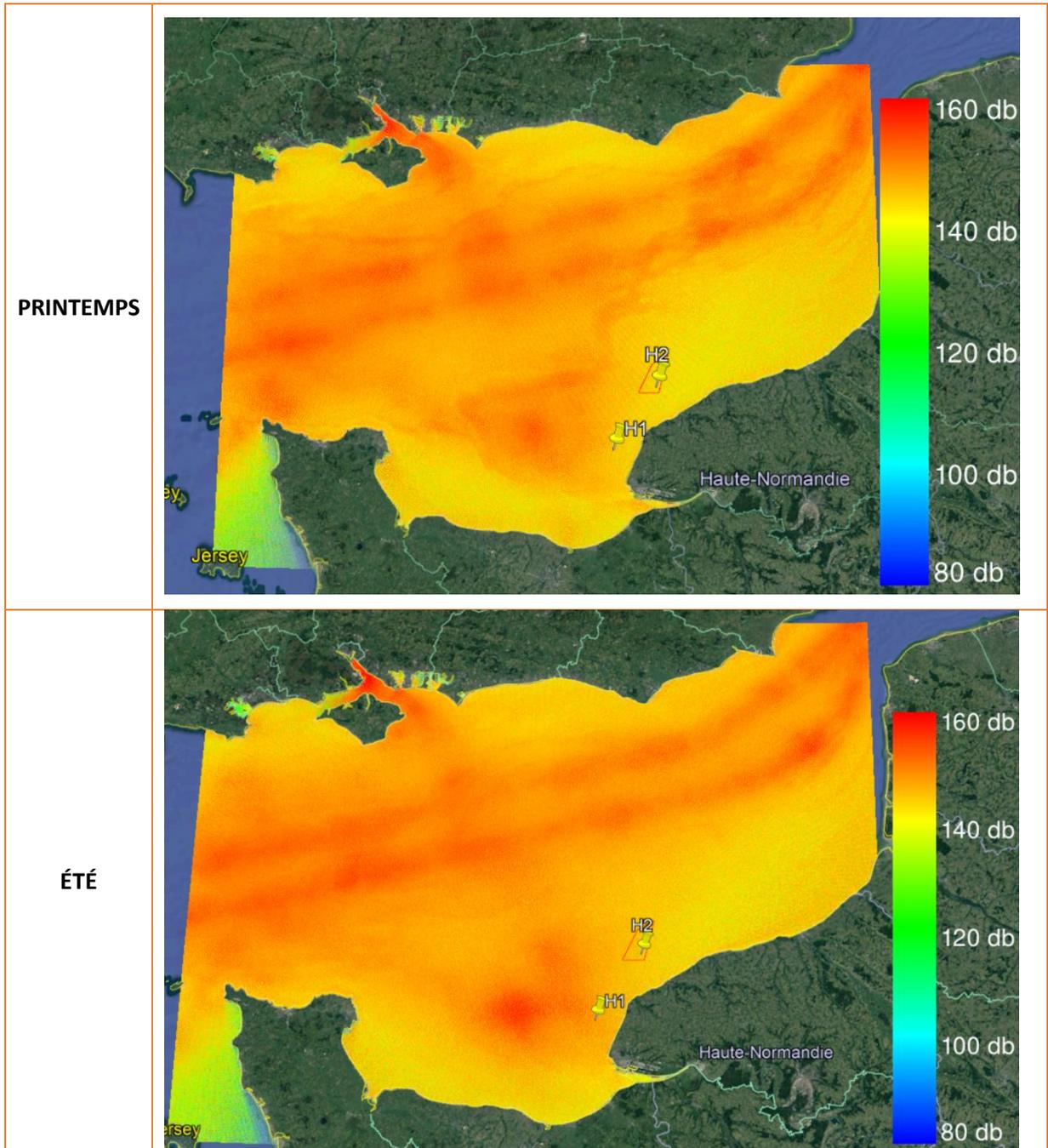


Tableau 16 : Modélisation du niveau de bruit dépassant le niveau indiqué pendant 5% du temps pour les différentes saisons (automne, hiver, printemps et été).





5 CONCLUSION

Ce rapport est consacré à la caractérisation des niveaux de bruit ambiant et au suivi acoustique passif des mammifères marins pour l'état de référence dans la zone du futur parc d'éolien en mer de Fécamp. Les moyens matériels, le protocole et la méthodologie appliqués y sont décrits. L'approche BACI (acronyme anglais pour *Before After Control Impact*) est à la base des choix méthodologiques pour la collecte de données et les analyses menés.

Le concept à la base de BACI est la comparaison des paramètres mesurés sur deux situations géographiques : un site proche des travaux (impact) et un site au loin (zone témoin); et à deux moments différents : avant et après le démarrage des travaux. Dans ce rapport, les paramètres sont les niveaux de bruit ambiant sous-marin et la présence de mammifères marins. Cependant, comme il s'agit d'un état de référence, les travaux de construction n'ont pas encore commencé pendant la réalisation de cette étude. Pour cela, les comparaisons entre période avant et après les travaux mais aussi la plupart des comparaisons entre zone impact et zone témoin seront à mener lors de la prochaine phase du projet de parc éolien en mer (suivi pendant les travaux) avec des méthodes statistiques adéquates et maîtrisées par l'équipe Sinay.

Cette étude présente la caractérisation des niveaux de bruit ambiant et la présence de mammifères marins sur l'ensemble de la zone d'étude pour toute la période de déploiement des instruments de mesure (mars 2019 – mars 2021). Un premier niveau de comparaisons entre zones témoin et impact est également fourni, ainsi que des analyses détaillées des évolutions temporelles des indicateurs le long de la période de l'étude :

- **En ce qui concerne le bruit sous-marin**, cette étude consiste à analyser l'ambiance sonore régnant dans la zone du projet. Pour ce faire, deux enregistreurs autonomes de type RTsys ont été déployés dans la zone du projet, le premier dans la zone du parc et le deuxième à l'extérieur (zone témoin) sur 5 périodes de 15 jours dans la période d'étude. Des campagnes de calibration, active et passive, sont effectuées à l'échelle de la zone d'étude pour déterminer avec le maximum de précision les paramètres du milieu de propagation et les niveaux des sources de bruit anthropique. Finalement, une étude du bruit anthropique est réalisée avec des modélisations du bruit généré par l'ensemble des navires présents sur la zone d'étude.

Une grande quantité de données acoustiques au format Wave a été récoltée et analysée (plus de 7 000 Go). Les méthodes d'analyses utilisées ont permis de mesurer l'évolution du niveau de bruit dans les deux zones d'étude (zone du parc et zone témoin), de caractériser les bruits typiques auxquels la vie marine est exposée quotidiennement et de connaître différents indicateurs statistiques des niveaux de bruit.

L'analyse de ces enregistrements a montré des niveaux de bruit élevés, correspondant au niveau 7 des indices de trafic maritime du modèle de Wenz (le plus élevé) pour la zone témoin, et 6 pour la zone du parc. Le trafic est composé principalement des passages des cargos et ferries, ainsi que, en moindre mesure, des activités de pêche.

En particulier, la situation de la zone témoin n'est pas typique des bruits ambiants d'origine naturelle. Les analyses ont révélé qu'il n'y a pas de grande différence entre le jour et la nuit, notamment pour les basses et moyennes fréquences, en relation avec les activités quotidiennes dans la zone. Des comparaisons avec les conditions météorologiques révèlent également que le bruit ambiant sous-marin est dominé par le trafic maritime à des plages de fréquence jusqu'à 10 kHz, où d'habitude le vent est la source de bruit principale. La zone

témoin, sensée ne pas être atteinte des niveaux de bruit engendrés par les chantiers de construction du parc éolien, apparaît donc comme déjà dégradée par le trafic maritime. Il sera important de tenir compte de cette situation initiale lors des comparaisons avant et après démarrage des travaux (analyses BACI).

Les résultats de modélisation dans la zone ont également permis de distinguer les bruits notables auxquels le secteur est exposé et d'identifier les zones géographiques où ses bruits se concentrent. Les cartographies sonores saisonnières montrent en effet les voies de navigation de la Manche, orientées Est-Ouest, ainsi que les routes empruntées par les ferries entre les côtes françaises et anglaises. Les paramètres du milieu de propagation des ondes acoustiques dans les zones d'étude ont montré une forte absorption des basses fréquences et une réponse plus favorable pour les propagations des ondes de moyennes et hautes fréquences. Ceci est dû en particulier aux faibles profondeurs de la zone d'étude <150 mètres.

De niveaux élevés de bruit sous-marin dominant le paysage sonore et engendrent une exposition chronique des groupes faunistiques fréquentant la zone. Bien que ces niveaux de bruit n'atteignent pas les seuils d'impacts les plus forts (perte de capacités auditives), ils constituent déjà une source importante de dérangement, de stress et de masquage des signaux de communication des cétacés.

- **En ce qui concerne les mammifères marins**, l'étude consiste à analyser les indicateurs de présence de mammifères marins dans la zone du projet. Pour ce faire, trois capteurs de type CPOD sont déployés dans la zone du projet, deux en zone du parc (zone 'impact') et le troisième à l'extérieur ('zone témoin'). Quatre déploiements ont été effectués couvrant 11,5 mois entre mars 2019 et mars 2020. Les algorithmes de détection extraient les clics de **marsouin et de delphinidés** comme *Dpm*, de l'acronyme anglais *Detection positive minutes* : il s'agit du nombre de minutes contenant des clics.

Ls *Dpm* est un indicateur d'activité bioacoustique qui révèle la présence des espèces sur une zone. Des valeurs élevées de *Dpm* doivent être interprétées comme une activité bioacoustique intense, et donc une présence confirmée d'une certaine espèce sur la zone d'étude.

D'après les valeurs de *Dpm* de tous les capteurs agrégés, nous avons observé la présence de delphinidés et de marsouins sur la zone du projet d'éoliennes pendant toute la période de l'étude, chaque déploiement présentant à la fois des détections de marsouin et de delphinidé. **Le marsouin commun est l'espèce majoritairement détectée.** Selon nos résultats, la zone d'étude est fréquentée avec la même intensité sur des années différentes (2020 et 2021), avec en moyenne 14 minutes de détection de clic de marsouin par jour. Au vu des très faibles densités de marsouin (seulement 2 individus par maille de 10 km² en moyenne sur l'ensemble de la Manche selon l'étude de Laran et al, 2017) nous déduisons que la zone d'étude et **une partie de son habitat exploitée régulièrement.**

En ce qui concerne les delphinidés, nous avons constaté à la fois une présence considérablement plus faible que pour les marsouins (jusqu'à 12 fois moins de détections en 2021) et une différence importante entre 2020 et 2021 (-47,8% d'activité bioacoustique). Cela indiquerait que **la zone est exploitée moins régulièrement par les delphinidés.** Au vu de nos résultats et grâce aux connaissances bibliographiques à disposition, **l'activité bioacoustique enregistrée pourrait être produite par des individus de grand dauphin appartenant à des populations offshores fréquentant sporadiquement la zone.** Il n'est pas impossible par ailleurs que d'autres espèces de delphinidés contribuent aux taux d'activité

bioacoustique que nous avons enregistrée. Les faibles taux d'activité bioacoustique sur le capteur le plus proche de la côte sont en accord en revanche avec l'absence de population côtières de delphinidés sur la zone⁴.

D'après les données agrégées par saison, nous avons observé une **activité bioacoustique intense pour le marsouin à la fin de l'automne et en hiver**, quand la probabilité de détection est maximale (3% des enregistrements contenant des détections, contre 1% en moyenne sur l'année). La probabilité de détection décroît ensuite au printemps et en été pour remonter à nouveau à l'automne. Ces résultats sont en accord avec les mouvements connus de l'espèce entre les portions occidentale et orientale de la Manche.

Concernant les delphinidés, l'évolution temporelle est similaire aux marsouins et montre des probabilités de détection plus importantes sur la période automne-hiver. Le pic de détection est observé à l'automne, quand la probabilité de présence est environ 0,4%. Cela contraste avec l'écologie macro-échelle pour les delphinidés, en particulier pour le grand dauphin, qui en revanche est plus abondant en été qu'en hiver sur la Manche (Laran et al., 2017). Néanmoins, la zone orientale de la Manche reste peu favorable tout au long de l'année selon Lambert et al., 2017 et l'augmentation de l'abondance semble être limitée à la partie occidentale. **Le pic de présence de delphinidés sur la zone d'étude en hiver pourrait donc être une caractéristique locale à considérer pour la suite des suivis.**

En ce qui concerne les **rythmes journaliers, il est possible d'apprécier des valeurs plus élevées le soir et la nuit par rapport au milieu de journée**, mais de façon plus marquée pour le marsouin par rapport aux delphinidés. Ces résultats sont en accord aussi avec la bibliographie (par exemple : (Carlström, 2005)), et l'explication la plus probable est une augmentation des émissions de clics pendant la nuit afin de pouvoir continuer de « voir » (acoustiquement), d'explorer son environnement et/ou de s'alimenter en absence de lumière.

Cette étude a permis de caractériser l'ambiance sonore et décrire la fréquentation du site par les cétacés, avant le démarrage des travaux. Les évolutions temporelles ont été présentés et les principaux aspects décrivant le paysage sonore sous-marin et l'utilisation de cette portion d'habitat par les cétacés ont été dégagés. De nombreuses confirmations d'éléments connus en bibliographie sont mis en évidence, ainsi que certaines caractéristiques locales particulières, qui seront à considérer soigneusement lors des phases successives du projet d'éoliennes en mer.

⁴ [https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/intermediate-assessment-2017/biodiversity-status/marine-mammals/abundance-distribution-cetaceans/abundance-and-distribution-coastal-bottlenose-dolphins/#:~:text=The%20current%20bottlenose%20dolphin%20\(Tursiops,at%203%2C000%20to%204%2C000%20individuals.](https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/intermediate-assessment-2017/biodiversity-status/marine-mammals/abundance-distribution-cetaceans/abundance-and-distribution-coastal-bottlenose-dolphins/#:~:text=The%20current%20bottlenose%20dolphin%20(Tursiops,at%203%2C000%20to%204%2C000%20individuals.)

6 REFERENCES

ACTIMAR. (2014). *Etude d'impact hydrodynamique et sédimentaire du parc éolien offshore de Fécamp*.

Agardy, T., Aguilar de Soto, N., Cañadas, A., Engel, M. H., Frantzis, A., Hatch, L., Hoyt, E., Kaschner, K., LaBrecque, E., Martin, V., Notarbartolo di Sciara, G., Pavan, G., Servidio, A., Smith, B., Wang, J., Weilgart, L., Wintle, B., & Wright, A. (2007). *A Global Scientific Workshop on Spatio-Temporal Management of Noise* (Numéro October).

Aguilar de Soto, N., Cañadas, A., Frantzis, A., & Notarbartolo di Sciara, G. (2013). A voluntary moratorium to naval sonar : From the Canary Islands success to the Mediterranean. *Effects of Noise on Aquatic Life*.

Aguilar de Soto, N., Delorme, N., Atkins, J., Howard, S., Williams, J., & Johnson, M. (2013). Anthropogenic noise causes body malformations and delays development in marine larvae. *Scientific reports*, 3, 2831. <https://doi.org/10.1038/srep02831>

Aguilar de Soto, N., Johnson, M., Madsen, P. T., Tyack, P. L., Bocconcelli, A., & Borsani, F. J. (2006). Does Intense Ship Noise Disrupt Foraging in Deep-Diving Cuvier'S Beaked Whales (Ziphius Cavirostris)? *Marine Mammal Science*, 22(3), 690-699. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2006.00044.x>

Anderson, D. (2001). The need to get the basics right in wildlife studies. *Source: Wildlife Society Bulletin*, 29, 1294-1297. <https://doi.org/10.2307/3784156>

Anderson, D. R. (2003). Response to Engeman : Index Values Rarely Constitute Reliable Information. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 31(1), 288-291.

André, M., Solé, M., Lenoir, M., Durfort, M., Quero, C., Mas, A., Lombarte, A., van der Schaar, M., López-Bejar, M., Morell, M., Zaugg, S., & Houégnigan, L. (2011). Low-frequency sounds induce acoustic trauma in cephalopods. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(9), 489-493. <https://doi.org/10.1890/100124>

André, Y. (2004). *Protocoles de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune* (p. 20). LPO.

- Andrew, R. K., Howe, B. M., Mercer, J. A., & Dzieciuch, M. A. (2002). Ocean ambient sound : Comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast. *Acoustics Research Letters Online*, 3(2), 65-70. <https://doi.org/10.1121/1.1461915>
- Arveson, P. T., & Vendittis, D. J. (2000). Radiated noise characteristics of a modern cargo ship. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(1), 118-129. <https://doi.org/10.1121/1.428344>
- ASCOBANS. (2009). Agreement on the Conservation of Small Cetaceans of the Baltic, North East Atlantic, Irish and North Seas. *European Whales, Dolphins, and Porpoises*, 295-299. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819053-1.00015-6>
- Bellmann, M. A., May, A., Wendt, T., Gerlach, S., Remmers, P., & Brinkmann, J. (2020). *Underwater noise during percussive pile driving : Influencing factors on pile-driving noise and technical possibilities to comply with noise mitigation values ERA Report.*
- Benedetti-Cecchi, L. (2001). Beyond Baci : Optimization of Environmental Sampling Designs through Monitoring and Simulation. *Ecological Applications*, 11(3), 783-799. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/3061116>
- Benhemma-Le Gall, A., Graham, I. M., Merchant, N. D., & Thompson, P. M. (2021). Broad-Scale Responses of Harbor Porpoises to Pile-Driving and Vessel Activities During Offshore Windfarm Construction. *Frontiers in Marine Science*, 8, 735. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.664724>
- BIOTOPE. (2014). *Eoliennes Offshore des Hautes Falaises*. 169.
- BIOTOPE. (2021). *Parc éolien en mer de Fécamp – Suivi de l’avifaune et de la mégafaune marine.*
- Boyd, I., Brownell, B., Cato, D., Chris, C., Costa, D., Evans, P., Gedanke, J., Gentry, R., Gisiner, B., Gordon, J., Jepson, P., Miller, P., Rendell, L., Tasker, M., Tyack, P., Vos, E., Whitehead, H., Wartzok, D., & Zimmer, W. (2008). *The effects of anthropogenic sound A draft research strategy* (Numéro June).
- Brandt, M. J., Dragon, A. C., Diederichs, A., Schubert, A., Kosarev, V., Nehls, N., Wahl, V., Michalik, A., Braasch, A., Ketzer, C., Todeskino, D., Gauger, M., Laczny, M., & Piper, W. (2016). *Effects of offshore pile driving on harbour porpoise abundance in the German Bight*. IBL/IFAO/Bio Consult SH.

- Brandt, M. J., Dragon, A.-C., Diederichs, A., Schubert, A., Kosarev, V., & Nehls, G. (2016). *Effects of offshore pile driving on harbour porpoise abundance in the German Bight* (Numéro June).
- Brandt, M. J., Nehls, G., & Diederichs, A. (2009). *Harbour porpoise responses to pile driving at the Horns Rev II offshore wind farm in the Danish North Sea* (Numéro February).
- Buckstaff, K. C. (2004). EFFECTS OF WATERCRAFT NOISE ON THE ACOUSTIC BEHAVIOR OF BOTTLENOSE DOLPHINS, TURSIOPS TRUNCATUS, IN SARASOTA BAY, FLORIDA. *Marine Mammal Science*, 20(4), 709-725. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2004.tb01189.x>
- Bureau Veritas. (2018). *Underwater Radiated Noise*.
- Carlström, J. (2005). DIEL VARIATION IN ECHOLOCATION BEHAVIOR OF WILD HARBOR PORPOISES. *Marine Mammal Science*, 21(1), 1-12. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2005.tb01204.x>
- Carstensen, J., Henriksen, O. D., & Teilmann, J. (2006). Impacts of offshore wind farm construction on harbour porpoises : Acoustic monitoring of echolocation activity using porpoise detectors (T-PODs). *Marine Ecology-progress Series - MAR ECOL-PROGR SER*, 321, 295-308. <https://doi.org/10.3354/meps321295>
- Castellote, M., Clark, C. W., & Lammers, M. O. (2012). Acoustic and behavioural changes by fin whales (*Balaenoptera physalus*) in response to shipping and airgun noise. *Biological Conservation*, 147(1), 115-122. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.12.021>
- Castellote, M., & Llorens, C. (2016). Review of the Effects of Offshore Seismic Surveys in Cetaceans : Are Mass Strandings a Possibility? *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 875, 133-143. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2981-8_16
- CDB. (2016). *Gestion des incidences des débris marins et du bruit sous-marin d'origine anthropique sur la diversité biologique marine et côtière*. Conférences des parties à la convention sur la diversité biologique, Cancún (Mexique), 4.
- CEFAS. (2004). *OFFSHORE WIND FARMS : Guidance note for Environmental Impact Assessment In respect of FEPA and CPA requirements*.

- Chapman, N. R. (1985). Measurement of the waveform parameters of shallow explosive charges. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 78(August 1985), 672-681.
- Clark, C. W., Ellison, W., Southall, B., Hatch, L., Van Parijs, S., Frankel, A., & Ponirakis, D. (2009). Acoustic masking in marine ecosystems : Intuitions, analysis, and implication. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 201-222. <https://doi.org/10.3354/meps08402>
- Claudiel, H., Lemoine, M., Laisné, C., Etienne, C., Milhe, A.-L., Couppa, S., & Cerruti, A. (2015). *Evaluation des interactions sur l'environnement des mesures prévue par les projets de schémas des structures de la Manche, du Calvados, de la Seine-Maritime, de la Somme, du Pas-de-Calais et du Nord* [Rapport définitif]. Comité régional conchyliculture - IN VIVO.
- CMS. (2011). *Convention sur les espèces migratrices : Nouvelles mesures visant à réduire la pollution acoustique sous-marine pour la protection des cétacés et autres espèces migratrices. PNUE/CMS/Résolution 10.24*. Conférence des Parties lors de sa 10ème réunion, Bergen.
- Coates, A., Raymond, K., & European Commission. (2008). *OSPAR Guidance on Environmental Considerations for Offshore Wind Farm Development*.
- Commission Particulière du Débat Public. (2019). *Mise à jour de l'état actuel des connaissances sur les impacts environnementaux des parcs éoliens offshore (2019)*.
- DAHG. (2014). *Guidance to Manage the Risk to Marine Mammals from Man-made Sound Sources in Irish Water*. Department of Arts, Heritage and the Gaelacht.
- Dähne, M., Gilles, A., Lucke, K., Peschko, V., Adler, S., Krügel, K., Sundermeyer, J., & Siebert, U. (2013a). Effects of pile-driving on harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) at the first offshore wind farm in Germany. *Environmental Research Letters*, 8(2), 025002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/025002>
- Dähne, M., Gilles, A., Lucke, K., Peschko, V., Adler, S., Krügel, K., Sundermeyer, J., & Siebert, U. (2013b). Effects of pile-driving on harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) at the first offshore wind farm in Germany. *Environmental Research Letters*, 8(2), 025002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/025002>

- de Jong, C. A. F., Ainslie, M. A., & Blacquièrre, G. (2011). *Standard for measurement and monitoring of underwater noise, Part II: procedures for measuring underwater noise in connection with offshore wind farm licensing*. TNO.
- DeRuiter, S. L., Bahr, A., Blanchet, M.-A., Hansen, S. F., Kristensen, J. H., Madsen, P. T., Tyack, P. L., & Wahlberg, M. (2009). Acoustic behaviour of echolocating porpoises during prey capture. *Journal of Experimental Biology*, 212(19), 3100-3107. <https://doi.org/10.1242/jeb.030825>
- Deruiter, S. L., Southall, B. L., Calambokidis, J., Zimmer, W. M. X., Sadykova, D., Falcone, E. a, Friedlaender, A. S., Joseph, J. E., Moretti, D., Schorr, G. S., Thomas, L., & Tyack, P. L. (2013). First direct measurements of behavioural responses by Cuvier's beaked whales to mid-frequency active sonar. *Biology letters*, 9(4), 20130223. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2013.0223>
- Diederichs, A., Nehls, G., Dähne, M., Adler, S., Koschinski, S., & Verfuß, U. (2008a). Methodologies for measuring and assessing potential changes in marine mammal behaviour , abundance or distribution arising from the construction , operation and decommissioning of offshore windfarms. Commissioned by COWRIE Ltd. In *Methods* (Numéro May). <https://doi.org/ISBN:978-0-9557501-2-0>
- Diederichs, A., Nehls, G., Dähne, M., Adler, S., Koschinski, S., & Verfuß, U. (2008b). *Methodologies for measuring and assessing potential changes in marine mammal behaviour, abundance or distribution arising from the construction, operation and decommissioning of offshore windfarms*. 92.
- Dunlop, R. A. (2019). The effects of vessel noise on the communication network of humpback whales. *Royal Society Open Science*, 6(11). <https://doi.org/10.1098/rsos.190967>
- European Commission. (2004). *Implementation of directive 2001/42/EC on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment*.
- European Commission. (2007). *Guidance document on the strict protection of animal species of Community interest under the Habitats Directive 92/43/EEC*.
- European Commission. Directorate-General for the Environment. (2011). *Wind energy developments and Natura 2000*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/85175>

- Farcas, A., Thompson, P., & Merchant, N. D. (2016). Underwater noise modelling for environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 57, 114-122.
- Fernandez, A., Arbelo, M., Deaville, R., Patterson, I. A. P., Castro, P., Baker, J. R., Degollada, E., Ross, H. M., Herraez, P., Pcknell, A. M., Rodriguez, F., HHowie, F. E., Espinosa, A., Reid, R. J., Jabert, J. R., Martin, V., Cunningham, A. A., & Jepson, P. D. (2004). Whales, sonar and decompression sickness (reply). *Nature*, 576(April), 575-576. <https://doi.org/10.1038/nature02527>
- Fernández, A., Arbelo, M., & Martín, V. (2013). Whales : No mass strandings since sonar ban. *Nature*, 497(7449), 317. <https://doi.org/10.1038/497317d>
- Filadelfo, R., Mintz, J., Michlovich, E., D'Amico, A., Tyack, P. L., & Ketten, D. R. (2009). Correlating Military Sonar Use with Beaked Whale Mass Strandings : What Do the Historical Data Show? *Aquatic Mammals*, 35(4), 435-444. <https://doi.org/10.1578/AM.35.4.2009.435>
- Frantzis, A. (1998). Does acoustic testing strand whales? *Nature*, 392(6671), 29. <https://doi.org/10.1038/32068>
- Frisk, G. V. (2012). Noiseconomics : The relationship between ambient noise levels in the sea and global economic trends. *Scientific Reports*, 2(1), 437. <https://doi.org/10.1038/srep00437>
- Gassmann, M., Wiggins, S. M., & Hildebrand, J. A. (2017). Deep-water measurements of container ship radiated noise signatures and directionality. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 142(3), 1563-1563. PubMed. <https://doi.org/10.1121/1.5001063>
- Götz, T. (2009). *Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment. OSPAR Biodiversity Series.*
- Graham, I. M., Merchant, N. D., Farcas, A., Barton, T. R., Cheney, B., Bono, S., & Thompson, P. M. (2019). Harbour porpoise responses to pile-driving diminish over time. *Royal Society Open Science*, 6(6), 190335. <https://doi.org/10.1098/rsos.190335>
- Green, R. H. (1979). *Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists.* Wiley. https://books.google.fr/books?id=_psJ7PlyJ_wC

- Hammond, P. (2017). *Estimates of cetacean abundance in European Atlantic waters in summer 2016 from the SCANS-III aerial and shipboard surveys*. 40.
- Hartenberger, J.-L. (Encyclopædia Universalis [en ligne]). *Echolocation* [Encyclopédie].
<https://www.universalis.fr/encyclopedie/echolocation/>
- Hastings, M. C., & Popper, A. N. (2005). *Effects of Sound on Fish* (Vol. 2005, p. 85). California Department of Transportation Division of Research and Innovation Office of Materials and Infrastructure Division of Environmental Analysis Office of Hazardous Waste and Noise.
- Hatch, L. T., Clark, C. W., Van Parijs, S. M., Frankel, A. S., & Ponirakis, D. W. (2012). Quantifying Loss of Acoustic Communication Space for Right Whales in and around a U.S. National Marine Sanctuary. *Conservation Biology*, 26(6), 983-994. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01908.x>
- Hawkins, A. D., Pembroke, A. E., & Popper, A. N. (2014a). Information gaps in understanding the effects of noise on fishes and invertebrates. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9369-3>
- Hawkins, A. D., Pembroke, A. E., & Popper, A. N. (2014b). Information gaps in understanding the effects of noise on fishes and invertebrates. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9369-3>
- Hildebrand, J. A. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 5-20. <https://doi.org/10.3354/meps08353>
- Huon, M., Jones, E. L., Matthiopoulos, J., McConnell, B., Caurant, F., & Vincent, C. (2015). Habitat selection of gray seals (*Halichoerus grypus*) in a marine protected area in France : Gray Seal Habitat Selection. *The Journal of Wildlife Management*, 79(7), 1091-1100. <https://doi.org/10.1002/jwmg.929>
- JNCC. (2010). *JNCC guidelines for minimising the risk of injury to marine mammals from using explosives*. 10.
- Joncquez, M., & Moissonier, V. (2010). *Radars et sonars contre l'écholocation : Quand l'Homme tente d'égaliser la nature* (p. 50). Ecole des Mines de Douai.

- Kastelein, R. A., Helder-Hoek, L., Kommeren, A., Covi, J., & Gransier, R. (2018). Effect of pile-driving sounds on harbor seal (*Phoca vitulina*) hearing. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 143(6), 3583-3594. <https://doi.org/10.1121/1.5040493>
- Ketten, D. R. (1995). Estimates of blast injury and acoustic trauma zones for marine mammals from underwater explosions. *Sensory Systems of Aquatic Mammals*, 391-407.
- Koschinski, S. (2011). Underwater Noise Pollution From Munitions Clearance and Disposal, Possible Effects on Marine Vertebrates, and Its Mitigation. *Marine Technology Society Journal*, 45(6), 80-88.
- Lambert, C., Pettex, E., Dorémus, G., Laran, S., Stéphan, E., Canneyt, O. V., & Ridoux, V. (2017). How does ocean seasonality drive habitat preferences of highly mobile top predators? Part II: The eastern North-Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 141, 133-154. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.06.011>
- Laran, S., Authier, M., Blanck, A., Dorémus, G., Falchetto, H., Monestiez, P., Pettex, E., Stephan, E., Canneyt, O., & Ridoux, V. (2017). Seasonal distribution and abundance of cetaceans within French waters- Part II: The Bay of Biscay and the English Channel. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.12.012>
- DIRECTIVE 92 / 43 / CEE DU CONSEIL du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages, n° L206/7 (1992).
- Le Courtois, F., Kinda, G. B., & Stephan, Y. (2017). DCSMM2018—D11C2.1—Distribution spatiale de la différence des niveaux maximaux annuels entre 2016 et 2012 pour la bande de tiers d'octave centrée sur 63 Hz (10.12770/227bdaed-b056-43da-8bc4-9ee34678f3eb).
- LOI no 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (1).
- Louis, M., Viricel, A., Lucas, T., Peltier, H., Alfonsi, E., Berrow, S., Brownlow, A., Covelo, P., Dabin, W., Deaville, R., de Stephanis, R., Gally, F., Gauffier, P., Penrose, R., Silva, M. A., Guinet, C., & Simon-Bouhet, B. (2014). Habitat-driven population structure of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in the North-East Atlantic. *Molecular Ecology*, 23(4), 857-874. <https://doi.org/10.1111/mec.12653>

- Lurton, X., & Antoine, L. (2007). *Analyse des risques pour les mammifères marins liés à l'emploi des méthodes acoustiques en océanographie*.
- Maglio, A. (2013). *Anthropogenic Noise and Marine Mammals. Review of the effort in addressing the impact of anthropogenic underwater noise in the ACCOBAMS and ASCOBANS areas* (p. 61). ACCOBAMS. [http://accobams.org/images/stories/Activities/Noise/review of the effort in addressing underwater noise impact.pdf](http://accobams.org/images/stories/Activities/Noise/review_of_the_effort_in_addressing_underwater_noise_impact.pdf)
- Martin, V., Servidio, A., & Garcia, S. (2004). Mass strandings of beaked whales in the Canary Islands. In P. G. H. Evans & L. A. Miller (Éds.), *Proceedings of the workshop on active sonar and cetaceans* (Numéro March, p. 33-36). European Cetacean Society newsletter No 42.
- Martinez, L., Dabin, W., Caurant, F., Van Canneyt, O., DOREMUS, G., Peltier, H., Spitz, J., Vincent, C., RIDOUX, V., & Kiszka, J. (2012). *Caractéristiques et état écologique Manche—Mer du Nord*.
- Martinez, L., Falchetto, H., Pettex, E., Vincent, C., Peltier, H., & Ridoux, V. (2013). *Etude des mammifères marins dans le cadre du parc éolien en mer de Saint Nazaire : Analyse des données existantes, synthèse bibliographique et préconisations de suivi*. ULR VALOR.
- McClellan, C. M., Brereton, T., Dell'Amico, F., Johns, D. G., Cucknell, A.-C., Patrick, S. C., Penrose, R., Ridoux, V., Solandt, J.-L., Stephan, E., Votier, S. C., Williams, R., & Godley, B. J. (2014). Understanding the Distribution of Marine Megafauna in the English Channel Region : Identifying Key Habitats for Conservation within the Busiest Seaway on Earth. *PLoS ONE*, 9(2), e89720. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089720>
- Mcdonald, M., Hildebrand, J., Wiggins, S., & Ross, D. (2008). A 50 Year comparison of ambient ocean noise near San Clemente Island : A bathymetrically complex coastal region off Southern California. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124, 1985-1992. <https://doi.org/10.1121/1.2967889>
- McKenna, M., Ross, D., Wiggins, S., & Hildebrand, J. (2012). Underwater radiated noise from modern commercial ships. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131 1, 92-103.
- Arrêté du 1er juillet 2011 fixant la liste des mammifères marins protégés sur le territoire national et les modalités de leur protection, JORF n°0171 du 26 juillet 2011 (2011).

Arrêté du 24 octobre 2008 modifiant la liste des types d'habitats naturels qui peuvent justifier la désignation de zones spéciales de conservation au titre du réseau écologique européen Natura 2000, (2008) (testimony of MEEDDAT).

MEEDDM. (2010). *Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens- Actualisation 2010*.

MEEM. (2017). *Guide d'évaluation des impacts sur l'environnement des parcs éoliens en mer*.

Merchant, N. D., Barton, T. R., Thompson, P. M., Pirotta, E., Dakin, D. T., & Dorocicz, J. (2013). Spectral probability density as a tool for ambient noise analysis. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(4), EL262-EL267. <https://doi.org/10.1121/1.4794934>

Mikkelsen, L., Rigét, F. F., Kyhn, L. A., Sveegaard, S., Dietz, R., Tougaard, J., Carlström, J. A. K., Carlén, I., Koblitz, J. C., & Teilmann, J. (2016). Comparing Distribution of Harbour Porpoises (*Phocoena phocoena*) Derived from Satellite Telemetry and Passive Acoustic Monitoring. *PLOS ONE*, 11(7), e0158788. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158788>

MNHN. (2021). *NATURA 2000—FORMULAIRE STANDARD DE DONNEES : FR2310045—Littoral seino-marin*.

Mueller-Blenkle, C., McGregor, P. K., Gill, A. B., Andersson, M. H., Metcalfe, J., Bendall, V., Sigray, P., Wood, D., & Thomsen, F. (2010). *EFFECTS OF PILE-DRIVING NOISE ON THE BEHAVIOUR OF MARINE FISH*. 63.

Müller BBM. (2013). *Offshore Wind Farms : Measuring Specification for the Quantitative Determination of the Effectiveness of Noise Control Systems*.

Nedelec, S. L., Radford, A. N., Simpson, S. D., Nedelec, B., Lecchini, D., & Mills, S. C. (2014). Anthropogenic noise playback impairs embryonic development and increases mortality in a marine invertebrate. *Scientific Reports*, 4(1), 5891. <https://doi.org/10.1038/srep05891>

Nelms, S. E., Piniak, W. E. D., Weir, C. R., & Godley, B. J. (2016). Seismic surveys and marine turtles : An underestimated global threat? *Biological Conservation*, 193, 49-65. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.10.020>

NRC. (2000). *Marine Mammals and Low-Frequency Sound*. National Academy Press.

NRC. (2003). *Ocean Noise and Marine Mammals*. National Academy Press.

- Osiecka, A. N., Jones, O., & Wahlberg, M. (2020). The diel pattern in harbour porpoise clicking behaviour is not a response to prey activity. *Scientific Reports*, *10*(1), 14876. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71957-0>
- OSPAR. (2009). *Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment*. OSPAR.
- Oudejans, M. G., Visser, F., Englund, A., Rogan, E., & Ingram, S. N. (2015). Evidence for Distinct Coastal and Offshore Communities of Bottlenose Dolphins in the North East Atlantic. *PLOS ONE*, *10*(4), e0122668. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122668>
- DIRECTIVE 2014/•52/•UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL - du 16 avril 2014—Modifiant la directive 2011/•92/•UE concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement -, 18 (2014) (testimony of Parlement Européen et du Conseil).
- Pavan, G. (2008). The shipping noise issue, a challenge for the survival and welfare of marine life? In A. Abdulla & O. Linden (Éds.), *Maritime traffic effects on biodiversity in the Mediterranean Sea: Review of impacts, priority area and mitigation measures* (Vol. 1, p. 10-21). IUCN Centre for Mediterranean Cooperation.
- Payne, R., & Webb, D. (1971). Orientation by means of long range signaling in baleen whales. *Annals of the New York Academy of Science*, *188*(2317), 110-141.
- Persohn, C., Helloco, L., Baudinière, E., & Martinez, L. (2020). *Préconisations pour limiter les impacts des émissions acoustiques en mer d'origine anthropique sur la faune marine*. MTES.
- Pettex, E., Charlotte, L., Laran Sophie, Ricart Amandine, Virgili Auriane, Falchetto Hélène, Authier Matthieu, Monestiez Pascal, Olivier, V. C., Dorémus Ghislain, Blanck Aurélie, Toison Vincent, & Ridoux Vincent. (2014). *Suivi Aérien de la Mégafaune Marine en France métropolitaine—Rapport final*. <https://doi.org/10.13140/2.1.2698.5287>
- Planque, Y., Spitz, J., Authier, M., Vincent, C., & Caurant, F. (2020). *Trophic niche overlap between sympatric harbour seals (*Phoca vitulina*) and grey seals (*Halichoerus grypus*) at their Southern European limit*

- range (Eastern English Channel) [Preprint]. Preprints.
<https://doi.org/10.22541/au.160508195.50224560/v1>
- Popper, A., & Hawkins, A. (2012). *The Effects of Noise on Aquatic Life*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7311-5>
- Popper, A. N., Hawkins, A. D., Fay, R. R., Mann, D. A., Bartol, S., Carlson, T. J., Coombs, S., Ellison, W. T., Gentry, R. L., Halvorsen, M. B., Løkkeborg, S., Rogers, P. H., Southall, B. L., Zeddies, D. G., & Tavalga, W. N. (2014). Sound Exposure Guidelines. In *ASA S3/SC1.4 TR-2014 Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles : A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI* (p. 33-51). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06659-2_7
- Popper, A. N., Smith, M. E., Cott, P. a., Hanna, B. W., MacGillivray, A. O., Austin, M. E., & Mann, D. a. (2005). Effects of exposure to seismic airgun use on hearing of three fish species. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *117*(6), 3958. <https://doi.org/10.1121/1.1904386>
- Prideaux, G. (2017). *Technical Support Information to the CMS Family Guidelines on Environmental Impact Assessment for Marine Noise-generating Activities* (p. 76).
- Quiet oceans. (2013). *Etude d'Impact Acoustique du Parc Eolien en Mer de Fécamp, France*.
- Redfern, J. V., M. C. Ferguson, E. A. Becker, K. D. Hyrenbach, C. Good, J. Barlow, K. Kaschner, M. F. Baumgartner, K. A. Forney, L. T. Ballance, P. Fauchald, P. Halpin, T. Hamazaki, A. J. Pershing, S. S. Qian, A. Read, S. B. Reilly, L. Torres, & F. Werner. (2006). Techniques for cetacean–habitat modeling. *Marine Ecology Progress Series*, *310*, 271-295.
- Robinson, S. (2014). *Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement*. 97.
- Rolland, R. M., Parks, S. E., Hunt, K. E., Castellote, M., Corkeron, P. J., Nowacek, D. P., Wasser, S. K., & Kraus, S. D. (2012). Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *279*(1737), 2363-2368. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.2429>

- Rosel, P. E., Haygood, M. G., & Perrin, W. F. (1995). Phylogenetic Relationships among the True Porpoises (Cetacea : Phocoenidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 4(4), 463-474. <https://doi.org/10.1006/mpev.1995.1043>
- Schaffeld T, Bräger S, Gallus A, Dähne M, Krügel K, Herrmann A, Jabbusch M, Ruf T, Verfuß UK, Benke H, & Koblitz JC. (2016). Diel and seasonal patterns in acoustic presence and foraging behaviour of free-ranging harbour porpoises. *Marine Ecology Progress Series*, 547, 257-272.
- Schmidtke, E., Nützel, B., & Ludwig, S. (2009). Risk mitigation for sea mammals—The use of air bubbles against shock waves Small charges in the Baltic. *NAG/DAGA*, 269-270.
- Scrimger, P., & Heitmeyer, R. M. (1991). Acoustic source-level measurements for a variety of merchant ships. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 89(2), 691-699.
- Simard, Y., Roy, N., Gervaise, C., & Giard, S. (2016). Analysis and modeling of 255 source levels of merchant ships from an acoustic observatory along St. Lawrence Seaway. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 140(3), 2002-2018. <https://doi.org/10.1121/1.4962557>
- Simmonds, M., Dolman, S., & Weilgart, L. (2004). *Oceans of noise : A WDCS Science report* (p. 164). WDCS.
- Smokorowski, K. E., & Randall, R. G. (2017). Cautions on using the Before-After-Control-Impact design in environmental effects monitoring programs. *FACETS*, 2(1), 212-232. <https://doi.org/10.1139/facets-2016-0058>
- Société Offshore des Hautes Falaises. (s. d.). Zone d'implantation Parc éolien en mer de Fécamp. *Parc éolien en mer de Fécamp*. Consulté 30 avril 2021, à l'adresse <http://parc-eolien-en-mer-de-fecamp.fr/le-parc-eolien-en-mer/carte-interactive/>
- Southall, B. L. (2005). Shipping Noise and Marine Mammals : A Forum for Science, Management, and Technology. *Finale Report of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Symposium, May 2004*. http://www.nmfs.noaa.gov/pr/pdfs/acoustics/shipping_noise.pdf
- Southall, B. L., Finneran, J. J., Reichmuth, C., Nachtigall, P. E., Ketten, D. R., Bowles, A. E., Ellison, W. T., Nowacek, D. P., & Tyack, P. L. (2019). Marine Mammal Noise Exposure Criteria : Updated Scientific

- Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals*, 45(5), 125-132.
<https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125>
- Southall, B. L., Rowles, T., Gulland, F., Baird, R. W., & Jepson, P. D. (2013). *Final report of the Independent Scientific Review Panel investigating potential contributing factors to the 2008 mass stranding of melon-headed whales (Peponocephala electra) in Antsohihy, Madagascar*. 1-75.
- Spitz, J., Peltier, H., & Authier, M. (2018). *Évaluation du descripteur 1 « Biodiversité -Mammifères marins » en France Métropolitaine*. PELAGIS, UMS 3642.
- Steward, G. B., Pullin, A. S., & Coles, C. F. (2007). Poor evidence-base for assessment of windfarm impacts on birds. *Environmental Conservation*, 34, 1-11.
- Stone, C. J., & Tasker, M. L. (2006). The effects of seismic airguns on cetaceans in UK waters. *Journal of Cetacean Research and Management*, 8(3), 255-263.
- Tavolga, W. N. (1967). *Bio-acoustique marine* (Oxford).
- Teilmann, J. (2003). Influence of sea state on density estimates of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *Journal of Cetacean Research and Management*, 5, 85-92.
- Thompson, P. M., Lusseau, D., Barton, T., Simmons, D., Rusin, J., & Bailey, H. (2010). Assessing the responses of coastal cetaceans to the construction of offshore wind turbines. *Marine pollution bulletin*, 60(8), 1200-1208. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.03.030>
- Thomsen, F., Gill, A., Kosecka, M., Andersson, M., Andre, M., Degraer, S., Folegot, T., Gabriel, J., Judd, A., Neumann, T., Norro, A., Risch, D., Sigray, P., Wood, D., & Wilson, B. (2015). *MaRVEN – Environmental Impacts of Noise, Vibrations and Electromagnetic Emissions from Marine Renewable Energy*.
<https://doi.org/10.2777/272281>
- Thomsen, F., Lüdemann, K., Kafemann, R., & Piper, W. (2006). *Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish*. 62.

- Tougaard, J., Carstensen, J., Teilmann, J., Skov, H., & Rasmussen, P. (2009). Pile driving zone of responsiveness extends beyond 20 km for harbor porpoises (*Phocoena phocoena* (L.)). *The Journal of the Acoustical Society of America*, *126*(1), 11-14. <https://doi.org/10.1121/1.3132523>
- Tougaard, J., Wright, A. J., & Madsen, P. T. (2015). Cetacean noise criteria revisited in the light of proposed exposure limits for harbour porpoises. *Marine Pollution Bulletin*, *90*(1-2), 196-208. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.10.051>
- Tyack, P. (2008). Implications for Marine Mammals of Large-Scale Changes in the Marine Acoustic Environment. *Journal of Mammalogy*, *89*(3), 549-558.
- Tyack, P. L., Zimmer, W. M. X., Moretti, D., Southall, B. L., Claridge, D. E., Durban, J. W., Clark, C. W., D'Amico, A., DiMarzio, N., Jarvis, S., McCarthy, E., Morrissey, R., Ward, J., & Boyd, I. L. (2011). Beaked whales respond to simulated and actual navy sonar. *PloS one*, *6*(3), e17009. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017009>
- Underwood, A. J. (1992). Beyond BACI: the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *161*(2), 145-178. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(92\)90094-Q](https://doi.org/10.1016/0022-0981(92)90094-Q)
- Vincent, C., Huon, M., Caurant, F., Dabin, W., Deniau, A., Dixneuf, S., Dupuis, L., Elder, J.-F., Fremau, M.-H., Hassani, S., Hemon, A., Karpouzopoulos, J., Lefeuvre, C., McConnell, B. J., Moss, S. E. W., Provost, P., Spitz, J., Turpin, Y., & Ridoux, V. (2017). Grey and harbour seals in France : Distribution at sea, connectivity and trends in abundance at haulout sites. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, *141*, 294-305. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.04.004>
- Von Benda-Beckmann, A. M., Aarts, G., Sertlek, H. Ö., Lucke, K., Verboom, W. C., Kastelein, R. A., Ketten, D. R., van Bemmelen, R., Lam, F. P. A., Kirkwood, R. J., & Ainslie, M. A. (2015). Assessing the impact of underwater clearance of unexploded ordnance on harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in the Southern North Sea. *Aquatic Mammals*, *41*(4), 503-523. <https://doi.org/10.1578/AM.41.4.2015.503>
- Wahlberg, M., & Westerberg, H. (2005). Hearing in fish and their reactions to sounds from offshore wind farms. *Marine Ecology Progress Series*, *288*, 295-309. <https://doi.org/10.3354/meps288295>

- Wales, C., & Heitmeyer, R. (2002). An ensemble source spectra model for merchant ship-radiated noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *111*, 1211-1231. <https://doi.org/10.1121/1.1427355>
- Wartzok, D., Popper, A. N., Gordon, J., & Merrill, J. (2003). Factors Affecting the Responses of Marine Mammals to Acoustic Disturbance. *Marine Technology Society Journal*, *37*(4), 6-15. <https://doi.org/10.4031/002533203787537041>
- Weilgart, L. (2007a). A Brief Review of Known Effects of Noise on Marine Mammals. *International Journal of Comparative Psychology*, *20*, 159-168.
- Weilgart, L. (2007b). A Brief Review of Known Effects of Noise on Marine Mammals. *International Journal of Comparative Psychology*, *20*, 159-168.
- Wenz, G. (1962). Acoustic Ambient Noise in the Ocean : Spectra and Sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *34*(12), 21.
- Wisniewska, D. M., Johnson, M., Nachtigall, P. E., & Madsen, P. T. (2014). Buzzing during biosonar-based interception of prey in the delphinids *Tursiops truncatus* and *Pseudorca crassidens*. *Journal of Experimental Biology*, *217*(24), 4279-4282. <https://doi.org/10.1242/jeb.113415>

7 ANNEXES

7.1 IDENTIFICATION DES ZONES NATURA 2000 ET ZNIEFF MARINES, PRÉSENTES AU SEIN DE L'AIRE D'ÉTUDE ÉLOIGNÉE

Tableau 17 : Identification des Zones Natura 2000 et ZNIEFF marines, présentes au sein de l'aire d'étude éloignée.

Nom du site	Code	Protection / Réglementation	Coordonnées du centre (WGS 84)	Superficie (ha)
Estuaires et littoral picards-baies de Somme et d'Authie (ZSC)	FR2200346	DHFF	Latitude : 50.23333 Longitude : 1.58667	15 646
Estuaire de la Seine (ZSC)	FR2300121	DHFF	Latitude : 49.41889 Longitude : 0.13472	11 341
Littoral Cauchois (SIC)	FR2300139	DHFF	Latitude : 49.73778 Longitude : 0.27833	6 303
Estuaire et marais de la Basse Seine (ZSC)	FR2310044	DHFF	Latitude : 1.43667 Longitude : 0.24778	18 840
Récifs et landes de la Hague (ZSC)	FR2500084	DHFF	Latitude : 49.72278 Longitude : -1.96139	9 178 ha
Récifs et marais arrière-littoraux du cap Lévi à la pointe de Saire (ZSC)	FR2500085	DHFF	Latitude : 49.71167 Longitude : -1.30278	15 385
Tatihou - Saint-Vaast-la-Hougue (ZSC)	FR2500086	DHFF	Latitude : 49.59194 Longitude : -1.2425	1 148
Marais du Cotentin et du Bessin - Baie des Veys (ZSC)	FR2500088	DHFF	Latitude : 49.36861 Longitude : -1.15639	32 974
Banc et récifs de Surtainville (ZSC)	FR2502018	DHFF	Latitude : 49.43056 Longitude : -1.90972	14 053
Anse de Vauville (ZSC)	FR2502019	DHFF	Latitude : 49.60833 Longitude : -1.92389	13 058
Baie de Seine Occidentale (ZSC)	FR2502020	DHFF	Latitude : 49.494717 Longitude : -1.09583	45 566
Baie de Seine Orientale (ZSC)	FR2502021	DHFF	Latitude : 49.37111 Longitude : -0.13056	44 402
Récifs Gris-Nez Blanc-Nez (ZSC)	FR3102003	DHFF	Latitude : 50.89167	29 156

			Longitude : 1.5625	
Ridens et dunes hydrauliques du détroit du Pas-de-Calais (ZSC)	FR3102004	DHFF	Latitude : 50.66833 Longitude : 1.24861	68 245
Baie de Canche et couloir des trois estuaires (ZSC)	FR3102005	DHFF	Latitude : 50.34611 Longitude : 1.48833	33 306
South Wight Maritime (ZSC)	UK0030061	DHFF	Latitude : 50.591388 Longitude : -1.3475	19 866,12
Bassurelle Sandbank (ZSC)	UK0030368	DHFF	Latitude : 50.5931 Longitude : 1.0064	6 709,0
Wight-Barfleur Reef (ZSC)	UK0030380	DHFF	Latitude : 50.2778 Longitude : -1.4736	137344
Studland to Portland (ZSC)	UK0030382	DHFF	Latitude : 50.555 Longitude : -2.168	33 184,28
Estuaires Picards - baies de Somme et d'Authie (ZPS)	FR2210068	DO	Latitude : 50.3 Longitude : 1.48333	15 214
Littoral Seine-marin (ZPS)	FR2310045	DO	Latitude : 49.89278 Longitude : 0.41889	180 050
Basses Vallées du Cotentin et Baie des Veys (ZPS)	FR2510046	DO	Latitude : 49.35 Longitude : -1.15	33 695
Baie de Seine Occidentale (ZPS)	FR2510047	DO	Latitude : 49.49944 Longitude : -1.09583	44 488
Estuaire de l'Orne (ZPS)	FR2510059	DO	Latitude : 49.26667 Longitude : -0.21667	1 000
Falaise du Bessin Occidental (ZPS)	FR2510099	DO	Latitude : 49.4 Longitude : -0.95	1 200
Littoral augeron (ZPS)	FR2512001	DO	Latitude : 49.36667 Longitude : -0.6667	21 420
Landes et dunes de la Hague (ZPS)	FR2512002	DO	Latitude : 49.65278 Longitude : -1.86139	4 950
Estuaire de la Canche (ZPS)	FR3110038	DO	Latitude : 50.53333 Longitude : 1.55	5 032
Cap Gris-Nez (ZPS)	FR3110085	DO	Latitude : 50.90806	56 224

			Longitude : 1.48	
Cap Fagnet (ZICO)	HN01	DO	Latitude : 49.765 Longitude : 0.365	5 387
Estuaire et embouchure de la Seine (ZICO)	HN03	DO	Latitude : 49.44571 Longitude : 0.3241	21 984
Estuaires Picards - baies de Somme et d'Authie (ZICO)	PE10	DO	Latitude : 50.24217 Longitude : 1.57017	18 308
Chichester and Langstone Harbours (ZPS)	UK9011011	DO	Latitude : 50.806388 Longitude : -0.92	5810,95
Dungeness, Romney Marsh and Rye Bay (ZPS)	UK9012091	DO	Latitude : 0.835 Longitude : 50.891	42417,53
Baie des Veys - Marais du Cotentin et du Bessin	250006494 / 250008148	ZNIEFF continentale type I et II	Latitude : 49.49566 Longitude : -1.14638	6 202,73
Les Iles Saint-Marcouf	250006495	ZNIEFF continentale type I	Latitude : 49.49566 Longitude : -1.1463	18.19
Estuaire de la Seine	FR3600137	RNN	Latitude : 49.44057 Longitude : 0.23553	8 525
Estuaires Picards Et Mer D'opale	FR9100005	PNM	Latitude : 50.39506 Longitude : 1.31494	234 718,547
Antifer – Etretat porte d'Aval	23M000000	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 49.68802 Longitude : 0.17117	138
Platier rocheux d'Etretat porte d'Amont à Senneville-sur-Fécamp	23M000001	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 49.74875 Longitude : 0.32223	350
Bancs d'Ophiothrix fragilis de la Manche Orientale	23M000002	ZNIEFF marine Type II	Latitude : 50.21981 Longitude : -0.28634	43 903
Vasière Nord et filandres aval de l'estuaire de Seine	23M000003	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 49.44502 Longitude : 0.20331	1 706,2
Baie de Seine Orientale	23M000004	ZNIEFF marine Type II	Latitude : 49.453 Longitude : 0.00486	63 565
Sables fins et vaseux de la baie de Seine Orientale	23M000005	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 49.43728 Longitude : 0.01412	33 934

Vases indurées à <i>Barnea candida</i> de la baie de Seine Orientale	23M000006	ZNIEFF marine Type I	NC	626,99
Platier rocheux de la pointe de Caux	23M000009	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 49.57875 Longitude : 0.10385	368
Platier rocheux de Villerville	23M000011	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 49.39696 Longitude : 0.11128	240,45
Sables propres à <i>Nephtys cirrosa</i> de Manche Orientale	23M000012	ZNIEFF marine Type II	Latitude : 50.06628 Longitude : 1.21222	32 937
Cailloutis à épibiose sessile du littoral cauchois	23M000013	ZNIEFF marine Type II	Latitude : 49.89048 Longitude : 0.32974	113 916
Platiers rocheux du littoral cauchois de Senneville au Tréport	23M000014	ZNIEFF marine Type II	Latitude : 49.92481 Longitude : 0.94647	2 776
Platier rocheux subtidal de Barfleur à Saint Vaast	25M000000	ZNIEFF marine Type II	Latitude : 49.6334 Longitude : -1.2268	2 189
Moulières infralittorales de Réville et du Moulard	25M000002	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 49.63948 Longitude : -1.22093	483
Baie de Seine Occidentale	25M000003	ZNIEFF marine Type II	Latitude : 49.46386 Longitude : -1.13668	15 780
Sables envasés à <i>Lanice conchilega</i> de la baie de Seine Occidentale	25M000004	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 49.46212 Longitude : -1.09398	4 488
Baie des Veys subtidale	25M000005	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 49.41533 Longitude : -1.12335	1 425
Moulières infralittorales de Ravenoville et de Grandcamp	25M000006	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 49.45714 Longitude : -1.1631	443
Bancs d' <i>Ophiothrix fragilis</i> de la Baie de Seine	25M000007	ZNIEFF marine Type II	Latitude : 49.66256 Longitude : -0.38648	47 576
Bancs très denses d' <i>Ophiothrix fragilis</i> de la baie de Seine	25M000008	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 49.69541 Longitude : -0.05941	7 391
Grande rade Orientale de Cherbourg et baie du Becquet	25M000009	ZNIEFF marine Type II	Latitude : 49.66929 Longitude : -1.57279	2 305
Récifs à <i>Sabellaria spinulosa</i>	25M000010	ZNIEFF marine Type II	NC	15 379,49

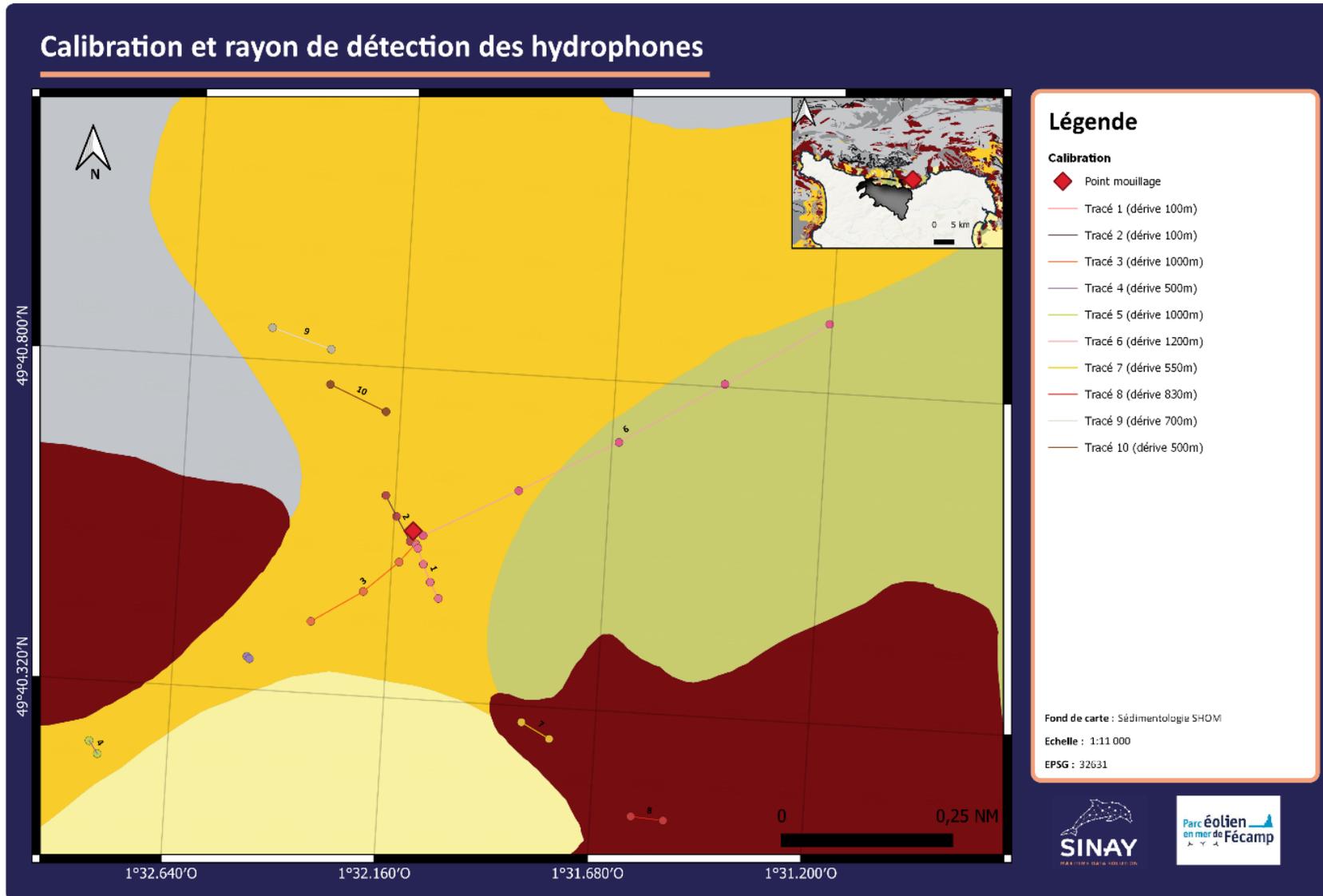
Sables fins à Spiro et Apseudopsis latreilli de la grande rade Orientale de Cherbourg	25M000012	ZNIEFF marine Type I	NC	355,45
Moulière infralittorale de Barfleur	25M000013	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 49.73867 Longitude : -1.24261	3 316
Les Îles Saint-Marcouf au large (partie marine)	25M000015	ZNIEFF marine Type I	NC	1 450,7
Large du Bessin Occidental	25M000016	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 49.40131 Longitude : -0.94718	887
Large de la Hague	25M000017	ZNIEFF marine Type II	Latitude : 49.69988 Longitude : -1.90324	2 080
Large du Nord Cotentin	25M000018	ZNIEFF marine Type II	Latitude : 49.71257 Longitude : -1.3672	3 654
Large du cap Lévi	25M000019	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 49.69611 Longitude : -1.4593	101
Haut-fond rocheux des ridens et banc du Colbart	31M000001	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 50.81981 Longitude : 1.30863	3 793
Les gardes	31M000002	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 50.91271 Longitude : 1.67646	44
Le banc à la ligne	31M000003	ZNIEFF marine Type I	NC	147,29
Fonds à Modiolus modiolus	31M000004	ZNIEFF marine Type I	Latitude : 50.94506 Longitude : 1.50854	947
Récifs et marais arrière-littoraux du cap Lévi à la pointe de Saïre	FR7600030	OSPAR	Latitude : 49.7097 Longitude : -1.34135	15 385,221

7.2 CALIBRATION ET RAYON DE DETECTION

ETAPE 1					
1- Cette opération consiste à trouver le niveau d'émission ; 2- Distance entre les Emetteurs-Récepteurs : 5 m ; 3- Les signaux sont envoyés un par un manuellement.					
Temps- déclenchement	Gain	Niveau	Type de signaux	Lubell	Fréquence
12:03	0	50%	BEL_1_fe69kHz	*1*	96000
12:04	0	50%	BEL_2_fe69kHz	*2*	96000
12:04	0	50%	BND_1_fe96kHz	*3*	96000
12:05	0	50%	BND_2_fe96kHz	*4*	96000
12:06	0	50%	BND_3_fe96kHz	*5*	96000
12:07	0	50%	ifm_100_20Khz	*6*	100-20kHz
12:08	0	50%	ifm_1000_50Khz	*7*	1kHz-5kHz
12:10	0	50%	ifm_1500_50Khz	*8*	15khz-50khz
!!	0	50%	Sifflement-dauphin	*9*	!!

ETAPE 2 1- Cette opération consiste à trouver le niveau d'émission pour des distances déterminées ; 2- Trouver la distance maximale de détection ; 3- Les signaux sont envoyés en continu le long des tracés réalisés avec le bateau ; 4- Certains signaux sont envoyés avec l'avancement du bateau (dérive ou moteur 1 et 2 nœuds).						
Numéro du tracé	Temps d'émission	Numéro du point GPS	Profondeur (m)	Dérive/moteur	Orientation	Remarques
1	15:42	241	18,6	Dérive	SSE	* Dérive jusqu'à 100 m
1	15:44	242	18,6	Dérive		
1	15:47	243	18,3	Dérive		
1	15:52	244	18,1	Dérive		
1	15:57	245	17,9	Fin		
2	16:00	246	19,3	Dérive	NNO	* Dérive jusqu'à 100 m
2	16:05	247	18,9	Dérive		
2	16:20	248	18,9	Fin		
3	16:13	249	18,5	moteur	SO	* Dérive jusqu'à 1 km
3	16:17	250	18	moteur		
3	16:23	251	17,8	moteur		
3	16:27	252		Fin		
4	16:30	253	!	moteur	SO	* à 500 m

4	16:36	254	!	Fini		
5	16:40	255	!	moteur	SO	* à 1 km
5	16:36	256	!	Fini		
6	16:50	257	19	moteur (1 nœud)	NE	
6	16:55	258	18	moteur (1 nœud)		
6	17:00	259	18	moteur (1 nœud)		
6	17:05	260	17,8	moteur (1 nœud)		
6	17:09	261	!	Fin		
7	17:19	262	16	Dérive	SE	* à 500 m jusqu'à 550 m
7	17:25	263	16	Dérive/fin		
8	17:27	264	12,5	Dérive	SE	* à 750 m jusqu'à 830 m
8	17:22	265	!	Fin		
9	17:43	266	24	Dérive	NO	à 700 m
9	17:48	267	23	Fin		
10	17:50	268	22	Dérive-sens bouée	NO	à 500 m
10	17:55			Fin		



7.3 CALIBRATION DES C-PODS

7.4 ANALYSE DES RESULTATS DE MESURES

7.5 RESULTATS DES C-PODS

- Indicateur d'activité (Dpm) hebdomadaire

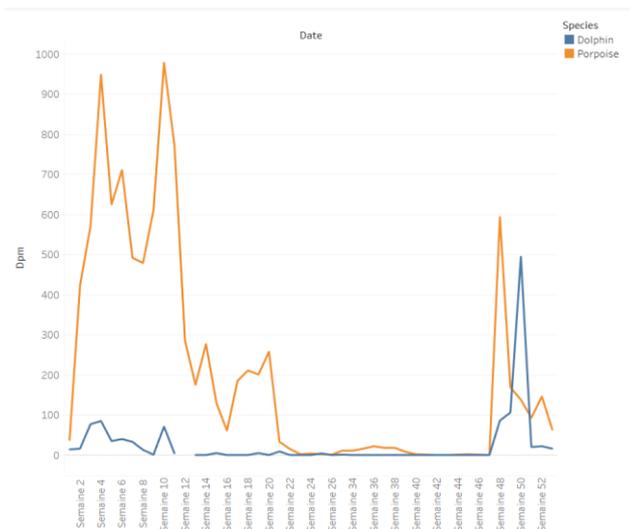


Figure 67. Variation de l'indicateur d'abondance (Dpm) par semaine des delphinidés (en bleu) et marsouins (en orange) sur la période de mars 2019 à mars 2021, sur toutes les zones confondues

- Indicateur d'activité (Dpm) journalier

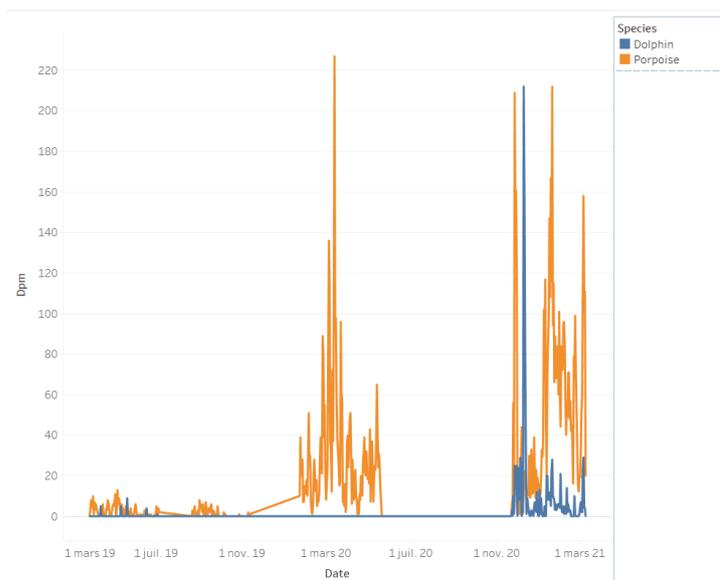


Figure 68 : Variation de l'indicateur de présence (Dpm) par jour des delphinidés (en bleu) et marsouins (en orange) sur la période de mars 2019 à mars 2021, sur toutes les zones confondues

7.6 CALIBRATION ACTIVE

Calibration active de l'enregistreur H1							
Date calibration	Heure_debut	Heure_fin	NB_frequences	Distance théorique	Distance_debut	Distande_fin	Volume
20/11/2020	9H08	9H10	2	Bateau	15	15	20
20/11/2020	9H11	9H13	2		15	15	50
20/11/2020	9H13	9H15	2		15	15	100
20/11/2020	10H10	10H12	2	50	43	75	20
20/11/2020	10H13	10H15	2		77	150	50
20/11/2020	10H39	10H40	1		30	60	100
20/11/2020	10H40	10H42	1	100	65	100	20
20/11/2020	10H16	10H18	2		158	230	50
20/11/2020	10H42	10H43	1		105	145	100
20/11/2020	10H18	10H20	2	200	234	290	20
20/11/2020	10H21	10H23	2		300	450	50
20/11/2020	10H45	10H46	1		190	240	100
20/11/2020	10H28	10H30	2	500	510	575	20
20/11/2020	10H30	10H32	2		580	600	50

20/11/2020	10H25	10H27	2		500		100
20/11/2020	10H52	10H54	2	1000	700	700	20
20/11/2020	10H54	10H56	2		700	700	50
20/11/2020	10H56	10H59	2		710	720	100

Date calibration	Heure_debut	Heure_fin	NB_frequences	Distance théorique	Distance_debut	Distance_fin	Volume
20/11/2020	15H42	15H44	2	Longueur Bateau	15	15	20
20/11/2020	15H44	15H47	2		15	15	50
20/11/2020	15H47	15H49	2		15	15	100
20/11/2020	16H23	16H25	2	50	30	45	20
20/11/2020	16H25	16H27	2		55	97	50
20/11/2020	16H52	16H54	2		30	60	100
20/11/2020	16H55	16H58	2	100	80	125	20
20/11/2020	16H30	16H32	2		145	185	50
20/11/2020	16H28	16H30	2		103	140	100
20/11/2020	16H32	16H34	2	200	190	225	20
20/11/2020	16H35	16H37	2		230	274	50

20/11/2020	16H37	16H39	2		275	305	100
20/11/2020	16H42	16H44	2	500	355	390	20
20/11/2020	16H44	16H46	2		390	425	50
20/11/2020	16H46	16H48	2		425	460	100
20/11/2020	17H06	17H08	2	1000			20
20/11/2020	17H09	17H11	2				50
20/11/2020	17H11	17h13	2				100