



Etude d'Impact Acoustique du Parc Eolien Offshore du Banc de Guérande, Saint-Nazaire, France

Identification

Référence du document : QO.RAP.20121212.01.001
 Version : 2.2
 Client : Société du Parc de Guérande
 Réf. client : Contrat n° SNA-CON-EIA-CON-PBG-0001-E1.0

Visa

Thomas Folegot, Président de Quiet-Oceans SAS
 Plouzane, le 04.03.2014

Quiet-Oceans
 65, place Nicolas Copernic
 29280 Plouzane • France
 contact@quiet-oceans.com
 Fax: +33 972 197 671
 Siret 524 673 803 00028 - APE 7112B
 TVA FR93 524 673 803

Suivi du document

Version	Date	Description	Rédaction	Validation & Approbation	Transmission Client
1.0	26.06.2013	Version initiale	D. Clorennec	T. Folegot	27.06.2013
1.1	20.09.2013	Version Calibrée	D. Clorennec	T. Folegot	27.09.2013
2.0	21.01.2014	Intégration de l'étude BioConsult	D. Clorennec	T. Folegot	27.01.2014
2.1	19.02.2014	Prise en compte des corrections EDF-EN	D. Clorennec	T.Folegot	21.02.2014
2.2	03.03.2014	Prise en compte des corrections EDF-EN	D. Clorennec	T.Folegot	04.03.2014

Cette étude est le fruit d'une collaboration entre



65, place Nicolas Copernic – 29280 Plouzané – France
www.quiet-oceans.com
contact@quiet-oceans.com
RCS BREST RCS BREST 524 673 803



Quiet-Oceans engage sa responsabilité sur la caractérisation des niveaux sonores et des cartographies de dépassement des seuils. BioConsult engage sa responsabilité sur l'interprétation biologique des risques et les recommandations opérationnelles de gestion des risques. Quiet-Oceans et BioConsult ne sont juridiquement solidaires en aucune façon.

Table des matières

Chapitre I. Enjeux de la problématique de bruit anthropique.....	10
I.1. Contexte scientifique	10
I.2. Emergence sociétale et réglementaire	10
I.3. Généralités sur le bruit sous-marin.....	11
I.4. Contexte de l'étude.....	14
I.5. Enjeux biologiques	14
I.6. Approche adoptée.....	16
I.7. Enjeux de l'étude d'impact acoustique prédictive.....	16
I.8. Méthodologie.....	16
I.8.1. Protocole détaillé de l'étude des impacts sonores	16
I.8.2. Approche statistique	20
I.8.3. Technologie utilisée.....	21
I.8.4. Limites de la méthode et lacunes de connaissances.....	24
Chapitre II. Description de la zone d'étude	27
II.1. Campagne de mesures acoustiques in-situ.....	27
II.1.1. Protocole	27
II.1.2. Moyens d'acoustique passive mis en œuvre	28
II.1.3. Moyens d'acoustique active mis en œuvre.....	29
II.2. Milieu physique	29
II.2.1. Bathymétrie.....	29
II.2.2. Nature du fond	31
II.2.3. Environnement océano-météo	32
II.2.4. Bruit ambiant mesuré.....	34
II.2.5. Effets du milieu physique sur la propagation sonore et sur les niveaux de bruit ambiant.....	37
II.3. Caractérisation des sources de bruit existantes	39
II.3.1. Méthode.....	39
II.3.2. Représentation des activités humaines existantes	39
II.3.3. Signatures individuelles des sources de bruit existantes	41
Chapitre III. Cartographie saisonnière de l'état sonore actuel.....	43
III.1. Zones géographiques	43
III.2. Correction des incertitudes de l'atlas sonore	44
III.3. Atlas saisonnier	44
III.3.1. Analyse du bruit existant.....	44
III.3.2. Caractérisation spectrale du bruit.....	44
III.3.3. Caractérisation spatiale du bruit	46
Chapitre IV. Empreinte sonore prédictive du projet.....	53
IV.1. Scénarios descriptifs du projet de parc éolien en mer	53

IV.2. Caractérisation des sources de bruit liées à l'implantation du parc éolien en mer	54
IV.2.1. Bruit généré par les opérations une opération de déversement de matériaux (ou clapage)	54
IV.2.2. Bruit généré par les opérations de dépose d'éolienne dans le parc.....	55
IV.2.3. Bruit généré par le battage de pieu	57
IV.2.4. Bruit généré par le forage vertical.....	60
IV.2.5. Bruit généré par les opérations d'ensouillage des câbles.....	61
IV.2.6. Bruit généré par les navires du chantier	62
IV.2.7. Bruit généré en phase d'exploitation du parc éolien	63
IV.2.8. Bruit généré lors de la phase de maintenance.....	64
IV.3. Définition de l'empreinte sonore du projet.....	65
Chapitre V. Evaluation des risques vis-à-vis des mammifères marins.....	67
V.1. Fréquentation du site par les mammifères marins	67
V.1.1. Espèces présentes de manière régulière.....	68
V.1.2. Espèces rares	69
V.2. Méthode d'évaluation des risques biologiques.....	70
V.2.1. Classification acoustique des espèces de mammifères marins dans la zone d'étude ..	70
V.2.2. Critères d'évaluation	73
V.2.3. Présentation des résultats.....	76
V.3. Cartographies sonores pour une exposition d'une seconde	77
V.3.1. Construction- opération de déversement des matériaux (ou clapage)	77
V.3.2. Construction- opération de dépose d'une éolienne dans le parc.....	80
V.3.3. Construction- Opérations simultanées de dépose d'une éolienne dans le parc et de clapage.....	83
V.3.4. Construction- opération de forage de diamètre 6.8m	86
V.3.5. Construction- opération de battage de pieu de 7m de diamètre	89
V.3.6. Construction- opération de battage simultané de deux pieux de 7m de diamètre.....	92
V.3.7. Construction- opération de battage de pieu de 3m de diamètre	95
V.3.8. Construction- opération d'ensouillage des câbles	98
V.3.9. Trafic induit en phase de construction.....	101
V.3.10. Exploitation nominal du parc éolien.....	104
V.3.11. Maintenance du parc éolien.....	107
V.4. Analyse des risques d'impacts	110
V.4.1. Analyse physique de la pression anthropique.....	110
V.4.2. Description de la zone de risque	115
Chapitre VI. Scénarios de réduction des risques vis-à-vis des mammifères marins.....	123
VI.1. Description technique du soft start ou départ progressif	123
VI.2. Evaluation de la réduction du risque biologique par la mise en œuvre d'un soft start	123
VI.2.1. Analyse physique.....	123
VI.2.2. Interprétation biologique	125
Chapitre VII. Gestion des risques et recommandations	128

VII.1. Procédures et dispositifs de dissuasion acoustique	128
VII.1.1.Émetteurs acoustiques	128
VII.1.2.Dispositif pour effrayer les phoques	128
VII.2. Surveillance pendant le battage des pieux	129
Annexe : Les dispositifs de dissuasion acoustique.....	136

Résumé de l'étude

Méthodologie

Quiet-Oceans et BioConsult ont été mandaté par la Société du Parc de Guérande pour réaliser une étude des impacts sonores potentiels d'un projet d'implantation d'un parc éolien offshore composée de 80 éoliennes. Sur ce site, l'enjeu mammifère marin est majoritairement lié à la présence régulière du marsouin commun (*Phocoena phocoena*), le grand dauphin (*Tursiops truncatus*), dauphin commun à bec court (*dephinius dephis*) le dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*), le globicéphale noir (*Globicephala melas*), la baleine de Minke du nord (*Balaenoptera acutorostrata*) et Le phoque gris (*Halichoerus grypus*) fréquentant régulièrement mais de façon saisonnière le site (Pelagis, 2013).

Cette étude est basée sur des simulations prédictives alimentées par des données extraites de la littérature scientifique ouverte et des bases de données environnementales (bathymétrie, sédimentologie, océano-météorologie, trafic maritime). Un levé terrain permet de connaître la vérité terrain de manière ponctuelle et d'extrapoler à l'ensemble de la zone d'étude. La donnée mesurée permet de calibrer les champs sonores prédits de l'état ambiant actuel dans la zone d'étude.

La démarche suivie pour fournir des cartes de risques prédictives a consisté à :

1. Etablir une situation acoustique de référence calibrée avant la mise en place de l'installation,
2. Etablir le champ acoustique rayonné par les différentes phases liées à l'installation,
3. Etablir l'empreinte acoustique d'une phase donnée en identifiant les zones géographiques pour lesquelles le niveau sonore créé par la phase est supérieur au bruit de mesure,
4. Etablir à l'intérieur de cette empreinte acoustique une carte de risque en recherchant les positions pour lesquelles le niveau d'exposition sonore cumulé est supérieur à un seuil donné. Les risques pris en compte sont la perte permanente d'audition, la perte temporaire d'audition et le dérangement comportemental.

Le cœur de l'étude est la simulation acoustique. Les outils utilisés au sein de la plateforme Quonops® de Quiet-Oceans :

- ✓ intègrent le meilleur de l'état de l'art technique et scientifique pour le calcul de la propagation acoustique dans le volume d'eau (Equation parabolique pour les basses fréquences, lancé de rayons pour les hautes fréquences),
- ✓ permettent une description fine et réaliste de l'environnement au sens large en intégrant une large diversité de sources sonores, de variabilités environnementales (bathymétrie, océano-acoustique),
- ✓ gèrent les incertitudes environnementales dues tant à la variabilité naturelle qu'au manque de connaissances a priori en réalisant des simulations de Monté Carlo,
- ✓ Les données de mesure issues du levé terrain permettant de lever les incertitudes sur les niveaux sonores actuellement présents dans la zone d'étude.

L'évaluation de l'impact d'une activité humaine sur la vie marine peut s'effectuer sur un continuum de niveaux allant du niveau individuel jusqu'au niveau des populations. Le manque de connaissance et l'ampleur nécessaire des études au niveau de la population est une lacune reconnue à ce jour par la communauté scientifique internationale. Les travaux présentés dans cette étude adressent le niveau de l'impact sur l'individu en trois termes :

- ✓ pertes auditives permanentes ;
- ✓ pertes auditives temporaires ;
- ✓ et dérangements comportementaux.

Levé terrain

Les résultats de cette étude sont basés sur un unique levé terrain acoustique qui s'est tenu du 22 juillet au 13 août 2013. Ce levé terrain a permis de recueillir un jeu de données statistiquement représentatif :

- ✓ d'acoustique passive, mesure du chorus sous-marin (géophonie, biophonie et anthropophonie) ;
- ✓ d'acoustique active, mesure des pertes de transmission acoustique entre le siège du futur parc selon plusieurs distances et directions.

Etat sonore initial

Le site de Guérande est situé dans un environnement ouvert vers sur l'Atlantique Nord. D'une manière générale, la distribution spatiale du bruit large bande existant à l'échelle de cet espace est très hétérogène. Le bruit existant est statistiquement plus important sur le plateau que sur le talus continental. Le bruit large bande moyen des activités humaines peut varier de 10 à 15 dB en fonction des endroits. Quelle que soit la saison, les zones d'approche du port de Saint-Nazaire au nord de la zone d'implantation du parc, et plus au nord encore, la zone d'approche du port de Lorient constituent des zones d'intensification du bruit de trafic. Les activités saisonnières telles que la plaisance et le trafic ferry vers les îles, plus importantes en été, introduisent globalement plus de bruit en été dans la bande côtière. Les conditions océanographiques ne sont pourtant pas favorables à la propagation de ces bruits sur de très grandes distances vers le large.

D'une manière générale, les fréquences inférieures à quelques kHz dominent le bruit ambiant pendant une large majorité du temps sur la zone côtière. Les basses fréquences présentent une variabilité temporelle et spatiale pouvant atteindre +/-5dB, bien plus importante que les fréquences plus élevées au-delà de quelques kHz.

Dans l'enceinte du futur parc, le bruit ambiant large bande (entre 45Hz et 44,5kHz) mesuré pendant une période de 3 semaines en été est supérieur à 97,1 dB réf. 1µPa² 90% du temps, supérieur à 99,3dB réf. 1µPa² 50% du temps, et atteint des niveaux supérieurs à 104,5dB réf. 1µPa² 5% du temps.

Empreintes sonores du projet

La propagation du bruit généré par les activités du projet est largement dépendante des conditions environnementales environnantes. En effet, les modélisations des empreintes sonores ont permis de démontrer (a) un effet d'ombre créé par Belle Ile pour les empreintes les plus grandes (ou les activités les plus bruyantes), (b) un effet de bathymétrie qui tend à entraver la propagation des ondes à l'entrée de la baie de Quiberon, et (c) une zone où le bruit du trafic maritime à l'approche du port de Saint-Nazaire et dans la zone d'attente au large de Saint-Nazaire tend à masquer certains des bruits du projet.

Les empreintes sonores des opérations de clapage restent circonscrites à l'emplacement du parc éolien. Par contre, lors des opérations de dépose des éoliennes gravitaires, les empreintes sonores s'étendent principalement vers le nord-ouest. Lors du forage de pieu de diamètre 6,8 m, l'empreinte sonore s'étend en dehors du périmètre du futur parc éolien seulement dans la direction nord-est (vers la côte). Vers le large, le bruit de cette opération est masqué par le bruit anthropique existant lié au trafic maritime et également par l'augmentation significative de la bathymétrie qui engendre une dispersion du bruit dans la colonne d'eau. Les opérations de battage des structures monopieu de 7 m de diamètre présentent les empreintes sonores les plus étendues. Elles s'étendent principalement vers le sud-sud-est avec un effet d'ombre de l'île d'Yeu. Vers le nord-nord-ouest, les

empreintes sonores présentent un effet d'ombre lié à la présence de Belle-Ile et des Iles d'Houat et Hoëdic. Vers le large, le bruit de cette opération est masqué par de bruit anthropique existant lié au trafic maritime et également par l'augmentation significative de la bathymétrie qui engendre une dispersion du bruit dans la colonne d'eau. Dans le cas de battages simultanés de pieux de 7 m de diamètre, les empreintes sonores sont légèrement plus importantes, mais on assiste à un masquage mutuel des deux empreintes sur la majeure portion des empreintes sonores. L'ensouillage des câbles présente une empreinte sonore qui s'étend sur l'emprise du parc et s'étend vers la côte au nord-nord-est du parc. Le trafic induit en phase de construction ou de maintenance présente une empreinte liée à la distribution de ces navires sur le plan d'eau, au sein du parc et vers les accès aux ports supports. Enfin, l'empreinte sonore liée à l'exploitation du parc devrait être circonscrite aux limites de la concession.

Risques biologiques liés au projet

33 espèces de mammifères marins sont susceptibles d'être présents dans l'empreinte sonore du projet. Toutefois, seule une dizaine d'espèces est susceptible d'être présent de façon régulière ou permanente. Parmi ces dix espèces, les espèces de grande taille telles que par exemple le *Balaenoptera physalus* sont peu susceptibles de se trouver dans les eaux peu profondes du site d'implantation et évitent généralement les eaux à proximité de la côte. De ce fait, l'enjeu porte principalement sur sept espèces de mammifères marins. Parmi elles, seuls le marsouin commun et les espèces de dauphin apparaissent régulièrement et en grand nombre sur le site d'implantation et sont les plus susceptibles d'être exposés aux impacts sonores.

Il existe une certaine variabilité dans les niveaux de risques, suivant (a) l'état d'avancement du projet, (b) le type de technique de construction envisagé, (d) l'espèce exposée, et (c) la saison. Cette variabilité est la plus importante sur l'estimation des risques de modification du comportement. D'une manière générale, les risques les plus importants concernent les opérations de battage des fondations monopieu ou de jacket puisque, parmi toutes les opérations envisagées, elles sont seules susceptibles de dépasser les seuils de dommage physiologique direct permanentes au voisinage des pieux, jusqu'à moins de 300 m suivant le diamètre du pieux et les espèces considérées. Les dommages temporaires peuvent intervenir dans des rayons très variables entre 800 et 2,9 km en fonction du diamètre du pieu et en fonction des espèces. Les perturbations comportementales du marsouin commun sont susceptibles d'intervenir jusqu'à des distances pouvant être comprises entre 8 et 20km pour les opérations de battage aux diamètres les plus forts, en fonction de la saison. Le forage et l'ensouillage des câbles sont susceptibles d'excéder les seuils de dommages temporaires à des distances inférieures à 140m. Les autres bruits issus du projet n'engendrent pas de dommages physiologiques.

Gestion des risques

Les mesures de gestion des risques sont proposées par BioConsult (BioConsult, 2013)

En l'absence de seuils sonores spécifiques, l'atténuation active du bruit serait uniquement requise si la dissuasion ne garantissait pas qu'aucune espèce protégée ne soit exposée à des niveaux sonores critiques ou si la perturbation causait des impacts à grande échelle. Cela n'est pas le cas pour le projet Saint-Nazaire. Conformément à la pratique internationale (Join Nature Conservation Committee, August 2010), il est ainsi recommandé d'appliquer l'atténuation et une surveillance appropriée du site d'implantation.

Les niveaux sonores nocifs susceptibles de provoquer une perte de l'audition permanente se produiront de manière répétée pendant l'opération de battage des pieux de l'atelier de construction du poste électrique et des monopieux de 7 m de diamètre. Le battage de pieu dépasse toutefois

les seuils de niveaux sonores provoquant une perte de l'audition permanente à une distance supérieure à 250 m. Une procédure de dissuasion doit donc être appliquée avant le début du battage des pieux.

Afin de réduire l'exposition des mammifères marins à des niveaux sonores provoquant des dommages auditifs, une procédure de soft-start incitant les animaux à se déplacer et une augmentation progressive du niveau sonore doivent être appliquées. Des dispositifs pour effrayer les phoques et des dispositifs de dissuasion adéquats (en ce qui concerne les espèces de marsouins et de dauphins) doivent être mis en place afin de minimiser la probabilité de présence d'un individu ou d'un groupe d'individus dans un rayon de 1 km minimum autour de chaque atelier de battage. Ces mesures devront être accompagnées d'un plan de suivi ainsi que d'une évaluation de leur efficacité pour les espèces en présence.

Dans le cas du projet de construction, les étendues des zones de risques et les durées des opérations justifient la mise en œuvre de mesures de réduction (protocole de soft-start) en complément de mesures appropriées d'évitement (usage de répulsifs) afin de minimiser la probabilité de présence d'un individu ou d'un groupe d'individus dans un rayon de 1 km minimum autour de chaque atelier de battage. Ces mesures d'évitement doivent intégrer une surveillance visuelle et par acoustique passive. Ces mesures devront être accompagnées d'un plan de suivi ainsi que d'une évaluation de leur efficacité pour les espèces en présence.

Chapitre I. Enjeux de la problématique de bruit anthropique

Le projet de parc éolien en mer porté par Société du Parc de Guérande consiste en la mise en place et l'exploitation de 80 éoliennes ancrées sur le fond. Ce projet interfère avec le milieu marin, notamment du point de vue de ses émissions sonores et sur les espèces de cétacés dont la présence est avérée.

I.1. Contexte scientifique

La communauté scientifique fait part de ses inquiétudes, depuis les années 1970, quant aux effets préjudiciables potentiels du bruit anthropique sur la vie marine et la recherche dans ce domaine s'est développée dans les années 1980 (Payne & Webb, 1971), (Richardson, Fraker, Wuersig, & Wells, 1985). Au cours des dix dernières années un certain nombre d'institutions scientifiques, d'agences gouvernementales et d'organes intergouvernementaux ont étudié ce domaine, en produisant des revues et des articles significatifs quant aux effets des sons sur les mammifères marins (Richardson, Malme, Green, & Thomson, 1995), (Würsig & Richardson, 2002), (Popper & McCauley, 2004), (Hastings & Popper, 2005), (Hildebrand J. A., 2005), (National Research Council, 2003) (National Research Council, 2005), (Wahlberg & Westerberg, 2005); (Thomsen, Lüdemann, Kafemann, & Piper, 2006) (Madsen, Wahlberg, Tougaard, Lucke, & Tyack, 2006); (Southall, et al., 2007) (Nowacek, Thorne, Johnston, & Tyack, 2007)).

Les travaux de recherche des dernières décennies ont clairement démontré que les mammifères marins sont sensibles à la pression acoustique, mais aussi que de nombreux poissons et invertébrés répondent au mouvement des particules généré par la pression acoustique, pouvant causer différents degrés de perturbation de la vie sous-marine (Sable & Karlsen (2000) ; Ona et al .(2007) ; Sable et al (2008); Anon (2008); Sigra et Andersson (2011)).

Des discussions se sont ouvertes parmi les scientifiques, les parties prenantes et les décideurs politiques sur la manière de traiter les impacts potentiels des bruits sous-marins et ainsi développer des mesures de mitigation significatives dans l'objectif de futures réglementations.

I.2. Emergence sociétale et réglementaire

Cette inquiétude gagne aujourd'hui la société civile (International Fund for Animal Welfare, 2008), l'industrie (International Maritime Organisation, 2009) et les instances politiques (Marine Mammal Commission, 2007), (European Parliament, 2004) et on observe progressivement la mise en place d'une réglementation nationale et internationale à ce sujet. En Europe, à ce jour, elle se présente sous la forme de deux directives, la Directive Cadre sur l'Eau (Parlement Européen, 2000) et la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (Commission Européenne, 2010). Plus spécifiquement, en France, la loi Grenelle II (Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 du code l'environnement) traite des incidences sur la biodiversité et plus spécifiquement les sources sonores sous-marines d'origine anthropique sont considérées comme « Pollution » si *elles entraînent ou sont susceptibles d'entraîner des effets nuisibles pour les ressources vivantes et les écosystèmes marins, et notamment un appauvrissement de la biodiversité, des risques pour la santé humaine, des obstacles pour les activités maritimes, et notamment la pêche, le tourisme et les loisirs ainsi que les autres utilisations de la mer, une altération de la qualité des eaux du point de vue de leur utilisation, et une réduction de la valeur d'agrément du milieu marin.* Cette problématique est susceptible de constituer un risque projet croissant, et est donc à considérer de façon attentive dans le cadre d'une évaluation des projets d'implantation en mer.

Ce risque s'est confirmé très récemment par la publication, dans sa version consolidée du 8 septembre 2011 et rectifiée du 20 août 2011, du décret NOR: DEVL1110724A (Ministère de l'Ecologie, 2011) portant sur l'interdiction de destruction, de mutilation et de perturbation intentionnelle de ces animaux et de l'interdiction de destruction, altération ou dégradation des lieux de reproduction et de repos d'un grand nombre d'espèces de mammifères marins dans l'ensemble de la mer territoriale et de la zone économique exclusive (ZEE).

Aussi cette étude se place sous les prérogatives et les recommandations:

- ✓ De l'article L. 219-7-5 du Code de l'Environnement ;
- ✓ De l'article L. 122-1 du Code de l'Environnement et du décret n° 2011-2019 du 29 décembre 2011 portant réforme des études d'impact des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements ;
- ✓ De la circulaire du 15 avril 2010 relative à l'évaluation des incidences Natura 2000 ;
- ✓ De la circulaire du 26 décembre 2011 relative au régime d'autorisation administrative propre à Natura 2000 ;
- ✓ Des articles L. 411-1 à L. 412-1, R. 411-1 à R. 412-7 et R. 644-2 du Code de l'Environnement et de l'arrêté du 1er juillet 2011 fixant la liste des mammifères marins protégés sur le territoire national et les modalités de leur protection ;
- ✓ Du guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens (MEEDDM, 2010)(nouvelle version en cours de rédaction) ;
- ✓ De la fiche technique n° 7 du Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens – Prévisions des immissions en milieu marin (MEEDDM, 2010) ;
- ✓ De la EU Guidance on wind energy development in accordance with the EU nature legislation (Commission Européenne, 2010) ;
- ✓ De la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin, (Commission Européenne, 2010).

I.3. Généralités sur le bruit sous-marin

Il n'existe pas d'endroit sans bruit dans l'océan. Le bruit est cependant de nature bien différente selon les endroits, les saisons, les conditions climatiques, le jour, la nuit, etc. A ce titre, le bruit sous-marin constitue une composante physique à évaluer dans son contexte géographique et dont les modifications peuvent potentiellement avoir des conséquences sur l'écosystème.

Certains organismes marins sont sensibles à la pression ou au mouvement des particules ou aux deux. Seule une description selon une échelle logarithmique, l'échelle des décibels¹ (abréviation dB) permet de décrire correctement les mécanismes physiologiques liés à la réception des sons. Cette échelle est, par définition, une unité relative à un niveau de pression acoustique de référence. En acoustique sous-marine, ce niveau de référence est de 1 µPa (un millionième de Pascal). Aussi, un niveau en décibel n'a de sens que s'il est fait mention de sa référence, et, sous l'eau, il correspond à un multiple non linéaire de 1 µPa.

Les niveaux de bruit sous-marins ne sont pas à comparer avec les niveaux de bruit aériens. En effet, le niveau de référence est de 1 µPa en acoustique sous-marine, contre 20 µPa dans l'air. De plus, avec une densité environ 1000 fois plus élevée que l'air, le milieu océanique est considéré comme un milieu de propagation incompressible contrairement à l'air. Ainsi, toute comparaison est infondée. A titre d'illustration, une échelle qualitative de niveaux de bruit sous-marins émis à un mètre dans une bande basse fréquence de quelques kHz est proposée Figure 1.

¹ Le décibel est une échelle de mesure logarithmique en acoustique. La définition du décibel est $P_{dB} = 20 \log_{10}(P/P_{ref})$, avec P_{ref} la pression acoustique de référence exprimée en µPa, et P la pression acoustique aussi exprimée en µPa.

Les ondes acoustiques dans l'eau se propagent très rapidement (typiquement 1500m/s) et sur des distances qui peuvent être très importantes. La distribution du niveau de bruit dans la colonne d'eau et dans les sédiments est principalement fonction des sources en présence (naturelles, d'origine animale ou d'origine humaine), des conditions de bathymétrie, des conditions de température et de salinité, de la nature du fond, de l'état de mer. Les disparités de propagation sont donc souvent très importantes à l'échelle locale (à une position mais pour deux immersions différentes par exemple) ou à l'échelle d'un bassin océanique.

La pression peut être mesurée à l'aide d'un dispositif sensible à la pression tel qu'un hydrophone (un microphone sous-marin) qui restitue les fluctuations rapides de pression en fonction du temps. L'oscillation du signal acoustique définit sa fréquence, exprimée en Hertz (Hz). Lorsque la fréquence est basse (oscillations lentes) les sons sont graves, lorsque la fréquence est élevée, le son est aigu. Des techniques de traitement du signal existent pour analyser les signaux sonores en fonction de leur fréquence, pouvant donner lieu à des découpages en bandes de fréquences normalisées appelées octaves² ou tiers d'octave.

Le champ sonore perçu est fonction de la sensibilité de chaque espèce. Cette sensibilité dépend de la fréquence du bruit ou de leur fonction d'audition. A titre de comparaison, la sensibilité acoustique de l'espèce humaine couvre la gamme de fréquences de quelques dizaines de Hz (fréquence des sons perceptible les plus graves) à environ 20 kHz (fréquence des sons perceptibles les plus aigus). Cette gamme de sensibilité se réduit d'ailleurs avec l'âge.

La quantité physique définie pour traduire la sensibilité acoustique de chaque espèce est le Niveau d'Exposition Sonore (Sound Exposure Level en anglais). Elle est l'intégrale de l'énergie acoustique reçue sur la bande de fréquence de sensibilité biologique (bande de fréquence effectivement perçue par une espèce) pendant une durée donnée. Si cette durée d'exposition sonore dépasse une seconde, on parle d'Exposition Sonore Cumulée qui a un sens en termes d'effet.

A ce jour, les critères proposés récemment pour les animaux sous-marins ont été formulés par Hastings & Popper (2005) et Southall et al. (2007) et sont d'une double nature, fournissant à la fois les limites de la pression acoustique de crête-à-crête et des niveaux d'exposition sonore spécifiques pour une espèce.

Enfin, le bruit ambiant, en particulier s'il présente une composante anthropique³, est par définition de nature stochastique⁴. Cela est lié au fait que les sources de bruit anthropique et, dans une bien moindre mesure, les conditions environnementales fines, sont difficilement prédictibles. En effet, il est particulièrement difficile de prévoir quand le prochain navire de pêche passera à un endroit donné. La notion de percentile permet de traduire et de quantifier cet aspect aléatoire. Un percentile⁵ correspond à la proportion du temps et de l'espace pour lequel le bruit dépasse un niveau donné.

² Une octave est l'intervalle séparant deux sons dont la fréquence fondamentale de l'un vaut le double de la fréquence de l'autre. Un tiers d'octave est une fraction d'octave. La norme ANSI S1.11 (2004) définit les fréquences centrales et les caractéristiques des filtres servant à les distinguer.

³ Relatif à l'activité humaine.

⁴ Un phénomène stochastique est un phénomène qui ne se prête qu'à une analyse statistique, par opposition à un phénomène déterministe.

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

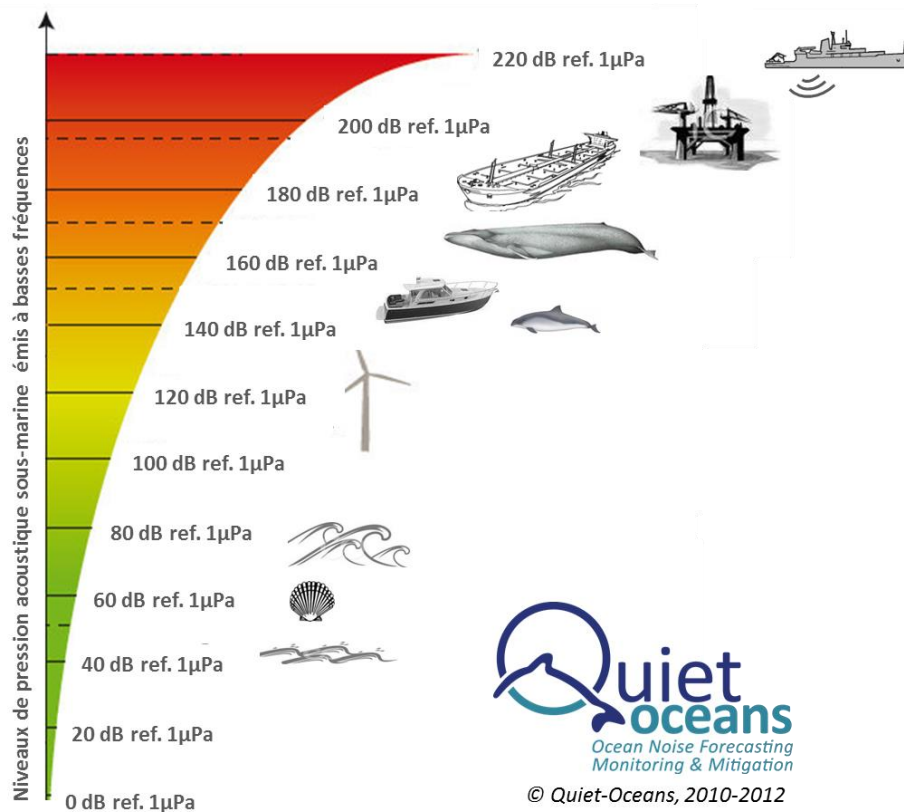


Figure 1 : Echelle qualitative des niveaux de bruits sous-marins émis à un mètre dans une bande basse fréquence de quelques kHz. Source Quiet-Oceans.

Dénomination	Définition	Unité
Pression acoustique émise	La pression acoustique émise est l'amplitude du signal qui serait généré à un mètre d'une source de bruit si celle-ci était ponctuelle. Cette pression peut être exprimée en valeur instantanée, valeur moyenne, valeur efficace ⁶ , ou en valeur maximale.	dB réf. 1μPa @1m
Pression acoustique reçue	La pression acoustique reçue est l'amplitude du signal tel qu'il peut être mesuré sur la bande de fréquences de réception d'un hydrophone à une distance donnée de toute source sonore. Cette pression peut être exprimée en valeur instantanée, valeur efficace, ou en valeur maximale.	dB réf. 1μPa
Niveau d'exposition sonore	Le niveau d'exposition sonore est l'intégrale de l'énergie acoustique reçue sur une bande de fréquence de sensibilité biologique (bande de fréquence effectivement perçue par une espèce) pendant une durée donnée.	dB réf. 1μPa ² s

Tableau 1 : Définitions et unités de mesure acoustique

⁶ La valeur efficace, ou RMS « pour Root Mean Square » en anglais correspond à la racine carrée de la moyenne des carrés du signal sur une période de temps fixée.

I.4. Contexte de l'étude

La Société du Parc de Guérande développe un projet éolien en mer qui porte sur l'installation et l'exploitation d'un parc de 80 éoliennes d'une puissance nominale de 6MW, dans les eaux sous juridiction française au large de Saint Nazaire (Atlantique). La mise en service industrielle de ces machines est prévue pour 2018.

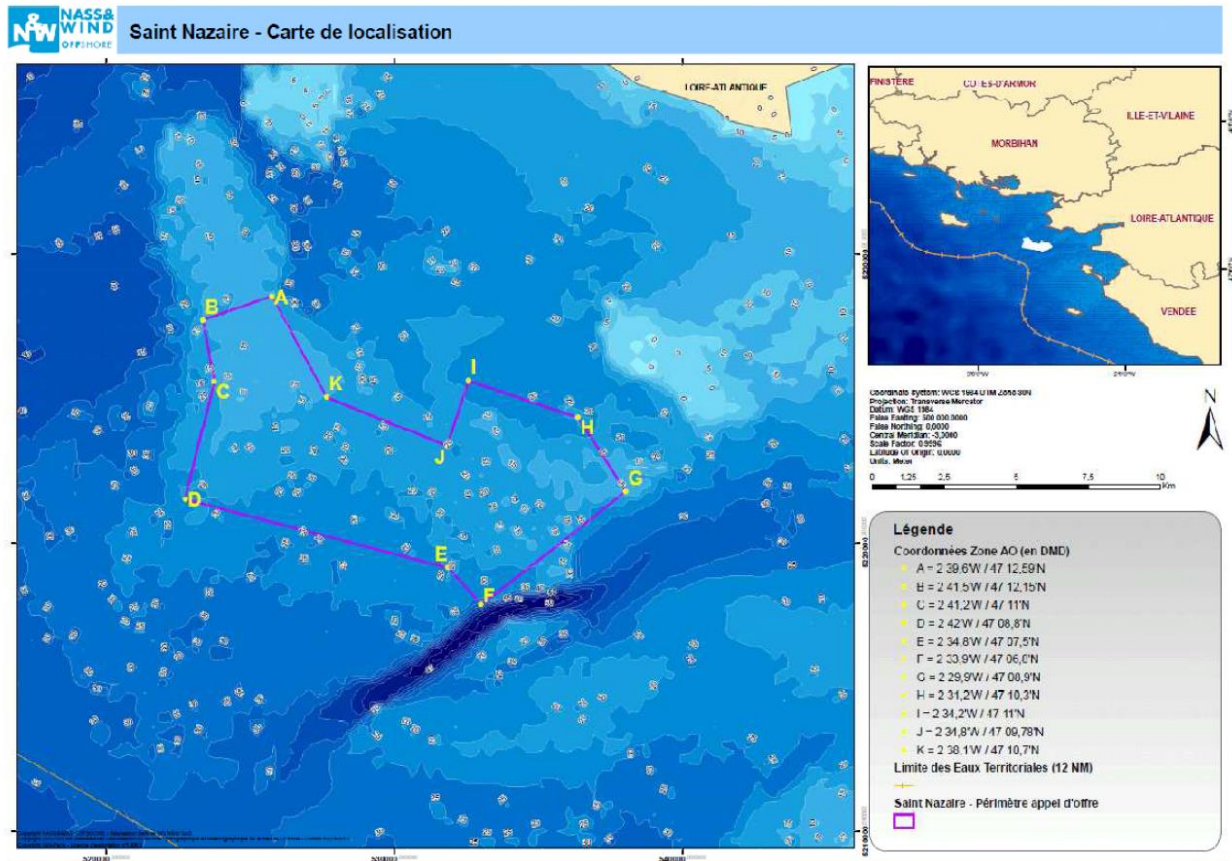


Figure 2 : Implantation du parc éolien offshore au large de Fécamp (source : Société du Parc de Guérande)

Eléments	Caractéristiques
Nombre d'éoliennes ALSTOM 6MW	80
Puissance totale du parc	480 MW
Surface totale du parc	78 km ²
Distance à la côte au point le plus proche	12 km
Nombre de sous-stations électriques	1

Tableau 2 : Caractéristiques techniques du futur parc éolien (source : Société du Parc de Guérande)

I.5. Enjeux biologiques

La zone de construction est située à proximité de douze sites Natura 2000, concernés par la directive « Habitats ».

Cinq sites sont situés à une distance comprise entre 1 et 15 kilomètres du site d'implantation :

- o « Estuaire de la Loire Sud – Baie de Bourgneuf » (FR5202012)
- o « Estuaire de la Loire Nord » (FR5202011)

- o « Plateau du Four » (FR5202010)
- o « Iles Houat-Hoedic » (FR5300033)
- o « Marais salants de Guérande, traicts du Croisic et dunes de Pen-Bron » (FR5200627)
- Sept sites sont situés à une distance comprise entre 15 et 50 kilomètres :
- o « Belle Île en Mer » (FR5300032)
- o « Plateau Rocheux de l'île d'Yeu » (FR5202013)
- o « Estuaire de la Loire » (FR5200621)
- o « Marais du Mes, Baie et dunes de Pont-Mahé, Étang de Pont de Fer » (FR5200626)
- o « Massif dunaire Gâvres-Quiberon, zones humides associées » (FR5300027)
- o « Golfe du Morbihan, côte ouest de Rhuys » (FR5300029)
- o « Rivière de Penerf, Marais de Sucinio » (FR5300030)

Sur six de ces sites (« Belle Île en Mer » (FR5300032), « Plateau Rocheux de l'île d'Yeu » (FR5202013), « Estuaire de la Loire Sud – Baie de Bourgneuf » (FR5202012), « Estuaire de la Loire Nord » (FR5202011), « Plateau du Four » (FR5202010), « Iles Houat-Hoedic » (FR5300033) ont été répertoriées une ou deux espèces de mammifères marins listés dans l'annexe IV de la directive « Habitats » (92/43/CEE) : le marsouin commun (*Phocoena phocoena*) et le grand dauphin (*Tursiops truncatus*). Dans certaines de ces zones protégées, on trouve le dauphin commun à bec court (*Delphinus delphis*), la baleine de Minke du nord (*Balaenoptera acutorostrata*) et le globicéphale noir (*Globicephala melas*) qui sont répertoriés comme des mammifères marins importants additionnels. La zone d'implantation proposée accueille régulièrement divers espèces de mammifères marins. Dans le cadre de la construction du parc éolien en mer, les effets des opérations de battage et d'installation doivent être évalués vis-à-vis des espèces de mammifères marins.

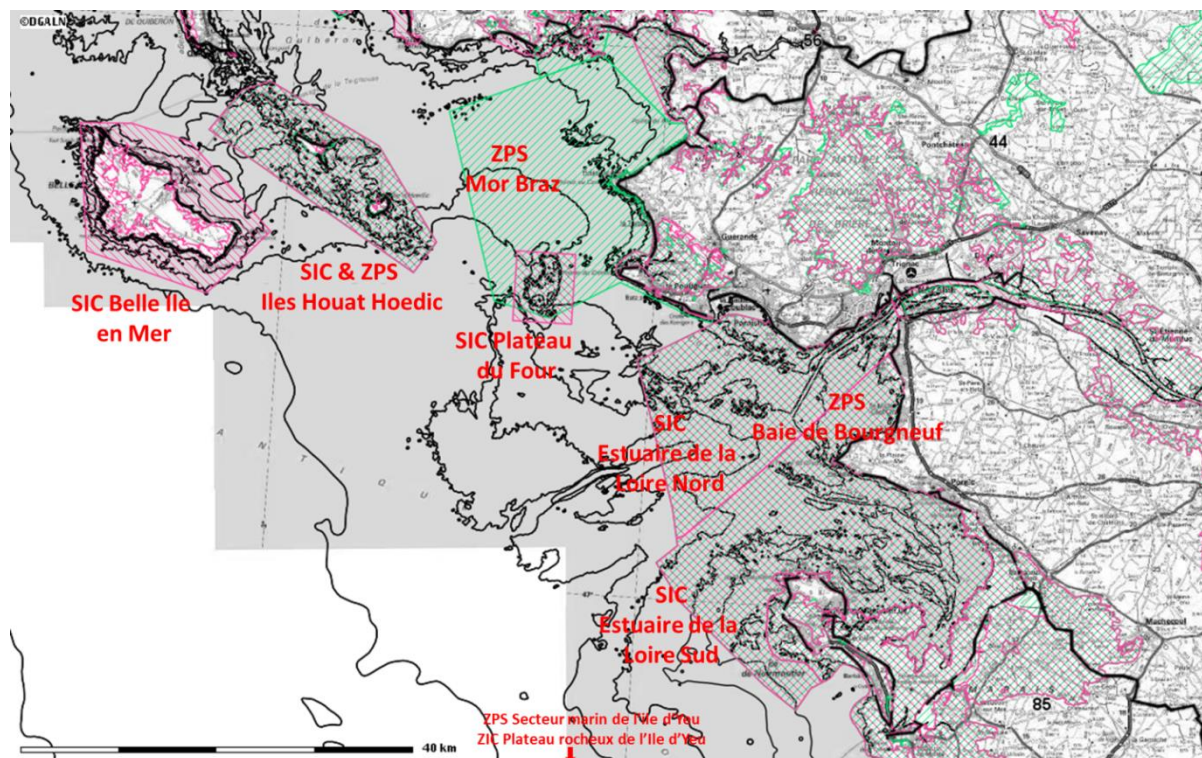


Figure 3 : Sites Natura 2000 (SIC⁷ et ZPS⁸) à proximité du site d'implantation du parc éolien en mer.

⁷ Site d'intérêt communautaire

I.6. Approche adoptée

La Société du Parc de Guérande a mandaté Quiet-Oceans pour réaliser la prévision du champ acoustique généré par le projet d'implantation et d'exploitation d'un parc d'éoliennes offshore au large de Saint Nazaire. Quiet-Oceans est spécialisé dans la caractérisation et la modélisation du bruit anthropique et jouit, dans ce domaine, d'une reconnaissance scientifique à la fois nationale et internationale.

La Société du Parc de Guérande a mandaté BioConsult (Allemagne) afin d'interpréter les prévisions réalisées par Quiet-Oceans, de fournir une analyse biocénotique et de formuler les recommandations de gestion des risques identifiés.

Quiet-Oceans et BioConsult ne sont pas juridiquement solidaires et leur responsabilité n'est engagée de façon strictement exclusive que sur leur périmètre propre.

Aussi, en conformité avec les recommandations du Ministère de l'Ecologie (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, 2010), un ensemble de cartographies acoustiques des distributions statistiques des niveaux sonores dans la zone du futur parc, leur analyse, et l'évaluation des risques biologiques liés aux immiscions sonores du projet en synergie avec l'étude de la fréquentation du site par les mammifères marins et les pinnipèdes (Martinez L, 2011). Ces résultats, calibrés par une campagne de mesures de bruit in-situ, permettent de définir des protocoles de mesures et de suivi des impacts qui soient pertinents et cohérents avec les niveaux de risques anticipés. Cette étude, qui sera intégrée au dossier d'étude d'impact, contribue à l'évaluation de l'impact environnemental global du projet sur la faune marine.

I.7. Enjeux de l'étude d'impact acoustique prédictive

Les enjeux de cette étude sont les suivants :

- ✓ Respecter une méthodologie d'étude conforme à l'état de l'art technique et scientifique, et aux préconisations réglementaires,
- ✓ Obtenir des résultats calibrés et des protocoles détaillés permettant la constitution des dossiers,
- ✓ Proposer une stratégie et des outils d'évaluation, de suivi et de réduction des incidences sonores sous-marines qui seront mis en œuvre durant la vie du projet afin de minimiser les risques environnementaux et réglementaires.

I.8. Méthodologie

La méthodologie proposée pour l'étude des impacts acoustiques est issue d'une expertise scientifique en acoustique sous-marine acquise dans un contexte international, principalement dans le domaine de la Défense, et par la pratique opérationnelle de procédures d'évaluation et de mitigation lors de campagnes océano-acoustiques opérationnelles en mer menées par l'OTAN (NATO Undersea Research Centre, 2004).

I.8.1. Protocole détaillé de l'étude des impacts sonores

La Figure 4 décrit la méthodologie de réalisation de l'étude d'incidence acoustique sous-marine conforme aux recommandations de (Boyd, 2008). A partir du recueil des données initiales (biologique, activités maritimes, données socio-économiques, etc.) et des scénarios spatio-temporels descriptifs (scénario des activités maritimes déjà existantes, scénario océano-météo, etc.), la cartographie de l'état sonore initial et des états sonores relatifs aux différentes phases du projet

⁸ Zone de Protection Spéciale

permettent de déterminer l'empreinte sonore du projet (émergence par rapport au bruit existant) et d'en dériver les niveaux de risque biologique.

Les résultats de ces productions sont un ensemble de champs sonores statistiquement représentatifs des situations environnementales et anthropiques de la zone d'étude. Ces champs sonores sont ensuite analysés pour en extraire une signification acoustique statistique, et une évaluation des niveaux de risques biologiques individuels (dommages physiologiques temporaires et permanents, modification du comportement) pour tous les mammifères marins potentiellement présent dans la zone d'incidence du Projet. Des mesures in-situ permettent d'affiner les paramètres physiques et servent à calibrer les champs sonores prédits.

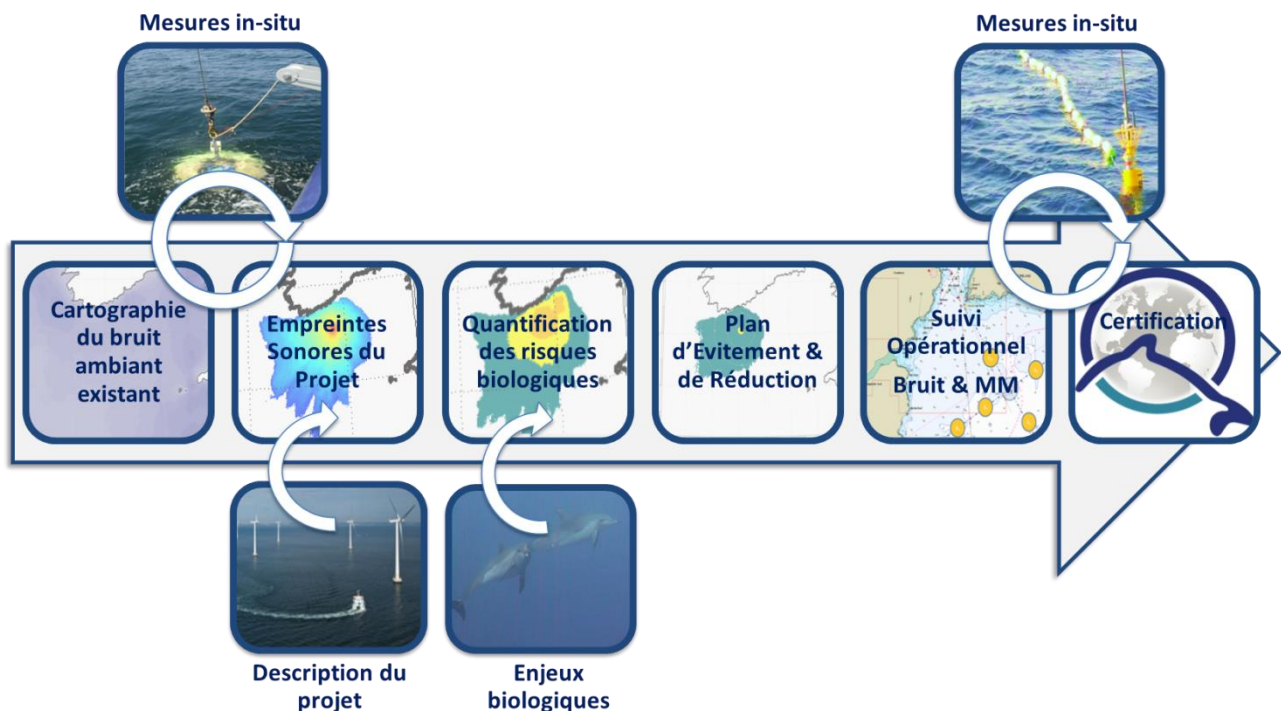


Figure 4 : Méthodologie d'étude détaillée d'évaluation des impacts acoustiques. Les mesures in-situ permettent de calibrer les champs sonores.

1.8.1.a. Etape 1 : Recueil des données

Les ondes acoustiques sous-marines pouvant se propager sur plusieurs dizaines de kilomètres, la zone d'étude acoustique dépasse largement le périmètre d'implantation du futur parc éolien. Aussi, la zone de recueil des données couvre les côtes françaises (Finistère Sud Côte Basque)

A ce stade d'avancement du projet, les prévisions des émissions sonores sous-marines et leur propagation dans le milieu océanique sont définies sur la base d'un recueil de données couvrant :

- ✓ de données relatives au milieu physique issues de la littérature, et de fournisseurs spécialisés ou de bases de données environnementales, telles que la température, la salinité, la marée, la bathymétrie, la nature des fonds, etc. ;
- ✓ de données relatives à l'activité anthropique, issues d'un recensement des activités existantes sur la zone d'étude ;

- ✓ de données techniques recueillies auprès de la Société du Parc de Guérande concernant les techniques de construction, les éoliennes et les opérations de maintenance qui devraient être mis en œuvre lors de ce projet ;
- ✓ de données relatives au milieu vivant, portant essentiellement sur la fréquentation des mammifères marins issues d'une étude spécifique mammifères marins (Pelagis, 2013), (BioConsult, 2013).

1.8.1.b. Etape 2 : Campagnes de mesures in-situ

Pour calibrer l'état sonore existant et les prévisions de la distribution des bruits liés au projet (Figure 4), une série de mesures in-situ ont été réalisées dans et à proximité de la zone du projet sur des durées statistiquement significatives du bruit ambiant existant. Deux types de mesures complémentaires sont réalisés

- ✓ Des enregistreurs d'acoustique passive autonomes sont immergés à des points fixes permettant d'évaluer les niveaux sonores actuellement présents ;
- ✓ Des transmissions acoustiques actives de signaux calibrés et contrôlés permettent de réduire les incertitudes, en particulier sur la nature géoacoustique des fonds.

La mesure par un hydrophone est ponctuelle par nature, et son domaine de validité est restreint à l'endroit, l'immersion et le temps de la mesure. La mesure effectuée par chaque hydrophone déployé permet de recueillir la résultante de toutes les contributions de tous les bruits situés dans le rayon de couverture de l'hydrophone. Ainsi, l'utilisation d'hydrophone permet, dans sa bande de sensibilité, à la fois de :

- ✓ mesurer les bruits naturels de l'environnement (bruit des vagues, etc.),
- ✓ mesurer les bruits biologiques de toute nature,
- ✓ mesurer les bruits anthropiques (hélices, moteurs, engin de pêche, vibrations, explosions, chocs, etc.).

Une seule campagne de mesure a été réalisée en été. Les incertitudes quant au bruit engendré dans et à proximité de la zone d'étude par les petites embarcations et le bruit naturel saisonnier n'ont donc pas été levées.

1.8.1.c. Etape 3: Production des champs sonores statistiques de l'Etat Initial et liés au projet

Le projet implique des techniques dont les émissions sont impulsionnelles ou continues à large bande couvrant les bandes de fréquences infra-sonore, audibles et ultrasonores, allant de quelques dizaines d'Hertz (Hz) à plusieurs dizaines de kHz. Les hypothèses et les données caractérisant les sources sonores mises en œuvre par le projet de construction, d'exploitation et de maintenance du parc, leur distribution spatiale et leur variabilité temporelle sont définies pour chaque type de bruit. Des modèles scientifiques de calculs de propagation des ondes de pression en milieu sous-marin sont mis en œuvre dans une plateforme technologique de prévision des distributions sonores sous-marines validée et détaillée au paragraphe 1.8.3. L'émergence statistique des bruits du projet est estimée pour chacun des scénarios descriptifs du projet.

1.8.1.d. Etape 4 : Cartographie des risques biologiques statistiques liés au projet

Les bruits sous-marins liés à l'implantation et au fonctionnement de parcs éoliens peuvent avoir une incidence sur la vie sous-marine, en particulier sur les mammifères marins qui disposent d'une sensibilité auditive accrue (SMRU I. , 2007). La sensibilité des mammifères marins aux bruits d'origine anthropique n'est pas simple à comprendre puisqu'elle dépend de nombreux facteurs internes et externes, interdépendants. Les mammifères marins font appel à leurs capacités acoustiques, en émission et en réception, pour communiquer, naviguer, s'orienter, éviter les

prédateurs et s'alimenter. Cependant, la sensibilité auditive dépend des espèces, elle varie entre les individus d'une même population et peut être influencée par une gamme de facteurs naturels tels que l'âge (Houser, 2006).

D'une manière générale, les impacts potentiels peuvent être au niveau d'un individu et au niveau des populations, avec des effets différents :

- ✓ Au niveau d'un individu, l'échelle des impacts couvre, d'un côté du spectre, la modification du comportement et des facultés à communiquer, à chasser ou à se reproduire, à la destruction physiologique totale ou partielle des capacités auditives, perte pouvant entraîner la mort pour les effets les plus extrêmes ;
- ✓ Au niveau des populations, l'échelle des impacts couvre la décroissance de la natalité, l'augmentation de la mortalité infantile, ou encore l'abandon du site.

Les travaux présentés dans cette étude n'adressent les niveaux d'impact qu'à l'échelle de l'individu car seuls les seuils de tolérance et de dommage physiologiques individuels ne sont connus et quantifiés à ce jour.

Le champ sonore est transformé en niveau sonore perçu selon la sensibilité de chaque espèce en fonction de la fréquence ou de leur fonction d'audition. Cette transformation, proposée par (Southall, et al., 2007) revient à sélectionner uniquement la plage de fréquences qui sont réellement perçues par l'homme ou par les animaux. Ils sont calculées en intégrant l'énergie acoustique dans la bande passante à -6dB à partir de la courbe de pondération (« M-Weighting ») en pression de chaque espèce (Figure 5).

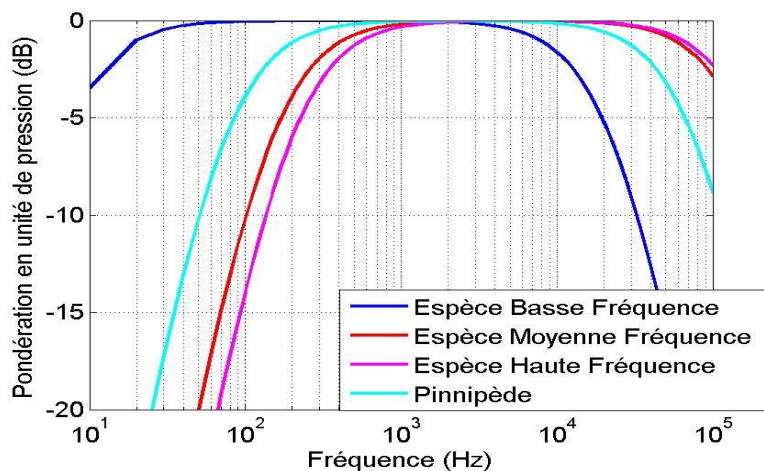


Figure 5: Fonctions de pondération par classe d'espèce de mammifère marin, ou fonction d'audiogramme, permettant d'estimer les niveaux sonores perçus par les espèces biologiques (Southall, et al., 2007). Pour l'Homme la bande de fréquence utile est de 20Hz-20kHz.

Les zones affectées par l'empreinte sonore du projet sont donc ainsi converties, conformément aux recommandations internationales en termes de niveau d'exposition sonore (Boyd, 2008). L'exposition sonore correspond au bruit perçu spécifiquement par chaque espèce pendant une durée donnée. Les zones de risques sont ensuite identifiées d'après les seuils de tolérance définis par (Southall, et al., 2007) :

- ✓ Une zone hors de l'empreinte sonore du projet, c'est-à-dire au sein de laquelle les bruits médians du projet sont masqués par le bruit existant déjà ;
- ✓ Une zone au sein de l'empreinte sonore mais de faible probabilité de dommage physiologique direct ;
- ✓ Une zone de réactions comportementales potentielles pour le marsouin commun, seule espèce à ce jour ayant fait l'objet d'études (Lucke, Siebert, Lepper, & Blanchet, June 2009)
- ✓ Une zone de forte probabilité de dommages physiologiques directs temporaires de l'appareil auditif ;

- ✓ Une zone de forte probabilité dommages physiologiques directs permanents de l'appareil auditif.

Ces évaluations sont réalisées sous forme de cartographie statistique à partir de la prédiction de la distribution statistique des niveaux sonores d'une part, et des informations sur la fréquentation potentielle par les mammifères marins d'autre part.

1.8.1.e. Etape 5 : Définition des mesures de réduction et d'évitement possibles et évaluation de leurs gains potentiels

Cette étape repose sur les informations produites par l'étape de cartographie des risques biologiques statistiques liés au projet. Lorsque le risque de dommage physiologique est avéré, la réduction des risques peut se réaliser selon quatre leviers principaux (Tableau 3) :

- ✓ Mettre en place des mesures de réduction des niveaux de source de bruit individuels,
- ✓ Mettre en place des mesures de réduction des niveaux sonores cumulés,
- ✓ Mettre en place des systèmes qui entravent la propagation du bruit dans l'océan,
- ✓ Mettre en place des mesures qui permettent d'éloigner temporairement les espèces des zones de risque.

Lorsque cela est possible et pertinent, les effets des mesures identifiées sont modélisés à l'aide de Quonops© afin de quantifier les effets prévisibles de leur mise en œuvre.

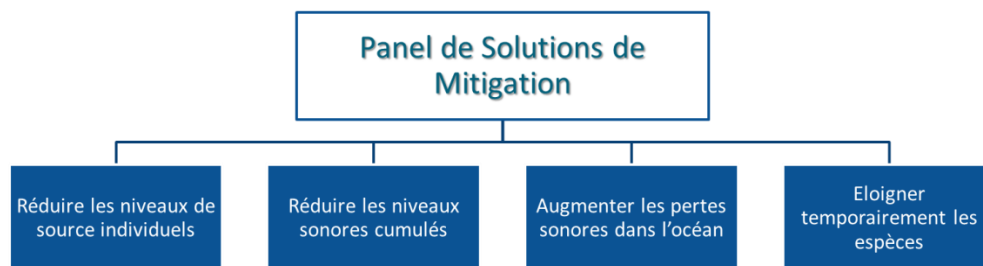


Tableau 3 : Panel de solutions de réduction des risques sonores vis-à-vis des mammifères marins.

1.8.1.f. Etape 6 : Analyse et interprétation

Enfin, les informations géographiques de dépassements de seuils, de risque biologique sont confrontées aux connaissances sur la fréquentation potentielle par les mammifères marins afin de préconiser des stratégies d'évitement et/ou de réduction et formuler des recommandations en termes de gestion des risques. Les interprétations sont proposées par les experts de BioConsult. (BioConsult, 2013)

1.8.2. Approche statistique

La nature stochastique du bruit ambiant est liée au fait que la distribution des sources de bruit anthropique et, dans une bien moindre mesure, les conditions environnementales fines, sont difficilement prédictibles. En effet, il est particulièrement difficile de prévoir quand le prochain navire de pêche passera à un emplacement spécifique du futur parc éolien au large de Fécamp. Les effets du bruit sur les espèces est tout autant de nature stochastique puisqu'on ne peut raisonnablement lui adjoindre qu'une estimation statistique du risque qu'il fait encourir. Aussi, afin de palier à cette caractéristique fondamentale, l'approche proposée repose sur une caractérisation statistique du bruit et des risques associés.

En pratique, les atlas sonores produits par Quonops© sont réalisés selon toutes les combinaisons d'un ensemble de situations environnementales et de situations anthropiques représentatives du

site d'étude (Tableau 4). Une approche par la méthode de Monte-Carlo⁹ (Folegot & Clorennec, 2013) permet ensuite de déterminer les statistiques saisonnières des champs sonores, et de décrire l'état sonore de la zone d'étude en termes de probabilité de niveau acoustique et de distribution spatiale. Le paramètre « situation anthropique » reflète des situations « instantanées » de distributions spatiales des sources anthropiques des activités existantes (pour l'état initial) ou du projet (pour l'empreinte sonore du projet).

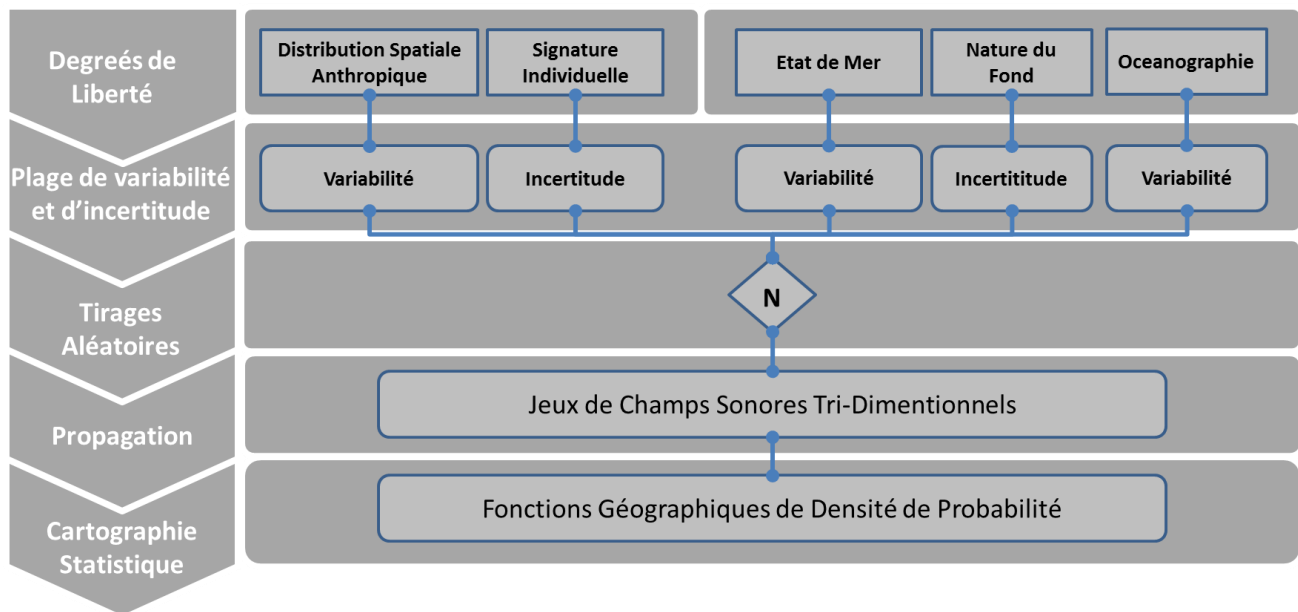


Tableau 4 : Approche statistique par méthode de Monte-Carlo pour la caractérisation sonore sous-marine permettant de prendre en compte (a) les incertitudes liées à la connaissance du milieu océanique et liées aux incertitudes des bruits anthropiques émis ; (b) la variabilité de l'environnement et de la distribution des sources de bruits anthropiques.

1.8.3. Technologie utilisée

1.8.3.a. Modélisation de la propagation du bruit dans les océans

Les ondes sonores dans l'eau se propagent très rapidement et sur des distances pouvant aller de quelques kilomètres à quelques centaines de kilomètres, d'autant plus que les fréquences sont basses et que les fonds sont importants. La distribution du niveau de bruit dans la colonne d'eau est principalement fonction des sources en présence, des conditions de bathymétrie, des conditions de température et de salinité, de la nature du fond, et de l'état de mer. L'estimation des champs sonores se fait par simulation numérique impliquant l'usage de modèles prenant en compte l'ensemble de ces paramètres.

Quiet-Oceans propose une modélisation par équations paraboliques (Collins, 1994) (Collins, Cederberg, King, & Chin-Bing, 1996) et par rayons à distribution énergétique Gaussienne (Porter & Reiss, 1984), qui traduit fidèlement la distribution géométrique du bruit dans la colonne d'eau, tout en offrant des performances de calcul intéressantes pour une analyse statistique. Les profils de célérité du son dans l'eau sont proportionnels à la température de l'eau, la salinité et la pression (ou

⁹ La méthode de Monte Carlo est une méthode numérique, qui utilise des tirages aléatoires pour réaliser le calcul d'une quantité déterministe. Largement utilisée dans les domaines de la finance, des sciences de la Terre et des sciences de la Vie.

profondeur). Le principal effet de ces non-homogénéités dans les distributions de vitesse du son est de courber les rayons de propagation et de créer des chenaux de propagation. Ces phénomènes complexes sont toutefois prédictibles par simulation numérique. La modélisation de la propagation du son se fera à Nx2D, c'est-à-dire que l'effet tridimensionnel est obtenu par une succession de modélisations dans des plans verticaux interpolés de façon cylindrique. Les effets de masquage potentiels d'une éolienne par les autres ne sont pas considérés dans cette étude.

Les sources acoustiques sont modélisées de la façon suivante :

- ✓ Pour les navires, les sources sont considérées ponctuelles immergées près de la surface,
- ✓ Pour les opérations de clapage, les sources de bruit sont considérées proches du de la surface (source prédominante au moment du déversement).
- ✓ Pour les opérations de forage ou de battage, l'énergie sonore est distribuée sur la colonne d'eau, avec une prédominance à proximité du fond
- ✓ Pour les activités d'ensouillage des câbles, les sources de bruit sont considérées proches du fond et en surface pour le bruit des navires support.
- ✓ Pour la partie immergée des éoliennes en exploitation nominale, les sources sont discrétisées le long de la colonne d'eau,

1.8.3.b. Plateforme de prévision du bruit anthropique Quonops®

Afin de parvenir à ces résultats, Quiet-Oceans développe et opère Quonops®, un système propriétaire opérationnel de surveillance et de prédiction du bruit anthropique en mer (Folegot T. , 2010a). A l'instar des systèmes de prévision météorologique, cette plateforme puissante et brevetée produit une estimation de la distribution spatio-temporelle des niveaux de bruit générés par l'ensemble des activités humaines en mer. Les activités maritimes couvertes sont nombreuses parmi lesquelles le trafic maritime (Folegot T. , 2010c), les opérations de prospection pétrolière, les exercices militaires de lutte sous-marine, la construction et les opérations en mer d'extraction des énergies fossiles, la construction et les opérations éoliennes en mer, les forages et dynamitages sous-marins, etc. La donnée produite par Quonops® couvre les besoins tels que définis dans les réglementations nationales et internationales, existantes et émergentes, concernant les niveaux de pollution et la préservation des habitats, des écosystèmes marins et la protection des espèces marines (Folegot T. , 2010b). Elle offre une connaissance nouvelle des pollutions sonores par l'intermédiaire d'une cartographie des distributions et permet d'appréhender les volets acoustiques des études d'incidences, et les optimisations de planification et de mitigation des activités industrielles maritimes dans leur conformité environnementale.

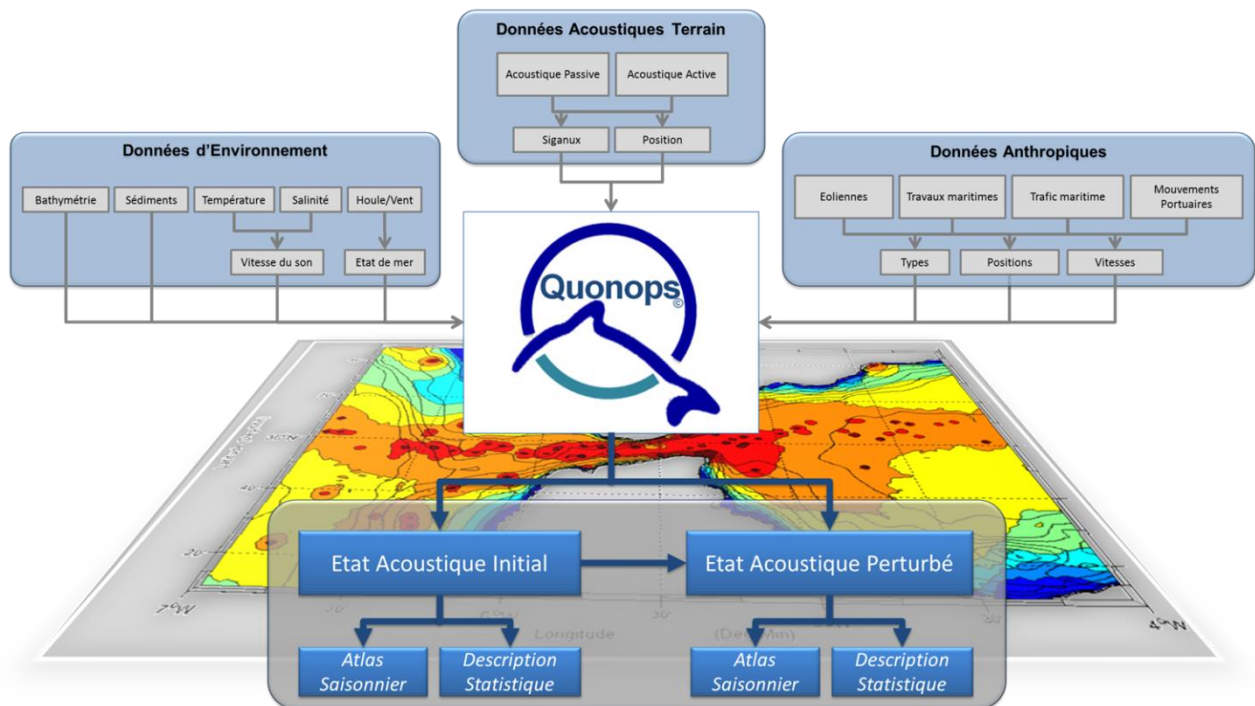


Tableau 5 : Description schématique de la plateforme opérationnelle de prévision des bruits.

1.8.3.c. Qualification de la plateforme de prévision Quonops®

Les mesures environnementales et acoustiques donnent une vérité terrain dont la validité est ponctuelle. Il est en effet courant d'observer à un même instant, des niveaux sonores différents de 10 dB à deux profondeurs différentes espacées de 10 m. Les mesures ponctuelles ont pour vocation à être traitées par tiers d'octaves, et assimilées dans la version temps-réel du système de prévision du bruit anthropique Quonops®. Un exemple de traitement est présenté Figure 6 dans le cas de la cartographie sonore du Rail de Ouessant, réalisé en collaboration avec le SHOM et l'ENSTA Bretagne. En effet, une expérience a été menée au large d'Ouessant en collaboration avec le SHOM et l'ENSTA Bretagne. Une mesure acoustique réalisée dans le tiers d'octave centré sur la fréquence de 120 Hz à l'aide d'un hydrophone placé à 55m de profondeur au Sud du Rail (courbe bleue, figure du haut) a permis de vérifier la très bonne conformité des estimations de Quonops® en ce point pendant 18 heures (courbe rouge, Figure 6). Ainsi, le champ estimé par Quonops®, à partir des données environnementales et des activités humaines, sur l'ensemble de la zone (Figure 6 en bas à gauche) est représentatif de la réalité terrain et permet de caractériser l'état sonore statistique pour l'ensemble de la zone (courbe en bas à droite). L'ensemble de ces travaux de recherche font l'objet d'une publication en cours et ont été présenté à des conférences internationales¹⁰¹¹¹².

¹⁰ Conférence International Quiet Ocean Experiment, Aout 2011, UNESCO, Paris.

¹¹ Conférence Ambient noise in north-European seas: Monitoring, impact and management, Octobre 2011, Southampton.

¹² Séminaire Surveillance, l'Etude et la Reconnaissance de l'Environnement par Acoustique Discrète (SERENADE), Avril 2012, Grenoble.

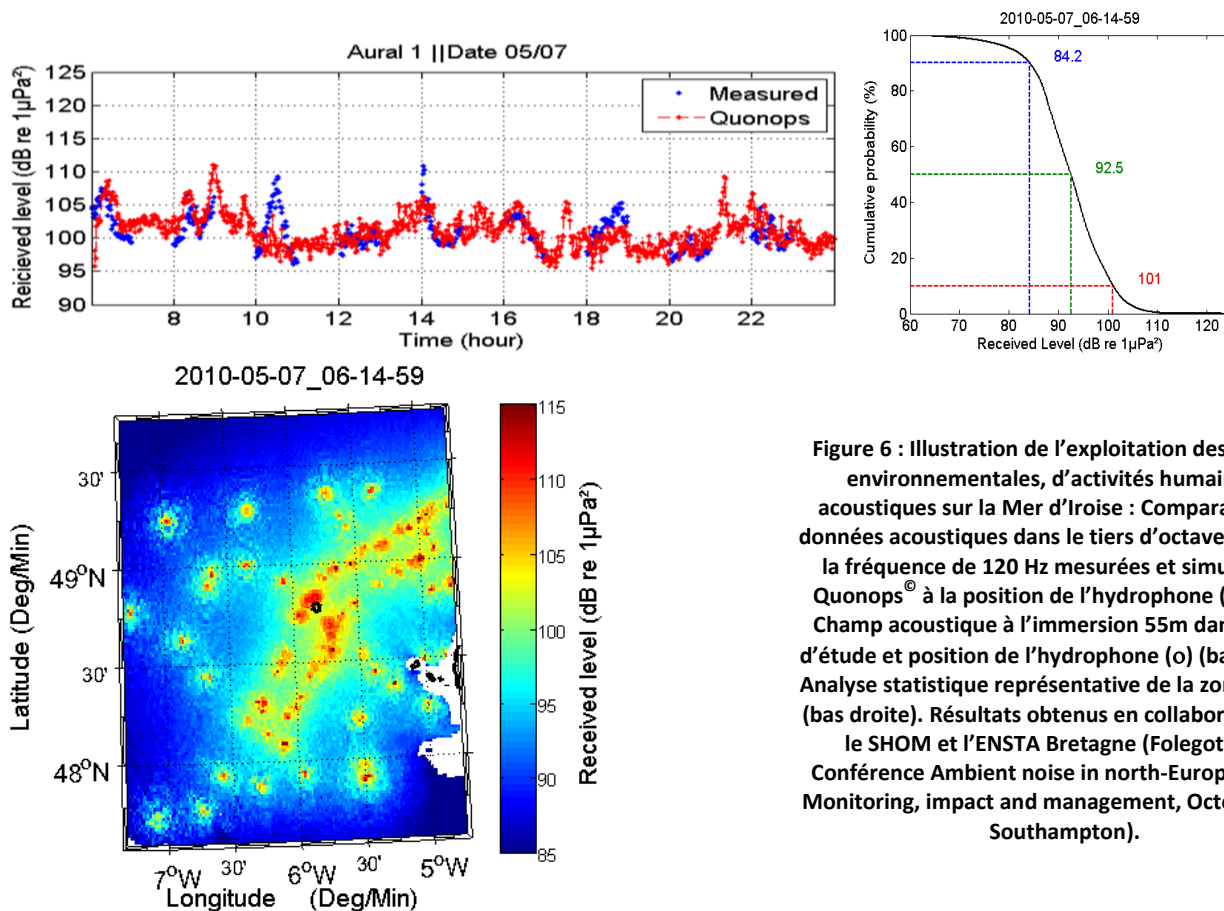


Figure 6 : Illustration de l'exploitation des mesures environnementales, d'activités humaines et acoustiques sur la Mer d'Iroise : Comparaison des données acoustiques dans le tiers d'octave centré sur la fréquence de 120 Hz mesurées et simulées par Quonops® à la position de l'hydrophone (en haut). Champ acoustique à l'immersion 55m dans la zone d'étude et position de l'hydrophone (o) (bas gauche). Analyse statistique représentative de la zone d'étude (bas droite). Résultats obtenus en collaboration avec le SHOM et l'ENSTA Bretagne (Folegot et al., Conférence Ambient noise in north-European seas: Monitoring, impact and management, Octobre 2011, Southampton).

1.8.4. Limites de la méthode et lacunes de connaissances

1.8.4.a. Conditions de la modélisation

Les sources acoustiques sont idéalisées en sources ponctuelles ou série de sources ponctuelles en fonction du type d'activité considérée. Cela est une simplification vis-à-vis à des sources sonores qui sont dans la plupart des cas étendues. Cela peut introduire un biais très localement à la position de la source de bruit.

La modélisation par équations paraboliques (Jensen, Kuperman, Porter, & Schmidt, 2000) repose sur une hypothèse « lentement variable » du milieu de propagation, ce qui est le cas dans cette étude. Cette méthode de modélisation est d'autant plus couteuse en temps de calcul que la fréquence est élevée et l'environnement profond. Aussi, au-delà d'une certaine fréquence, le schéma numérique de simulation est modifié, la modélisation se fait par rayons. La modélisation par rayons repose sur une hypothèse de fréquence infinie pour le calcul des trajets acoustiques auxquels est adjointe une distribution énergétique Gaussienne qui permet de prendre en compte l'aspect fréquentiel des phénomènes acoustiques. La continuité des résultats lors de la transition du modèle parabolique au modèle de rayon a été réalisée lors du développement de Quonops®.

Les effets physiques tridimensionnels de la propagation du son ne sont pas pris en compte. Les effets de masquage potentiels d'une éolienne par les autres ne sont pas considérés dans cette étude. Pour des très petits fonds, (typiquement inférieurs à 10m de haute d'eau, l'influence des interfaces (surface et fond) sont tels que la modélisation devient d'autant moins précise que les fréquences sont basses (fréquence de coupure) et que les interfaces sont mal décrits.

1.8.4.b. Lacunes de connaissance et moyens pour y remédier

i. Incertitudes sur les propriétés géo-acoustiques des sédiments et de leur distribution spatiale

L'incertitude sur les propriétés géo-acoustiques des sédiments et de leur distribution spatiale est prise en compte par l'approche Monté-Carlo qui permet de faire varier les paramètres dans une plage d'incertitude et de prendre ainsi en compte la sensibilité des résultats à ces incertitudes.

Dans un cadre opérationnel, pour lever les incertitudes, l'assimilation de mesures in situ (carottage, levé sismique, inversion géo-acoustique) permettraient d'ajuster les paramètres géo-acoustiques dans la plateforme Quonops® et de prendre en compte plus finement les effets du fond sur l'empreinte sonore du projet.

ii. Incertitudes sur les gabarits sonores des activités existantes

Les activités existantes sont décrites par type d'activité par des gabarits sonores. Aussi, à titre d'exemple, les différences individuelles entre deux navires d'un même type d'activité (trafic commercial par exemple) ne sont pas prises en compte. L'expérience menée par le SHOM, l'ENSTA Bretagne et Quiet-Oceans au large de Ouessant (Folegot, Clorennec, Stephan, Gervaise, & Kinda, 2012) montre que dans les zones à forte pression anthropique, l'effet de cette incertitude est limité par le grand nombre de sources de bruit contribuant au chorus sonore.

iii. Incertitudes sur les gabarits sonores du projet

Concernant les techniques de construction, il existe peu de données connues concernant les différences de bruit en fonction des caractéristiques détaillées des machines-outils et des conditions de site (nature du substrat par exemple). Cependant, comme indiqué dans la suite du rapport, les gabarits utilisés sont dérivés de mesures réalisées lors de différents projets. La dispersion des valeurs de bruit reportée est relativement faible. On peut donc en conclure que les gabarits utilisés sont représentatifs et que, en l'état actuel des connaissances, les incertitudes sur le type de machine-outil et les conditions de substrat, bien qu'existants, restent probablement marginaux.

L'émergence des technologies liées aux Energies Marines Renouvelables fait que les systèmes n'existent pas nécessairement. Peu de mesures de bruit n'ont encore été reportées pour caractériser précisément les signatures sonores. En attendant que la connaissance progresse, la signature du clapage défini pour cette étude repose en partie sur l'expertise de Quiet-Oceans.

iv. Effets cumulatifs

Concernant les effets cumulatifs sur les mammifères marins, une hypothèse importante du modèle est que si le $SEL_{ss} \leq 150\text{dB re } 1\mu\text{Pa}$, alors aucune blessure n'est provoquée et aucune accumulation n'est détectée (« silence efficace »). Cela signifie qu'il n'est pas nécessaire de prendre en compte les effets cumulatifs à de faibles niveaux sonores. Il est réaliste de considérer qu'un bruit de faible intensité ne provoque pas d'accumulation jusqu'à des niveaux dangereux même dans le cas d'une durée ou d'un nombre de répétitions infini. Dans le cas contraire, tous les sons naturels des vagues et autres sources, particulièrement le bruit ambiant anthropique permanent des bateaux, s'accumuleraient et auraient un impact physique. Cependant, un seuil fixé à 150dB peut être une simplification excessive et entraîner une confusion quant au fait que le modèle additif s'applique bien équitablement à toute exposition sonore supérieure à 150dB. Ainsi, il serait plus approprié de considérer une accumulation réduite des niveaux sonores du plus haut au plus faible. Puisque la régénération des animaux en fuite, entre les chocs et l'exposition aux différents niveaux sonores, n'a pas été étudiée scientifiquement, il est impossible d'évaluer l'exposition cumulée dans ce cas. Il est donc conseillé d'appliquer la méthode additive d'Equal Energy Hypothesis pour calculer les niveaux de bruit accumulé à de courtes distances (750m) uniquement, et pour calculer la superficie sur

laquelle une perte de l'audition permanente est provoqué chez une espèce donnée (Brandt, 2011). Le PTS peut être déduit des ouvrages de Southall et al. (2007) ou, pour les marsouins communs, en considérant que le PTS se produit 15dB au-dessus du seuil TTS, estimé à 165dBSEL, soit 180 dBSEL.

En ce qui concerne les perturbations, aucun autre cumul ne nécessite d'être pris en compte, puisque les réponses des marsouins communs ont été mesurées pendant l'intégralité du battage des pieux incluant donc les réponses aux chocs cumulés.

Ainsi, l'évaluation de l'impact potentiel, un processus à plusieurs étapes, permet d'obtenir une estimation : a) du niveau de pression acoustique attendu et du choc unique SEL ; b) du SEL cumulé (en fonction du type de pieu, des sédiments et de la profondeur de pénétration, ainsi que des ruptures entre le battage séquentiel des différents pieux) ; et c) de la distance à partir du pieu où le pSPL et le cumSEL sont inférieurs aux valeurs seuil (simplifiée par : $D1 = D0 \cdot 10^{(TL/C)}$ avec D1 la distance à partir du guide du pieu jusqu'au niveau de seuil, D0 la distance à partir du pieu jusqu'au niveau acoustique connu, C la constante d'atténuation (15 est une bonne estimation (Stadler, 2009) et TL l'atténuation requise).

v. Evaluation des impacts biologiques

L'évaluation de l'impact d'une activité humaine sur la vie marine peut s'effectuer sur un continuum de niveaux (National Research Council, 2005) allant du niveau individuel jusqu'au niveau des populations. Le NRC (National Research Council, 2005) pointe clairement le manque de connaissance et l'ampleur nécessaire des études au niveau de la population. Compte tenu de la difficulté d'équiper des animaux vivants in situ, la connaissance de l'audition des mammifères marins et de l'impact des émissions sonores sur cette audition a été majoritairement acquise sur un faible nombre d'individus et d'espèces, ceci plutôt en bassin (grands dauphins, béluga, marsouin, orque) ou pour des espèces potentiellement accessibles de la côte (phoques). Aujourd'hui, l'audiogramme ou au pire la sensibilité auditive à certaines fréquences de seulement 32 espèces de mammifères marins ont été mesurés (Simard & Leblanc, 2010).

Les travaux présentés dans cette étude adressent le niveau de l'impact sur l'individu en trois termes : pertes auditives permanentes, pertes auditives temporaires et dérangements comportementaux (Southall, et al., 2007).

Chapitre II. Description de la zone d'étude

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 ce chapitre et se base sur :

- ✓ une campagne de mesures acoustiques conduite sur et à proximité de la zone projet qui permet de calibrer les cartes du bruit existant et de lever les incertitudes en terme de nature du fond ;
- ✓ des conditions environnementales saisonnières du site (océanographie, houle, vagues, bathymétrie, nature des fonds, etc.),
- ✓ des activités maritimes déjà existantes,
- ✓ des sources de bruits associées aux types d'activités maritimes,

L'ensemble de ces informations sont intégrées dans la plateforme Quonops® de Quiet-Oceans et servent d'hypothèses spatio-temporelles pour l'intégralité des prédictions. Elles fournissent le contexte environnemental représentatif de la zone d'étude.

II.1. Campagne de mesures acoustiques in-situ

II.1.1. Protocole

Une série de mesures in-situ a été réalisée dans et à proximité du futur parc éolien pendant la période du 22/07 au 13/08/2013. Aux points de mesure P_1 , P_2 et P_3 ont été déployés des enregistreurs passifs permettant d'évaluer les niveaux sonores actuellement présents (Figure 7). Des transmissions actives de signaux acoustiques calibrés (points A_i) ont permis de réduire les incertitudes, en particulier sur la nature géoacoustique des fonds.

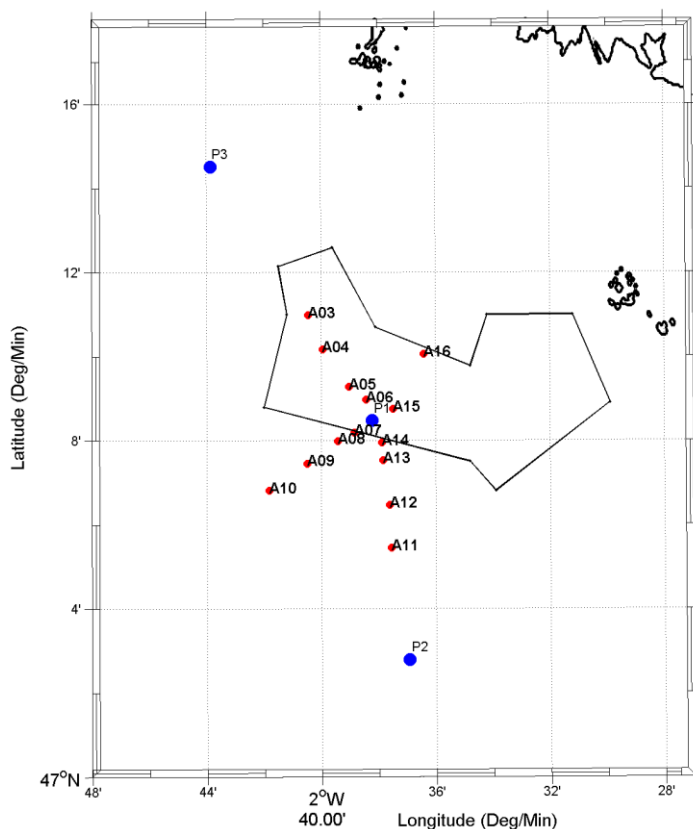


Figure 7 : Positions des enregistreurs acoustiques (P) et des émissions actives (A) ayant servi à la calibration des résultats de l'étude.

Localisation des enregistreurs passifs	Longitude	Latitude	Immersion	Distance au centre du parc (en mille nautique)
P1	002°38'12.804"W	47°8'28.272"N	Posé sur le fond	1.95
P2	002°36'55.764"W	47°2'47.268"N	Posé sur le fond	7.24
P3	002°43'52.080"W	47°14'31.02"N	Posé sur le fond	6.75

Tableau 6 : Caractéristiques des déploiements des instruments d'acoustique passive.

II.1.2. Moyens d'acoustique passive mis en œuvre

Les instruments d'acoustique passive mis en œuvre sont des enregistreurs autonomes SM2M de Wildlife Acoustics (Figure 8) dont les caractéristiques techniques sont adaptées à l'étude :

- ✓ Mesure de pression acoustique de 55 dB réf. 1μPa à 150 dB réf. 1μPa dans la bande 20Hz – 40kHz avec une réponse plate à +/-1dB ;
- ✓ Fréquence d'échantillonnage : 96kHz ;
- ✓ Résolution: 16-bits ;
- ✓ Espace disque : 512GB permettant de stocker 1 mois de mesures à une fréquence d'échantillonnage de 96kHz ;
- ✓ Autonomie: 30 jours en acquisition continue ;
- ✓ Profondeur max. : 150m.

Cet instrumentation est intégré dans une cage dite « anti-chalutage » (Figure 8) qui repose sur le fond. Une bouée programmable est libérée à une date prédéfinie lors du déploiement et permet de faciliter la récupération tout en évitant une signature de surface.

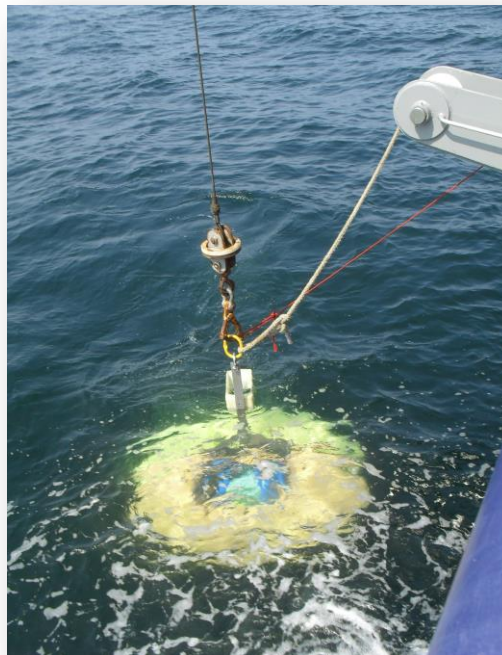


Figure 8 : Gauche : SM2M de la société Wildlife Acoustics. Droite : mise en œuvre de la cage instrumentée (source : Quiet-Oceans)

II.1.3. Moyens d'acoustique active mis en œuvre

Le système d'acoustique actif PULSE®, développé spécifiquement par Quiet-Oceans (Figure 9) permet, par des transmissions acoustiques de signaux contrôlés, de quantifier les pertes de transmission entre :

- ✓ Un hydrophone mouillé (P_1 sur la Figure 7), positionné dans le périmètre du futur parc,
- ✓ Différents points à différentes positions, à portée acoustique de l'hydrophone (numérotés A_i sur la Figure 7) ;

Le système PULSE® utilisé répond aux spécifications suivantes :

- ✓ Niveau d'émission : 180 dB réf. 1μPa sur la bande ;
- ✓ Bande passante : 30Hz-20kHz;
- ✓ Datation absolue : +/- 2 s sur 10 jours ;
- ✓ Signaux large bande ;



Figure 9 : Exemple d'instrumentation acoustique active portable (source Quiet-Oceans)

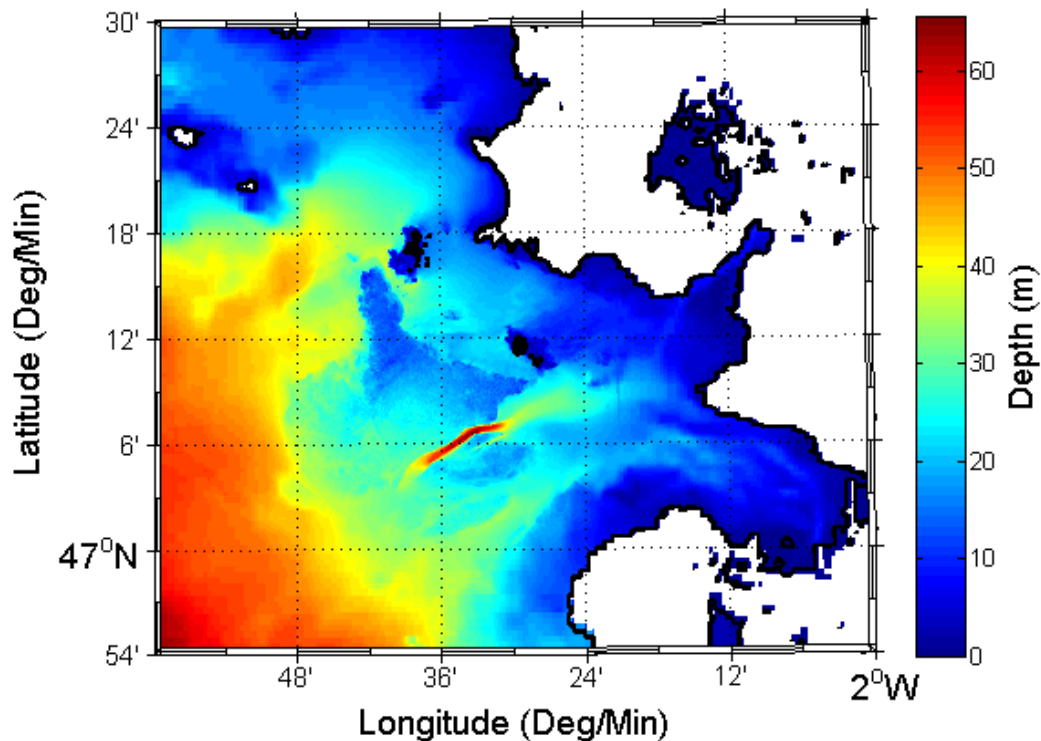
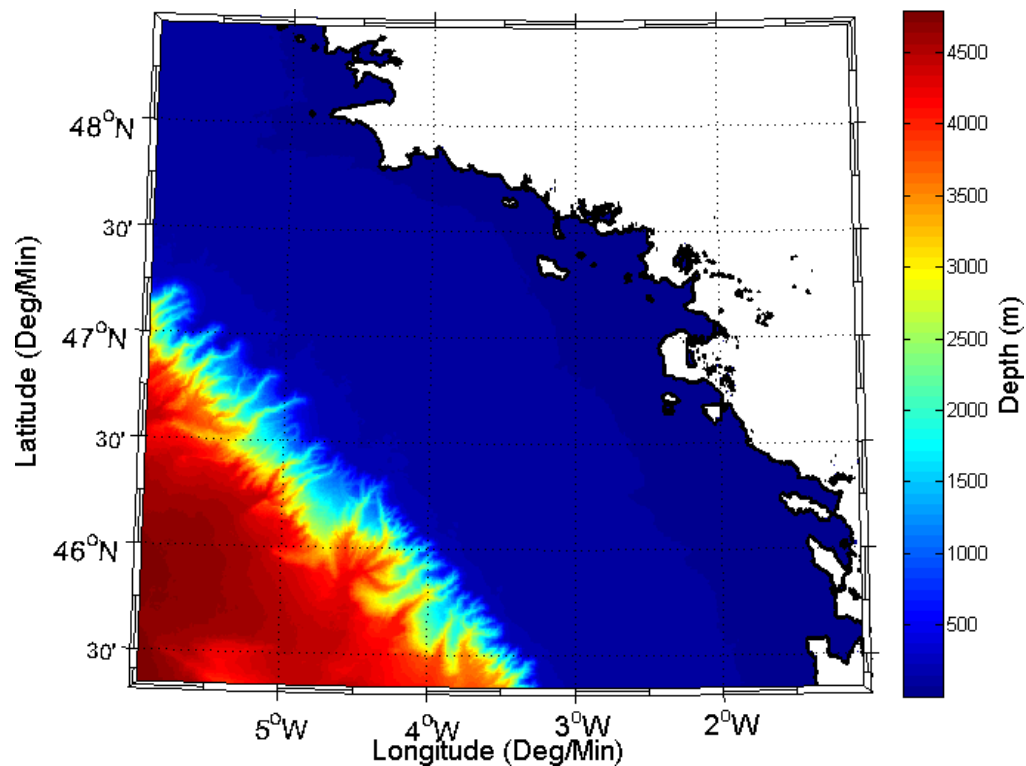
II.2. Milieu physique

II.2.1. Bathymétrie

La propagation du son dans les océans est très largement dépendante de la topographie du fond des océans, et de la nature des sédiments (Guiesse & Sabathié, 1964). Plus la hauteur d'eau sera faible, moins la propagation du son sera favorable, et plus le fond sera dur, plus le bruit sera réverbéré par le fond.

La bathymétrie de la zone d'étude (Figure 10) résulte de la fusion entre

- ✓ la dalle bathymétrique MNT 500 Golfe de Gascogne-Manche fournie par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM),
- ✓ et de la dalle bathymétrique (semis de points) 145-72 fournie par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM).



II.2.2. Nature du fond

A partir des données recueillies dans le cadre de la mise en œuvre du système d'acoustique active (II.1.3.), les pertes de transmissions acoustique mesurées sur l'hydrophone P_1 ont été comparées aux prévisions réalisées par Quonops® pour un ensemble de nature du fond différentes. Les propriétés géoacoustiques du fond qui offrent la meilleure correspondance sont reportées dans le Tableau 7. Naturellement, il est réducteur de considérer la couche sédimentaire de la zone comme constante et uniforme sur toute la zone d'étude. Aussi, pour palier à ces incertitudes et méconnaissances, plusieurs tirages aléatoires répondant à une loi de probabilité normale gaussienne d'écart type σ sont effectués autour des valeurs obtenues par calibration active pour traduire de ces incertitudes et de la variabilité de la nature du fond dans la zone. Les tirages successifs de paramètres géoacoustiques permettent de traduire la variabilité et les incertitudes du fond.

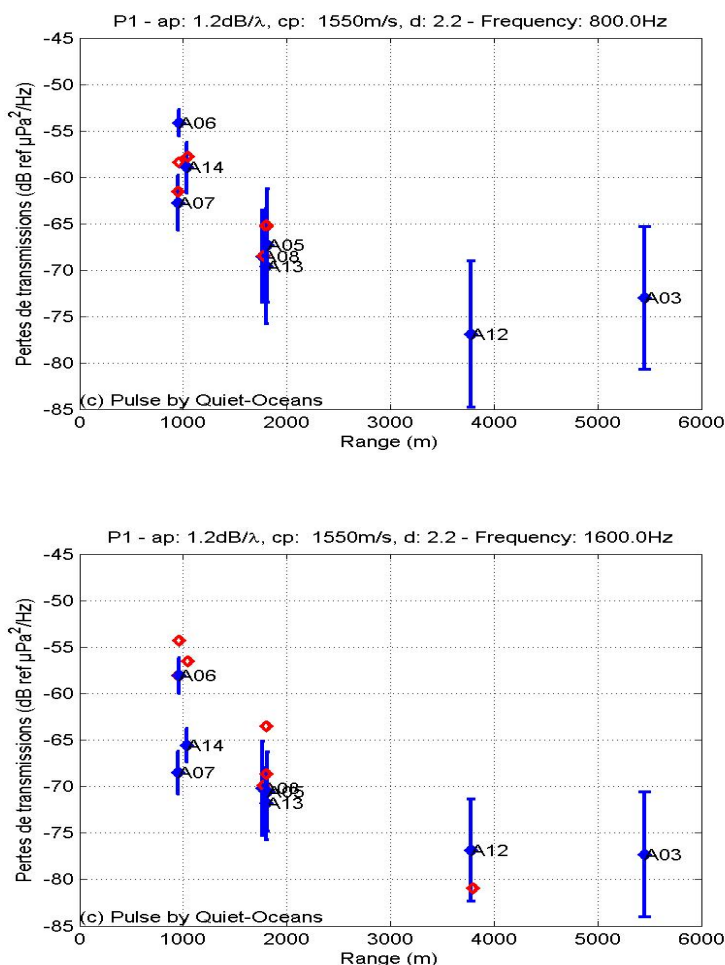


Figure 11 : Comparaison des pertes de transmission acoustiques mesurées (bleu) par Pulse® et prédites par Quonops® (rouge) en fonction de la distance autour de P_1 à 800 et 1600 Hz.

	Densité (tonne/m ³)	Vitesse de compression (m/s)	Atténuation de compression (dB/λ)
Moyenne	2.2	1550	1.2
Ecart-type (σ)	0.1	40	0.05

Tableau 7 : Caractéristiques géoacoustiques du fond à l'emplacement du projet obtenues après inversion des données de calibration active du Pulse®.

II.2.3. Environnement océano-météo

L'océanographie conditionne la propagation acoustique sous-marine. En effet, les variations de hauteur d'eau (marée) et d'immersion de la thermocline génèrent des distributions sonores diverses en fonction de la fréquence acoustique.

II.2.3.a. Distribution des vitesses du son

La propagation du son dans les océans est largement dépendante des conditions océanographiques locales, en particulier, la température, la profondeur, et, dans une moindre mesure, la salinité. La combinaison de ces trois paramètres physiques permet de déterminer la vitesse du son dans l'océan. Ce sont en particulier les gradients dans le profil vertical de célérité qui aura tendance à courber les rayons acoustiques vers la surface (profil type hiver) ou vers le fond (profil type été).

Les données statistiques océanographiques sont issues de la base de données climatologiques haute résolution de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA) et publiées dans (Boyer, et al., 2004). Quatre profils de célérité représentatifs de la variation saisonnière dans la zone d'étude ont été extraits (Figure 12). Ils permettent de décrire la structure statistique de la colonne d'eau de façon représentative pour chaque saison.

Les profils de célérité représentatifs du printemps et de l'automne sont très similaires. Aussi, on considérera trois saisons océanographiques : l'hiver, l'été, et le printemps/automne.

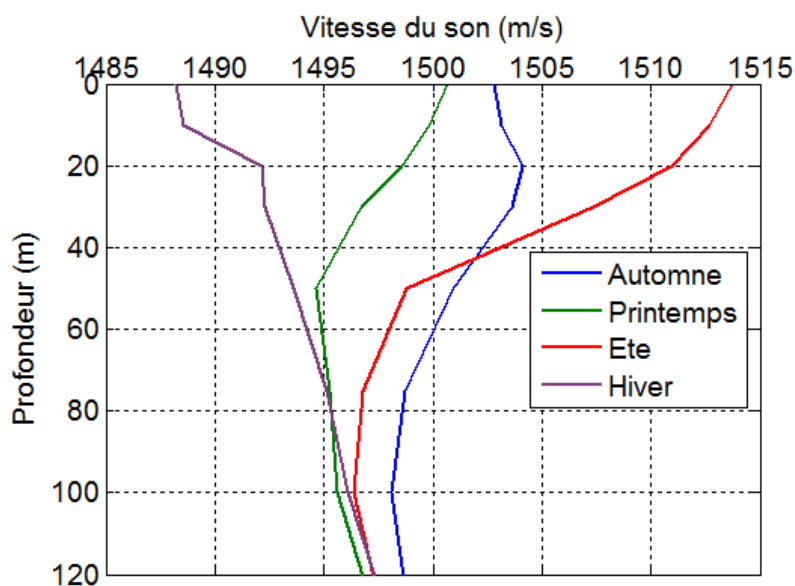


Figure 12 : Quatre profils de célérité représentatifs de la zone d'étude, pour les quatre saisons (source Quiet-Oceans d'après données NOAA).

II.2.3.b. Marée

Les données de marée sont fournies par le SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine). Le marnage maximal sur la zone est de l'ordre de 6.5 m d'amplitude dans la zone du Pouliguen. Le caractère ondulatoire des ondes de marée imposent de choisir la distribution statistique des hauteurs d'eau tel que décrit Figure 13. Pour les scénarios technico-opérationnels, le marnage aura une probabilité forte et quasi-uniforme d'être compris entre 1.5 et 5 m. La marée joue sur la hauteur d'eau disponible à la propagation sonore. Plus celle-ci est importante, plus la propagation des basses fréquences est favorable.

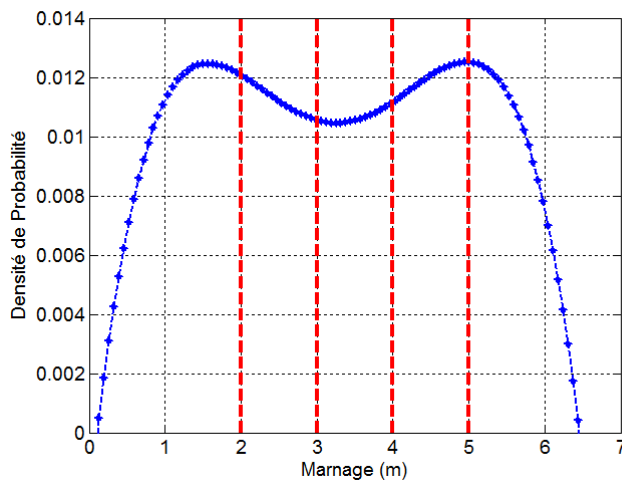


Figure 13 : Loi de distribution des hauteurs d'eau sous l'effet des marées (courbe bleue) et niveaux de marée représentatifs (traits rouges) (source Quiet-Oceans d'après données de marée au Pouliguen du SHOM).

II.2.3.c. Vagues et houle

Les états de mer sont la conséquence du vent et de son interaction avec la marée et le courant. La rugosité de la surface des océans impacte la propagation des ondes sonores par l'introduction de pertes d'énergie. L'état de mer résultant est lui-même à l'origine d'un bruit sous-marin naturel provoqué par les vagues déferlantes, mais introduit cependant des pertes sur la propagation des bruits notamment anthropiques. Le bruit dû au vent augmente de l'ordre de 6dB lorsque la vitesse du vent double. La statistique des hauteurs significatives de vagues par semestre en présence dans la zone est illustrée Figure 14 et sert de base à l'étude.

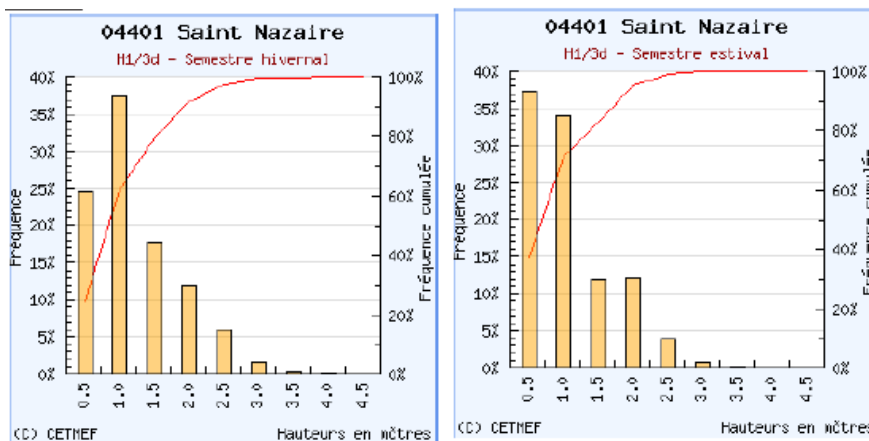


Figure 14 : Distribution spectrale des hauteurs significatives de vagues au voisinage du site d'implantation du parc éolien (Bouée Candhis Saint Nazaire -04401) (source CETMEF/EDF R&D-LNHE).

II.2.3.d. Courants

L'effet du courant sur la propagation du bruit n'est pas significative comparativement aux autres effets environnementaux. Cependant, le bruit acoustique généré par une éolienne en exploitation peut dépendre du bruit hydrodynamique dû à l'écoulement. Le courant est donc à l'origine d'un bruit environnemental et d'un bruit éolien qui vont se superposer et dont l'intensité est dépendante de la vitesse du courant.

II.2.4. Bruit ambiant mesuré

Le niveau sonore large bande mesuré en **P₁**, **P₂** et **P₃** pendant la période du 22/07 au 13/08/2013 (Figure 15) montre la superposition :

- ✓ d'un bruit permanent présentant une variabilité d'environ 4 à 6dB en raison des conditions environnementales. Du 28 au 31 juillet, le signal sonore subit une forte augmentation jusqu'à 10dB. Cet évènement est dû à une perturbation météorologique qui a entraîné l'apparition d'un vent plus intense (identiquement pour la hauteur de vague) (Figure 16).
- ✓ de bruits forts dominant le bruit permanent pendant des durées de l'ordre de 30 à 90 minutes, représentatif du passage de navires à proximité de l'hydrophone. Ces bruits forts sont plus fréquents et intenses sur les enregistreurs **P₂** et **P₃** car d'une part **P₂** est situé à forte proximité du couloir commercial d'entrée/sortie du port de Saint Nazaire et d'autre part **P₃** est situé dans une zone courante de pêche commerciale et probablement dans une zone de plaisance.

La distribution statistique du spectre sonore mesuré (densité spectrale de puissance dB réf. $1\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$) est représentée sous la forme de percentiles. La statistique obtenue est comparée avec le modèle de (Wenz, 1962) pour sa composante bruit dû au vent (Figure 16). Les spectres mesurés sont globalement compatibles avec le modèle de Wenz tant du point de vue des niveaux que de la forme. L'analyse des courbes de niveau sonore en fonction de la fréquence fournit différentes informations quant à la nature du bruit :

- ✓ A l'emplacement de l'enregistreur **P₃**, les basses fréquences (<200Hz) sont sensiblement plus intenses de l'ordre de 5dB en raison de la forte proximité des navires et de la fréquence de passage plus élevée.
- ✓ Les effets bathymétriques atténuent la propagation de ces basses fréquences à l'emplacement de l'enregistreur **P₂**.
- ✓ A l'emplacement de **P₁**, le bruit est plus intense pour une bande de fréquence entre 5 et 10kHz.

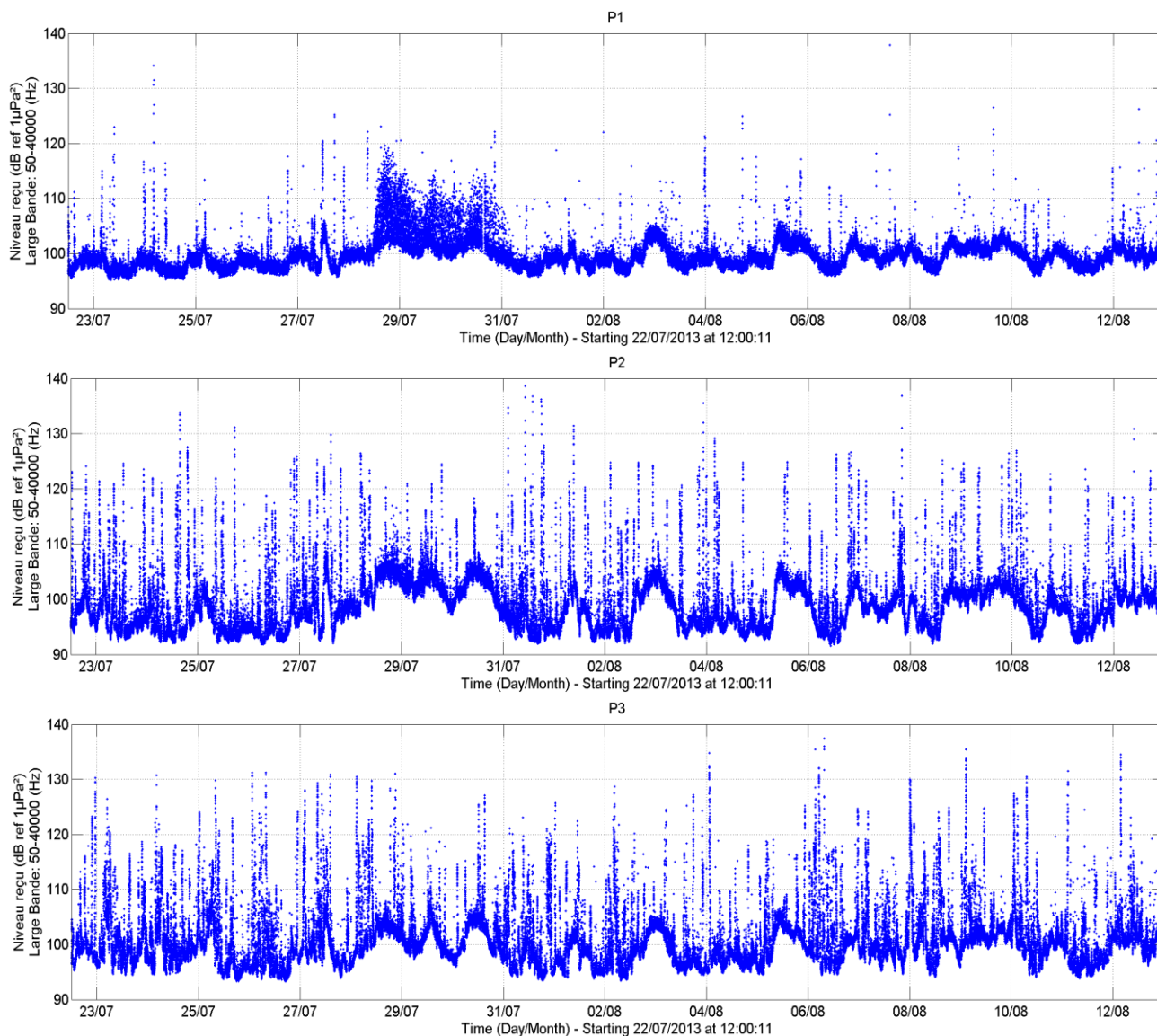


Figure 15 : Niveau sonore reçu dans la bande de fréquence (50Hz-40kHz) par les enregistreurs P1, P2 et P3 durant la période du 22/07 au 13/08/2013.

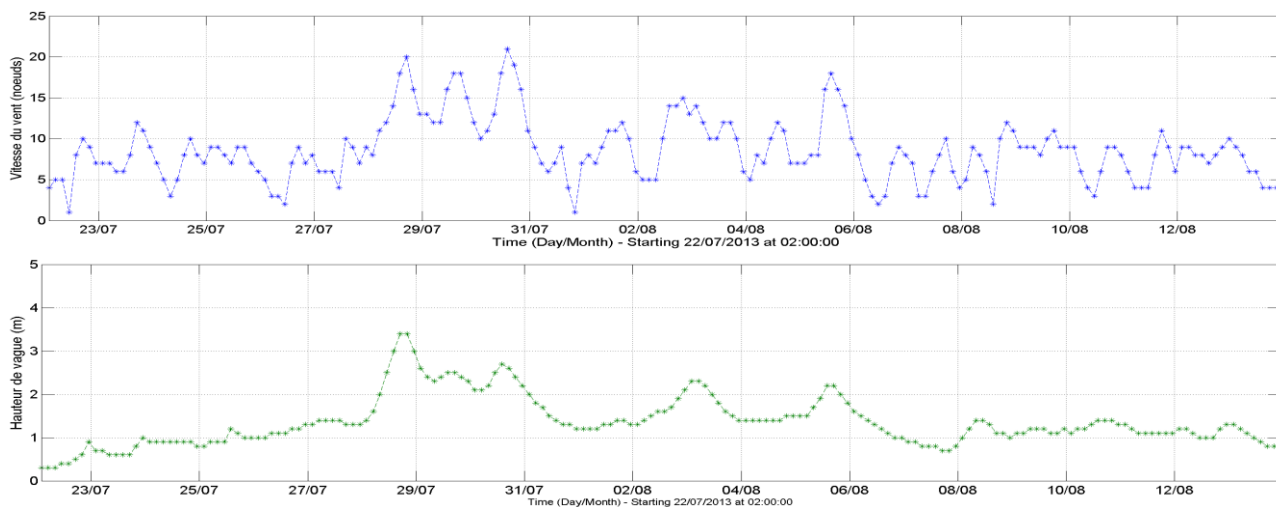


Figure 16 : Vitesse du vent (en nœuds) et hauteur de vague (en mètre) à La Turballe Pen Bron d'après Windguru.

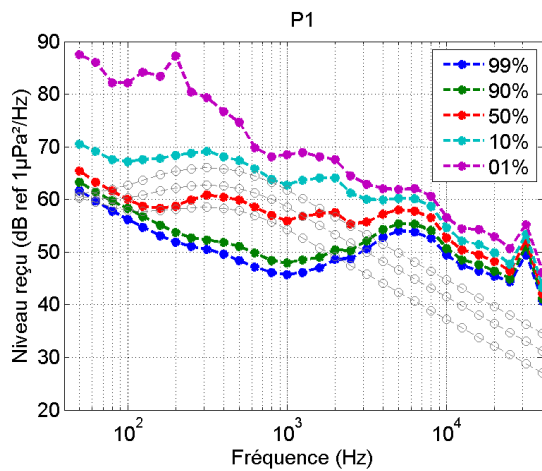
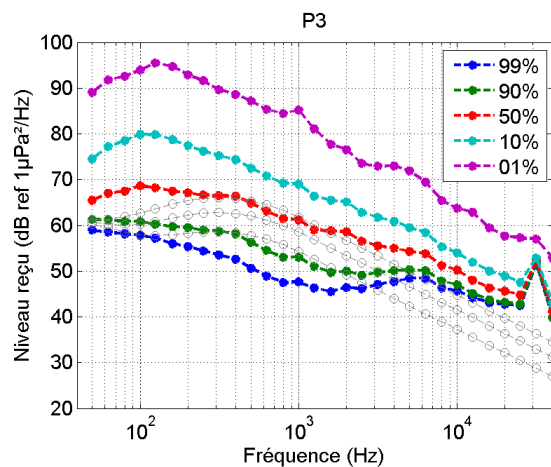
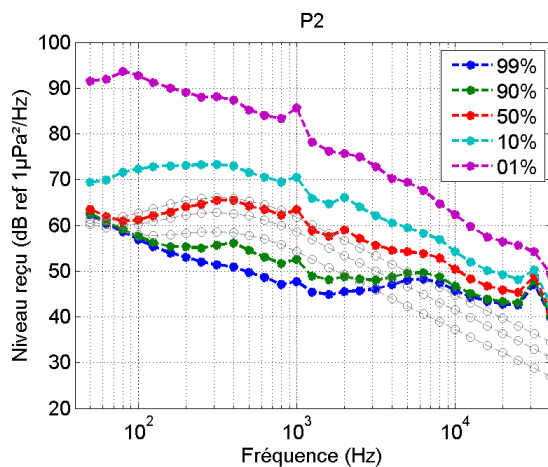


Figure 17 : Niveau d'énergie (par Hz) pour différents taux de probabilité ou percentiles (1, 10, 50, 90, 99%) à l'emplacement des enregistreurs passifs P1, P2 et P3. En gris, comparaison au niveau de bruit ambiant environnemental pour trois états de mer (1-3) (Wenz, 1962)



II.2.5. Effets du milieu physique sur la propagation sonore et sur les niveaux de bruit ambiant

La propagation du bruit et les niveaux de bruit ambiant sont principalement conditionnés par (Tableau 8) :

- ✓ La bathymétrie,
- ✓ La nature du fond,
- ✓ Les conditions océanographiques, tels que la température et la salinité, les courants, la marée,
- ✓ Les conditions météorologiques, tels que le vent (et par suite les vagues) et la pluviométrie,

D'autres paramètres influent sur la propagation et sur le niveau de bruit, mais à moindre mesure.

II.2.5.a. Description détaillée des phénomènes

Les pertes de propagation sont d'autant plus importantes que la hauteur d'eau (effet cumulé de la bathymétrie et de la marée) est faible. Cela est lié à l'interaction des ondes sonores avec les interfaces du guide d'onde océanique (surface et fond). Cependant, plus la hauteur d'eau est faible, plus le déferlement des vagues est favorisé et la contribution du bruit des vagues au bruit ambiant est importante.

Les pertes de propagation sont d'autant plus importantes que les fonds sont meubles et de grains fins (la vase absorbe plus les ondes acoustiques que le gravier par exemple). Cependant, plus le sédiment est dense, plus son caractère réverbérant est important. En effet, les ondes sonores ayant des angles d'incidence sur le sédiment importants sont mieux réfléchies lorsque le sédiment est dense.

Le vent contribue à générer les vagues. Les vagues diffusent et absorbent les ondes acoustiques d'autant mieux par fort états de mer. Cependant, les vagues, par déferlement génèrent un bruit propre qui a pour effet d'élever le niveau de bruit ambiant. Par fort état de mer, le bruit naturel des vagues augmente lorsque les autres sources de bruit portent moins bien.

Sous l'effet du courant et/ou des vagues par petits fonds, le charriage des sédiments et l'entrechoquement des particules sédimentaires génère du bruit, avec des niveaux d'autant plus importants que les sédiments sont grossiers et que leurs déplacements sont rapides.

La distribution verticale de température et de salinité stratifie la colonne d'eau. Les ondes acoustiques sont fortement sensibles à cette stratification verticale, et, dans une moindre mesure, à la stratification horizontale. En effet, un gradient vertical négatif de température/salinité aura comme effet de réfracter les ondes vers le fond, rendant l'influence de la nature des sédiments prépondérante. Au contraire, lorsqu'aucune stratification n'est présente (milieu homogène), certains trajets acoustiques peuvent ne pas interagir avec les interfaces (surface et/ou fond) et présenter des portées plus importantes.

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

	Conditionne la propagation des bruits	Génère des bruits propres
Bathymétrie	✓	✗
Nature du fond	✓	✓
Température/salinité	✓	✗
Marée	✓	✗
Courants	✗	✓
Vent/Vagues	✓	✓
Précipitation	✗	✓

Tableau 8 : Effet des conditions physiques du milieu océanique sur la propagation acoustique et sur la génération de bruits propres contribuant à la résultante du bruit ambiant. ✓ indique que l'effet existe, ✗ indique que le l'effet n'existe pas ou reste marginal.

II.2.5.b. Effets du milieu physique sur l'empreinte sonore du projet

La plupart des paramètres du milieu physique ont des effets croisés sur la propagation des bruits et sur leur niveau de contribution au bruit ambiant naturel. Il est donc difficile de disposer de règles de dépendances universelles, justifiant l'usage des modèles.

L'empreinte sonore du projet est définie par l'émergence sonore du projet vis-à-vis du bruit déjà existant. Aussi, en dehors des niveaux de bruit générés, deux caractéristiques influencent la taille de l'empreinte sonore du projet :

- ✓ le niveau de bruit ambiant,
- ✓ la facilité qu'a le bruit du projet à se propager avec un minimum de pertes ; autrement dit, la portée du projet.

Il est important de noter cependant que lorsque la propagation des bruits du projet est favorisée, la propagation des autres bruits anthropiques existant est aussi favorisée (bruit du trafic maritime, des activités de plaisance ou de pêche, par exemple), contribuant aussi à augmenter le niveau de bruit ambiant.

II.3. Caractérisation des sources de bruit existantes

Ce chapitre a pour objectif de fournir une description et une modélisation des activités humaines déjà existantes et des activités liées au projet éolien.

II.3.1. Méthode

L'origine anthropique de ces bruits dans la zone considérée a principalement pour origine les activités maritimes.

A partir des données collectées ou estimées, l'objectif est d'obtenir une série de « photographies » instantanées de la distribution spatiale des navires dans la zone d'étude. Chaque photographie correspond à un tirage statistiquement représentatif des activités humaines en mer. Quonops© calculera alors le champ sonore associé à chaque tirage. L'analyse statistique de l'ensemble des champs sonores associés permet de caractériser le bruit en prenant en compte la variabilité temporelle et spatiale des activités humaines.

L'origine anthropique de ces bruits dans la zone Atlantique a principalement pour origine quatre types d'activités maritimes¹³:

- ✓ le trafic maritime commercial au large entre le rail d'Ouessant et le Cap Finistère. Ce trafic commercial provient également des entrées et sorties des ports français de Saint Nazaire et de Lorient,
- ✓ le trafic de ferries (marchandises et passagers) entre le continent et les îles (Belle-Ile, Ile d'Yeu)
- ✓ le trafic de navires de pêche au large et de pêche côtière,
- ✓ le trafic dit de plaisance (à moteur) présentant une variabilité saisonnière importante.

II.3.2. Représentation des activités humaines existantes

II.3.2.a. Caractérisation et quantification des activités déjà présentes

La distribution spatiale de chacune de ces activités est modélisée par une juxtaposition spatiale de zones géographiques représentées par différentes couleurs en fonction du type d'activité maritime. Une distribution aléatoire est réalisée en prenant en compte un nombre total de navires présents dans la zone. La détermination du nombre de navires présents sur la zone à un instant donné est bien évidemment différent des évaluations des flux journaliers, mensuels ou annuels de trafic, seules données disponibles. La combinaison des informations de flux et des vitesses moyennes donnent une indication sur le temps de présence dans la zone et, par suite, sur le nombre de navires présents à un instant donné.

i. Caractérisation du trafic maritime et ferry

Les données AIS (Automated Identification System, système d'identification temps-réel des navires en mer) sont fournies de manière obligatoire pour les navires de plus de 300 tonneaux effectuant des navigations internationales et de manière préconisées pour les navires de taille inférieure (navires de commerce, pêche et plaisance). Ces données AIS ne traduisent pas de façon exhaustive le trafic dans la zone, mais couvrent néanmoins une grande majorité des activités. Différentes stations réceptrices, ayant une portée maximale de 30 miles nautiques présentes sur la côte ou les îles à proximité de la zone d'étude, permettent ainsi de couvrir l'ensemble des navires dans la zone d'étude en fonction des conditions climatiques.

¹³ La liste de ces activités ne tient pas compte des campagnes d'extraction de granulats ou des campagnes militaires.

Les estimations obtenues concernant le trafic commercial sont établies à partir des données AIS de distribution et de vitesses disponibles en avril et mai 2013 (Figure 18). Cette carte quantifie le flux entrant et sortant du port de Saint Nazaire, la zone d'attente à l'entrée de Saint Nazaire, les lignes de trafic secondaires et les lignes commerciales de ferry (entre le continent et les îles) et les activités de pêche.

ii. Pêche

Concernant les activités de pêche, nous distinguons deux types de pêche :

- ✓ La pêche au large, au départ des principaux ports français,
- ✓ la pêche dite côtière le long des côtes françaises.

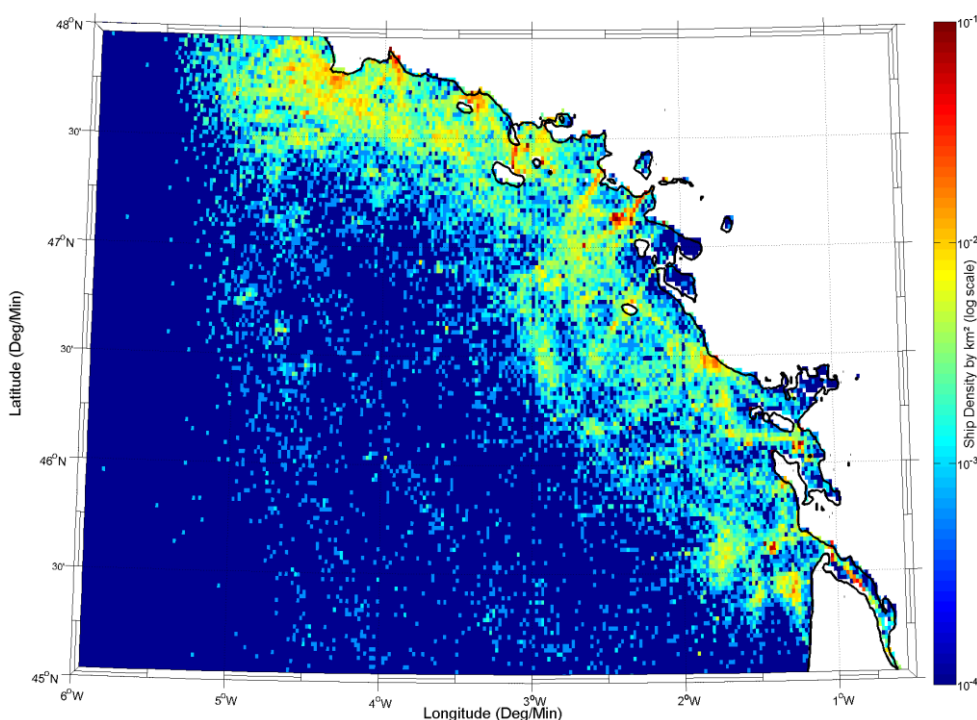


Figure 18 : Densité du trafic (échelle logarithmique) au large de Saint Nazaire par traitement des données AIS (source : Quiet-Oceans).

II.3.2.b. Détermination des situations instantanées statistiquement représentatives

Ainsi, à partir des éléments quantitatifs et géographiques des activités anthropiques présentés ci-dessus, 100 tirages¹⁴ de situations anthropiques sont réalisés afin de couvrir un panel représentatif de distribution des sources de bruit offrant ainsi la possibilité d'un traitement statistique des résultats acoustiques.

Selon ces règles de distributions, la Figure 19 présente un exemple de situation anthropique parmi les 100 situations produites pour l'étude. Les champs sonores associés aux 100 situations combinées à la variabilité des conditions environnementales servent à déterminer la statistique du bruit ambiant initial calibré.

¹⁴ Une étude est en cours pour déterminer une règle de calcul du nombre minimum de tirages qui doit être réalisé pour obtenir un résultat statistiquement représentatif. A dire d'expert, ce chiffre semble cependant suffisant.

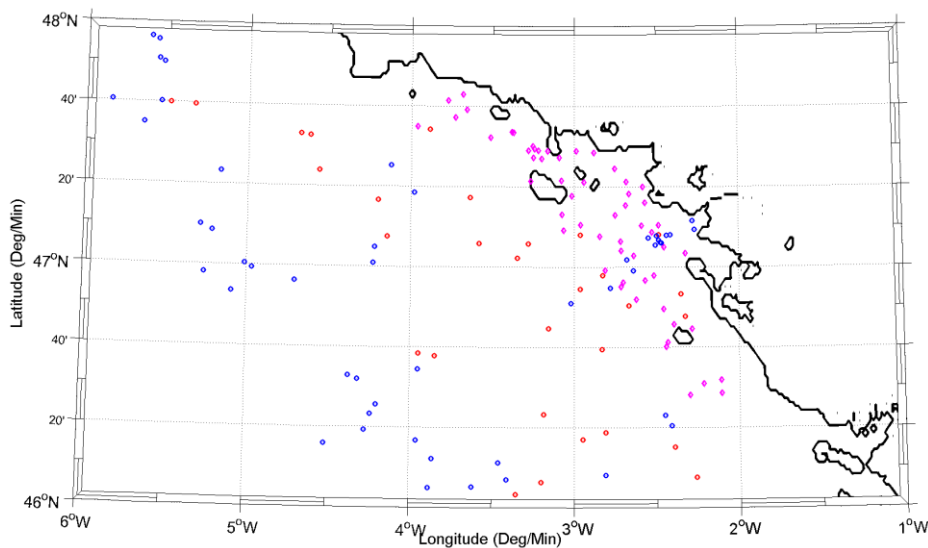


Figure 19 : Exemple d'une des 100 situations anthropiques utilisées pour l'estimation statistique du bruit ambiant initial.

II.3.3. Signatures individuelles des sources de bruit existantes

L'objectif de ce chapitre de caractériser les niveaux sonores naturels et ceux émis par chaque type de source identifiée dans la partie II.3.2.a. en fonction de la fréquence acoustique. Conformément aux recommandations du Ministère de l'écologie, l'étude est réalisée pour une succession contiguë d'octaves allant de 63 Hz à 63 kHz. La bande passante de chaque octave f_{octave} est délimitée par les fréquences minimale et maximale respectivement définies par $f_{\text{min}} = f_{\text{octave}} / \sqrt{2}$ et $f_{\text{max}} = f_{\text{octave}} * \sqrt{2}$ (Tableau 9).

f_{octave}	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	16 kHz	31,5 kHz	63 kHz
f_{min}	45 Hz	89 Hz	180 Hz	355 Hz	705 Hz	1,4 kHz	2,8 kHz	5,6 kHz	11 kHz	22,5 kHz	44,5 kHz
f_{max}	89 Hz	180 Hz	355 Hz	705 Hz	1,4 kHz	2,8 kHz	5,6 kHz	11 kHz	22,5 kHz	44,5 kHz	89 kHz

Tableau 9 : fréquence centrale et bande passante autour de chaque octave

II.3.3.a. Bruits naturels

Les bruits naturels peuvent être de nature diverse : bruits sismiques dans les très basses fréquences (inférieures à quelques dizaines de Hz), les bruits biologiques (cétacés, crevettes, coquilles Saint-Jacques, etc.), les bruits des précipitations, les bruits de transport sédimentaire, et les bruits de mer généré par les vagues et le vent, etc. Seuls ces derniers sont pris en compte dans cette étude, selon le modèle de Wenz (Wenz, 1962) (Figure 20) en raison de l'absence de caractéristiques acoustiques sur les bruits biologiques. Le bruit naturel dû au vent sera, par hypothèse, considéré comme uniforme et la directivité verticale du bruit naturel liée aux faibles profondeurs est volontairement négligée dans cette étude.

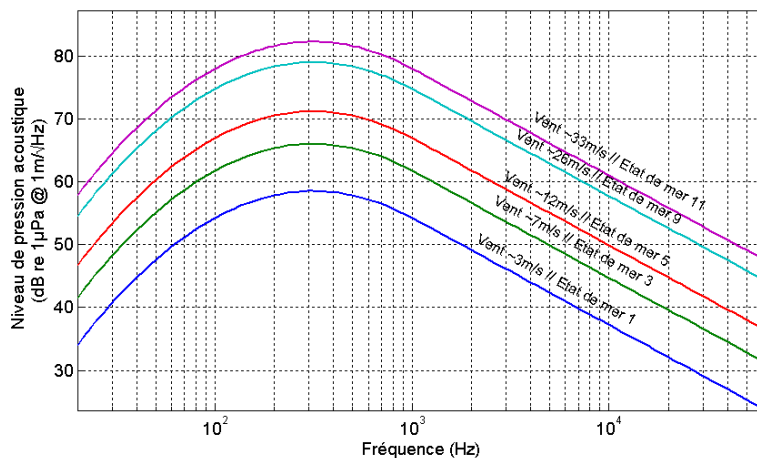


Figure 20 : Exemple de niveau acoustique de bruits de mer (en dB réf. 1μPa/VHz) en fonction de l'état de mer et de la vitesse du vent (en m/s) (Wenz, 1962)

II.3.3.b. Bruits des navires de commerce, de pêche et de plaisance

Un gabarit (niveau de source à un mètre en fonction de la fréquence) de bruit de navire est associé à chaque catégorie. Ce gabarit est issu du modèle de bruit de navire (Wales & Heitmeyer, 2002) et adapté à partir des informations issues des travaux de la « Scripps Oceanographic Institution » (Hildebrand, 2009).

Pour pallier les incertitudes quant au niveau de bruit pour chaque navire, ce gabarit moyen pour chaque catégorie permet de faire un tirage aléatoire du niveau de source pour chaque fréquence entre 63Hz et 63kHz avec un écart-type de 5 dB. Les probabilités associées au tirage aléatoire des niveaux de source par type de navire sont décrits sur la Figure 21. Etant donné les échelles géographiques en jeu (propagations longues distances), les sources de bruit de navire seront considérées comme ponctuelles et monopolaires.

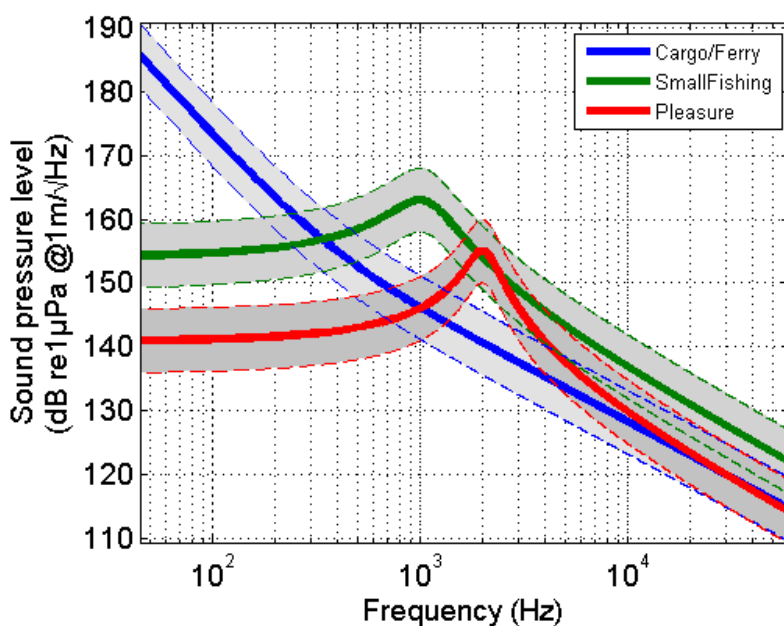


Figure 21 : Gabarit et tirages des spectres de niveaux de bruit émis par les navires (en dB réf. 1μPa/VHz @1m) en fonction de la fréquence et de leur catégorie (« Cargo », « Ferry », « Pêche », « Plaisance »). Les barres d'erreurs (gris) indiquent la variabilité observée dans les tirages aléatoires effectués dans le cadre des scénarios technico-opérationnels. Source Quiet-Oceans d'après (Wales & Heitmeyer, 2002), (Hildebrand, 2009).

Chapitre III. Cartographie saisonnière de l'état sonore actuel

Les mesures d'acoustique passive réalisées ne sont représentatives que de l'endroit et de l'immersion du capteur. Afin d'établir une cartographie du bruit ambiant, ces mesures sont assimilées dans le système de prévision sonore Quonops® qui permet de prendre en compte :

- ✓ le trafic maritime réel dans la zone ;
- ✓ les effets environnementaux sur la propagation sonore sous-marine ;

III.1. Zones géographiques

La zone d'étude acoustique (Figure 22) comprend l'ensemble de la zone Atlantique de la pointe de Penmarch à l'île d'Oléron.

La bathymétrie plongeante de la zone d'étude (profondeur maximale égale à 5000m) impose d'analyser le bruit sur différentes couches d'eau (0-50m, 0-100m, toute la colonne d'eau (0-5000m)). Les gammes d'immersions (0-50m et 0-100m) sont potentiellement utilisables par les espèces susceptibles d'être présentes dans la zone d'étude. Dans cette étude, seuls les résultats pour la toute la colonne d'eau sont présentés.

	Longitude Est	Longitude Ouest	Latitude Nord	Latitude Sud
Zone Etude Acoustique	06°00'W	01°00'W	46°00'N	48°00'N

Tableau 10 : Limites géographiques des zones d'étude acoustique

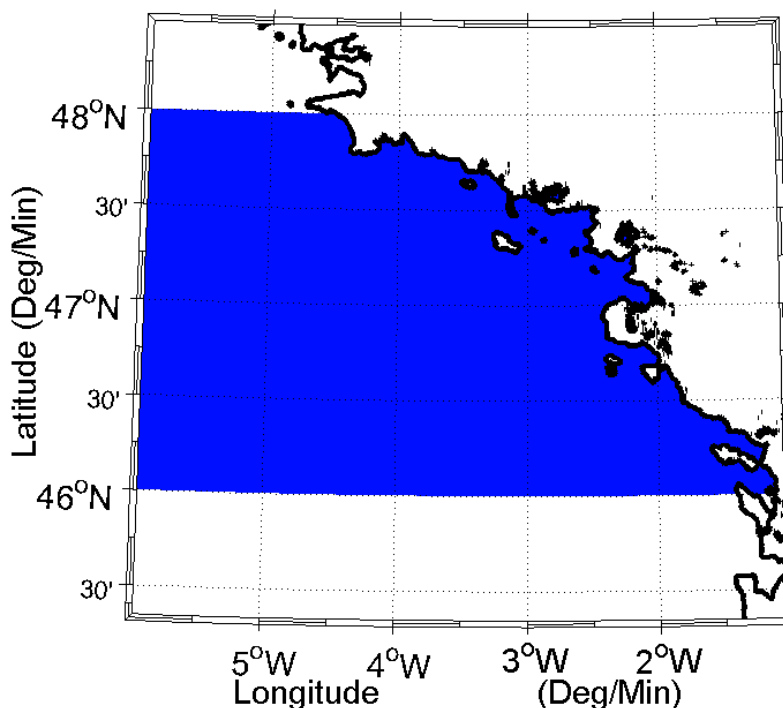


Figure 22 : Définition de la Zone d'Etude Acoustique pour l'étude et l'analyse de l'Etat Sonore Initial. Chaque source sonore (navire) présente dans cette zone est susceptible de contribuer au bruit initial sur le site (Source Quiet-Oceans).

III.2. Correction des incertitudes de l'atlas sonore

A partir des données AIS recueillies pendant toute la période, des données océanographiques récoltées durant la campagne de mesure et des données d'acoustique passive mesurées, une modélisation synchrone a permis de calibrer les prévisions de bruit réalisées par Quonops®. L'écart-type des niveaux médians pour chaque octave entre les niveaux sonores mesurés et les niveaux prédits par Quonops® sont reportés dans le Tableau 11

Fréquence	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz	32kHz	63kHz
Ecart Type (dB)	2.7	7.9	4.1	1.3	1.7	4.4	2.1	3.1	2.0	1.8	0.7

Tableau 11 : Ecart-type entre les données mesurées et les données simulées à la médiane (percentile 50%).

III.3. Atlas saisonnier

III.3.1. Analyse du bruit existant

Plus le percentile est élevé, plus il représente un niveau sonore fréquent. Dans le cas des eaux de la zone d'étude acoustique, les faibles percentiles (niveau fréquemment observé) correspondent au bruit du trafic commercial (principalement à l'entrée des ports de Saint Nazaire et Lorient) et aux activités de pêche/plaisance. Les niveaux de bruit ambiant naturels représentent au contraire les percentiles les plus forts (i.e. bruits les plus souvent observés). Dans cette cartographie, parmi les bruits naturels, seuls les bruits liés aux vagues et à la houle sont pris en compte. Les bruits liés aux précipitations ou à la faune marine ne sont pas pris en compte.

III.3.2. Caractérisation spectrale du bruit

D'une manière générale, à l'échelle de la zone d'étude acoustique du bruit actuel, les fréquences inférieures à 1kHz dominent le bruit ambiant 90% du temps.

Les basses fréquences présentent une variabilité pouvant atteindre +/-5dB, bien plus importante que les fréquences plus élevées. Cela s'explique par la prépondérance des activités génératrices de bruit le long de la côte, là où les fonds sont les plus faibles, ce qui ne favorise pas la propagation des ondes basses fréquences inférieures à 200 Hz.

Dans la partie où les fonds sont plus importants, le niveau de bruit médian a tendance à diminuer en raison de la dispersion de l'énergie acoustique dans l'ensemble de la colonne d'eau.

La propagation des fréquences au-delà de quelques kHz est bien plus limitée due à leur atténuation qui est d'autant plus importante que la fréquence est élevée.

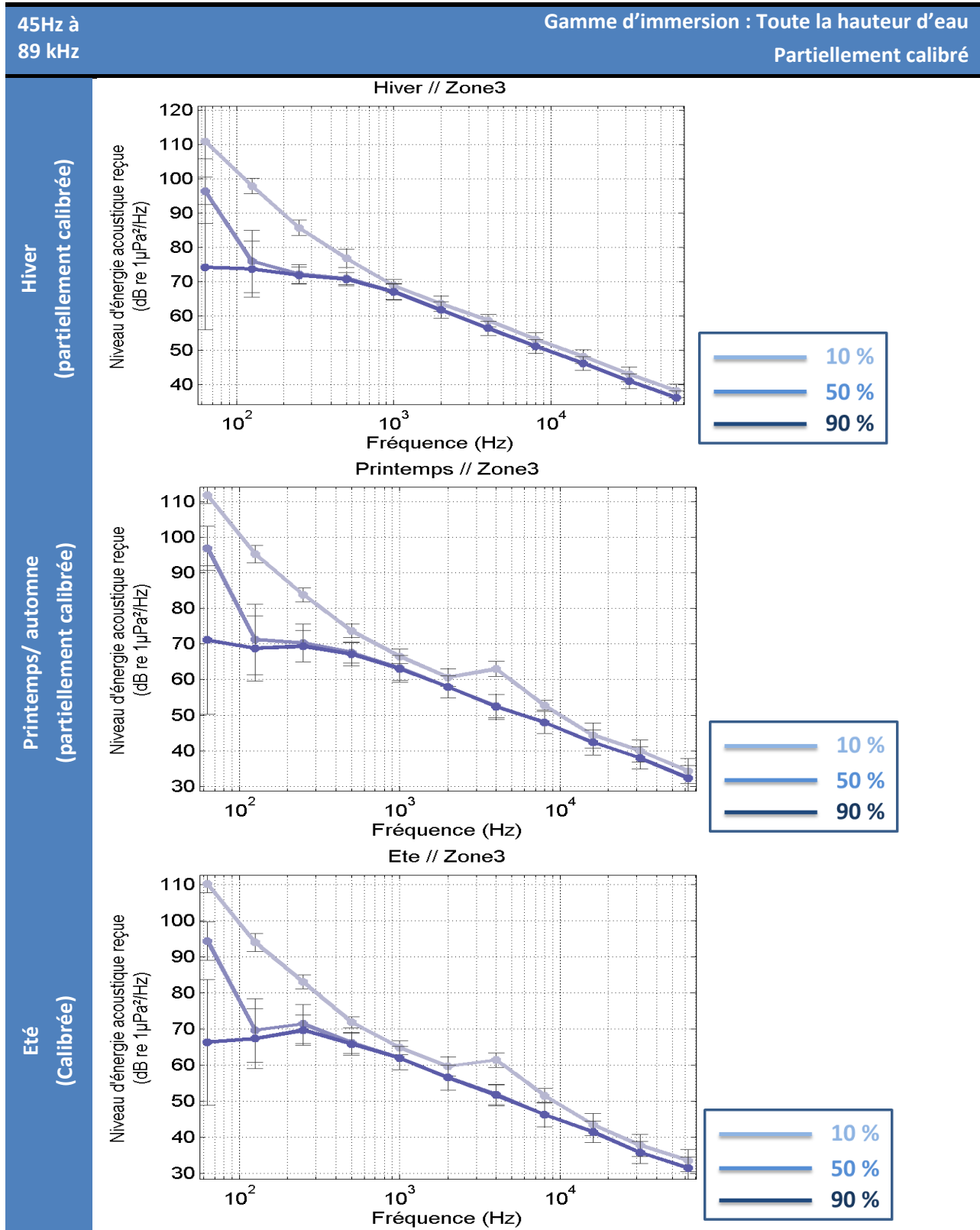


Figure 23 : Caractérisation spectrale du bruit existant à l'échelle de la zone d'étude acoustique. Seule la saison « été » est réellement calibrée par le levé terrain acoustique réalisé. Trois percentiles sont représentés : 90% correspond aux niveaux de bruits minimum susceptibles d'être mesurés 90% du temps. 10% correspond aux niveaux de bruits minimum susceptibles d'être mesurés 10% du temps.

III.3.3. Caractérisation spatiale du bruit

Les figures suivantes représentent la distribution spatiale du bruit existant obtenues à partir du levé terrain acoustique réalisé en conditions « été » et des modélisations :

- ✓ pour les saisons hiver, printemps/automne et été ;
- ✓ pour toute la hauteur d'eau ;
- ✓ composante continue du bruit de 45Hz à 89kHz ;
- ✓ pour les percentiles 99%, 90%, 50% (médiane) et 10%.

Les cartes de bruit large bande (énergie intégrée du tiers d'octave 63Hz au tiers d'octave 63kHz) sont établies et représentées par percentiles. Un percentile N donne le niveau de pression acoustique minimum que l'on mesurerait dans la zone géographique et la gamme de profondeurs considérées avec une probabilité de N%. Aussi, une carte de bruit pour un percentile N représente les zones géographiques pour lesquelles la probabilité d'obtenir un niveau sonore supérieur au niveau donné par le code de couleur est de N%.

Quelle que soit la saison, le bruit existant est loin d'être homogène sur la zone d'étude. Le bruit existant est statistiquement plus important sur le plateau continental que sur le talus continental. Le bruit large bande moyen des activités humaines peut varier de 10 à 15 dB en fonction des endroits.

Quelle que soit la saison, on observe un bruit plus important dans la zone d'approche du port de Saint-Nazaire au nord de la zone d'implantation du parc, et plus loin encore, dans la zone d'approche du port de Lorient.

Le bruit médian présente des bruits plus importants selon quatre zones distinctes en été mais ayant une tendance à se joindre en hiver :

- ✓ une bande côtière délimitée d'une part par une ligne Belle-Ile-Yeu, et d'autre part la côte ;
- ✓ une zone au sud-ouest du futur parc centrée autour de 46°30'N-3°W ;
- ✓ le long de la rupture bathymétrique entre le plateau et le talus continental ;
- ✓ l'accès au port de Saint-Nazaire et sa zone d'attente.

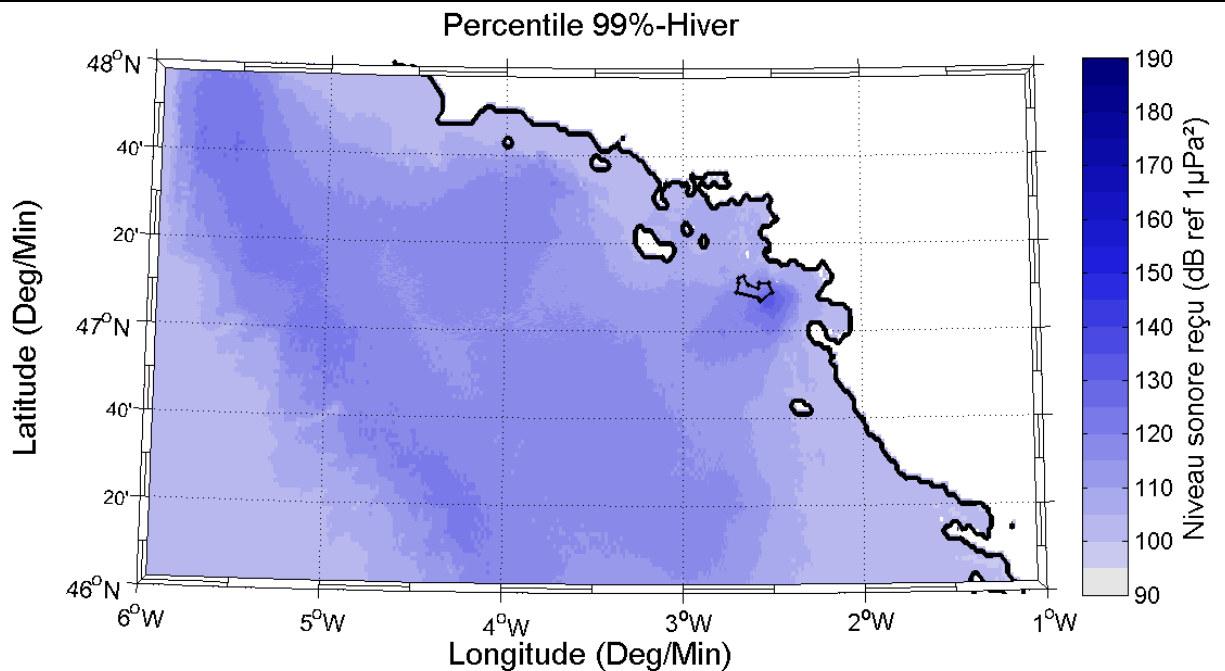
Les activités saisonnières telles que la plaisance et le trafic ferry vers les îles plus importantes en été introduisent globalement plus de bruit en été dans la bande côtière. Les conditions océanographiques ne sont pourtant pas favorables à la propagation de ces bruits sur de très grandes distances vers le large pour les raisons suivantes :

- ✓ l'énergie sonore est introduite par petits fonds ce qui limite la propagation des basses fréquences ;
- ✓ la formation de la thermocline en été réfracte les rayons acoustiques vers le fond.

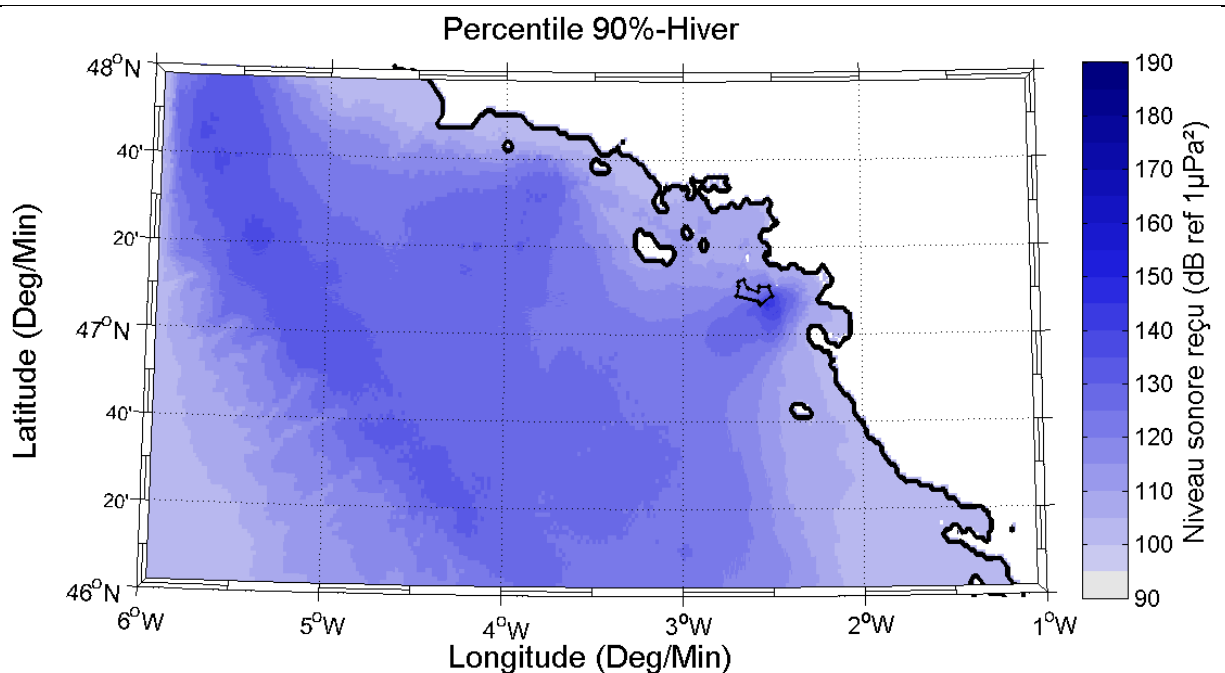
45Hz à 89 kHz
Saison Hiver

Gamme d'immersion : Toute la hauteur d'eau
Calibré par un relevé in-situ durant la saison été

Percentile 99%



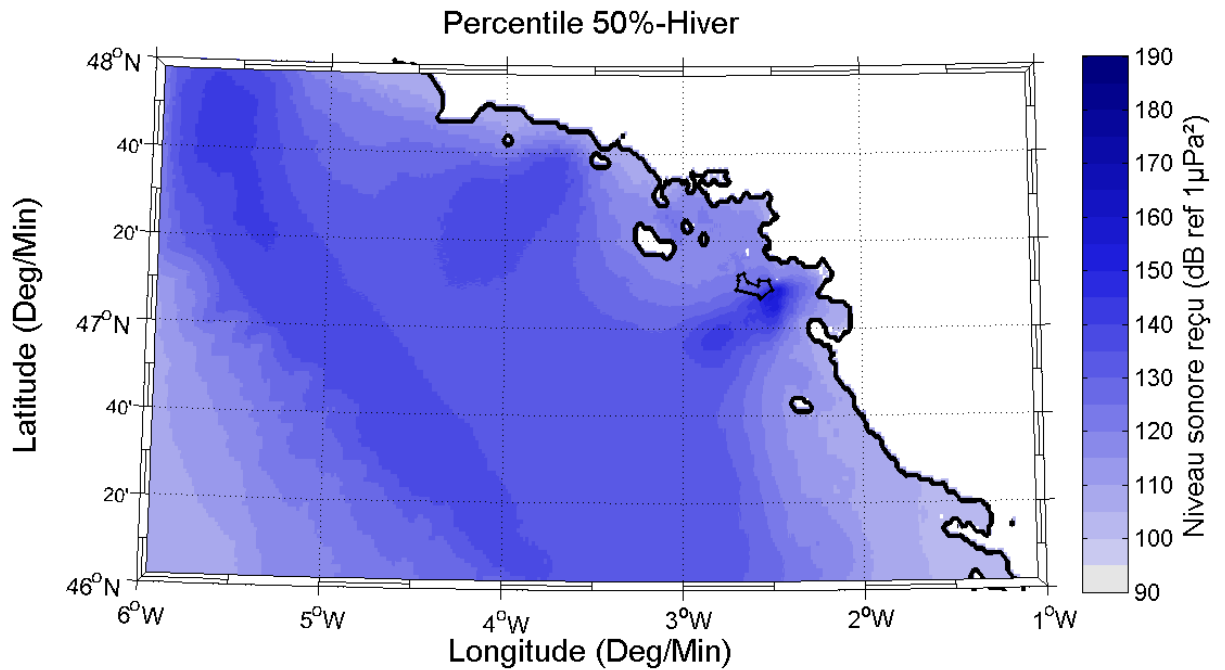
Percentile 90%



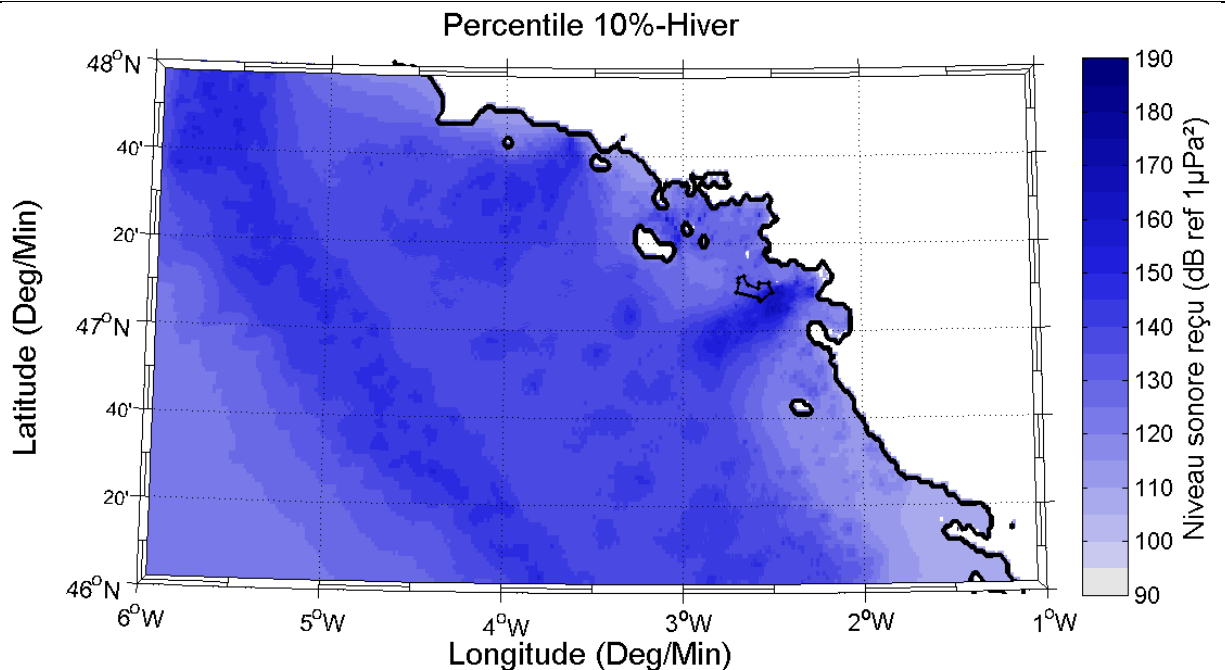
45Hz à 89 kHz
Saison Hiver

Gamme d'immersion : Toute la hauteur d'eau
Calibré par un relevé in-situ durant la saison été

Percentile 50%



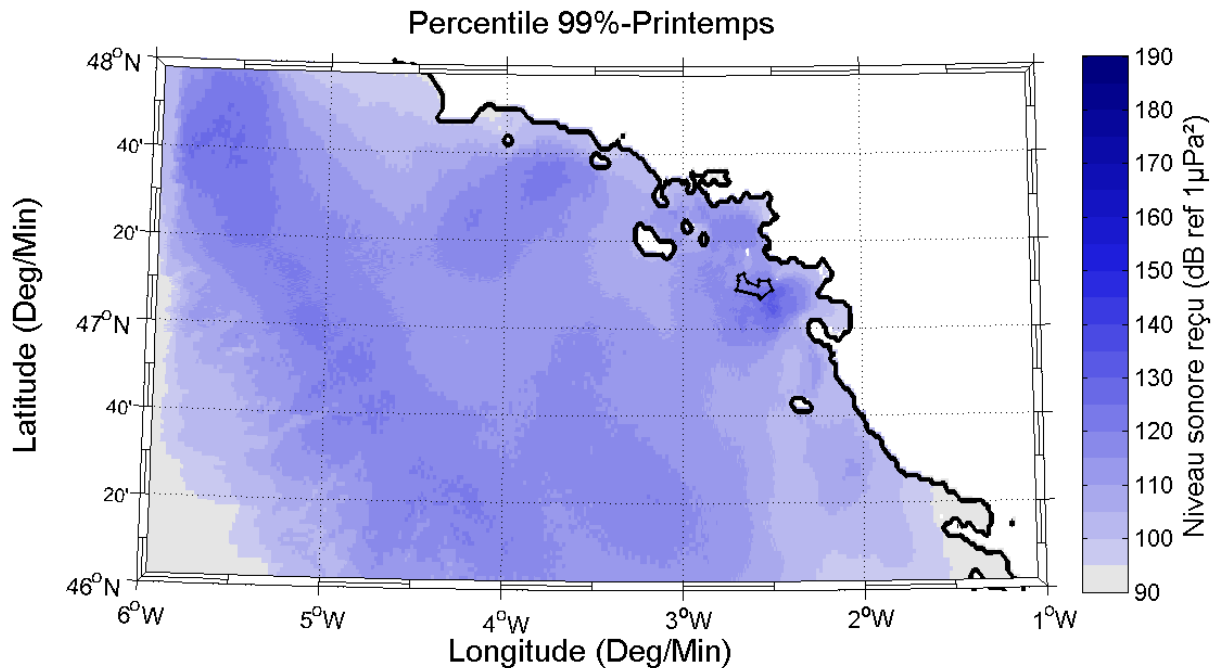
Percentile 10%



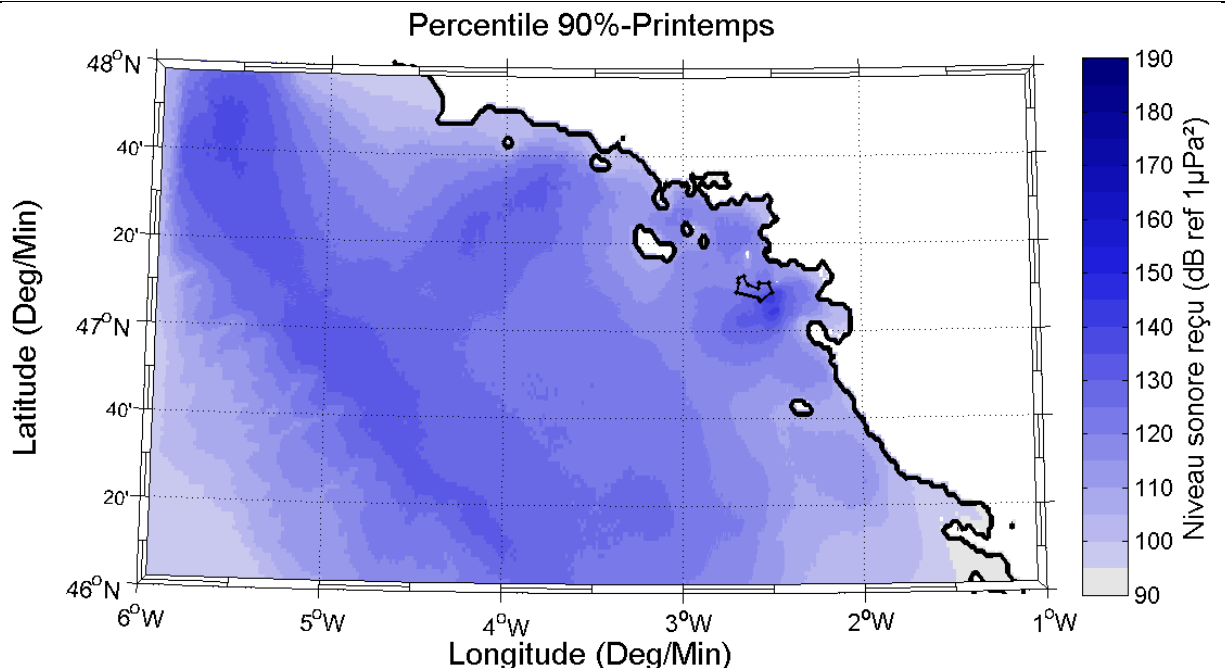
45Hz à 89 kHz
Saison Printemps/Automne

Gamme d'immersion : Toute la hauteur d'eau
Calibré par un relevé in-situ durant la saison été

Percentile 99%



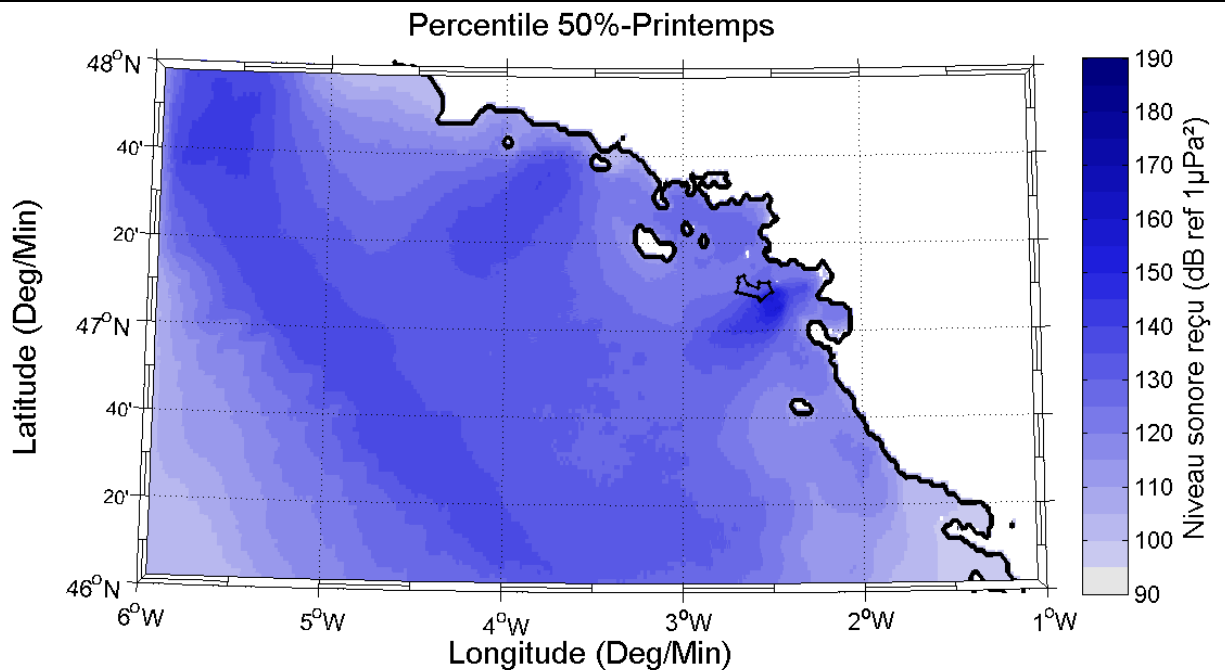
Percentile 90%



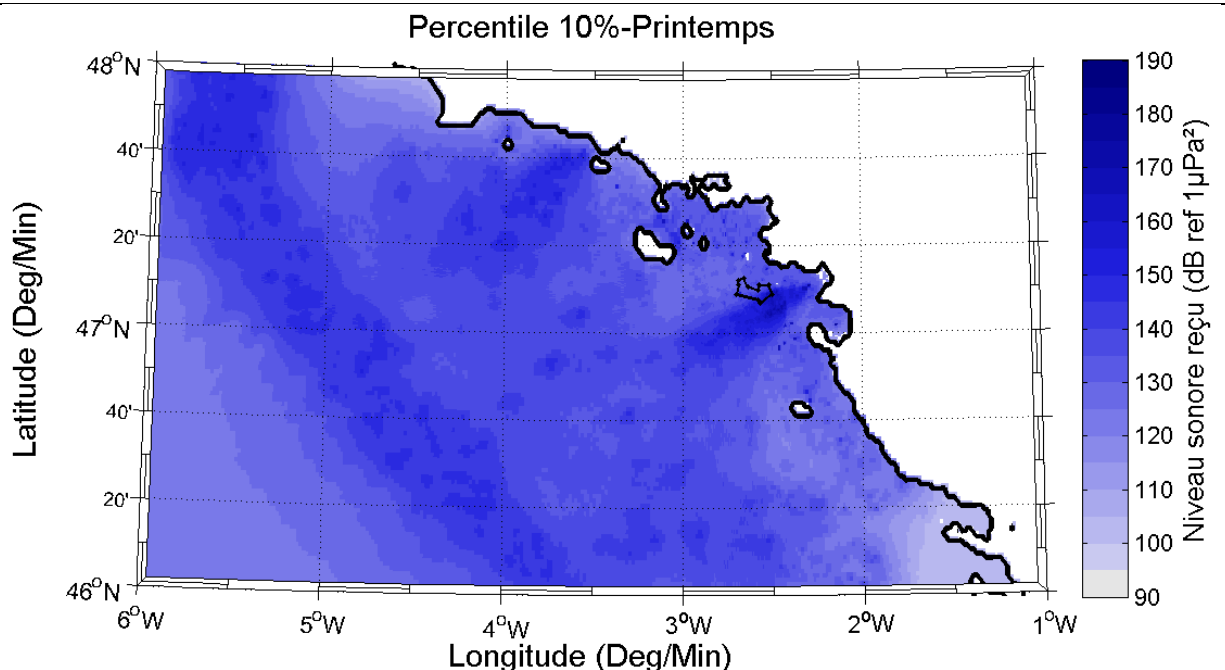
45Hz à 89 kHz
Saison Printemps/Automne

Gamme d'immersion : Toute la hauteur d'eau
Calibré par un relevé in-situ durant la saison été

Percentile 50%



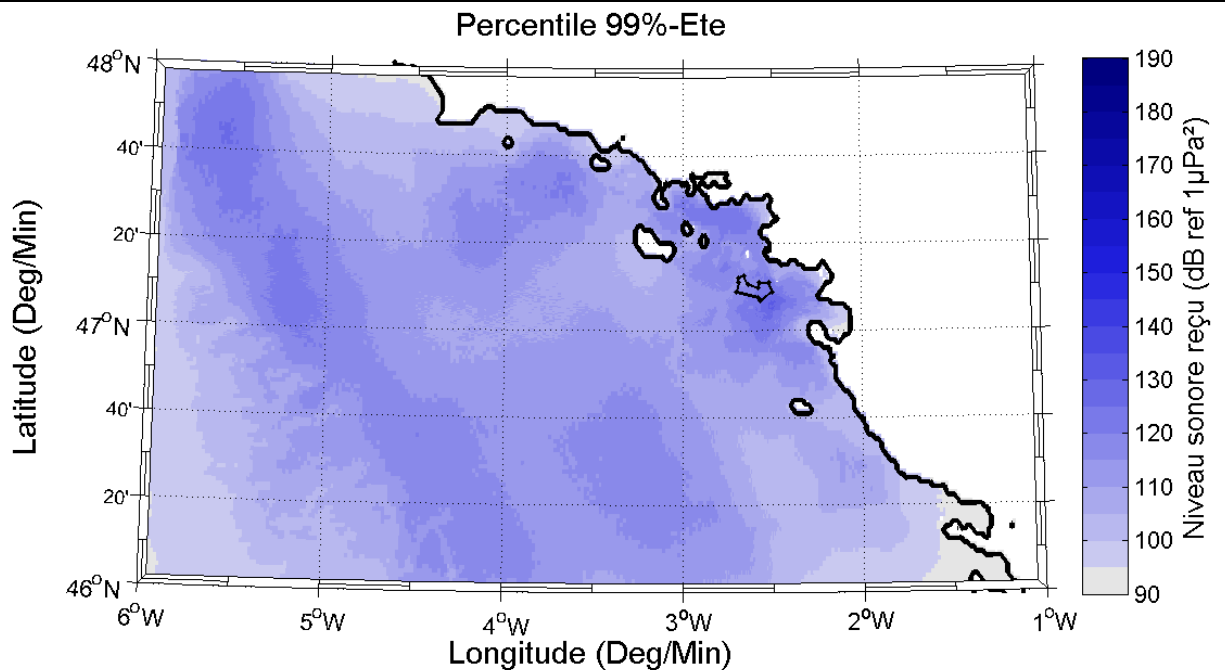
Percentile 10%



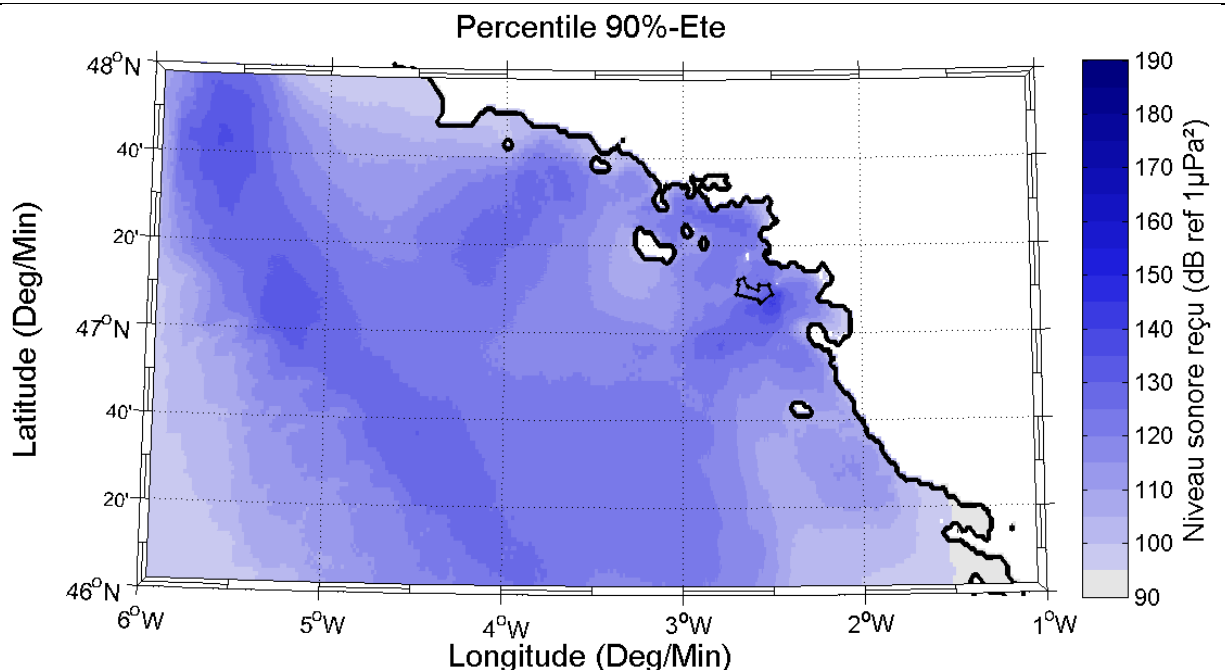
45Hz à 89 kHz
Saison Eté

Gamme d'immersion : Toute la hauteur d'eau
Calibré par un relevé in-situ durant la saison été

Percentile 99%



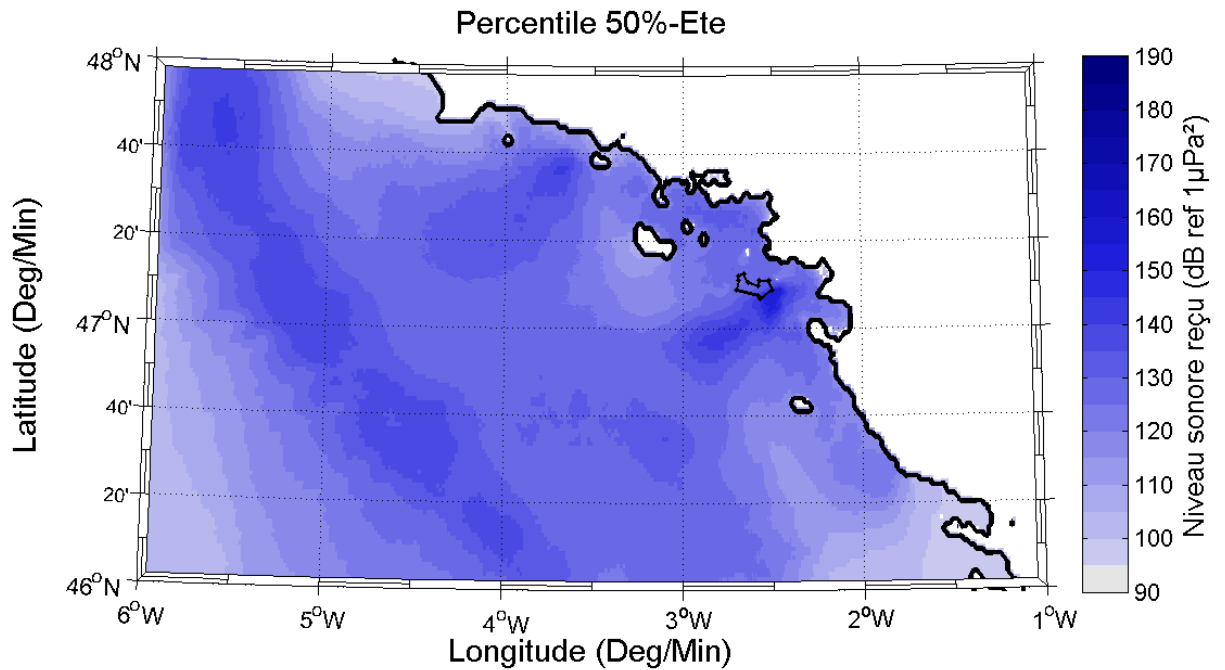
Percentile 90%



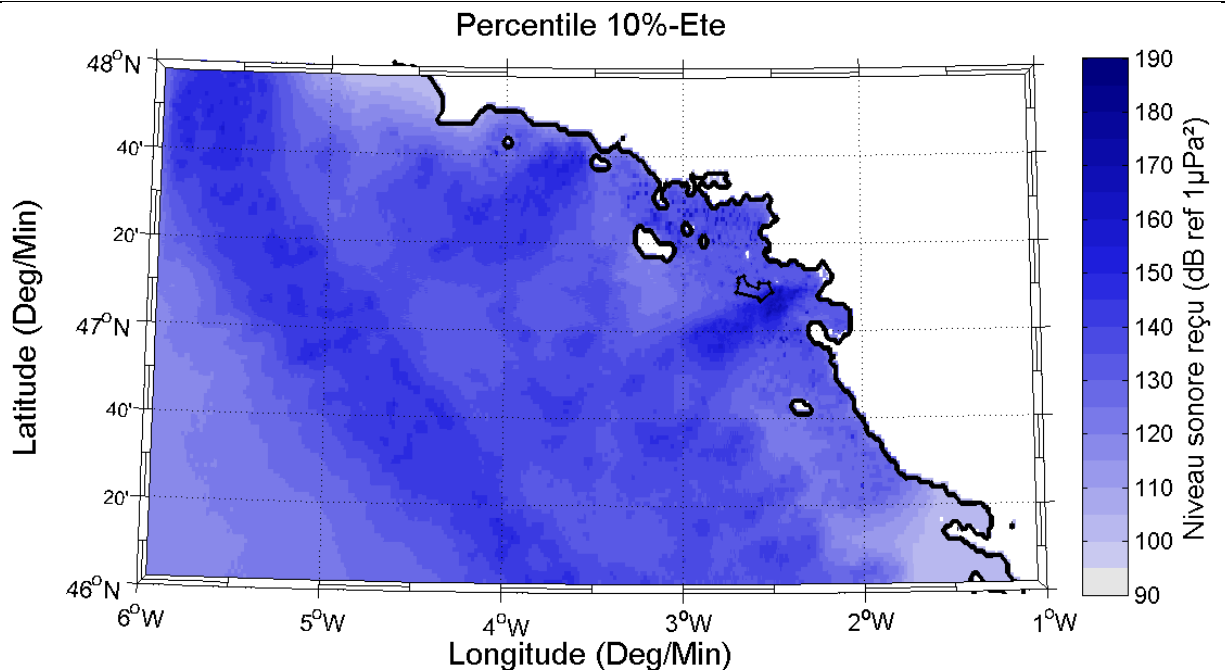
45Hz à 89 kHz
Saison Eté

Gamme d'immersion : Toute la hauteur d'eau
Calibré par un relevé in-situ durant la saison été

Percentile 50%



Percentile 10%



Chapitre IV. Empreinte sonore prédictive du projet

Au bruit initial calibré, caractérisé dans l'état initial (Chapitre III), se rajoutent les bruits liés spécifiquement au projet de construction du parc éolien en mer au large de Saint-Nazaire. Ces bruits, générés par les différentes techniques mises en œuvre, sont de nature impulsionnelle ou continue. Le cumul des bruits initiaux et des bruits liés au projet forme « l'Etat Sonore Perturbé ».

L'objectif de ce chapitre est de fournir une caractérisation de l'émergence sonore des bruits générés et propagés par le projet éolien offshore au large de Saint-Nazaire. Aussi, ce chapitre regroupe :

- ✓ Une description des techniques de construction mises en œuvre, telles que prévues à ce jour par Société du Parc de Guérande ;
- ✓ La caractérisation acoustique des niveaux à la source de chaque technique individuellement, telle qu'elle est prise en compte par Quonops© pour les prévisions ;
- ✓ Pour chaque scénario de construction, une caractérisation prédictive des émergences saisonnières statistiques des niveaux de bruits perçus par les espèces potentiellement en présence, sous la forme de cartes géographiques.

IV.1. Scénarios descriptifs du projet de parc éolien en mer

La Société du Parc de Guérande prévoit l'implantation d'un champ éolien constitué de 80 éoliennes d'une puissance unitaire de six mégawatts. La capacité nominale du parc devrait atteindre les 480MW. Le parc est situé à 12km au sud-ouest du littoral de Saint-Nazaire (département du Loire-Atlantique). Il couvrira une surface de 78 km². La période de construction devrait durer au total environ 24 mois et sera suivie d'une phase d'exploitation de 25 ans.

La construction de ce parc éolien comprend différentes phases (Figure 24) :

- ✓ Les opérations de construction ;
- ✓ L'exploitation du parc éolien en mer ;
- ✓ La maintenance à partir du port de La Turballe.

Les opérations de construction regroupent plusieurs ateliers:

- ✓ Le clapage afin de déverser les matériaux nécessaires à la réalisation du socle (ou semelle) ;
- ✓ Le forage de la fondation monopieu de chaque éolienne ;
- ✓ Le battage de la fondation monopieu de chaque éolienne ;
- ✓ Le battage de la fondation jacket du poste électrique (ou OST) ;
- ✓ Le transfert des structures de chaque éolienne depuis le port de Saint Nazaire;
- ✓ La dépose des structures des éoliennes dans le parc ;
- ✓ L'ensouillage des câbles inter-éoliennes dans le parc à partir d'un navire spécifique ;
- ✓ Le trafic induit par l'ensemble des travaux dans ou à proximité du parc ;
- ✓ L'exploitation de 80 éoliennes de 6MW en fonctionnement nominal ;
- ✓ La maintenance du parc éolien.

Durant la construction, différentes techniques pourront être mises en œuvre simultanément dans l'enceinte du parc éolien. Aussi une première situation analyse la simultanéité des opérations de clapage et de dépose des structures des éoliennes. La seconde situation de travaux prend en compte la simultanéité de deux points de battage espacés au minimum de 7 km. Pour réaliser la fondation de chaque éolienne, deux variantes sont analysées dans cette étude :

- Battage exclusivement,
- Solution mixte battage / forage. Ces deux techniques sont réalisées consécutivement et l'intervalle de temps suffisamment important (plusieurs heures) pour inter changer l'atelier de travaux impose d'analyser chaque technique individuellement.

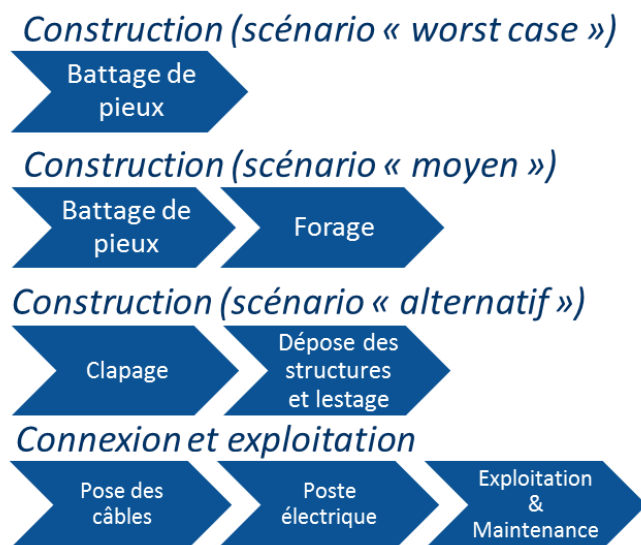


Figure 24 : Synoptique des ateliers constituant les scénarios du projet. D'après Société du Parc de Guérande.

IV.2. Caractérisation des sources de bruit liées à l'implantation du parc éolien en mer

L'objectif de cette étude acoustique est de fournir les ordres de grandeur liés au choix des techniques mises en œuvre pour la construction du parc éolien au large de Saint-Nazaire. Chaque technique utilisée présente un mode opératoire spécifique (technique, niveaux, durée, etc.). Ces spécificités sont prises en compte dans la modélisation des sources de bruits réalisées dans le cadre de cette étude. Il est important de réaliser que les hypothèses de niveaux de bruit émis utilisées dans le cadre de cette étude sont issues de la littérature disponible. Des campagnes de mesure in-situ dont l'objectif serait de caractériser la signature acoustique des différentes sources de bruit des ateliers de construction et d'exploitation permettrait d'affiner les résultats.

IV.2.1. Bruit généré par les opérations une opération de déversement de matériaux (ou clapage)

Le clapage consiste en un déversement soit rapide (largage) soit contrôlé (dépôt) de matériau à partir d'un navire spécifique. En pratique, à un instant donné, le fond du navire s'ouvre totalement et permet le déversement de l'ensemble des matériaux (blocs, sable-gravier,) stockés à l'intérieur. A la connaissance de Quiet-Oceans, ce type de source sonore n'a pas fait l'objet de publication scientifique permettant d'estimer un gabarit de source sonore en fonction de la fréquence ainsi que la répartition de l'énergie dans la colonne d'eau. Quiet-Oceans a donc créé par défaut un gabarit de source en supposant que l'énergie acoustique est engendrée intégralement au niveau de la surface (trappe de déchargement) qu'il s'agit d'affiner par des mesures terrains. Dans le cas de cette étude, en supposant un fond cailloutis-graveleux ou cailloutis-sableux à l'emplacement du déversement (hypothèse devant être confirmée par les études de maîtrise d'œuvre menées par ailleurs), Quiet-Oceans estime que la totalité de l'énergie acoustique est issue du navire spécifique en positionnement dynamique, des contacts entre les matériaux eux-mêmes et des contacts matériaux – trappe de fond du navire au moment du déversement. A ce stade de l'étude, la solution envisagée est un dépôt des résidus aux alentours immédiats des fondations. La méconnaissance du bruit potentiel lié à l'atterrissage des matériaux sur le fond fait que ce bruit n'est pas considéré.

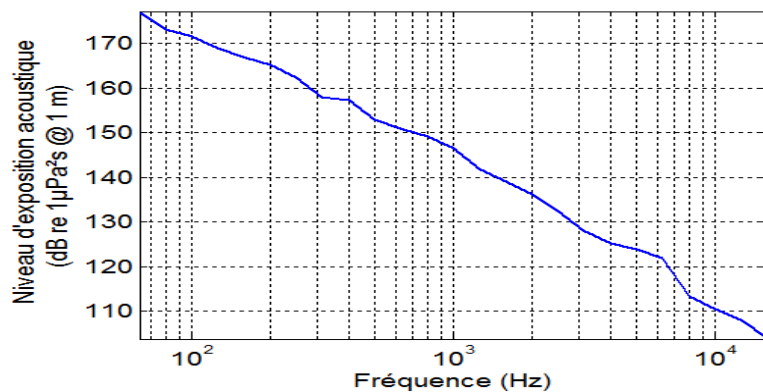


Figure 25 : Modèle de niveau d'exposition sonore (Sound Exposure Level SEL) localisée près de la surface permettant de modéliser le bruit généré par un déversement à partir d'une barge. Source Quiet-Oceans.

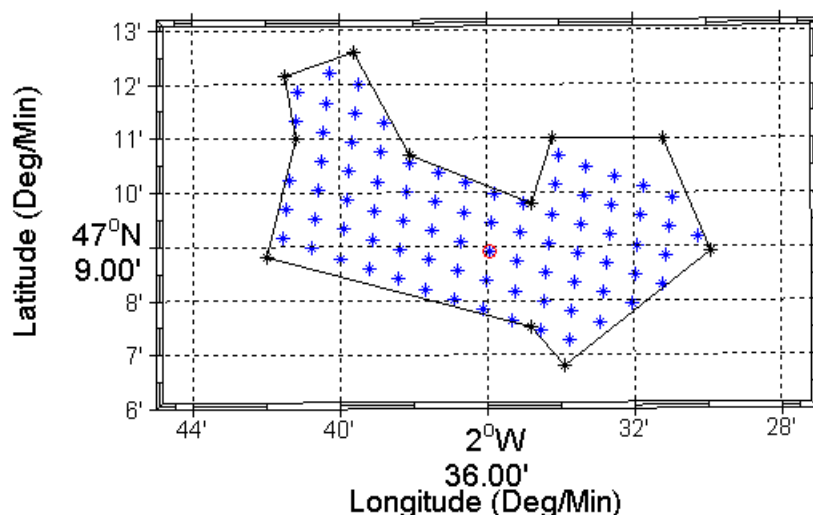


Figure 26 : En rouge, position géographique servant à l'évaluation des incidences sonores lors d'une opération de clapage.

IV.2.2. Bruit généré par les opérations de dépose d'éolienne dans le parc

Cette opération consiste à l'acheminement des structures des éoliennes depuis le port de Saint Nazaire à l'aide de 5 navires de type remorqueur puis la dépose de chaque structure à l'emplacement désiré (Figure 27). Dans cette étude, seule la partie dépose de la structure est analysée. Chaque navire est considéré comme étant un navire de type remorqueur. Le gabarit de source sonore à 1m choisi est illustré sur la Figure 25. Ce gabarit est issu de la littérature (Hildebrand, 2009), (Wales & Heitmeyer, 2002))

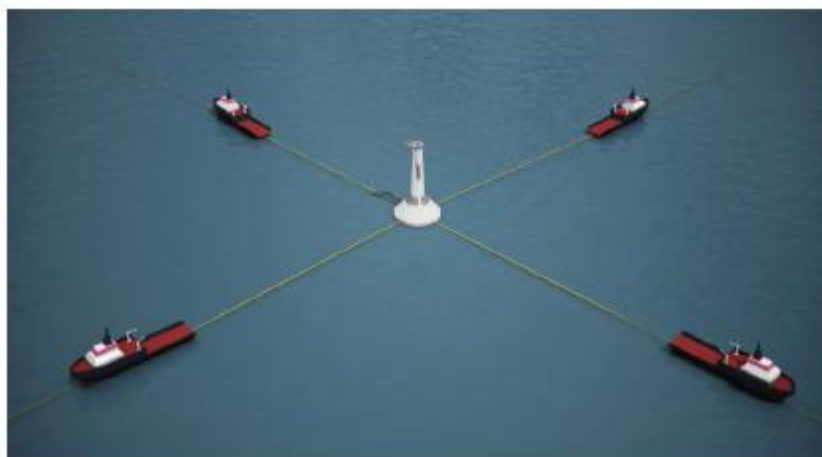


Figure 27 : illustration d'une opération de transfert et de dépose d'une structure d'éolienne (source Société du Parc de Guérande).

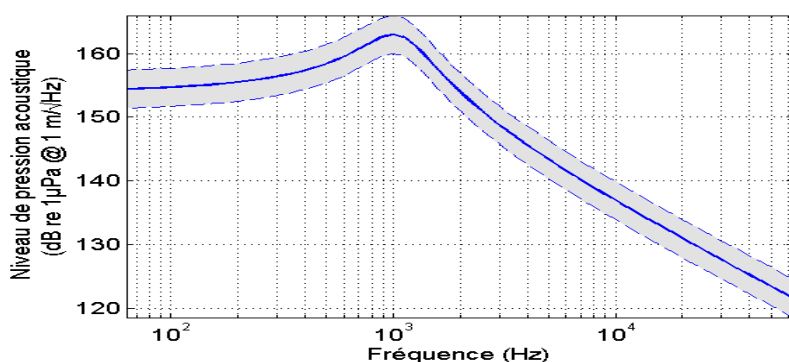


Figure 28 : Gabarit de source sonore (en dB ref. 1µPa/√Hz @1m) modélisant un navire de type remorqueur.

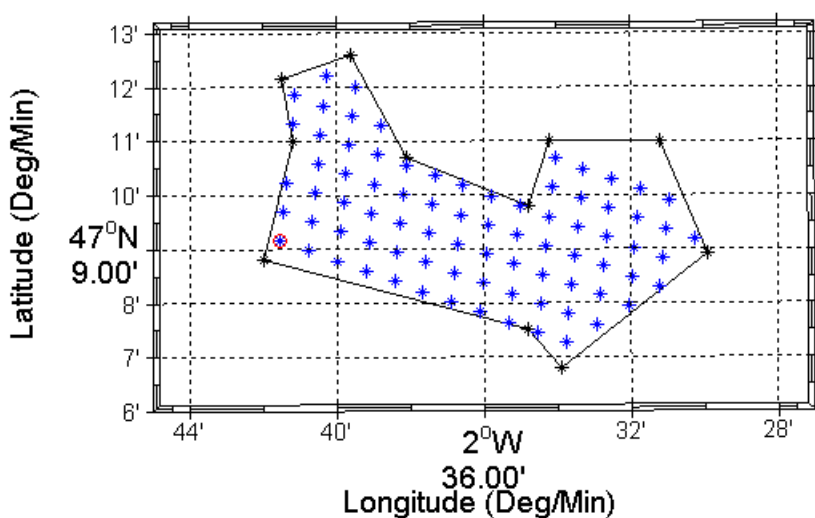


Figure 29 : En rouge, zone géographique servant à l'évaluation des incidences sonores lors d'une dépose d'une structure d'éolienne.

IV.2.3. Bruit généré par le battage de pieu

A ce stade du projet, la pose des fondations de type monopile de chaque éolienne sera effectuée partiellement ou en totalité par un atelier de battage. La fixation au sol se fait par l'intermédiaire de pieu de diamètre 7m. En fonction du scénario choisi, les caractéristiques techniques diffèrent quant au nombre de coups nécessaire à l'enfoncement du pieu. Indépendamment, un battage de pieu sera effectué dans le cadre de la pose du poste électrique. Le Tableau 12 spécifie les valeurs caractéristiques nécessaires à l'évaluation des niveaux sonores induits lors des différentes phases de battage du projet. Dans cette étude, les résultats sont présentés pour un atelier de battage seul et deux ateliers de battage fonctionnant simultanément avec un espacement minimum de 7km entre chaque atelier.

	Diamètre du pieu (m)	Enfoncement (m)	Cadence (cps/min)	Nbre de coups	Durée (h)	Battage simultané
Scénario Battage exclusif	7	25	35	9000	4.25	2
Scénario Battage/forage	7	12.5	35	2100	1	2
Poste électrique (ou OST)	3	40	30	15000	9	1

Tableau 12 : Caractéristiques techniques du battage

Lors d'une phase de battage, les bruits générés sont, par nature, impulsionnels. Afin de traduire les impacts potentiels de façon plus juste, la communauté scientifique (Southall, et al., 2007) s'accorde aujourd'hui à intégrer cette notion au travers du niveau d'exposition sonore (Sound Exposure Level, SEL)¹⁵, exprimé en dB réf. 1μPa².s). L'énergie d'exposition sonore correspond à l'énergie acoustique reçue en un point (Figure 30) intégrée sur toute la bande de fréquence et sur la durée significative de l'impulsion sonore (Ti). Dans le cadre de cette étude, Ti est choisi égal à 100ms, conformément à la littérature, (De Jong, Ainslie, Benda-Beckman, & Blacquiere, 2008) par exemple.

Les hypothèses relatives aux niveaux des bruits de construction choisies sont dérivées de la littérature internationale disponible (Betke, 2008) qui reporte en particulier des mesures réalisées lors des projets de construction des plateformes Q7 et OWEZ (De Jong, Ainslie, Benda-Beckman, & Blacquiere, 2008), Beatrice (Talisman Energy (UK) Limited, 2004), North Hoyle et Scroby Sands (Nedwell, Langworthy, & Howell, 2004) et Horns Rev II (Betke, 2008)

Une régression logarithmique entre le niveau d'exposition sonore maximum par coup en fonction du diamètre du pieu a pu être établie à partir des retours d'expérience des parcs éoliens en mer Q7, FINO 1, 2 et 3, Alpha Ventus, Utgrunden, Sky 2000, Amrumbank West, Horns Rev II, North Hoyle, et Barrow (Betke, 2008) (Figure 31).

Quiet-Oceans utilise une distribution verticale simplifiée de l'énergie émise par le pieu lors de son battage : la moitié de l'énergie sonore émise est distribuée sur les ¾ supérieurs de la colonne d'eau afin de traduire les vibrations du pieu. L'autre moitié est émise proche du fond afin de traduire l'impact du pieu dans le sédiment.

Les Figure 33, Figure 34 et Figure 35 représentent les positions géographiques représentatives du projet de construction utilisées pour la modélisation des incidences sonores lors du battage de pieu

¹⁵ Niveau d'exposition sonore

de chaque éolienne (respectivement battage de fondation monopieu seul, battage de deux fondations monopieu simultanés, et battage de l'OST).

Il n'existe pas, à la connaissance de Quiet-Oceans, de modélisation de la distribution de la génération de bruit le long des pieux (diagramme de source). Aussi, afin de traduire au mieux la physique des phénomènes vibratoires en jeu, Quiet-Oceans a procédé à une modélisation intuitive de la distribution de l'énergie émise par le pieu lors de son battage : la moitié de l'émission de l'énergie sonore émise est due à la vibration du pieu sur les $\frac{3}{4}$ supérieurs de la colonne d'eau, tandis que l'autre moitié est émise proche du fond, par le quart inférieur du pieu. Cette dissymétrie est motivée par l'impact du pieu sur le sédiment.

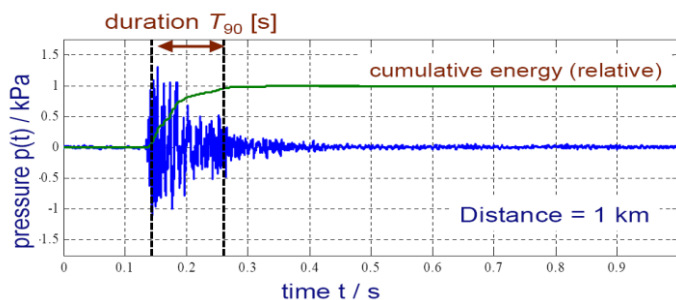


Figure 30 : Signal acoustique type d'un coup en fonction du temps (courbe bleue) et énergie cumulée de l'impulsion sonore mesurée lors d'une opération de battage sur le site Q7. L'énergie mise en jeu est de 800 kJ/coup. La durée significative de l'impulsion sonore T_i mesurée est de 100 ms. D'après (De Jong, Ainslie, Benda-Beckman, & Blacchiere, 2008).

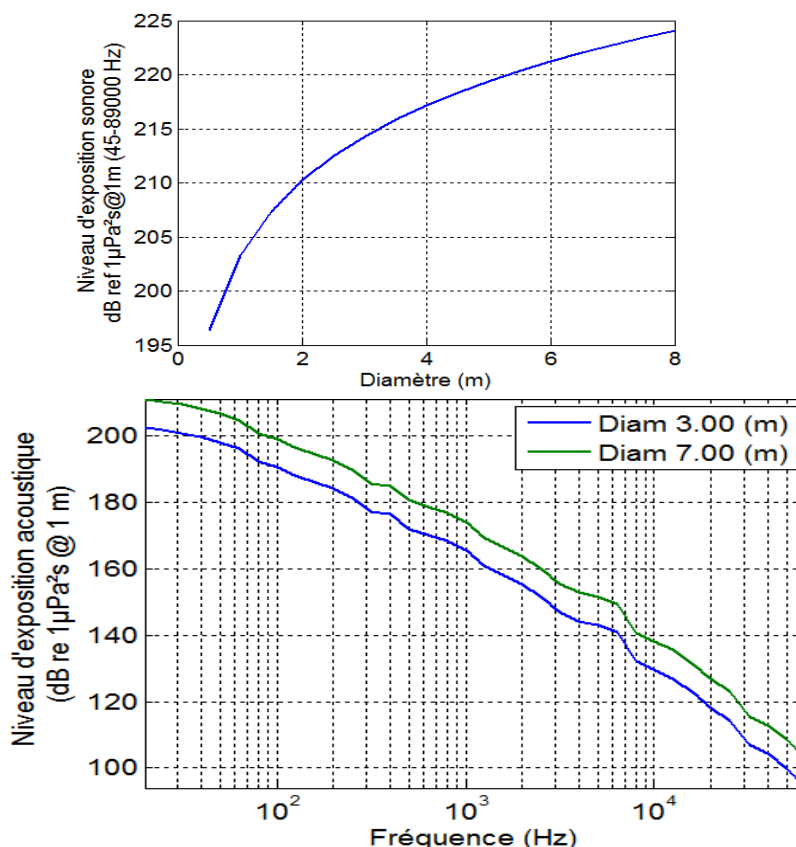


Figure 31 : Régression par hypothèse logarithmique entre le diamètre des pieux et le niveau d'exposition sonore (Sound Exposure Level SEL) maximum par coup à un mètre du pieu. Dérivé des données mesurées lors des opérations de constructions portuaires en Allemagne, et des parcs éoliens en mer Q7, FINO 1, 2 et 3, Alpha Ventus, Utgrunden, Sky 2000, Amrumbank West, Horns Rev II, North Hoyle, et Barrow. Source Quiet-Oceans d'après (Betke, 2008).

Figure 32 : Modèle de niveau d'exposition sonore (Sound Exposure Level SEL) à un mètre du pieu de diamètre 3m ou 7m, pour un coup unique, en fonction de la fréquence. Source Quiet-Oceans dérivée de mesures in situ (Betke, 2008).

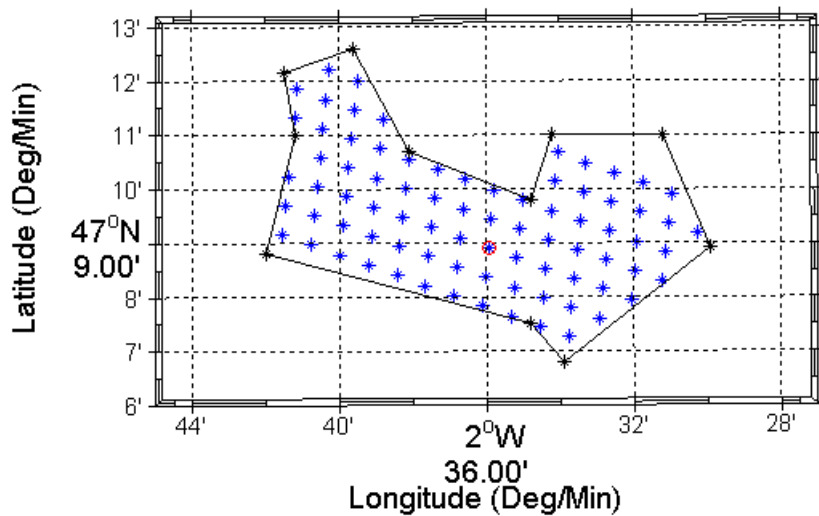


Figure 33 : En rouge, position géographique servant à l'évaluation des incidences sonores lors du battage de pieu de chaque éolienne (Source : Société du Parc de Guérande).

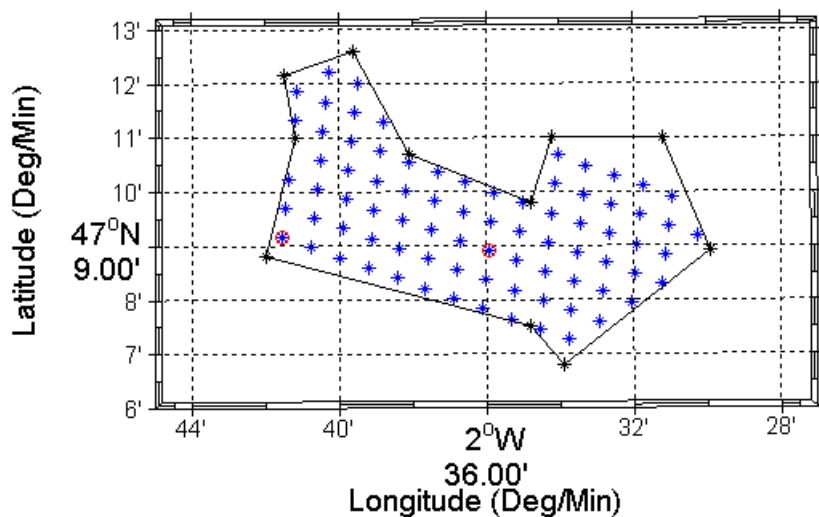


Figure 34 : En rouge, position géographique servant à l'évaluation des incidences sonores lors du battage de deux pieux simultanément (Source : Société du Parc de Guérande)

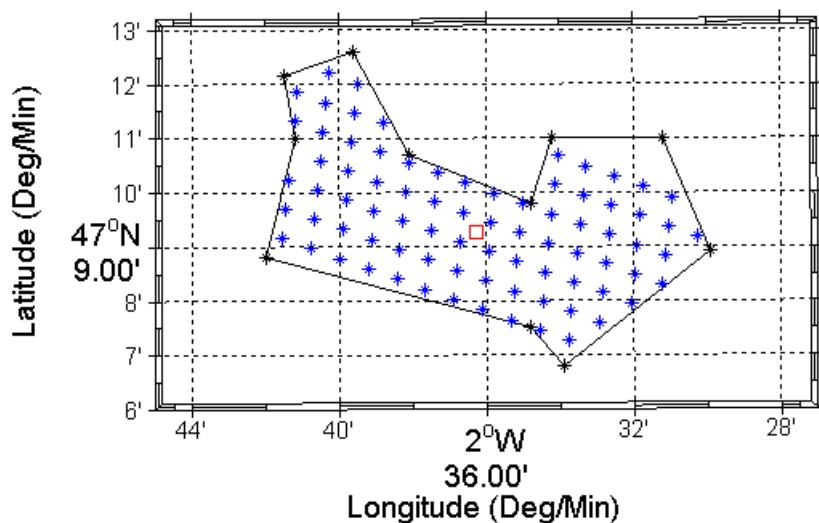


Figure 35 : En rouge, position géographique servant à l'évaluation des incidences sonores lors du battage du pieu du poste électrique ou OST (Source : Société du Parc de Guérande)

IV.2.4. Bruit généré par le forage vertical

Le gabarit de bruit de forage vertical (Figure 42) est issu de la littérature (Beharie & Side, 2011), (Nedwell, 2008), (Nedwell, 2003). Ces données proviennent de mesures réalisées sur des substrats rocheux lors de l'installation de la fondation monopieu de la turbine Voith HyTide à l'EMEC en Ecosse, et en zone côtière à proximité de Strangford (UK) en présence d'une foreuse Seacore / Wirth B5 en position verticale à une vitesse maximale de rotation de 37 tours/min et un diamètre de forage maximum de 1,3m confirment les mesures précédentes. Le poids du dispositif est de 15 tonnes, la puissance développée est de 80 kW. Les différences de nature du substrat peuvent influencer la transposition de ces résultats au cas de ce projet.

La distribution du bruit source est modélisée par Quiet-Oceans par trois sources ponctuelles : une source située à proximité de la surface représentant 20% de l'énergie totale (navire DP), une source au niveau de la tête de la foreuse qui représente 20% de l'énergie (1/3 inférieur de la colonne d'eau) et une source au niveau du fond qui représente 50% de l'énergie totale (forage propre).

Dans cette étude, un navire de type « remorqueur » est positionné à proximité de la position du forage. Pour prendre en compte le diamètre de la foreuse, Quiet-Océans a utilisé dans une première approximation le coefficient directeur de la courbe de régression logarithmique défini dans le cadre du battage de pieu afin d'estimer un gabarit de forage en fonction du diamètre et de la fréquence. Cette hypothèse doit être confirmée par des mesures in-situ et/ou par des nouvelles publications relatives à ce diamètre de foreuse (6.8m). Dans cette étude, une position représentative d'une opération de forage vertical a été étudiée au centre du site d'implantation du futur champ éolien (Figure 37).

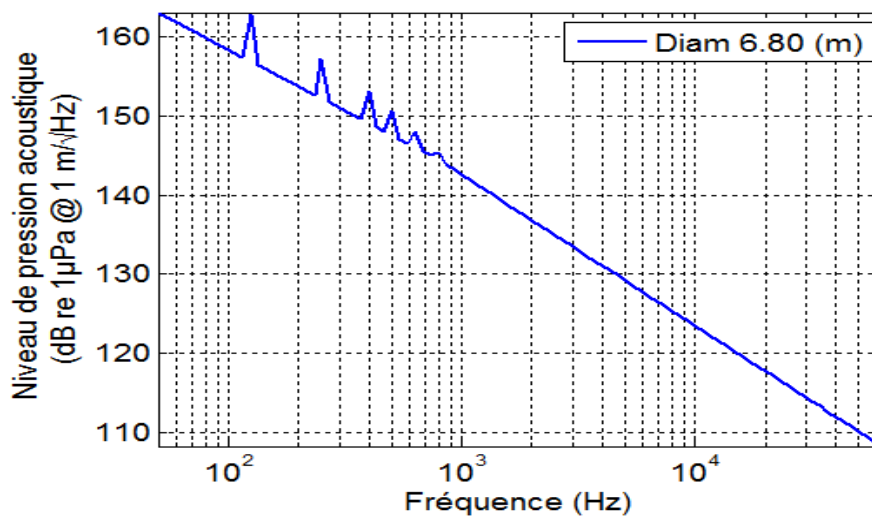


Figure 36 : Modèle de bruit généré (en dB ref. 1µPa/VHz @1m) lors d'une opération de forage vertical pour une foreuse de diamètres 6.8m. Quiet-Oceans dérivée de (Beharie & Side, 2011), (Nedwell, 2008),

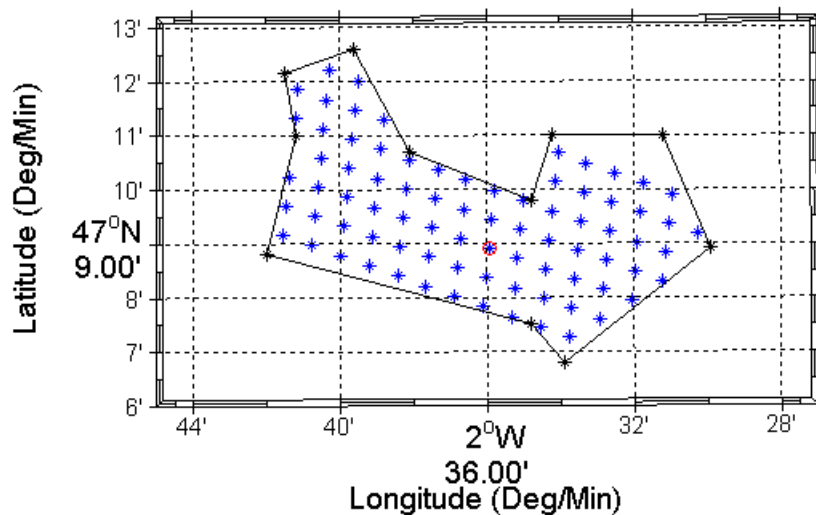


Figure 37 : Position géographique servant à l'évaluation des incidences sonores lors du forage vertical (Source : Société du Parc de Guérande).

IV.2.5. Bruit généré par les opérations d'ensouillage des câbles

L'ensouillage des câbles est réalisé par un navire de surface et un outil spécialisé, le plus souvent tracté sur le fond. Les opérations ont lieu en continu, et le bruit généré est donc de même nature.

Le scénario technico-opérationnel représentatif de l'ensouillage des câbles correspond à la superposition d'un navire générant un bruit propre et d'un engin sous-marin sur le fond générant un bruit propre, très peu documenté (Nedwell & Howell, 2004). Le gabarit de source sonore à 1m choisi (Figure 38) est dérivé des mesures effectuées sur le site éolien offshore Beatrice (Talisman Energy (UK) Limited, 2004) et de mesures réalisées en Ecosse (Wilson, Carter, & Elliott, 2009).

Dans cette étude, trois positions ont été étudiées entre le centre du site d'implantation du futur parc éolien et une position après 20 heures de travaux à la vitesse moyenne d'avancement de 150m/h (Figure 39).

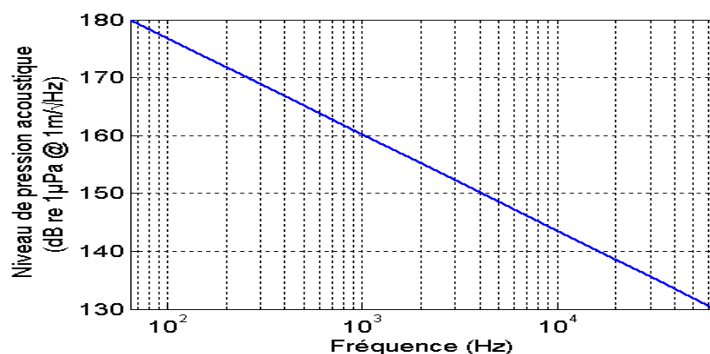


Figure 38 : Gabarit de source sonore (en dB ref. 1μPa/√Hz @1m) localisée près du fond permettant de modéliser le bruit généré par l'outil tracté d'ensouillage des câbles.

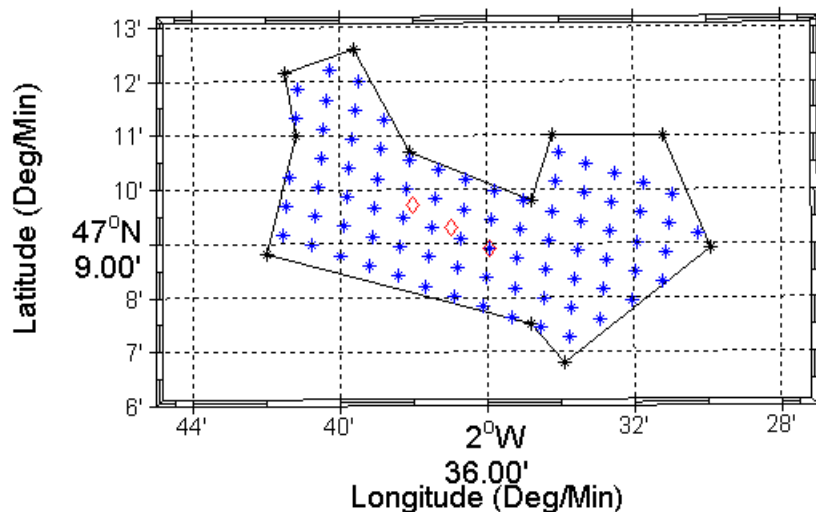


Figure 39 : En rouge, trois positions géographiques servant à l'évaluation des incidences sonores dues à l'ensouillage des câbles électriques à l'intérieur du parc éolien pendant une durée totale de 20 heures à la vitesse de 150m/h.

IV.2.6. Bruit généré par les navires du chantier

Afin d'acheminer les outils, les personnels ou les matériaux sur la zone de construction du parc éolien, des navires spécifiques circuleront dans ou à proximité de la zone de construction et à partir du port de Saint-Nazaire. En moyenne, sur la durée totale du chantier, 15 navires seront en activité dans le parc éolien et dans le couloir de circulation port de Saint-Nazaire /parc éolien à chaque instant. Le gabarit de source sonore utilisé est issu du modèle de bruit de navire de type remorqueur (Wales and Heitmeyer 2002) et adapté à partir des informations issues des travaux de la « Scripps Oceanographic Institution » (Hildebrand 2009). La Figure 40 montre le niveau de pression acoustique à 1m en fonction de la fréquence.

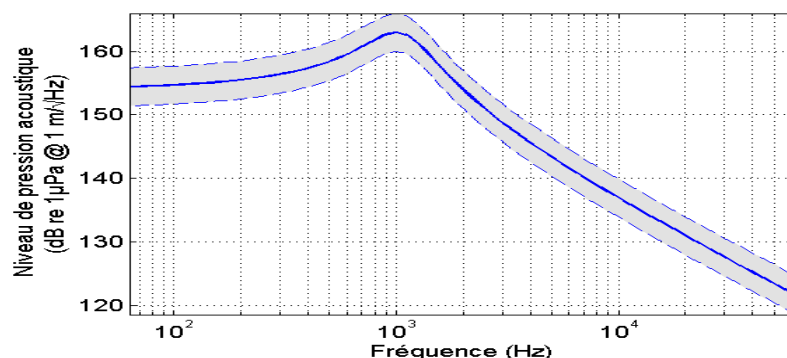


Figure 40 : Gabarit de source sonore (en dB ref. 1μPa/VHz @1m) modélisant un navire de type remorqueur.

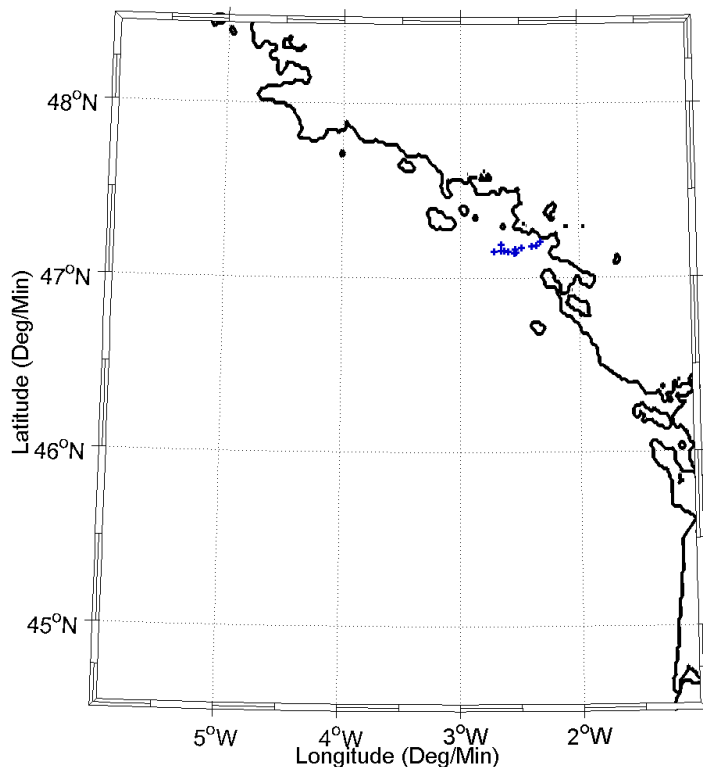


Figure 41 : Exemple de situation instantanée de trafic induit.

IV.2.7. Bruit généré en phase d'exploitation du parc éolien

Il existe peu de littérature concernant le bruit continu rayonné par une éolienne offshore en exploitation en général, et aucune (à notre connaissance) concernant le bruit continu rayonné par une éolienne de 6MW en exploitation. Les mesures de bruit rayonné par une structure éolienne « monopieu » sur le site de Horns Rev II mettent en évidence un bruit rayonné de fond très large bande, auquel vient se rajouter des raies spectrales en basse fréquence (Betke K. , 2006). Il semblerait que ces raies spectrales s'expliquent par l'existence de modes de propagation sur les fondations. Ainsi, la raie la plus énergétique correspond à un mode fondamental à basse fréquence, autour d'une centaine de Hz. Les modes de vibration suivants sont d'autant moins élevés que le mode est élevé, et les fréquences des modes élevés sont un multiple entier du mode fondamental. La différence de bruit rayonné en fonction du vent ne semble influencer que le niveau énergétique des raies.

A partir de cette analyse, un gabarit de bruit rayonné par une éolienne à 1 mètre basée sur une structure « Monopieu » a été élaboré (Figure 42). Le bruit rayonné par une éolienne en fonctionnement est modélisé par une répartition uniforme de sources sur toute la hauteur d'eau.

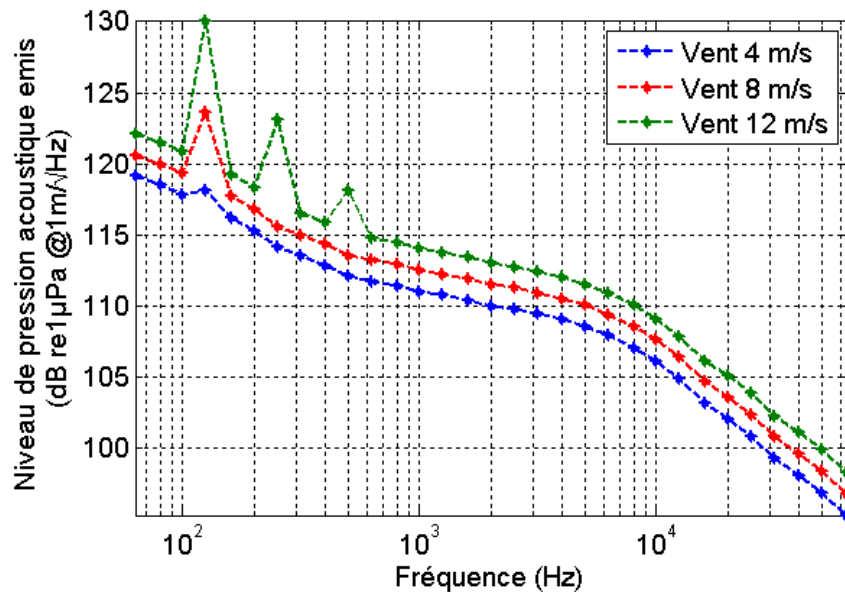


Figure 42 : Modèle de bruit généré par une éolienne structure « Monopieu » à 1 mètre de la structure en fonction de la fréquence. La courbe bleue correspond au rayonnement pour un fonctionnement « basse puissance », la courbe rouge « moyenne puissance » et la courbe verte « puissance nominale ». Source Quiet-Oceans dérivée de (Bette K. , 2006).

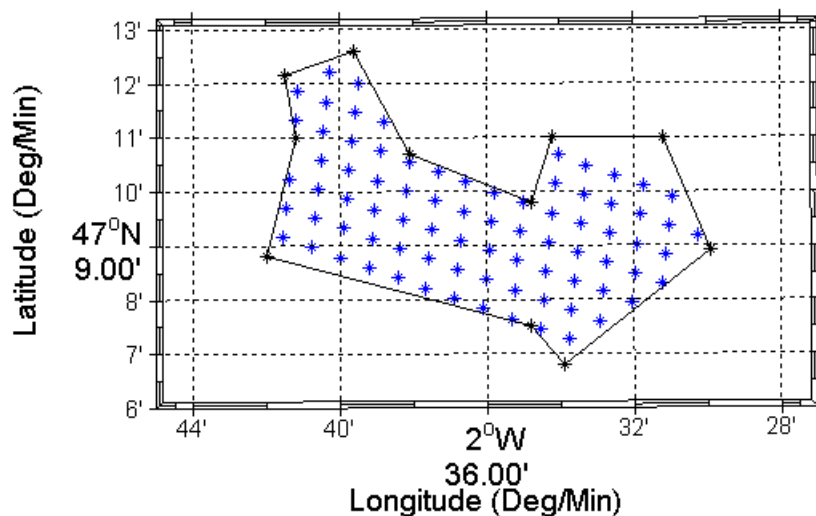


Figure 43 : Positions géographiques des éoliennes servant à l'évaluation des incidences sonores lors de l'exploitation du parc éolien.

IV.2.8. Bruit généré lors de la phase de maintenance

Les opérations de maintenances décrites par la Société du Parc de Guérande consistent en un trafic induit moyen de 1 à 3 navires de type « supply » de 20m de longueur circulant à l'intérieur du parc et/ou en transit entre le parc et le port de La Turballe. Cette activité est modélisée par un navire de type « remorqueur ». Le gabarit est similaire à la Figure 25. Les gabarits sont sensiblement inférieurs aux navires commerciaux transitant dans le rail d'entrée du port de Saint Nazaire.

IV.3. Définition de l'empreinte sonore du projet

L'empreinte sonore est définie pour chaque étape de la construction identiquement pour chaque type de construction mis en œuvre. L'empreinte sonore correspond à la zone géographique pour laquelle le bruit généré par une opération spécifique du projet est au-dessus du niveau de bruit actuel.

Aussi, les limites de l'empreinte sonore sont établies à partir :

- ✓ d'une part des cartes statistiques de bruit engendrées par le projet pendant une seconde ;
- ✓ et d'autre part, des cartes statiques du bruit ambiant.

Pour chaque saison et pour chaque type de construction, le périmètre de l'empreinte sonore est établi à partir des données statistiques des champs acoustiques perturbés en comparaison des données statistiques des champs acoustiques du bruit ambiant. Un point géographique de la zone est considéré comme faisant partie de l'empreinte sonore si, en ce point, la médiane (percentile 50%) saisonnière du bruit du projet est supérieure à la médiane saisonnière du bruit ambiant. Les cartes sont établies après intégration sur les fréquences d'intérêt et intégration des différentes situations océanographiques (marée et rugosité de surface).

Les empreintes sonores du projet sont :

- ✓ estimées pour une seconde d'activité ;
- ✓ intègrent toute l'énergie sonore sur la bande de perception de chaque espèce ;
- ✓ et sont exprimées en dB réf. $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ au-dessus de la médiane saisonnière du bruit ambiant existant.

A titre d'exemple, la Figure 44 illustre les empreintes sonores d'une activité de battage d'un pieu de 3 m de diamètre pour chaque catégorie d'espèces potentiellement en présence, et pour deux saisons extrêmes. On démontre ainsi que les effets saisonniers sur l'empreinte sonore du projet sont importants et que la saison la plus défavorable à la réalisation des travaux est l'hiver.

En conséquence, la suite du document représentera uniquement la saison Hiver où l'empreinte sonore est plus étendue.

Les zones colorées représentent les espaces où le bruit des opérations peut être perçu par les espèces. A titre de comparaison, les résultats obtenus par modélisation des opérations de battage des pieux de l'OST à Saint Nazaire sont cohérents avec les observations à plusieurs dizaines de kilomètres des sites de battage de pieux menées par (Kastelein R. A., 2013).

Les limites des empreintes sonores sont systématiquement reportées sur les figures de risque biologique présentées dans la suite du document.

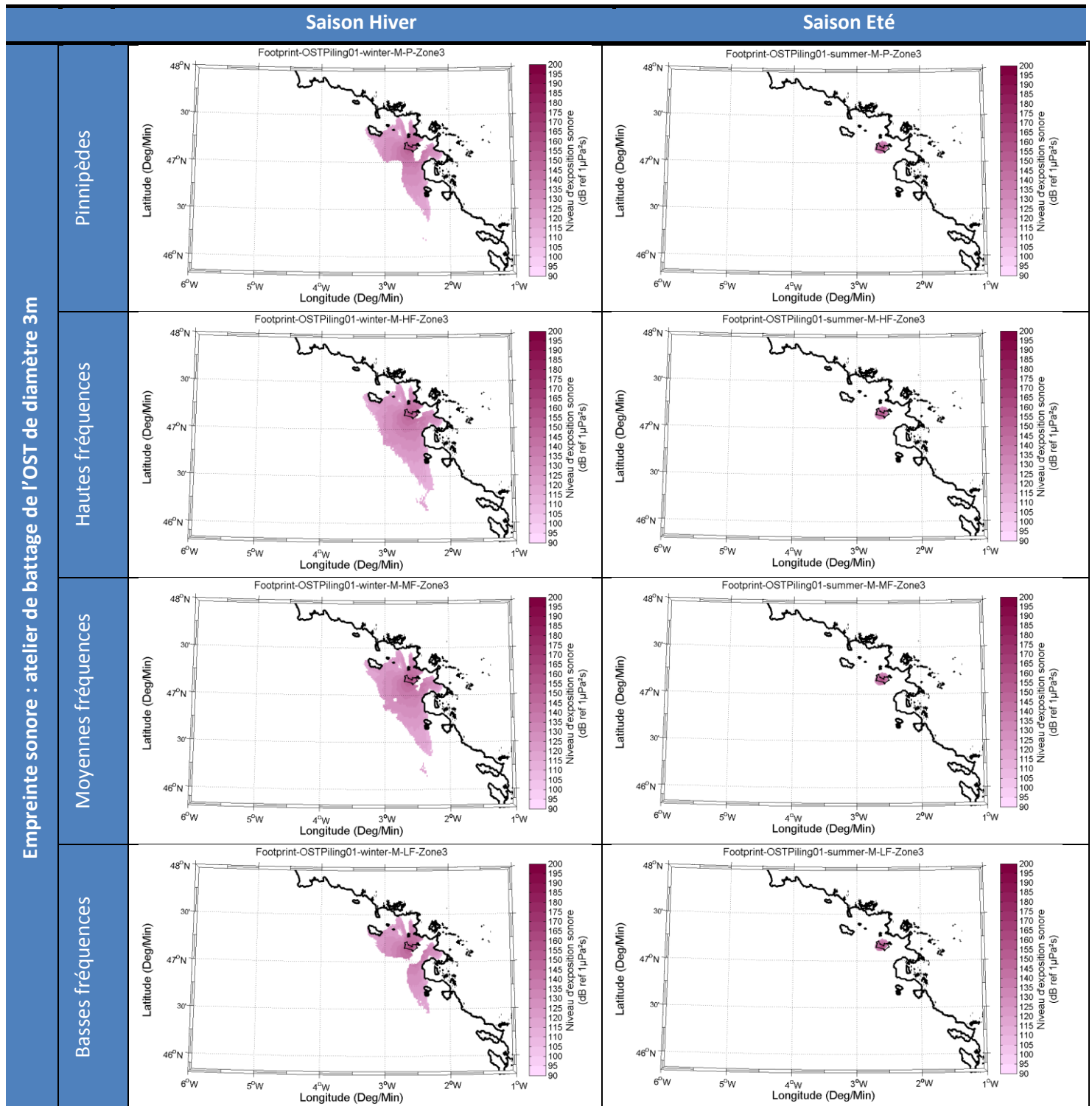


Figure 44 : Exemples d'empreintes sonores pour une activité de battage du poste OST de diamètre 3m et pour différentes classes d'espèces de mammifères marins. On observe une grande variabilité saisonnière qu'il reste à confirmer par le levé terrain.

Chapitre V. Evaluation des risques vis-à-vis des mammifères marins

Ce chapitre analyse dans un premier temps les risques potentiels vis-à-vis des mammifères marins. Il s'inscrit dans la suite logique du chapitre IV traitant des états sonores prédits liés au projet. Les risques biologiques sont définis par des dépassements éventuels des seuils de dommages auditifs temporaires ou permanents ou des seuils connus susceptibles d'entraîner une gêne et pouvant entraîner des modifications du comportement.. Ils sont directement évalués à partir des niveaux et distributions sonores saisonnières des scénarios de construction du projet de parc éolien en mer au large de Saint Nazaire. Une analyse est ensuite proposée en tenant compte de la fréquentation de la zone par les mammifères marins.

V.1. Fréquentation du site par les mammifères marins

Le Tableau 13 liste les 33 espèces de mammifères marins confirmés dans l'océan Atlantique. L'apparition et la fréquence de 20 de ces espèces dans la zone côtière au large de la zone projet est considérée comme « inconnue » ou « très rare » et se base sur quelques rencontres. Sur les dix espèces répertoriées comme étant présentes de manière « permanente » dans la région proposée, les espèces de grande taille telles que le *Balaenoptera physalus* sont peu mentionnées dans les eaux peu profondes du site d'implantation et évitent généralement les eaux à proximité de la côte. De ce fait, conformément aux études du projet SAMM (Suivi Aérien de la Mégafaune Marine) et aux données (URL Valor Pelagis, 2011) et RNE (réseau national d'échouage), sept espèces de mammifères marins sont sélectionnées pour l'évaluation suivante comme étant les espèces les plus présentes dans la zone d'étude (*Phocoena phocoena*, *Tursiops truncatus*, *Delphinus delphis*, *Stenella coeruleoalba*, *Balaenoptera acutorostrata*, *Globicephala melas* et *Halichoerus grypus*). Parmi elles, seuls le marsouin commun et le dauphin apparaissent régulièrement et en grand nombre sur le site d'implantation et sont les plus susceptibles d'être exposés aux impacts sonores.

Les espèces sélectionnées comportent des représentants dans quatre catégories acoustiques classées au sens de (Southall, et al., 2007): les cétacés sensibles aux basses fréquences (*Balaenoptera acutorostrata*, le petit rorqual), les cétacés sensibles aux moyennes fréquences (toutes les espèces de dauphin), les cétacés sensibles aux hautes fréquences (*Phocoena phocoena*, le marsouin commun) et les pinnipèdes (le phoque veau-marin, *Halichoerus grypus*).

Espèce		Catégorie Acoustique au sens de Southall et al.	abreviation	Fréquentation
Nom Usuel	Nom Latin			
Petit rorqual	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Cétacé Basse Fréquence	LF	Permanent
Rorqual boréal (de Rudolphi)	<i>Balaenoptera borealis</i>	Cétacé Basse Fréquence	LF	Occasionnel
Rorqual commun	<i>Balaenoptera physalus</i>	Cétacé Basse Fréquence	LF	Permanent
Rorqual bleu	<i>Balaenoptera musculus</i>	Cétacé Basse Fréquence	LF	Occasionnel
Baleine à bosse	<i>Megaptera novaeangliae</i>	Cétacé Basse Fréquence	LF	Occasionnel
Grand dauphin	<i>Tursiops truncatus</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Permanent
Dauphin bleu et blanc	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Permanent
Dauphin commun	<i>Delphinus delphis</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Permanent
Lagénorhynque à bec blanc	<i>Lagenorhynchus albirostris</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Erratique
Lagénorhynque à flanc blanc	<i>Lagenorhynchus acutus</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Occasionnel
Dauphin de Risso	<i>Grampus griseus</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Permanent
Globicéphale noir	<i>Globicephala melas</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Permanent
Globicéphale tropical	<i>Globicephala macrorhynchus</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Inconnu
Orque	<i>Orcinus orca</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Permanent
Orque Naine	<i>Feresa attenuata</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Inconnu
Pseudorque	<i>Pseudorca crassidens</i>	Cétacé Haute Fréquence	MF	Inconnu
Cachalot macrocéphale	<i>Physeter macrocephalus</i>	Cétacé Haute Fréquence	MF	Permanent
Baleine à bec de cuvier	<i>Ziphius cavirostris</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Permanent
Hypérodon boréal	<i>Hyperoodon ampullatus</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Occasionnel
Mésoplodon de True	<i>Mesoplodon mirus</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Inconnu
Mésoplodon de Gervais	<i>Mesoplodon europaeus</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Inconnu
Mésoplodon de Sowerby	<i>Mesoplodon bidens</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Occasionnel
Mésoplodon de Blainville	<i>Mesoplodon densirostris</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Occasionnel
Phoque veau marin	<i>Phoca vitulina</i>	Pinnipèdes	P	Occasionnel
Phoque annelé	<i>Phoca hispida</i>	Pinnipèdes	P	Erratique
Phoque du Groënland	<i>Phoca groenlandica</i>	Pinnipèdes	P	Erratique
Phoque gris	<i>Halichoerus grypus</i>	Pinnipèdes	P	Permanent
Phoque barbu	<i>Erignathus barbatus</i>	Pinnipèdes	P	Erratique
Phoque à crête	<i>Cystophora cristata</i>	Pinnipèdes	P	Occasionnel
Morse	<i>Odobenus rosmarus</i>	Pinnipèdes	P	Erratique
Cachalot nain	<i>Kogia sima</i>	Cétacé Haute Fréquence	HF	Inconnu
Cachalot pygmée	<i>Kogia breviceps</i>	Cétacé Haute Fréquence	HF	Permanent
Marsouin commun	<i>Phocoena phocoena</i>	Cétacé Haute Fréquence	HF	Permanent

Tableau 13 : Synthèse des données fournies concernant les mammifères marins susceptibles d'être présents dans la zone d'étude (Pelagis, 2013).

V.1.1. Espèces présentes de manière régulière

Le marsouin commun (*Phocoena phocoena*) est le mammifère marin le plus courant dans les eaux du bassin continental européen. La taille de sa population a été estimée à 385 000 individus, dont la majorité se trouve en mer du Nord (Hammond K. A., 2002), liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN). La répartition des marsouins communs dans la zone du projet n'est cependant pas statique dans le temps et l'espace. Ces espèces ont été aperçues au large de Saint-Nazaire au cours de l'année, lors des sorties d'observation par avion (compte rendu du Suivi Aérien de la Mégafaune Marine, SAMM), au cours d'observations ponctuelles, mais également en petits groupes. Leurs populations étaient plus élevées pendant les mois d'hiver que pendant les mois d'été (Pelagis, 2013)). Lors de l'hiver 2011, on a estimé entre 1 et 20 le nombre d'individus présents sur le quadrat de 40x40 km (1 600 km²) incluant le site d'implantation, et entre 21 et 50 individus ont été observés dans un quadrat sud à proximité du site d'implantation. Lors de l'été 2012, aucun marsouin commun n'a été aperçu dans la zone d'implantation, mais on a estimé entre 1 et 20 le nombre d'individus présents aux alentours du site d'implantation (Pelagis, 2013) (données provenant du SAMM 2011/2012). Lors du printemps, au cours d'observations annuelles par bateau

menées par l'Observatoire Pelagis/La Rochelle (Pelagis, 2013), les marsouins communs constituent seulement 1 % des mammifères marins observés. Cependant, il s'agit certainement d'une sous-estimation de la population réelle, car les marsouins communs passent inaperçus et sont difficiles à identifier lors des observations par bateau. Les marsouins communs appartiennent au groupe des cétacés sensibles aux hautes fréquences qui se servent de l'audition et de l'écholocation pour s'orienter et chasser. L'écholocation couvre une gamme de fréquences située entre 120 et 150 kHz. Les clics de communication sont émis entre 1 et 150 kHz. Compte tenu de ces caractéristiques, les marsouins communs sont particulièrement sensibles au battage émettant des bruits compris entre 120 et 150 kHz.

Le grand dauphin (*Tursiops truncatus*), le dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*), le dauphin commun (*Delphinus delphis*) et le globicéphale noir (*Globicephala melas*) sont des visiteurs réguliers ou des espèces résidentes dans les régions du plateau côtier de l'océan Atlantique, sans que celles-ci ne représentent une zone d'alimentation ou une zone de repos. Ces individus n'apparaissent généralement pas en grand nombre. Les données obtenues au cours des études SAMM confirment leur présence. Les grands dauphins étaient présents dans les quadrats à proximité du site d'implantation lors de l'été 2012, mais pas au cours de l'hiver 2011. Leur densité a été calculée comme étant légèrement plus élevée en été qu'en hiver. Cependant, on estime entre un et cinq le nombre d'individus sur le site d'implantation, quelle que soit la saison (Pelagis, 2013) basé sur les données du SAMM et PELAGIS. Des dauphins plus petits (groupe englobant les dauphins communs et les dauphins bleus et blancs, car il est difficile de les différencier) apparaissent en grand nombre dans cette partie de l'océan Atlantique. Lors de l'hiver 2011, on a signalé la présence de 1 à 200 individus à proximité du site d'implantation. Des individus ont également été aperçus à plus de 40 km du site d'implantation en hiver, mais ils se rapprochaient du site en été. Ainsi, il est possible d'espérer une densité plus élevée au cours des mois estivaux plutôt qu'au cours de l'hiver. Des globicéphales ont été aperçus en petit nombre le long de la côte atlantique française, mais sont généralement observés dans des eaux plus profondes à plus de 150 km à l'ouest de la zone d'implantation. Le faible nombre d'observations ne permet pas de calculer les densités pour le site d'implantation. Il est donc possible que ces espèces apparaissent, bien que cela soit peu probable. Toutes les espèces sont couvertes par un statut de conservation UICN. Toutes ces espèces sont également couvertes par la convention ASCOBANS, mais sont soit répertoriées dans des catégories de préoccupation mineure, soit ne possèdent pas de statut individuel à cause de leurs zones de présence restreintes ou de leur faible nombre. Les dauphins (notamment les globicéphales) appartiennent aux cétacés sensibles aux moyennes fréquences. Ils utilisent des clics de communication émis entre 20 et 120 kHz. Ces espèces ne font pas appel à l'écholocation pour la chasse ou pour s'orienter. Les globicéphales communiquent par sifflement sur une plage comprise entre 1 et 18 kHz.

V.1.2. Espèces rares

Des petits rorquals du nord (*Balaenoptera acutorostrata*) ont été aperçus en très petit nombre dans la région près des côtes atlantiques françaises. Au cours des études SAMM, lors de l'été 2012, on a estimé des quadrats contenant entre un et 10 individus et entre 11 et 20 individus. Cependant, toutes ces observations ont été effectuées à plus de 60 km du site d'implantation. Lors de l'hiver 2011, aucun animal n'a été observé dans ou à proximité du site d'implantation. Il est donc possible que ces espèces apparaissent, bien que cela soit peu probable. Les petits rorquals se servent d'une variété de sons pour communiquer et se localiser, tels que des clics et des trains de pulsations. La majorité des communications s'effectuent à des niveaux compris entre 100 et 200 Hertz.

Les phoques gris (*Halichoerus grypus*) ne sont pas répertoriés dans l'un des formulaires de données

normalisées dans les habitats Natura 2000 à proximité du site d'implantation, mais ils représentent une partie importante des échouages de pinnipède enregistrés sur la côte de Saint-Nazaire entre 1971 et 2011. Puisque la colonie de phoques gris la plus proche se situe sur l'archipel de Molène (à plus de 250 km de la zone d'implantation), il est peu probable que les phoques apparaissent régulièrement sur la zone d'implantation. Cependant, il est impossible d'exclure une apparition exceptionnelle. Les pinnipèdes forment leur propre classe acoustique et il est nécessaire de distinguer deux phases de sensibilité, l'une dans l'eau et l'autre hors de l'eau. Ces espèces utilisent également des clics de communication, en particulier sur de courtes distances, par exemple entre les mères et leur progéniture (les clics émis sont généralement compris sur une plage allant de 1 à 50 kHz).

V.2. Méthode d'évaluation des risques biologiques

La chaîne de traitement des états sonores décrits au Chapitre III est représentée dans le Tableau 14. Elle consiste en la fusion des données biologiques (Martinez L, 2011) aux données prévisionnelles de bruit, dont chaque étape est détaillée dans les paragraphes suivants.

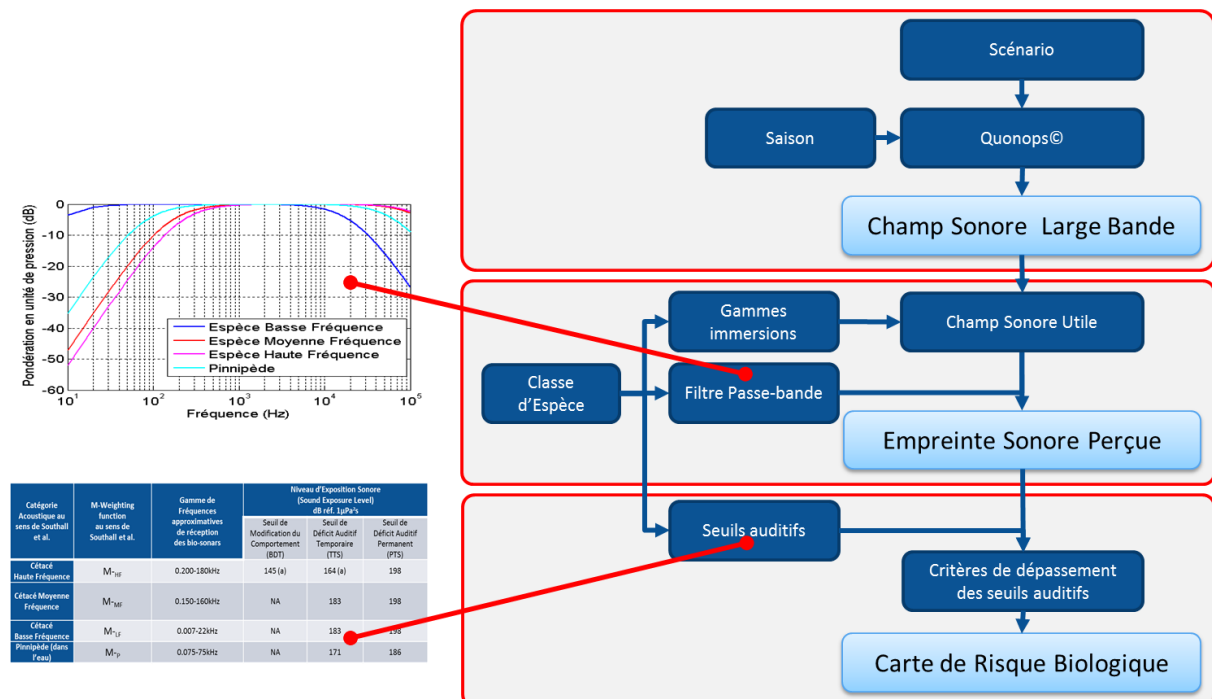


Tableau 14: Méthode d'établissement des risques biologiques par traitement des états sonores saisonniers établis au Chapitre IV.

V.2.1. Classification acoustique des espèces de mammifères marins dans la zone d'étude

Au sens de (Southall, et al., 2007), les cétacés et les pinnipèdes peuvent être répertoriés en 4 classes en fonction de leur gamme de sensibilité auditive et des différents paramètres liés à la qualité de l'écoute (milieu de propagation, morphologie, ...). Chaque espèce d'une même classe présente :

- ✓ une gamme de fréquence d'audition et de sensibilité similaire ;
- ✓ des seuils de dommages temporaires et permanents identiques.

L'analyse proposée ci-dessous trouve son origine dans le rapport (BioConsult, 2013).

V.2.1.a. Déficiences auditives

L'exposition des mammifères marins aux niveaux sonores élevés peut entraîner différents types de déficience auditive : perte temporaire de l'audition (TTS, temporary threshold shift) et perte permanente de l'audition (PTS, permanent threshold shift). Dans les cas extrêmes, les tissus (auditifs ou non) peuvent être altérés de manière définitive. Selon Hammond et al. (Hammond P. S., 2003), la caractéristique des sources sonores, l'intensité du signal et la durée de l'exposition peuvent influencer sur l'apparition d'un TTS et d'un PTS. Il est possible d'en déduire qu'une exposition prolongée à des bruits pouvant causer un TTS peut engendrer un PTS. Pour les sons impulsionnels, produits lors du battage, l'intensité, la montée en puissance, la durée de l'impulsion, la fréquence et la durée d'exposition peuvent influencer la durée et l'étendue d'un TTS et d'un PTS (Richardson et al. 2007). Si les émissions sonores sont extrêmement fortes, un PTS ou une détérioration du tissu immédiate est possible. Southall et al. (Southall, et al., 2007), ont mis à jour et synthétisé des études sur les niveaux de réaction au bruit et les seuils d'apparition de déficience auditive pour des groupes fonctionnels de mammifères marins). Les seuils proposés par Southall et al. (2007) sont à ce jour les valeurs qui font référence pour la majorité des espèces en attendant de nouvelles études.

Pour Southall et al. (2007), les seuils de déficience auditive pour les cétacés sensibles aux hautes fréquences ont été déduits à partir de ceux des cétacés sensibles aux moyennes fréquences compte tenu du manque d'études. (Lucke K. e., 2007) ont provoqué un TTS chez des marsouins communs suite à une exposition à des impulsions basse fréquence comme celles produites par les procédures de battage. Les auteurs ont exposé un marsouin à une impulsion unique à partir d'un canon à air. Bien qu'uniquement évalué sur les basses fréquences, le niveau de pression reçu, 200 db en crête re 1 μ Pa, et une énergie de 164 dB re 1 μ Pa2s ont causé un important TTS (cette valeur est déjà adaptée dans le Tableau 16). Les tests réalisés par Kastelein et d'autres collaborateurs indiquent un niveau similaire (Kastelein R. A., 2002), (Kastelein R. A., 2006). On peut ainsi déduire le seuil de PTS, supérieur de 15 dB au TTS (Southall, et al., 2007) à 180 dBSEL (BioConsult, 2013).

V.2.1.b. Perturbation

Les mammifères marins présentent souvent un comportement aversif face aux bruits forts et suspects et peuvent fuir les zones exposées à certains niveaux sonores. La réaction comportementale au bruit dépend de l'espèce et le nombre d'animaux quittant la zone exposée, comme le temps nécessaire à leur retour sur zone, peut varier. La réaction repose non seulement sur les niveaux de bruit, mais aussi sur les caractéristiques du signal. À des fins expérimentales, une réaction peut être stimulée par des niveaux acoustiques très faibles, mais il s'avère difficile de transposer de tels résultats sur des animaux à l'état sauvage.

Dans le cas du marsouin commun, les études ont montré une réaction de fuite en réponse au battage de pieux à partir d'environ 145 dBSEL, correspondant à une distance de 20 km, pour les projets qui ont été étudiés. Au cours d'une étude récente, pour la construction de 40 fondations tripodes pour le parc éolien en mer de Trianel Borkum en Allemagne, Pehlke (Pehlke, 2013) ont noté une évolution de la réaction temporelle et spatiale des marsouins communs face au bruit sous-marin du battage en mer (Figure 45). Des mesures réalisées pendant toute la durée des opérations ont montré une forte diminution de la présence des marsouins communs jusqu'à des niveaux acoustiques d'environ 150 dBSEL. Une réaction était toujours détectable jusqu'à environ 145 dBSEL. Pour des niveaux sonores supérieurs à 160 dBSEL, le déplacement était quasi systématique bien que la présence de marsouins lors de phase de battage de pieux ait également été signalée à des niveaux de pression acoustique supérieurs. Au total, environ 60 % des marsouins communs seraient susceptibles de quitter la zone exposée à des niveaux acoustiques supérieurs à 145 dBSEL. L'effet de perturbation durerait entre 1 et 3 jours dans la zone proche, là où les niveaux acoustiques sont très

élevés (supérieurs à 160 dBSEL), et seulement quelques heures à des niveaux acoustiques plus faibles.

En l'absence de données spécifiques pour les autres espèces, les valeurs du marsouin commun sont également appliquées à ces espèces. Southall (2007) définit les périmètres de perturbation associés aux niveaux acoustiques causant un TTS. Cependant, puisque les réactions comportementales et le déplacement ont été documentés, ce point n'est pas considéré comme approprié pour l'évaluation de l'impact et, bien que d'autres espèces de cétacés puissent réagir d'une manière différente de celle des marsouins communs, les réactions documentées de ces espèces sont la meilleure procuration.

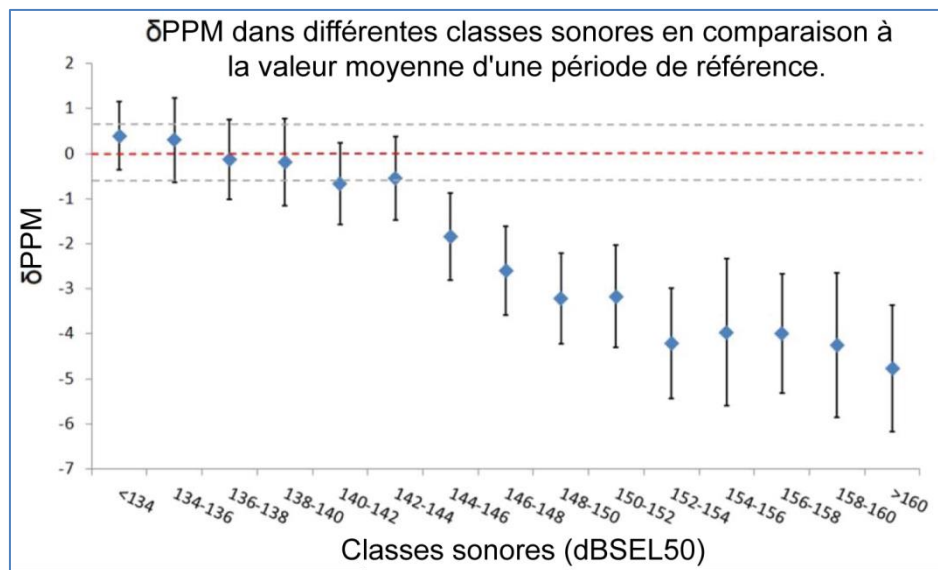


Figure 45 : Réaction des marsouins communs au battage de pieux. Les valeurs donnent la variation des détections de marsouins par rapport aux niveaux acoustiques (Pehlke et al. 2013), (PPM = Porpoise Positive Minutes = minutes de présence de marsouins = minutes comprenant au minimum un enregistrement de train de clics de marsouin commun. SEL50 = niveau d'exposition sonore médian en dB d'un nombre donné de sons pulsés, des coups de marteau par exemple).

Richardson (Richardson, Malme, Green, & Thomson, 1995) ont synthétisé la documentation publiée sur la réaction des mammifères marins au bruit d'un navire. De nombreux cétacés à dents se révèlent tolérants au bruit de navire et apparaissent régulièrement dans des zones où le trafic est important. Les rorquals communs sont connus pour ignorer les navires de grandes tailles, mais réagissent aux navires pratiquant le « whale watching ». En général, les baleines ne réagissent que très peu aux approches lentes des navires, mais elles peuvent fuir les navires émettant des sons d'intensité variables ou qui se dirigent droit sur elles. Dans le cas des marsouins communs, une faible réaction aux bruits sous-marins provoqués par les activités de dragage a été relevée et la densité peut être également élevée dans les zones où le trafic maritime est important. On suppose donc que les bruits émis par les navires et le dragage entraînent des réactions à petite échelle sur des périmètres n'excédant pas 1 à 2 km.

Dans le cas des phoques, les valeurs de Southall et al. (2007) représentent toujours la source la plus utile pour évaluer les impacts comportementaux et physiques. De récentes études ont confirmé que les bruits causés par le battage de pieux sont audibles par les phoques à plusieurs dizaines de kilomètres des sites de battage de pieux (Kastelein R. A., 2013).

V.2.2. Critères d'évaluation

Cette partie du rapport proposée par (BioConsult, 2013).présente un résumé et un classement des critères employés pour évaluer l'impact du bruit sous l'eau par rapport à la perte d'audition et les perturbations. Les principes sont expliqués ci-dessous.

Pression	Impacts et critères	Degré d'impact
Bruit et vibration (construction, sons impulsionnels)	Marsouins : les niveaux sonores reçus sont suffisamment élevés pour entraîner des blessures ou une perte d'audition permanente (PTS). Le SEL dépasse 180dB re1 μ Pa ² s Phoques : les niveaux sonores reçus sont suffisamment élevés pour entraîner des blessures ou une perte d'audition permanente (PTS). Le SEL équivaut à 186dB re1 μ Pa ² s (Southall <i>et al.</i> 2007)	Fort
	Marsouins : les niveaux sonores reçus sont suffisamment élevés pour entraîner une perte d'audition temporaire (TTS). Le SEL dépasse 165dB re1 μ Pa ² s (Lucke <i>et al.</i> 2007) Phoques : les niveaux sonores reçus sont suffisamment élevés pour entraîner une perte d'audition temporaire (TTS). Le SEL dépasse 171dB re 1 μ Pa ² s (Southall <i>et al.</i> 2007)	Moyen
	Les niveaux sonores sont suffisamment élevés pour entraîner des perturbations sur le comportement (le SEL reçu dépasse 145dB re 1 μ Pa ² s (marsouins et phoques) (Brandt <i>et al.</i> 2011)	Faible

Tableau 15 : Critères d'évaluation de l'impact du bruit sous-marin sur les mammifères marins.

Conformément à l'article 12 de la Directive « Habitats » de l'UE, il est interdit de chasser et de causer la mort des espèces protégées comme le marsouin commun. Puisque certaines blessures peuvent entraîner la mort de l'animal, elles peuvent également être interdites. En ce qui concerne l'impact du bruit, un dépassement du seuil de la perte d'audition permanente (PTS) est en général considéré comme une blessure, car il résulte d'un endommagement structurel irréversible des cellules sensorielles, qui réduit l'espérance de vie des animaux dépendant de l'orientation acoustique. Un dépassement du seuil de la perte d'audition temporaire (TTS) résulte de l'épuisement métabolique des cellules sensorielles dans la cochlée entraînée par les sons intenses. En général, cela n'est pas considéré comme une blessure. Les conséquences de la perte d'audition temporaire ne déterminent pas toujours le sort de l'animal (par exemple, si seulement les fréquences basses sont touchées, comme l'indique l'expérience de Lucke (Lucke K. e., 2007). Il est donc conseillé d'évaluer l'impact du battage de pieux en prenant en compte la perte d'audition permanente (PTS) comme un critère de blessure, conformément à l'article 12 de la Directive « Habitats ». Ainsi, cette blessure est à considérer comme un impact fort dans l'Etude d'impact acoustique (EIA) (Tableau 15). Des dispositifs d'atténuation du bruit devront être utilisés si des espèces protégées sont exposées à des niveaux sonores entraînant une perte d'audition permanente.

Les critères sont structurés de telle sorte qu'ils classent différents types d'impacts, de la blessure physique aux perturbations comportementales. Les deux types de perte d'audition sont classés dans des catégories différentes. Un degré de perte classé comme « fort » indique un dépassement du PTS considéré comme une blessure physique. Un dépassement du TTS n'est pas considéré comme une blessure et les niveaux de bruit entraînant cette perte d'audition sont classés comme « moyens ». La catégorie « faible » décrit le niveau de bruit auquel peuvent se produire des réponses comportementales.

Catégorie Acoustique	Espèce dans la zone d'étude concernée ¹⁶	Gamme de Fréquences Approximatives de sensibilité ¹⁷	Seuils de Niveau d'Energie d'Exposition perçue (dB réf. 1μPa ² s)					
			Seuil de modification du comportement		Seuil Dommages Temporaires		Seuil Dommages Permanents	
			Tout type de bruit	Bruits impulsifs	Tout type de bruit	Bruits impulsifs	Tout type de bruit	Bruits impulsifs
			1 sec	T<24h ¹⁸	1 sec	T<24h ¹⁸	1 sec	T<24h ¹⁸
Marsouin Commun	Marsouin Commun	0,200-180kHz	145 ⁽¹⁹⁾	145+10log ₁₀ (T ^{1/3})	164 ⁽¹⁹⁾	164+10log ₁₀ (T ^{1/3})	179 ⁽²⁰⁾	179+10log ₁₀ (T ^{1/3}).
Cétacé Haute Fréquence	Cachalot pygmée	0,200-180kHz	Non défini	Non défini	183 ⁽²¹⁾	183+10log ₁₀ (T ^{1/3})	198 ⁽²¹⁾	198+10log ₁₀ (T ^{1/3}).
	Cachalot nain							
Cétacé Moyenne Fréquence	Grand dauphin	0,150-160kHz	Non défini	Non défini	183 ⁽²¹⁾	183+10log ₁₀ (T ^{1/3})	198 ⁽²¹⁾	198+10log ₁₀ (T ^{1/3}).
	Dauphin bleu et blanc							
	Dauphin commun							
	Globicéphale noir							
	Globicéphale Tropical							
	Dauphin de Risso							
	Orque							
	Orque Naine							
	Pseudorque							
	Cachalot macrocéphale							
	Baleines à bec de Cuvier							
	Lagénorhynque à bec blanc							

¹⁶ La correspondance avec les noms latins est proposée dans le *Tableau 13*

¹⁷ Le Ministère de l'écologie (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, 2010) recommande d'évaluer les incidences acoustiques jusqu'à 80 kHz bien que les espèces de cétacés ont une bande passante pouvant aller au-delà. En effet, aux fréquences supérieures l'absorption des ondes acoustiques devient très élevée et les niveaux d'exposition sonores anthropiques émis deviennent très localisés et faibles.

¹⁸ (Lurton, 2007) dérivée de (Ward, 1968). Cette approche est en accord avec les seuils établis par (Southall, et al., 2007) pour des bruits non impulsifs sur une durée cumulée de 24h.

¹⁹ (Lucke, U., Paul A., & Marie-Anne, June 2009)

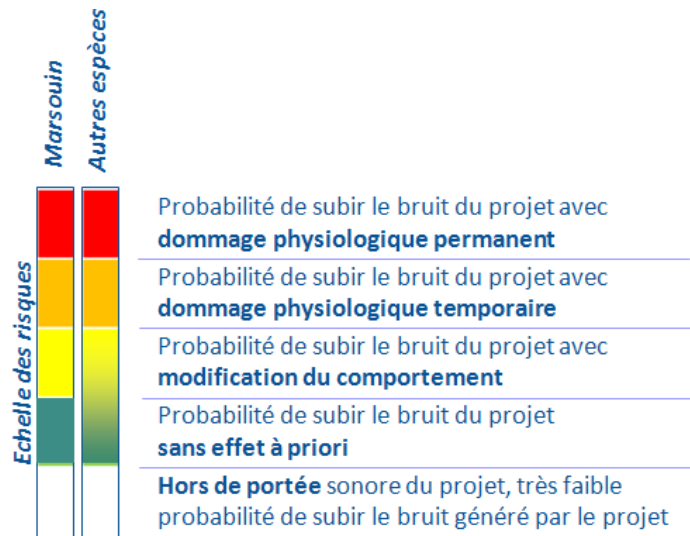
²⁰ Le seuil de dommage permanent (PTS) est 15dB au-dessus du seuil de dommage temporaire (TTS) conformément à la méthode employée par (Southall, et al., 2007)

²¹ (Southall, et al., 2007) pour des bruits impulsifs

Catégorie Acoustique	Espèce dans la zone d'étude concernée ¹⁶	Gamme de Fréquences Approximatives de sensibilité ¹⁷	Seuils de Niveau d'Energie d'Exposition perçue (dB réf. 1μPa ² s)					
			Seuil de modification du comportement		Seuil Dommages Temporaires		Seuil Dommages Permanents	
			Tout type de bruit	Bruits impulsifs	Tout type de bruit	Bruits impulsifs	Tout type de bruit	Bruits impulsifs
			1 sec	T<24h ¹⁸	1 sec	T<24 ¹⁸	1 sec	T<24h ¹⁸
	Lagénorhynque à flanc							
	Hypérodon boréal							
	Mésoplodon de True							
	Mésoplodon de Sowerby							
	Mésoplodon de Blainville							
	Mésoplodon de Gervais							
Cétacé Basse Fréquence	Petit Rorqual	0,007-22kHz	Non défini	Non défini	183 ⁽²¹⁾	183+10log ₁₀ (T ^{1/3})	198 ⁽²¹⁾	198+10log ₁₀ (T ^{1/3}).
	Rorqual boréal (de Rudolphi)							
	Rorqual commun							
	Rorqual bleu							
	Baleine à bosse							
Pinnipède	Phoque gris	0,075-75kHz	Non défini	Non défini	171 ⁽²¹⁾	171+10log ₁₀ (T ^{1/3})	186 ⁽²¹⁾	186+10log ₁₀ (T ^{1/3}).
	Phoque annelé							
	Phoque barbu							
	Phoque du Groenland							
	Phoque à crête							
	Phoque Veau-Marin							
	Morse							

Tableau 16 : Synthèse des seuils de perturbation sonore par espèce susceptible d'être présente dans la zone d'étude acoustique.

Figure 46 : Codes couleurs de représentation des zones géographiques présentant des risques potentiels. Ces niveaux sont uniquement représentatifs des dépassements des seuils de tolérance individuels, sans prise en compte de la fréquentation biologique du site et de l'empreinte sonore.



V.2.3. Présentation des résultats

Les résultats présentés dans les paragraphes suivants sont organisés de la façon suivante :

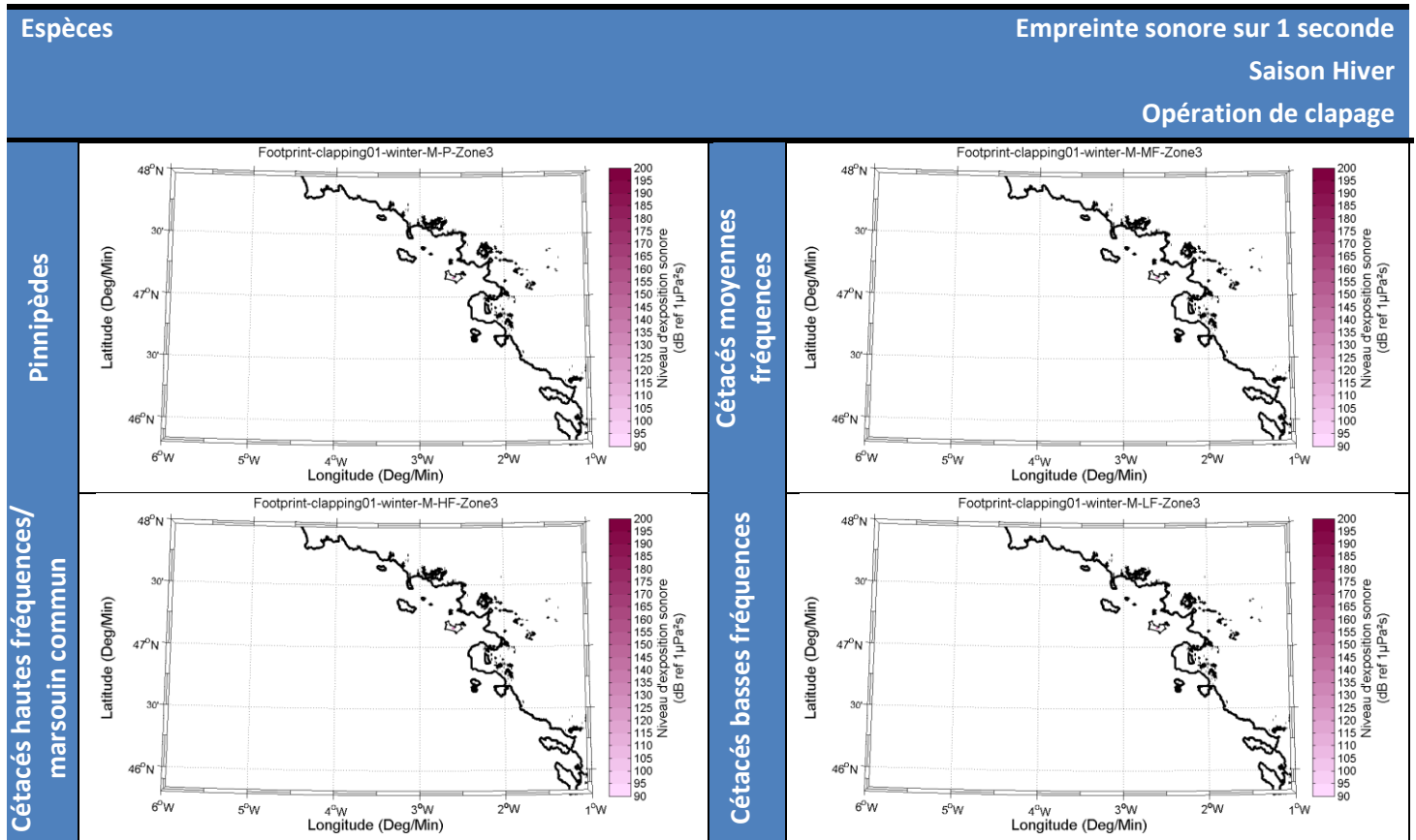
- ✓ Cartographies statistiques prédictives des empreintes sonores pour chaque atelier de construction et pour la phase d'exploitation/maintenance ;
- ✓ Analyse physique des risques de dépassement des seuils ;
- ✓ Interprétation biologique des résultats proposée par BioConsult (BioConsult, 2013).

Les distances et les cartes de risque sont estimées pour l'ensemble de la colonne d'eau. Les arcs de cercle sur les cartes de risque sont exprimés en milles nautiques et les distances de dépassement des seuils dans le tableau de synthèse (Tableau 17) sont exprimées en kilomètres.

V.3. Cartographies sonores pour une exposition d'une seconde

V.3.1. Construction- opération de déversement des matériaux (ou clapage)

V.3.1.a. Empreintes sonores



V.3.1.b. Risques biologiques

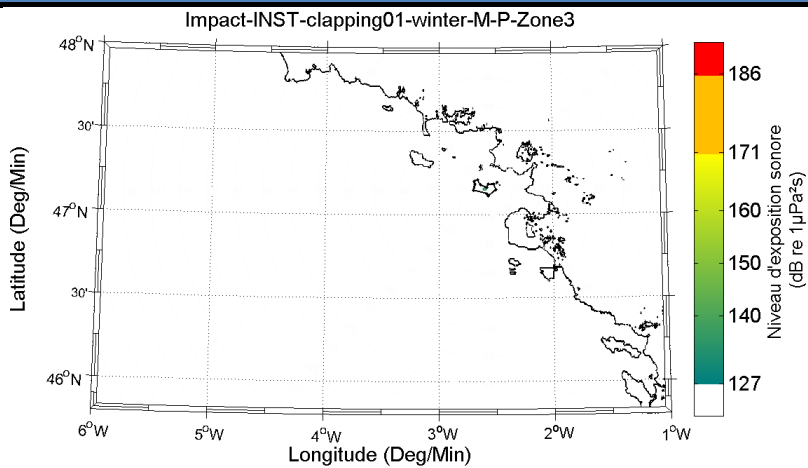
Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

Saison Hiver

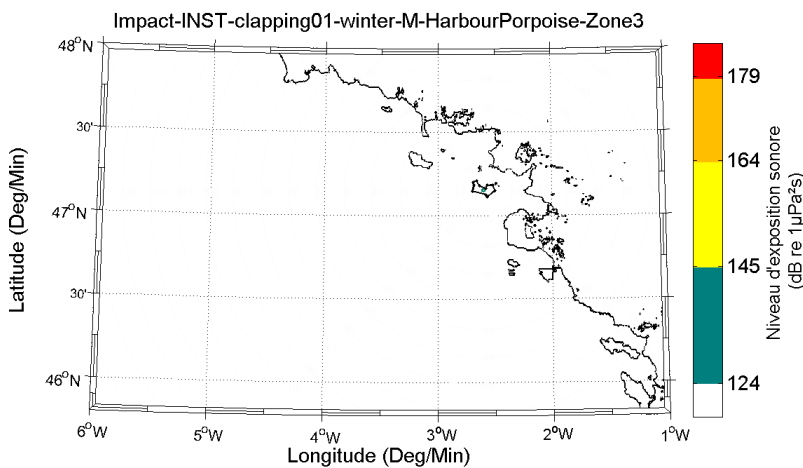
Opération de clapage

Pinnipèdes

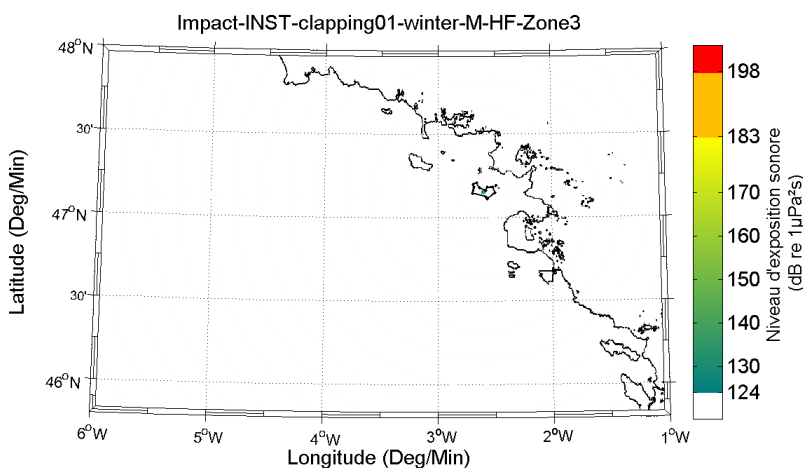


Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique permanent**
 Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique temporaire**
 Probabilité de subir le bruit du projet avec **modification du comportement**
 Probabilité de subir le bruit du projet **sans effet à priori**
 Hors de portée sonore du projet, très faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

Marsouin Commun



Hautes fréquences



Espèces

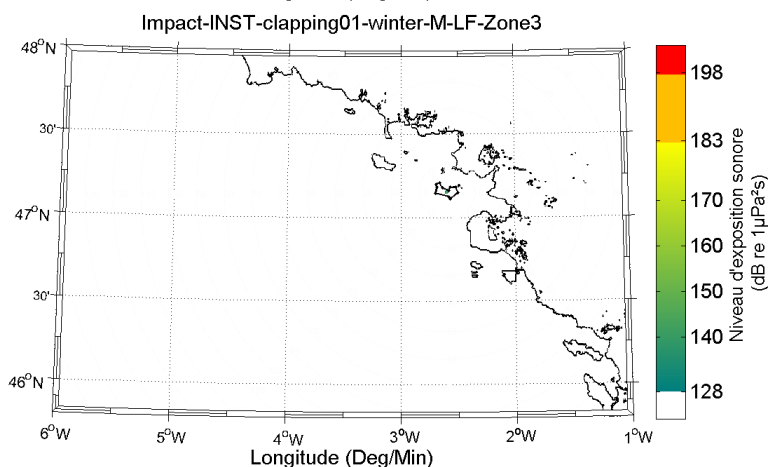
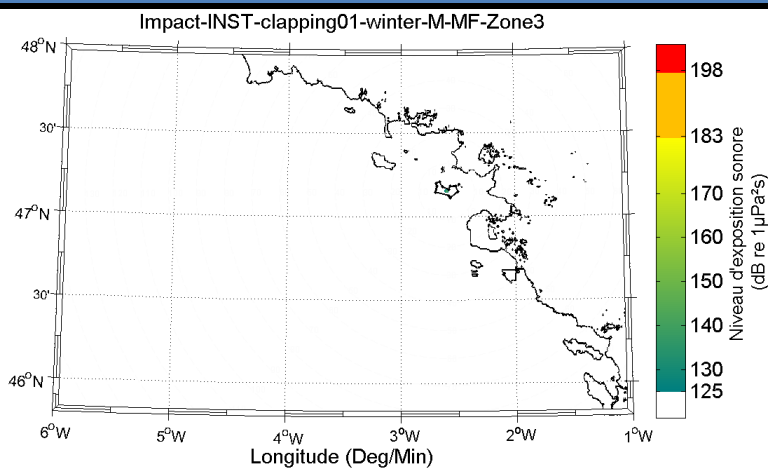
Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

Saison Hiver

Opération de clapage

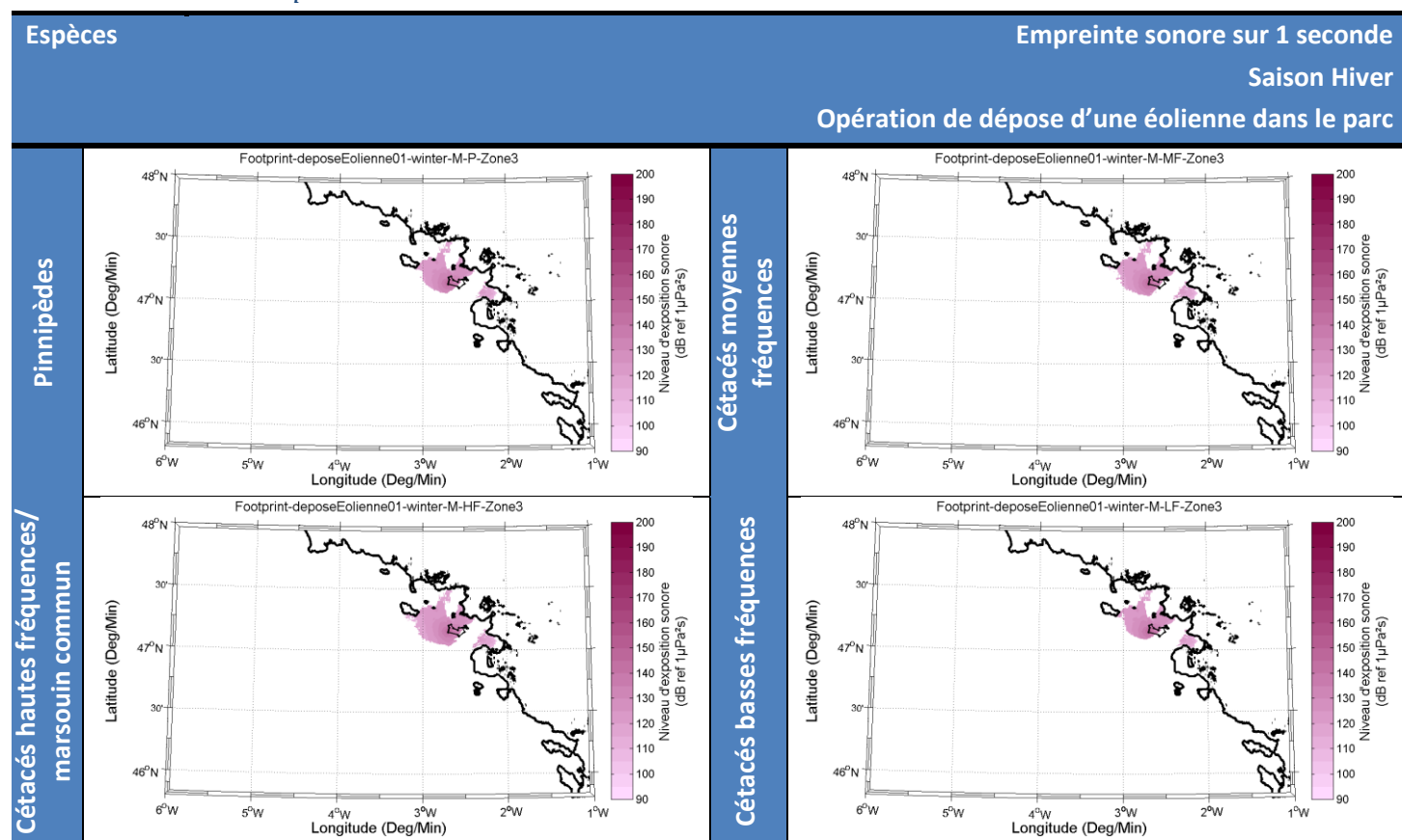
Moyennes fréquences

Basses fréquences



V.3.2. Construction- opération de dépose d'une éolienne dans le parc

V.3.2.a. Empreintes sonores



V.3.2.b. Risques biologiques

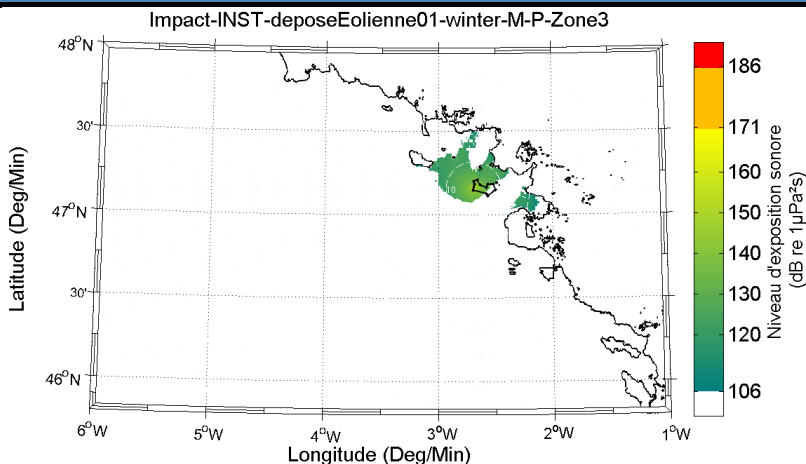
Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

Saison Hiver

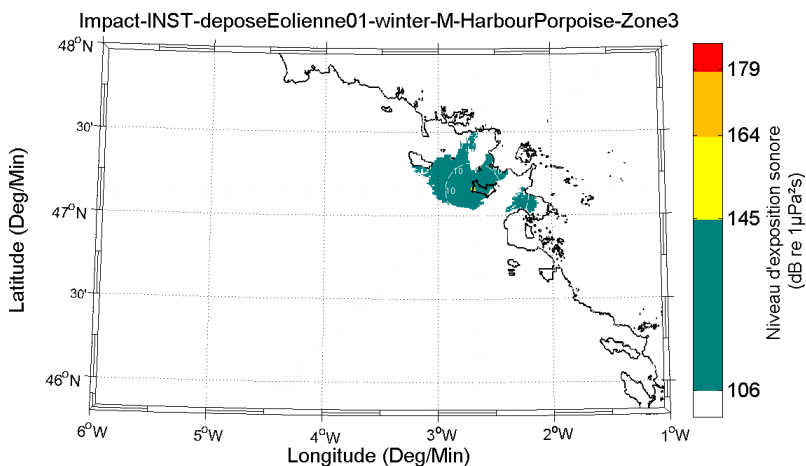
Opération de dépose d'une éolienne dans le parc

Pinnipèdes

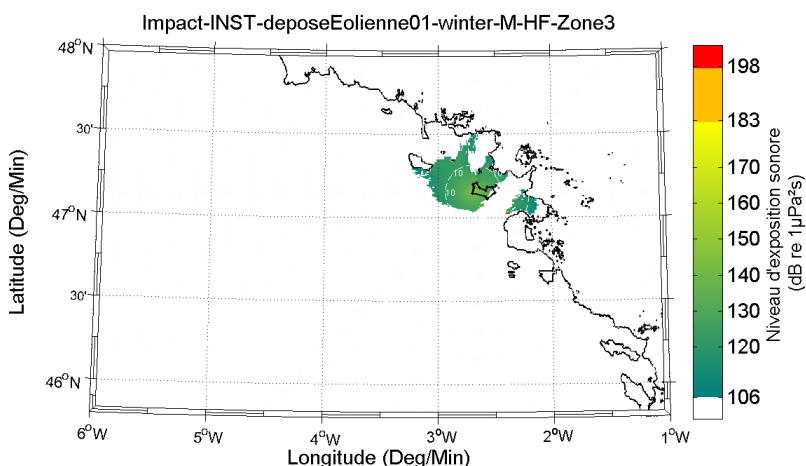


Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique permanent**
 Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique temporaire**
 Probabilité de subir le bruit du projet avec **modification du comportement**
 Probabilité de subir le bruit du projet **sans effet à priori**
 Hors de portée sonore du projet, très faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

Marsouin commun



Hautes fréquences



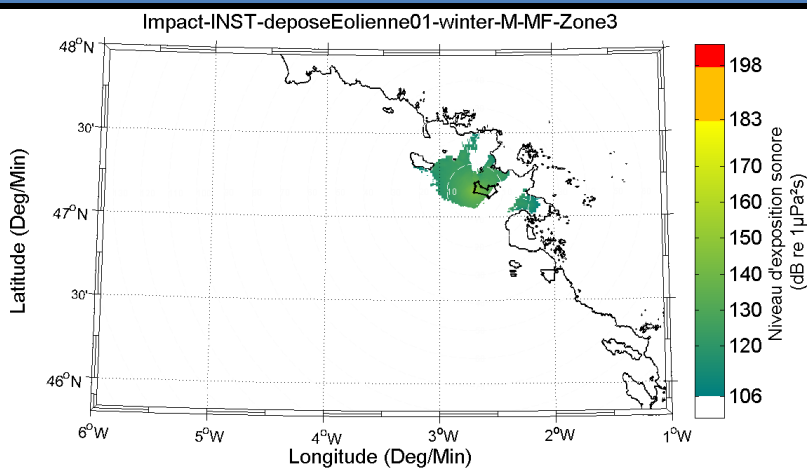
Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

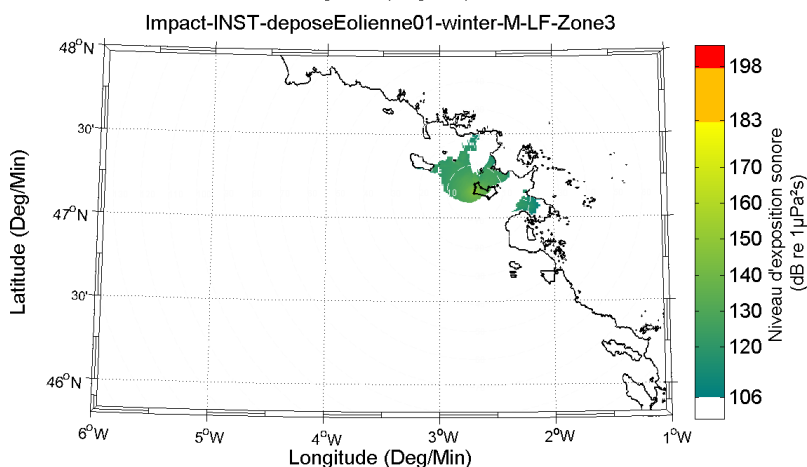
Saison Hiver

Opération de dépose d'une éolienne dans le parc

Moyennes fréquences

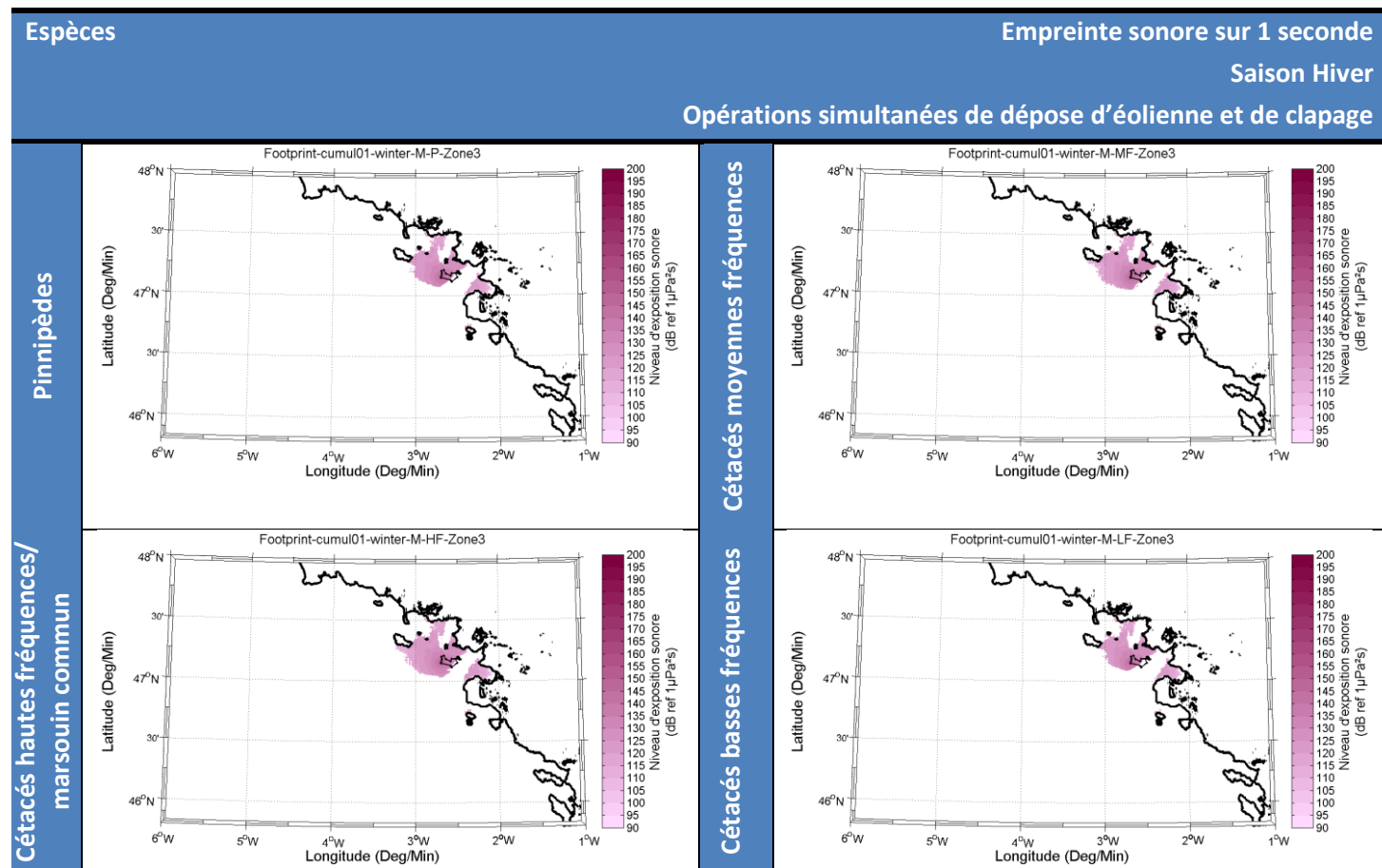


Basses fréquences



V.3.3. Construction- Opérations simultanées de dépose d'une éolienne dans le parc et de clapage

V.3.3.a. Empreintes sonores



V.3.3.b. Risques biologiques

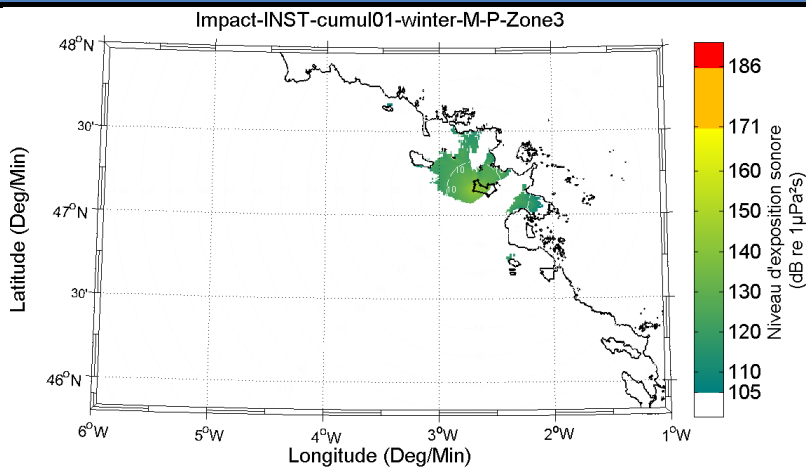
Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

Saison Hiver.

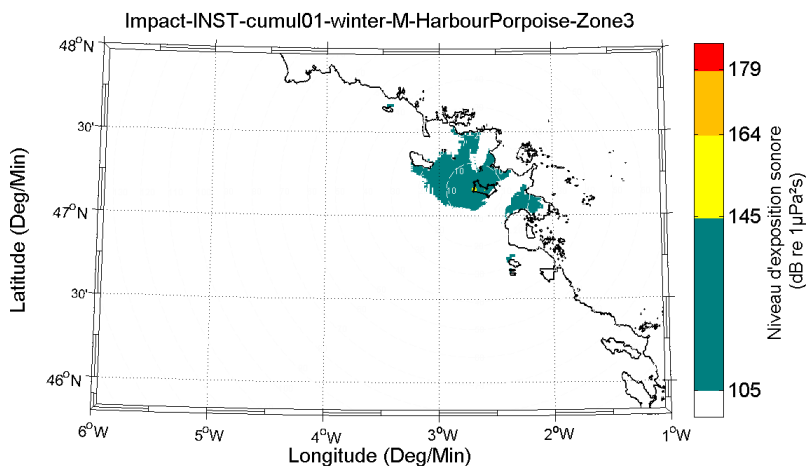
Opérations simultanées de pose d'éolienne et de clapage

Pinnipèdes

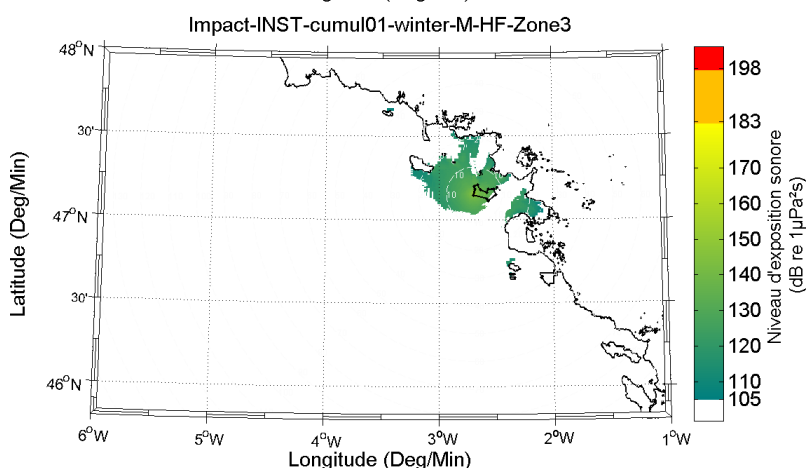


Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique permanent**
 Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique temporaire**
 Probabilité de subir le bruit du projet avec **modification du comportement**
 Probabilité de subir le bruit du projet **sans effet à priori**
 Hors de portée sonore du projet, très faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

Marsouin commun



Hautes fréquences



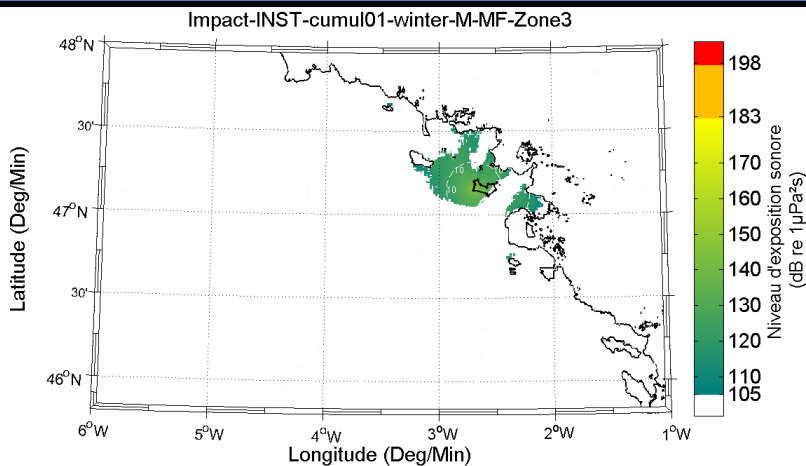
Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

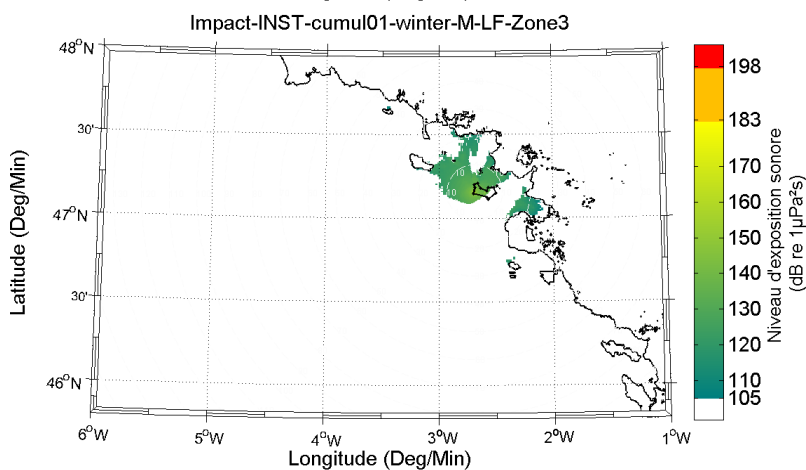
Saison Hiver.

Opérations simultanées de dépose d'éolienne et de clapage

Moyennes fréquences

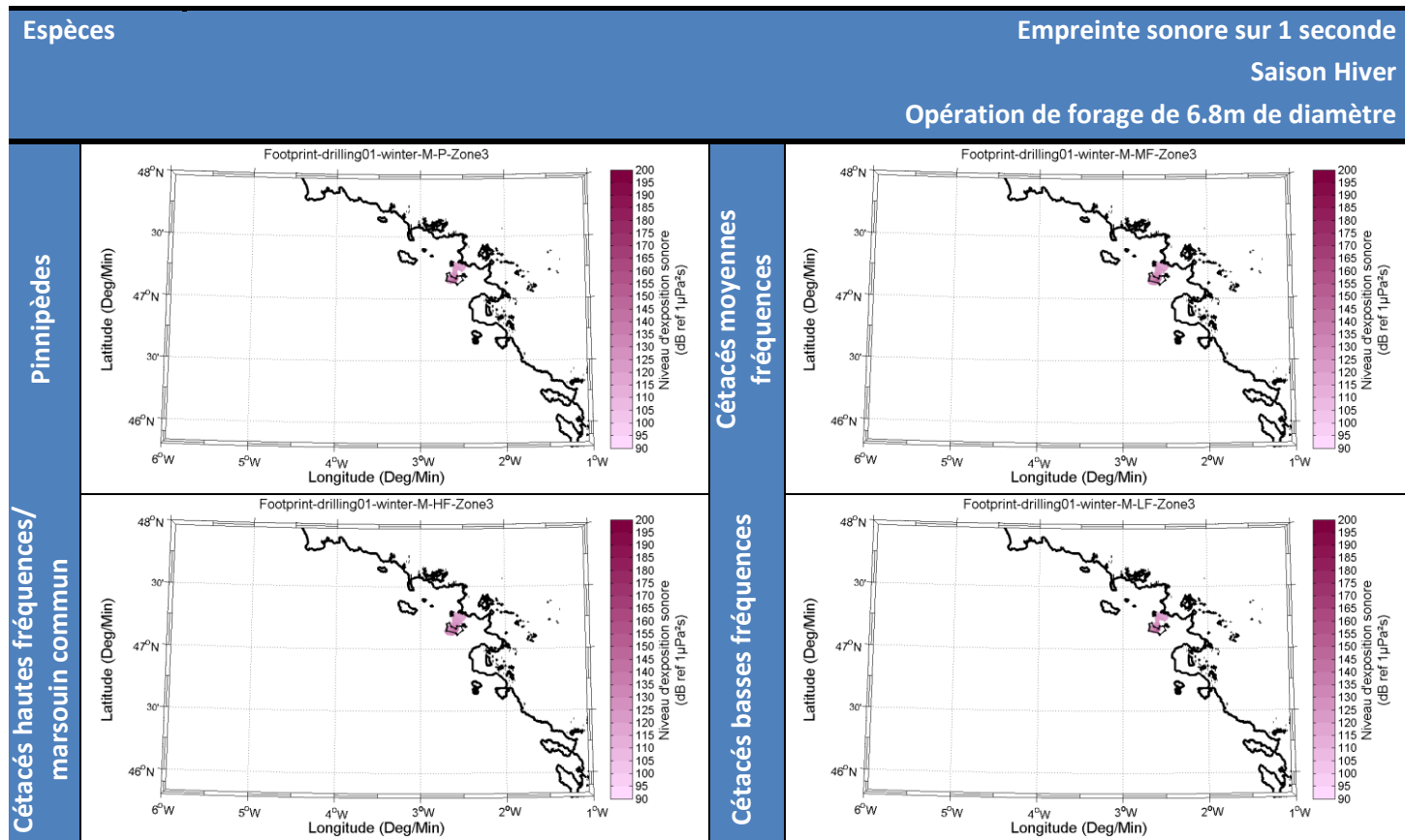


Basses fréquences



V.3.4. Construction- opération de forage de diamètre 6.8m

V.3.4.a. Empreintes sonores



V.3.4.b. Risques biologiques

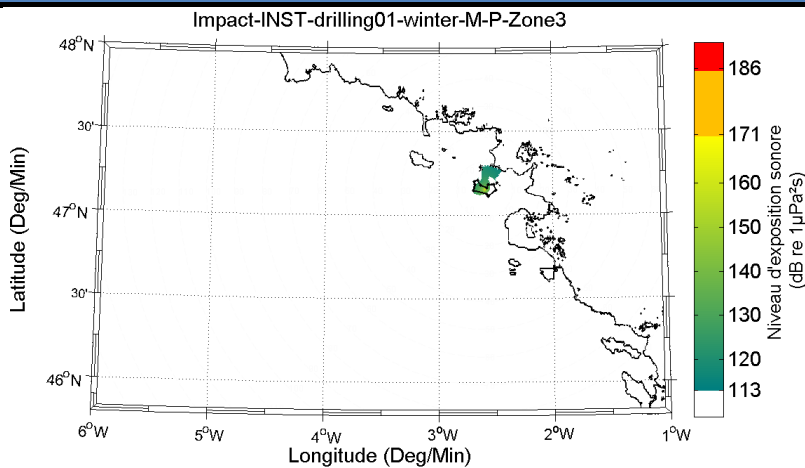
Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

Saison Hiver.

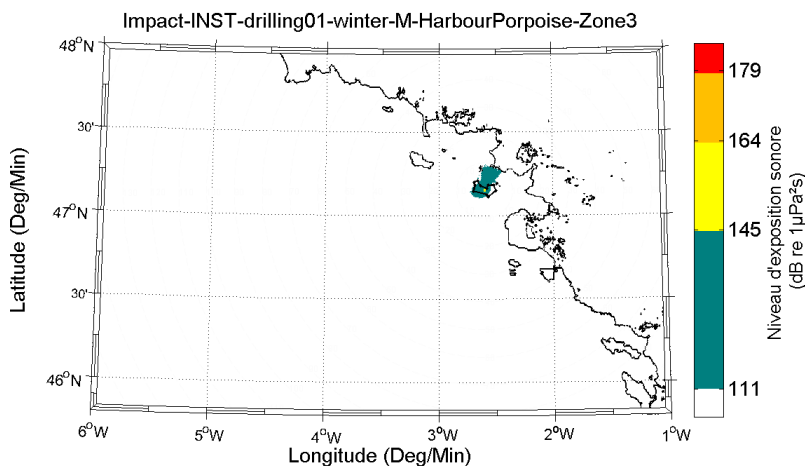
Opération de forage de 6.8m de diamètre

Pinnipèdes

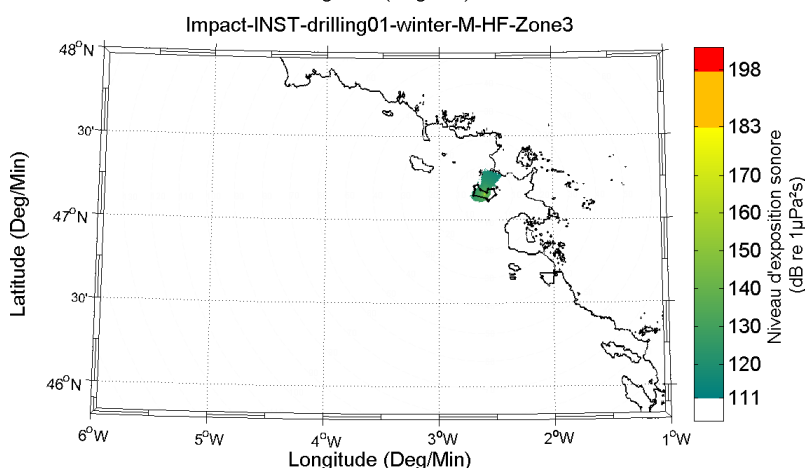


Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique permanent**
 Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique temporaire**
 Probabilité de subir le bruit du projet avec **modification du comportement**
 Probabilité de subir le bruit du projet **sans effet à priori**
 Hors de portée sonore du projet, très faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

Marsouin commun

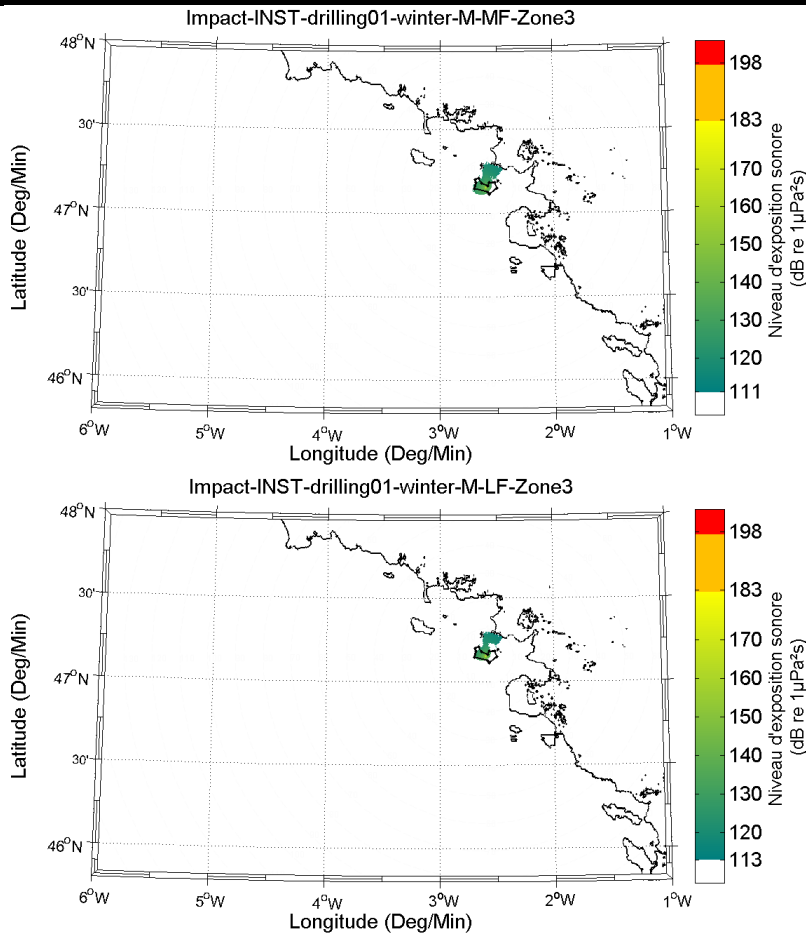


Hautes fréquences



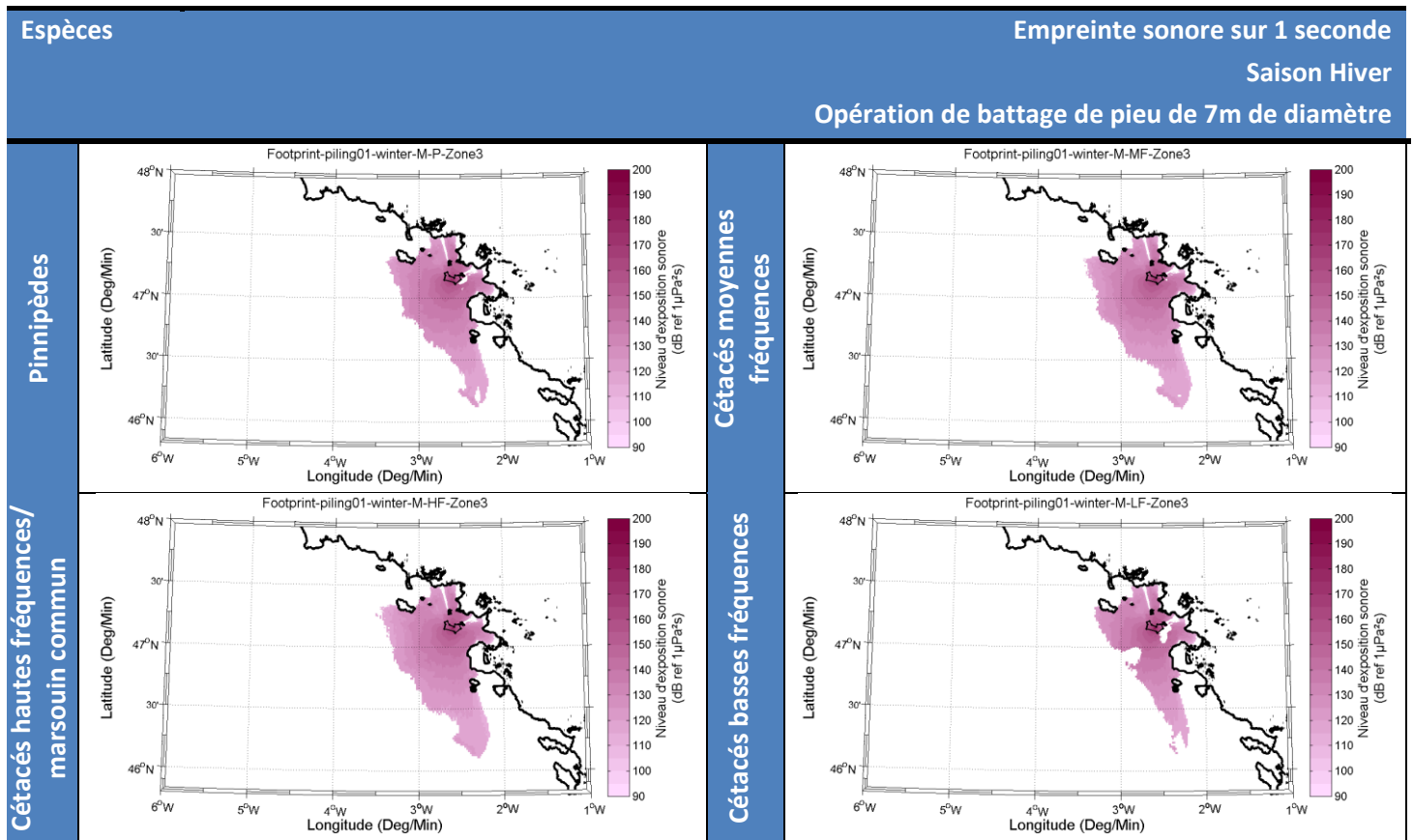
Moyennes fréquences

Basses fréquences



V.3.5. Construction- opération de battage de pieu de 7m de diamètre

V.3.5.a. Empreintes sonores



V.3.5.b. Risques biologiques

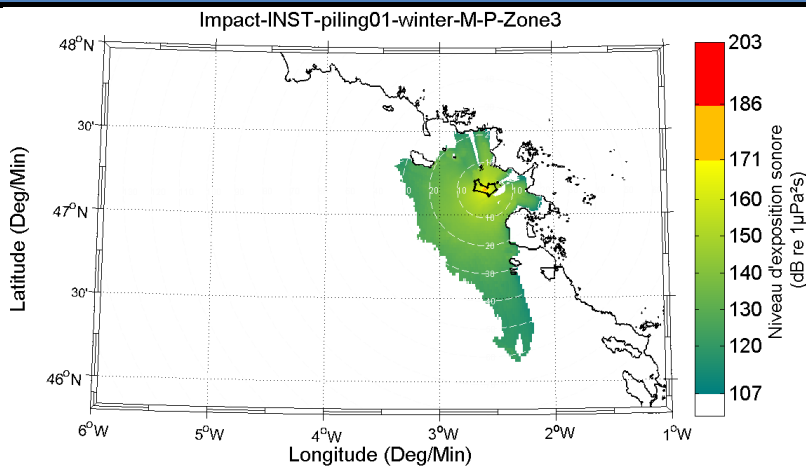
Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

Saison Hiver.

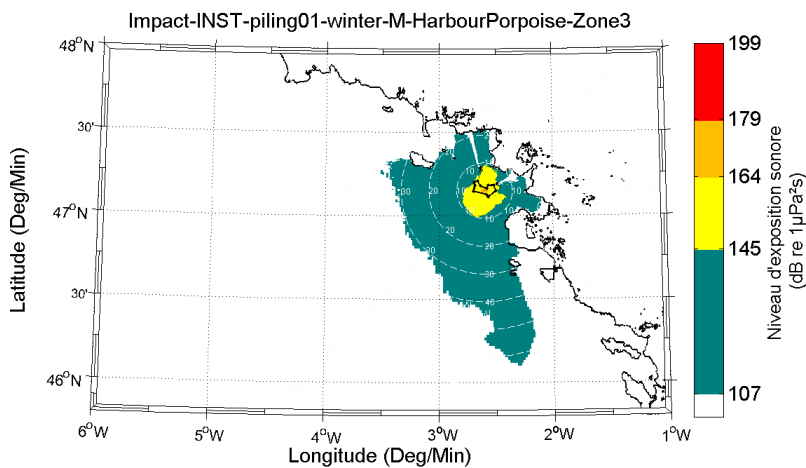
Opération de battage de pieu de 7m de diamètre

Pinnipèdes

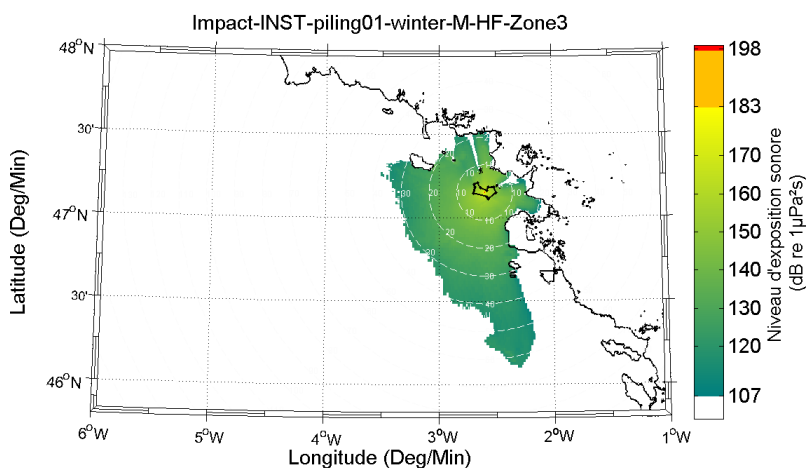


Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique permanent**
 Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique temporaire**
 Probabilité de subir le bruit du projet avec **modification du comportement**
 Probabilité de subir le bruit du projet **sans effet à priori**
 Hors de portée sonore du projet, très faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

Marsouin commun

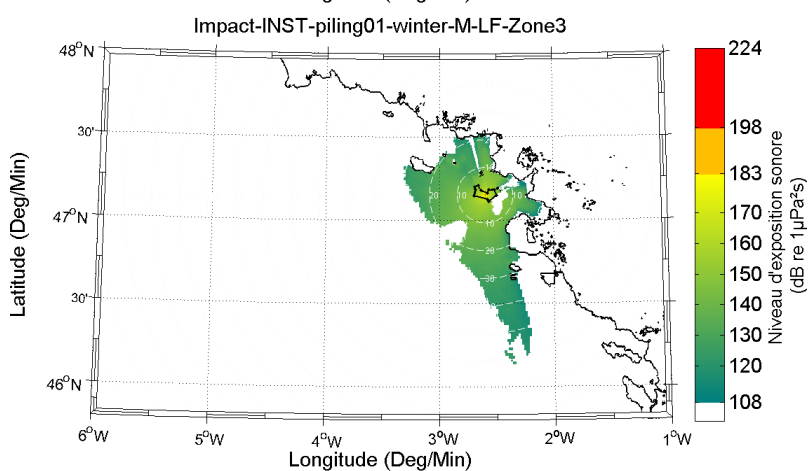
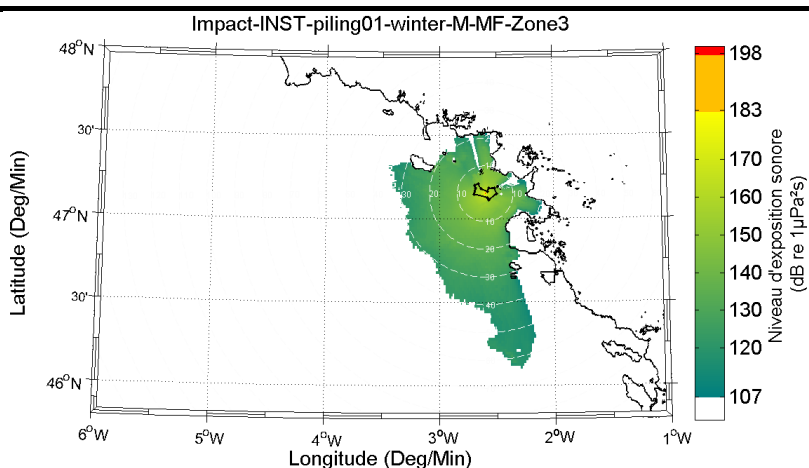


Hautes fréquences



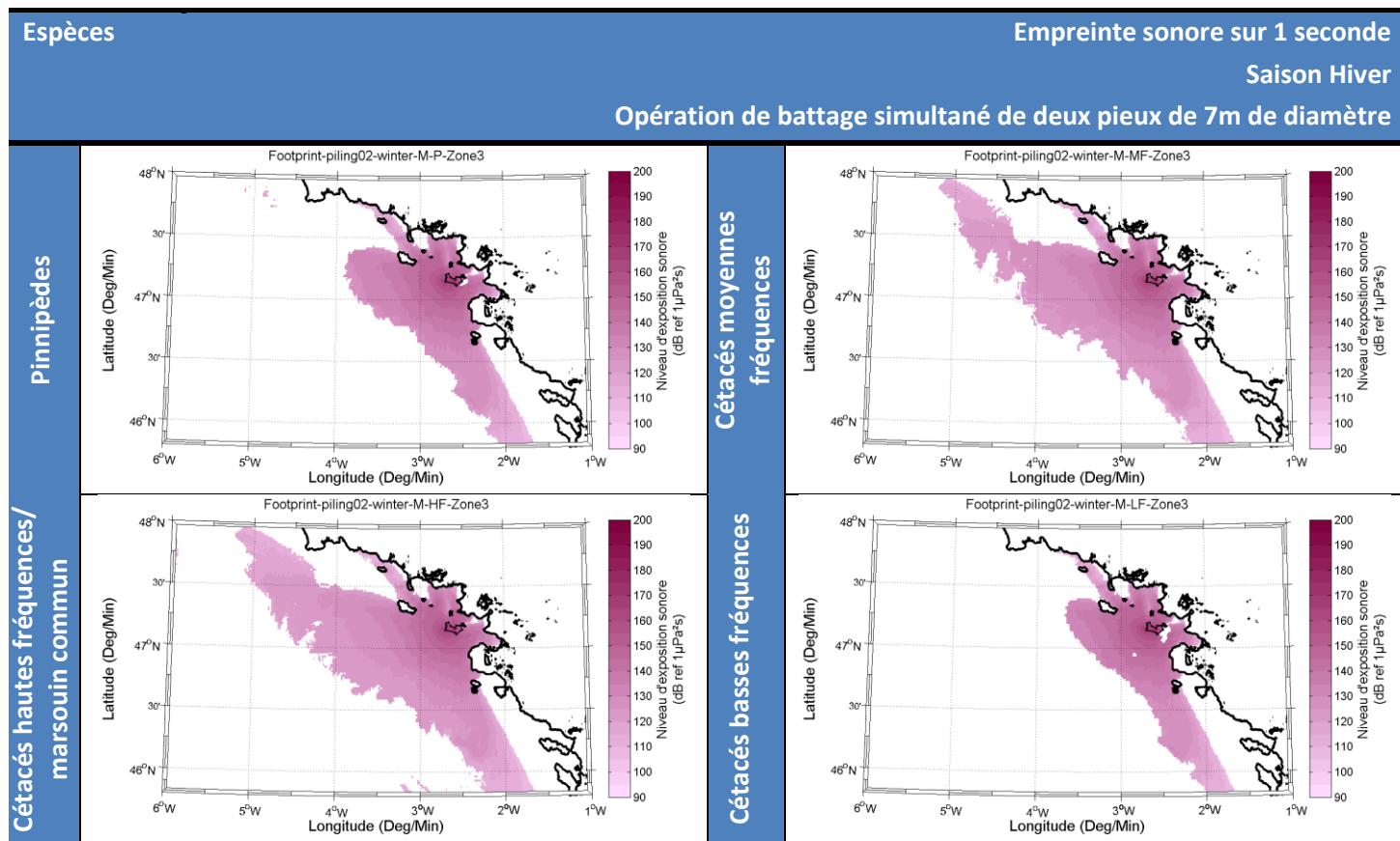
Moyennes fréquences

Basses fréquences



V.3.6. Construction- opération de battage simultané de deux pieux de 7m de diamètre

V.3.6.a. Empreintes sonores



V.3.6.b. Risques biologiques

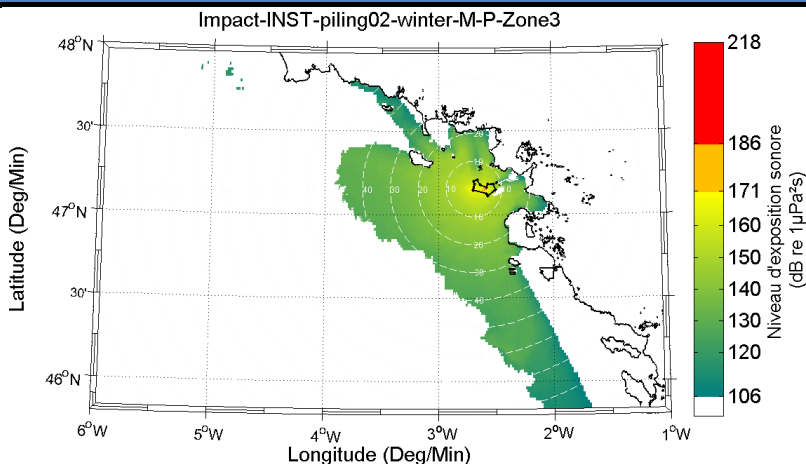
Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

Saison Hiver.

Opération de battage simultané de deux pieux de 7m de diamètre

Pinnipèdes



Echelle des risques

Marsouin

Autres espèces

Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique permanent**

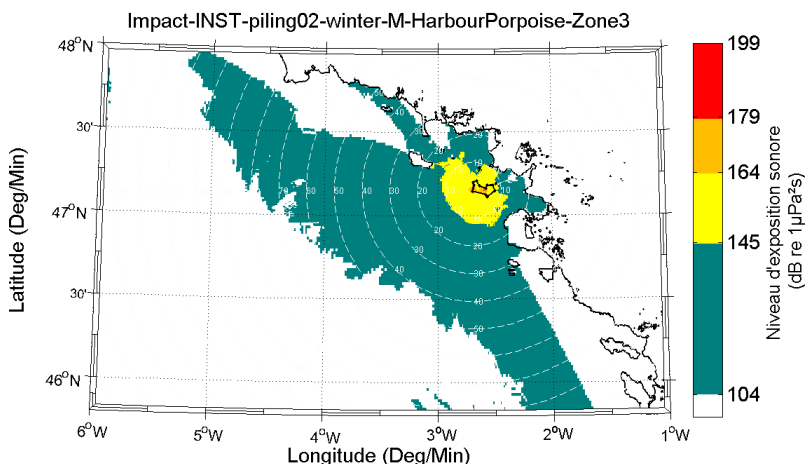
Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique temporaire**

Probabilité de subir le bruit du projet avec **modification du comportement**

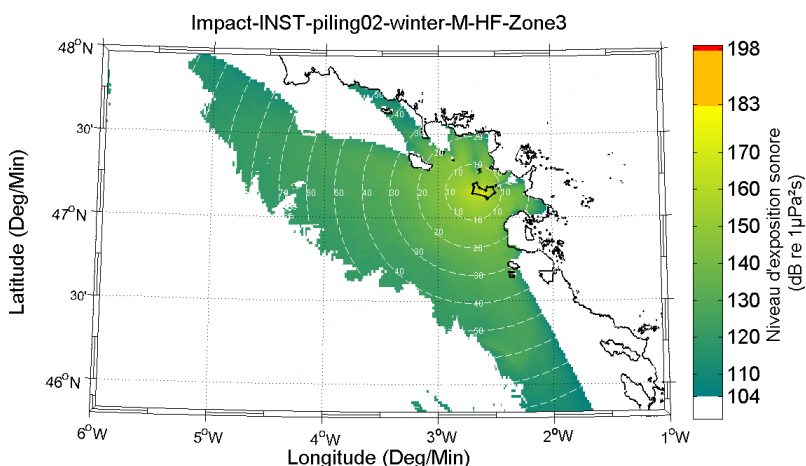
Probabilité de subir le bruit du projet **sans effet à priori**

Hors de portée sonore du projet, très faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

Marsouin commun

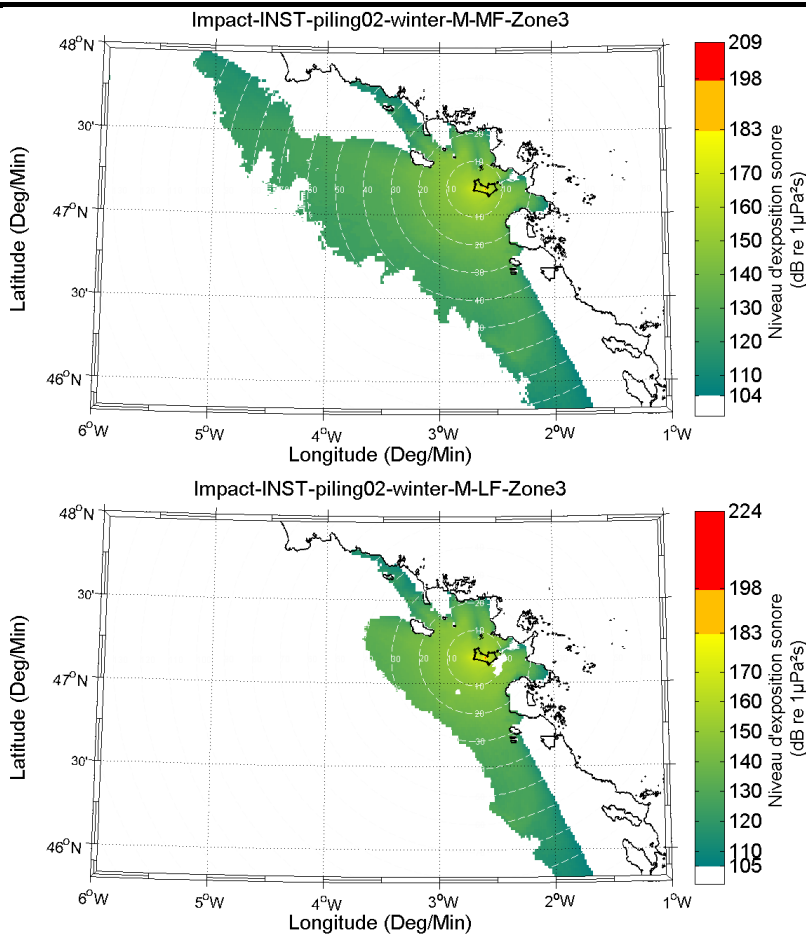


Hautes fréquences



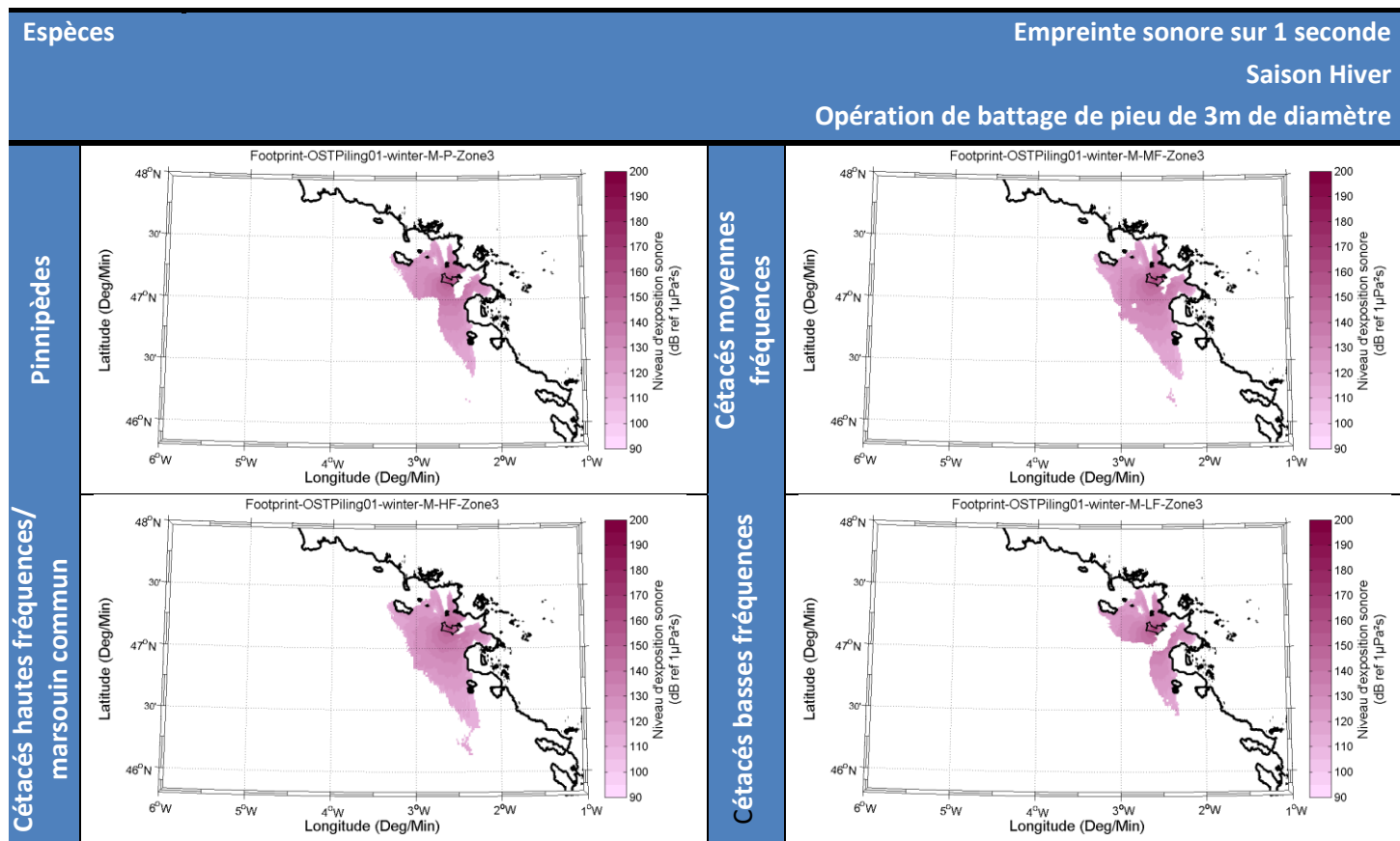
Moyennes fréquences

Basses fréquences



V.3.7. Construction- opération de battage de pieu de 3m de diamètre

V.3.7.a. Empreintes sonores



V.3.7.b. Risques biologiques

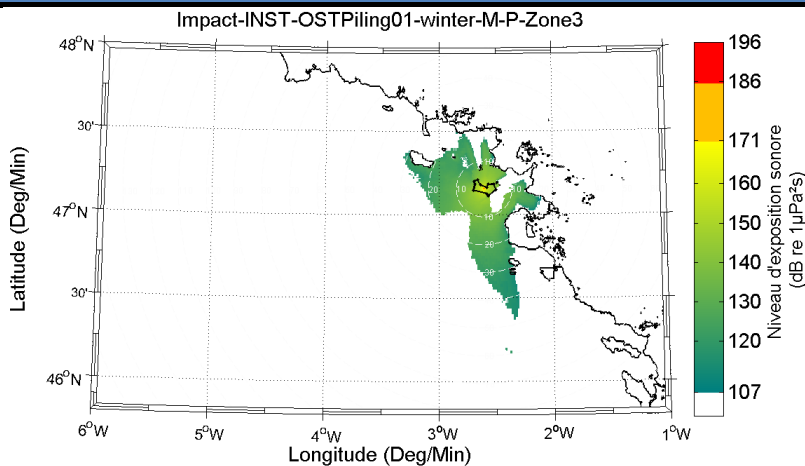
Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

Saison Hiver.

Opération de battage de pieu de 3m de diamètre

Pinnipèdes



Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique permanent**

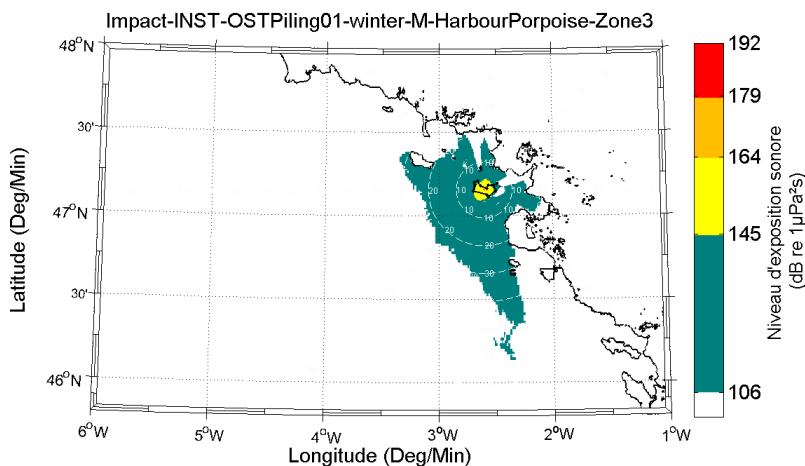
Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique temporaire**

Probabilité de subir le bruit du projet avec **modification du comportement**

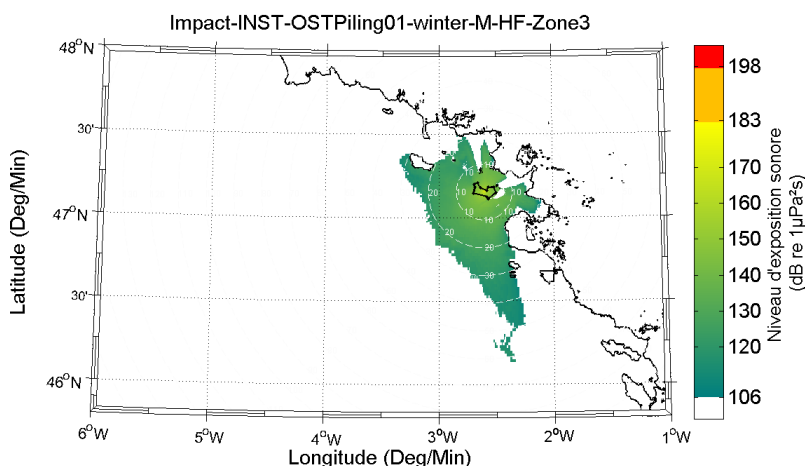
Probabilité de subir le bruit du projet **sans effet à priori**

Hors de portée sonore du projet, très faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

Marsouin commun

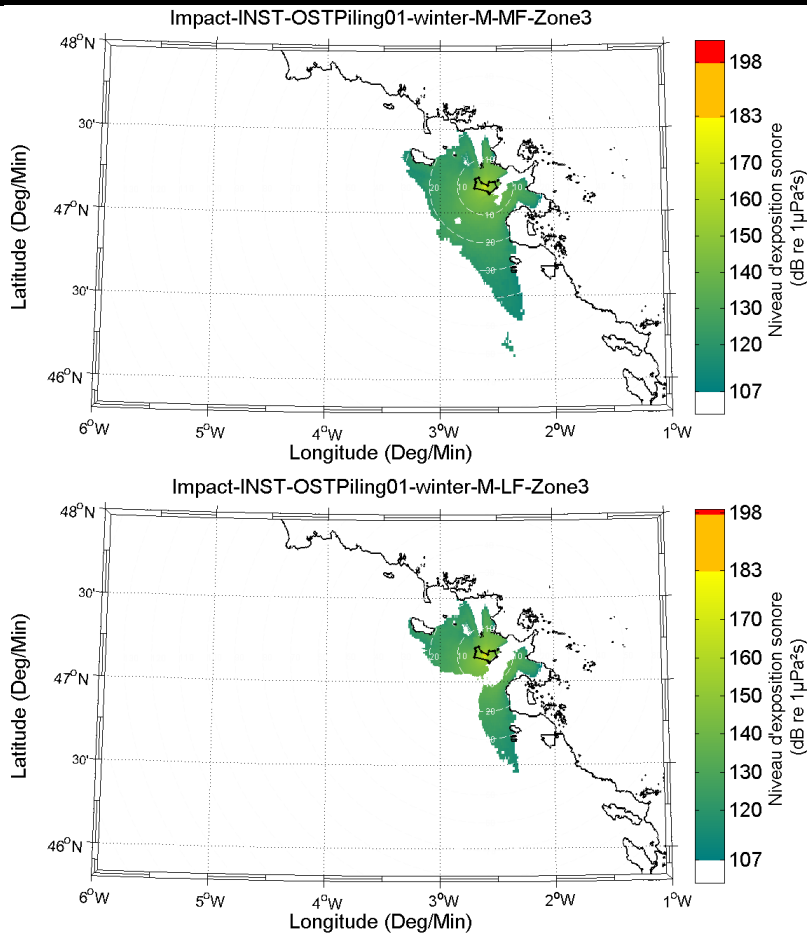


Hautes fréquences



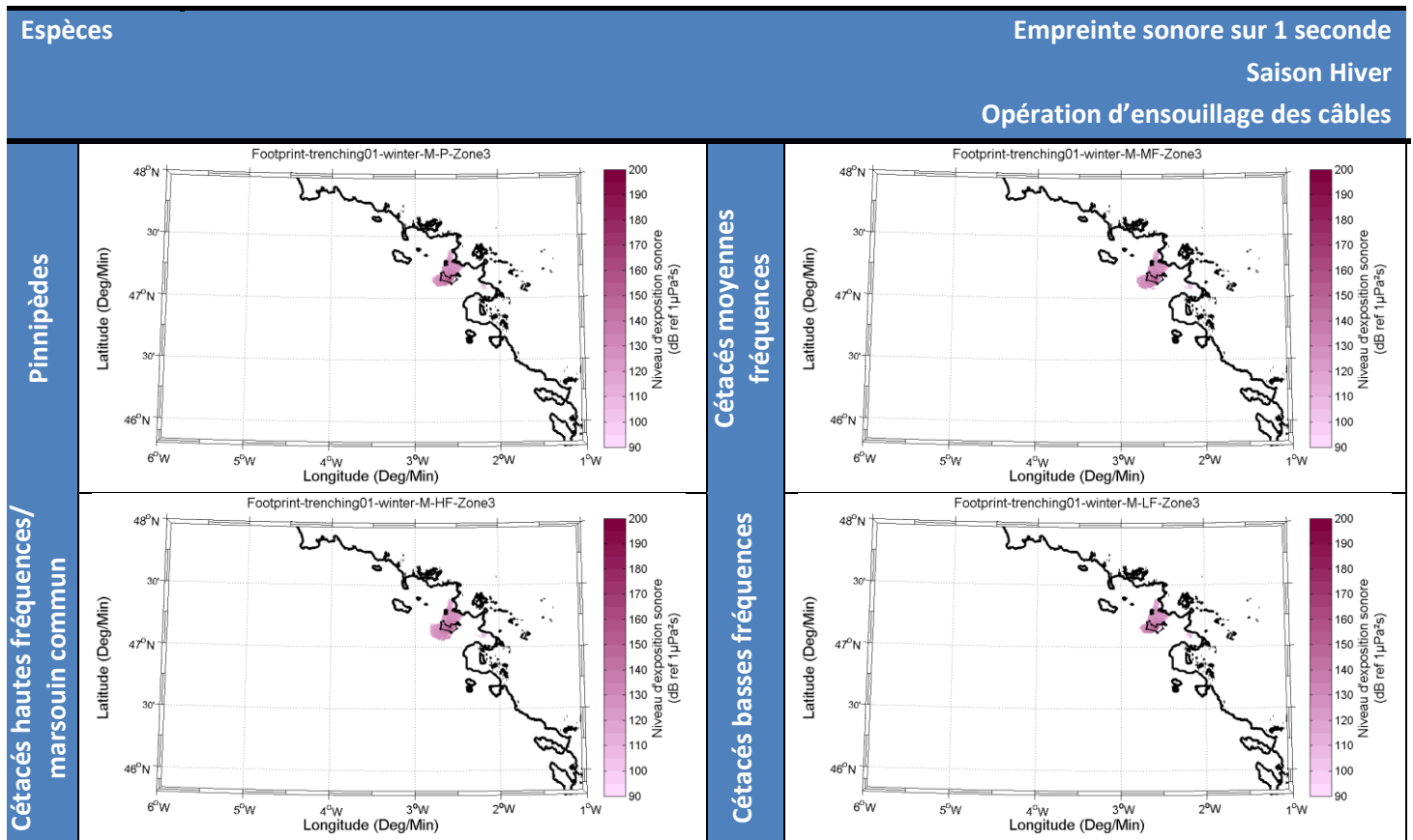
Moyennes fréquences

Basses fréquences



V.3.8. Construction- opération d'ensouillage des câbles

V.3.8.a. Empreintes sonores



V.3.8.b. Risques biologiques

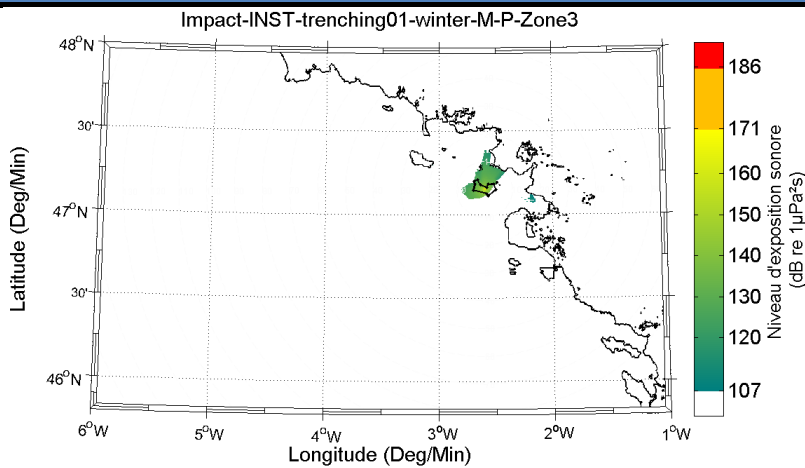
Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

Saison Hiver.

Opération d'ensouillage des câbles

Pinnipèdes



Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique permanent**

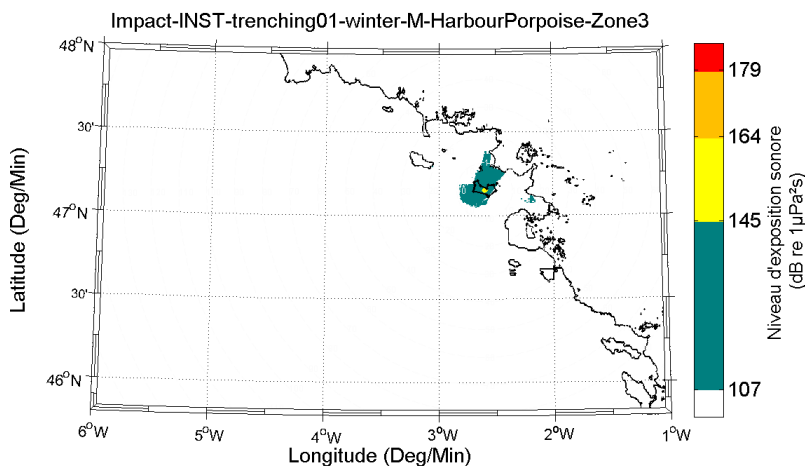
Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique temporaire**

Probabilité de subir le bruit du projet avec **modification du comportement**

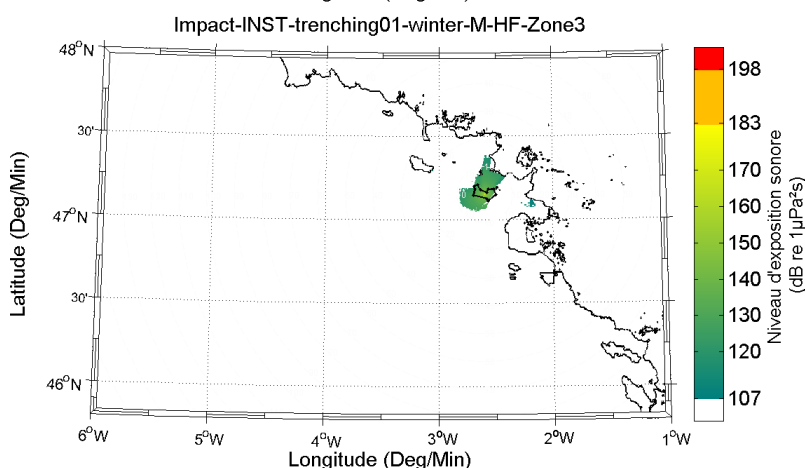
Probabilité de subir le bruit du projet **sans effet à priori**

Hors de portée sonore du projet, très faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

Marsouin commun

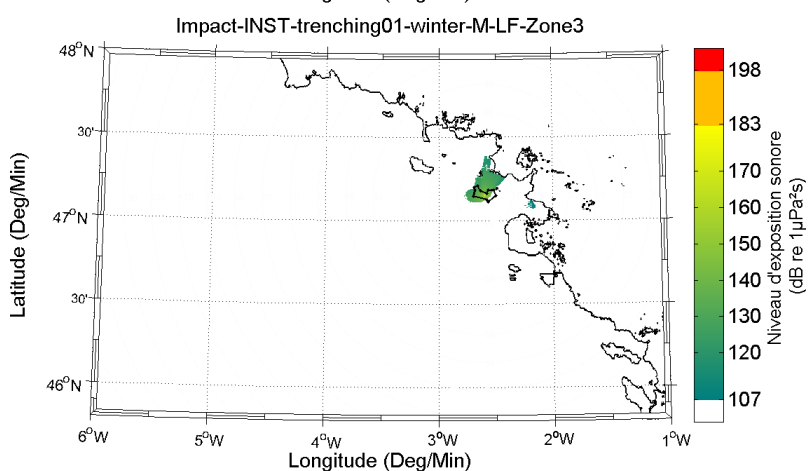
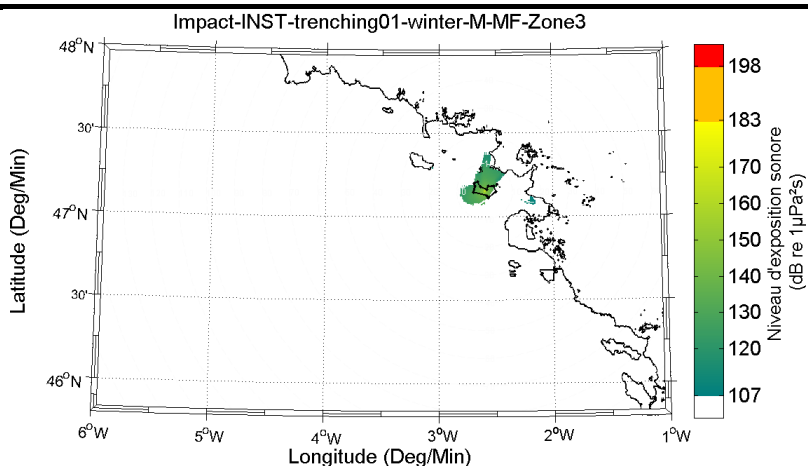


Hautes fréquences



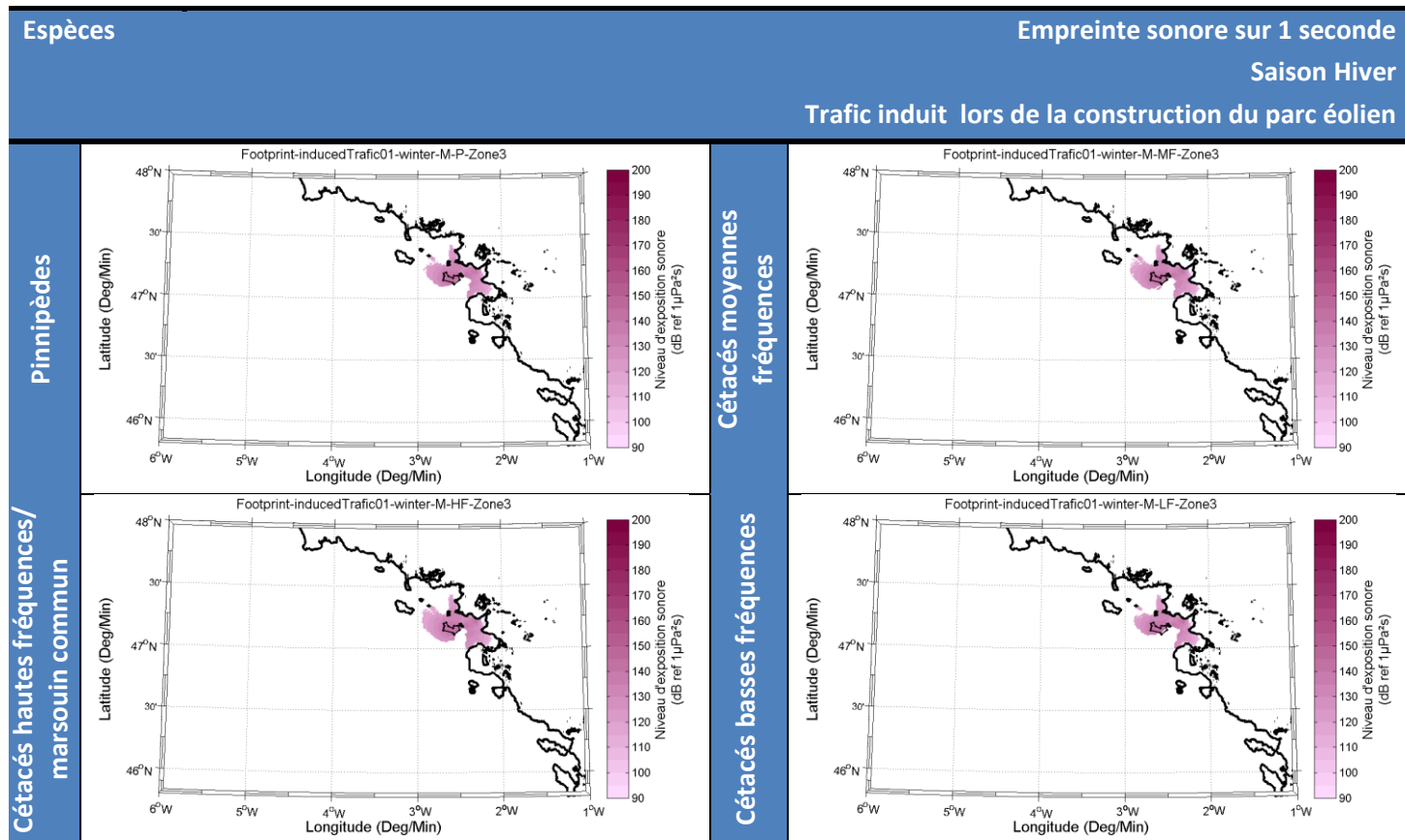
Moyennes fréquences

Basses fréquences



V.3.9. Trafic induit en phase de construction

V.3.9.a. Empreintes sonores



V.3.9.b. Risques biologiques

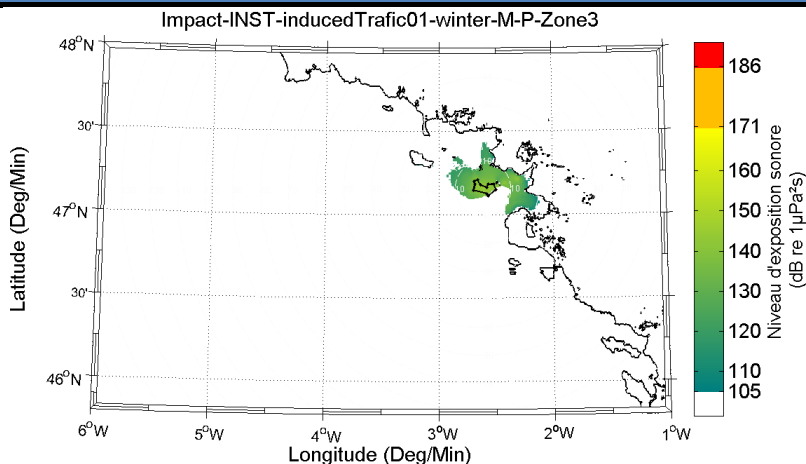
Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

Saison Hiver

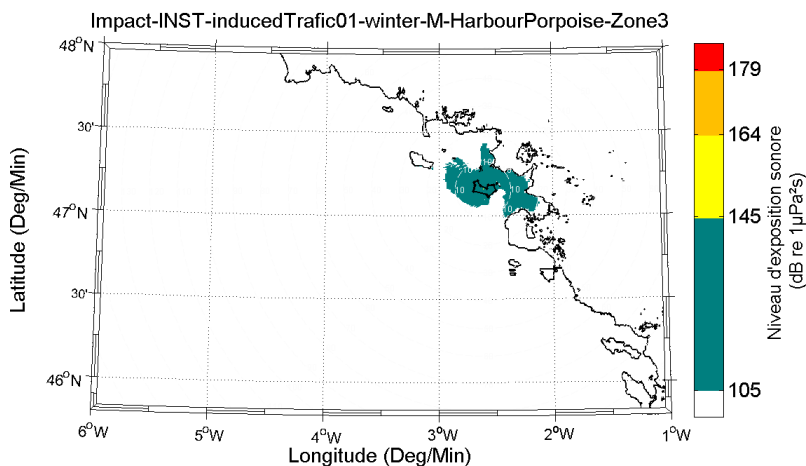
Trafic induit lors de la construction du parc éolien

Pinnipèdes

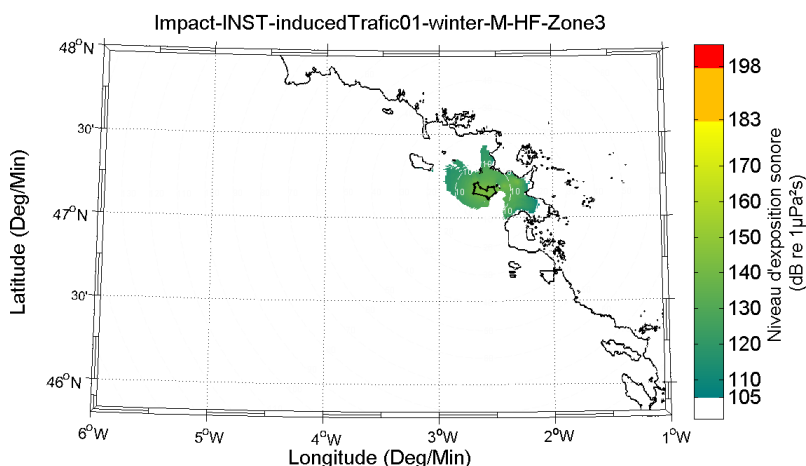


Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique permanent**
 Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique temporaire**
 Probabilité de subir le bruit du projet avec **modification du comportement**
 Probabilité de subir le bruit du projet **sans effet à priori**
 Hors de portée sonore du projet, très faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

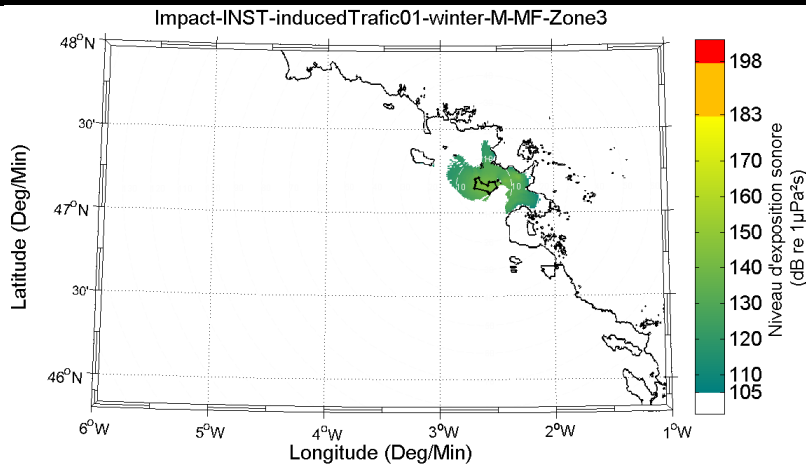
Marsouin commun



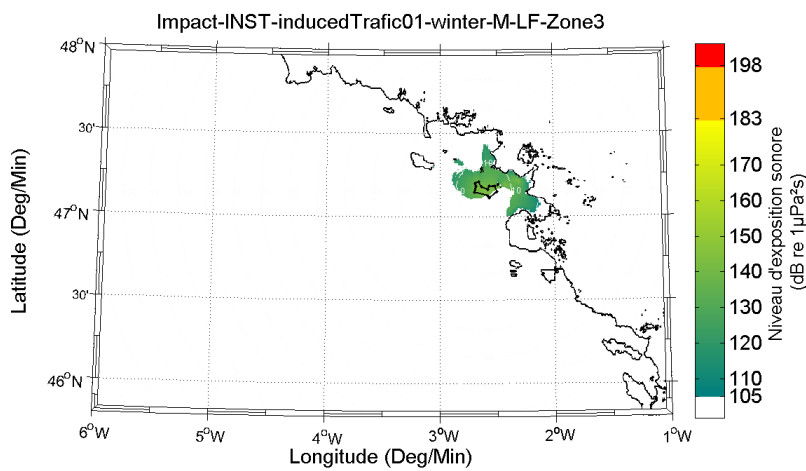
Hautes fréquences



Moyennes fréquences

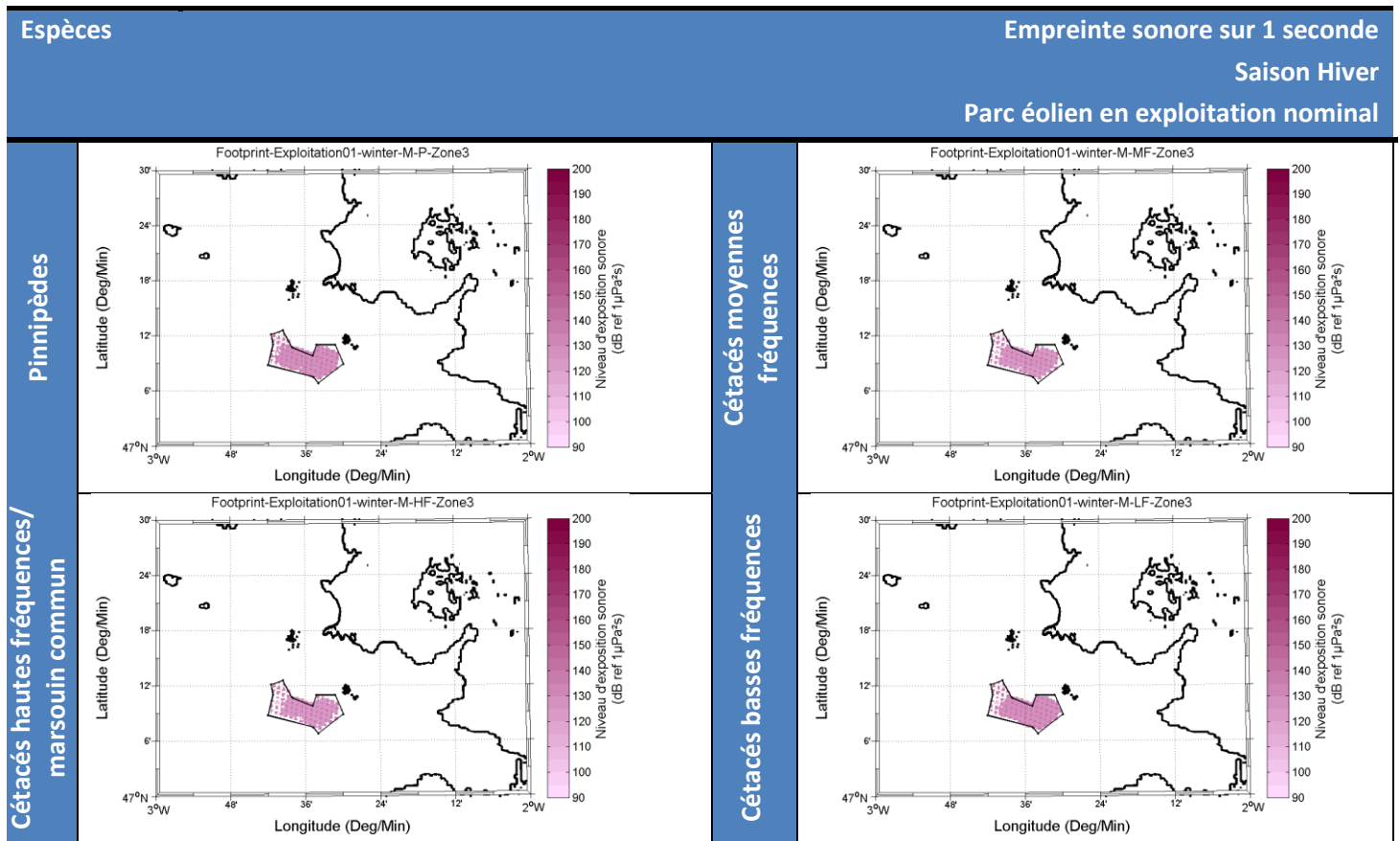


Basses fréquences



V.3.10. Exploitation nominal du parc éolien

V.3.10.a. Empreintes sonores



V.3.10.b. Risques biologiques

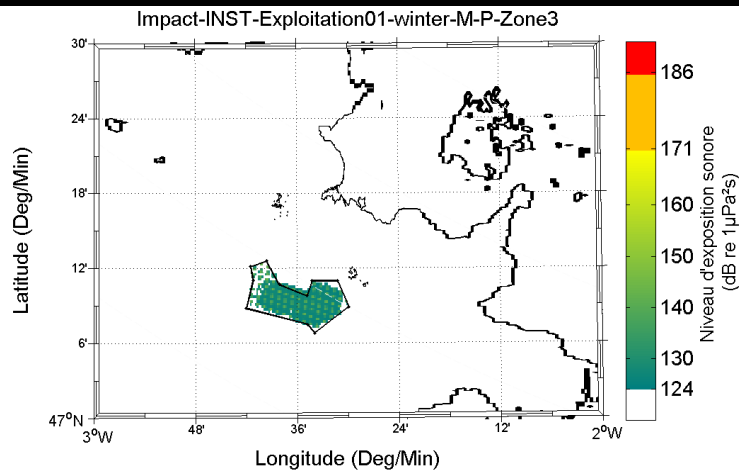
Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

Saison Hiver

Parc éolien en exploitation nominale

Pinnipèdes



Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique permanent**

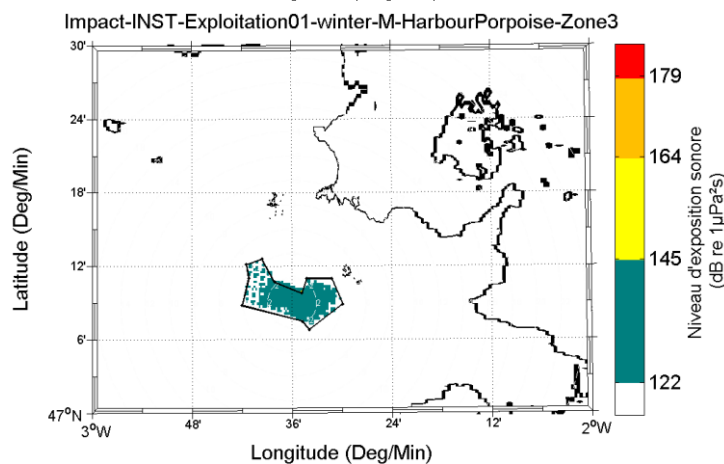
Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique temporaire**

Probabilité de subir le bruit du projet avec **modification du comportement**

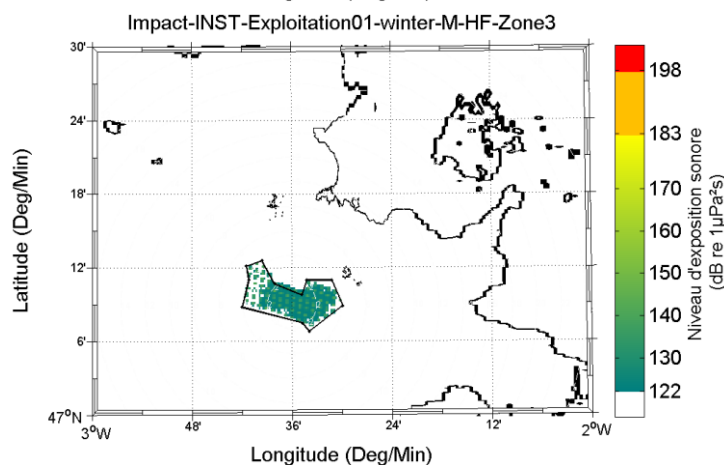
Probabilité de subir le bruit du projet **sans effet à priori**

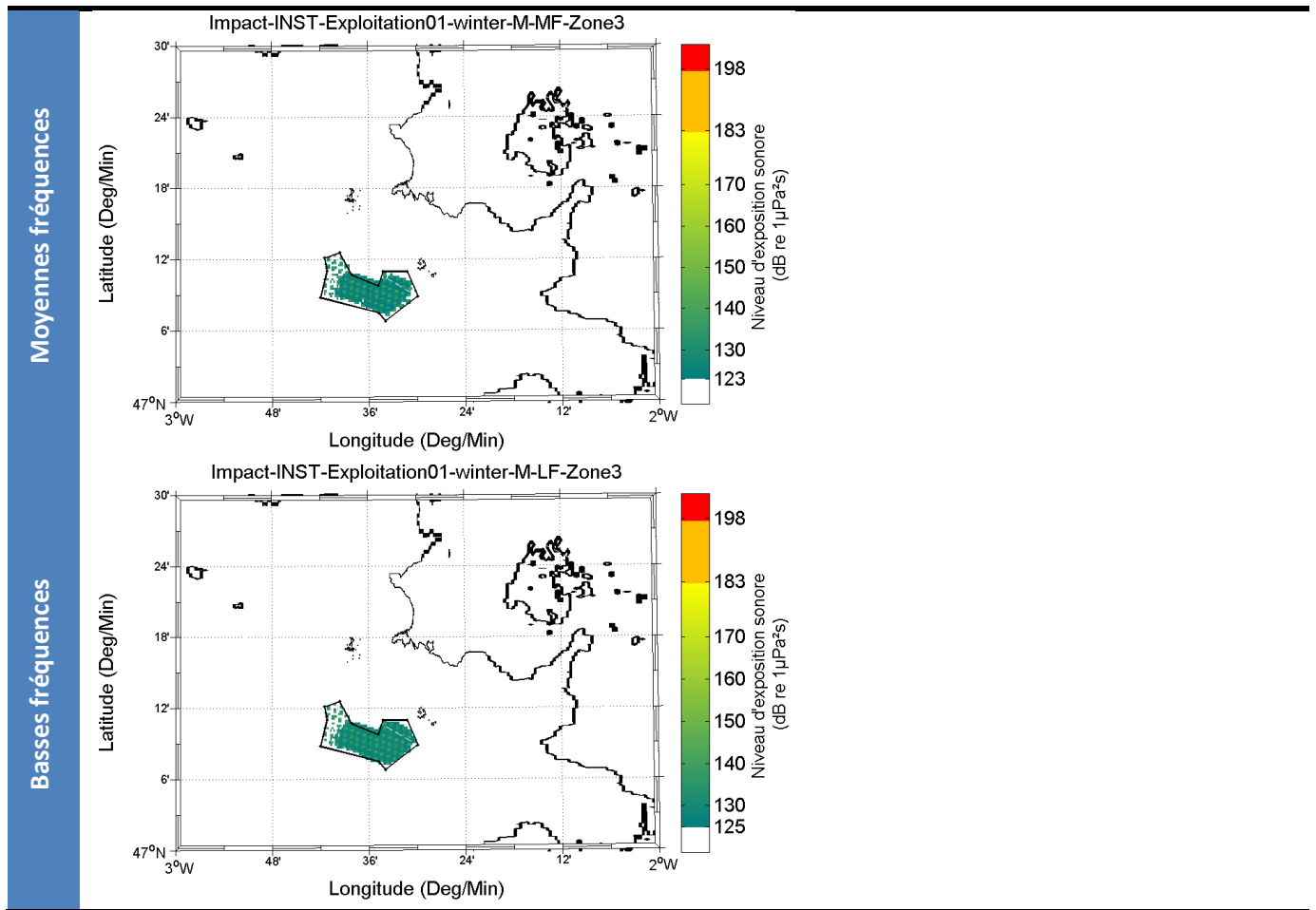
Hors de portée sonore du projet, très faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

Marsouin commun



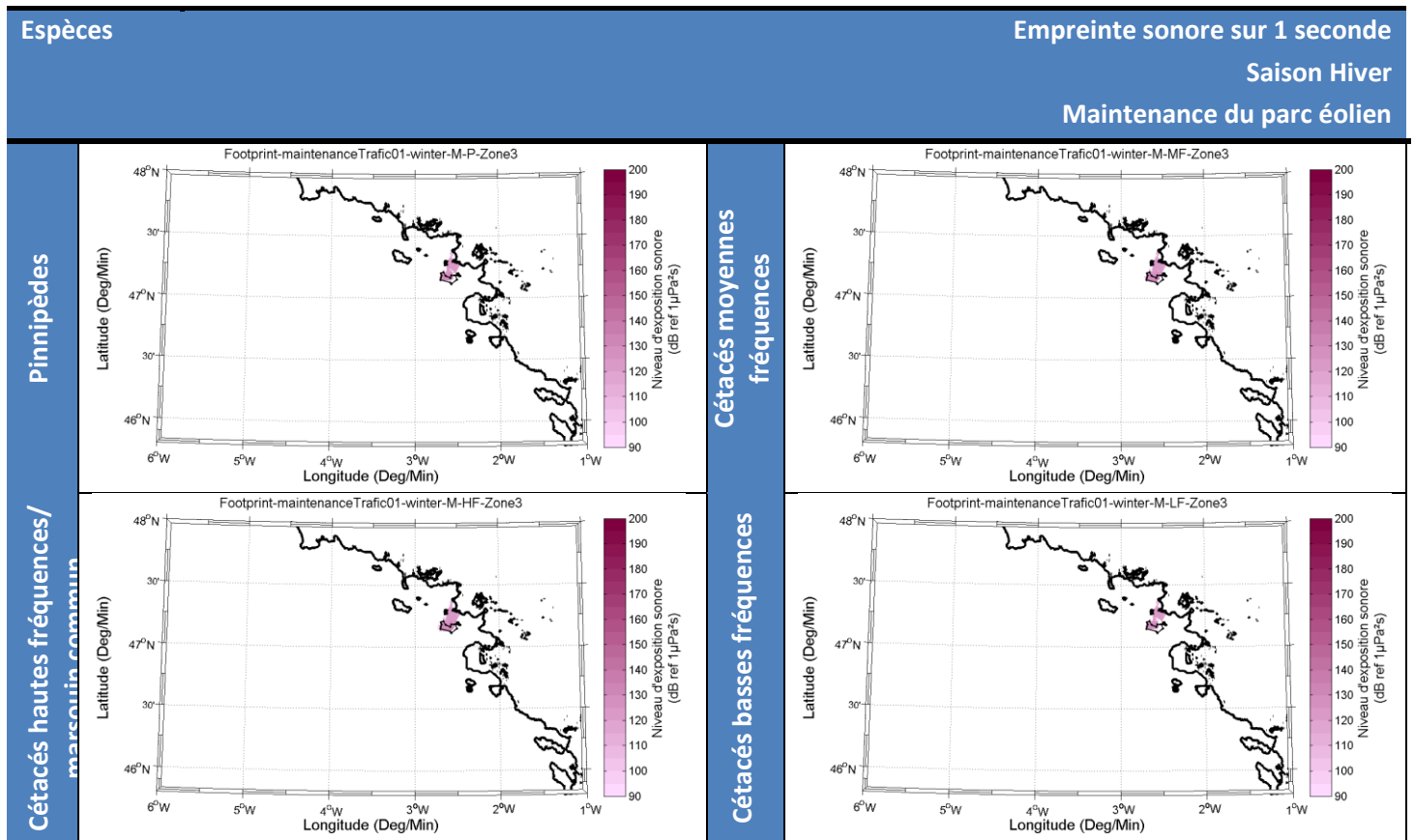
Hautes fréquences





V.3.11. Maintenance du parc éolien

V.3.11.a. Empreintes sonores



V.3.11.b. Risques biologiques

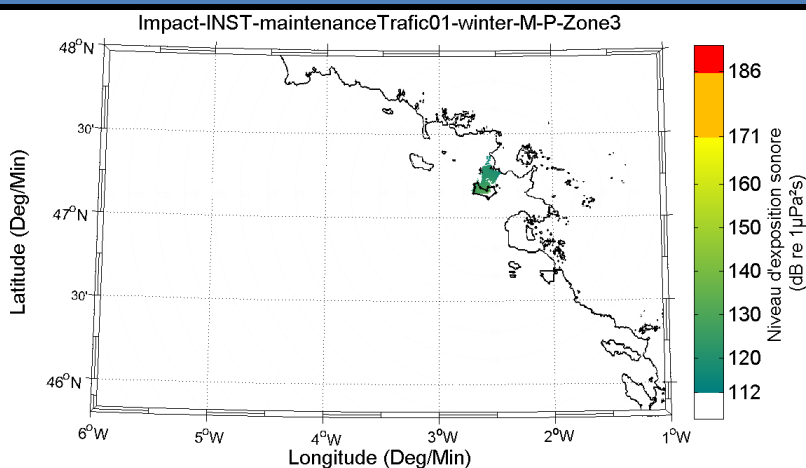
Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

Saison Hiver

Maintenance du parc éolien

Pinnipèdes



Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique permanent**

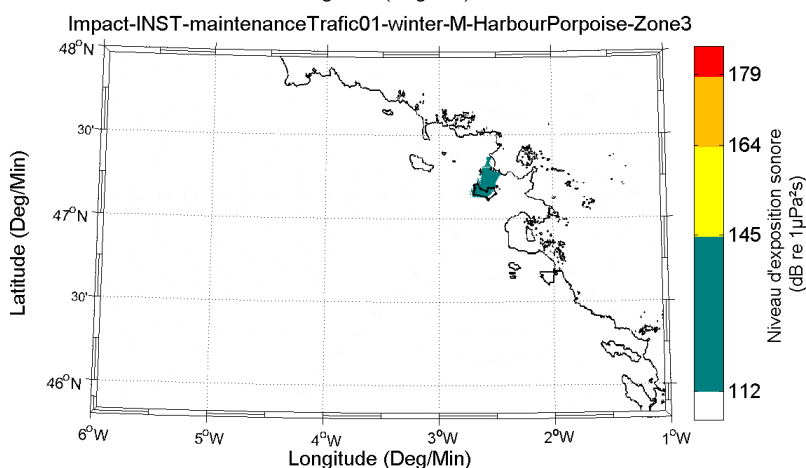
Probabilité de subir le bruit du projet avec **dommage physiologique temporaire**

Probabilité de subir le bruit du projet avec **modification du comportement**

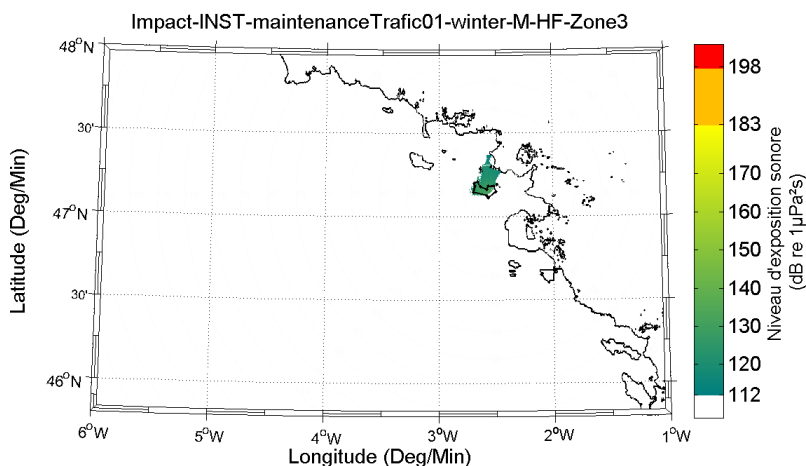
Probabilité de subir le bruit du projet **sans effet à priori**

Hors de portée sonore du projet, très faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

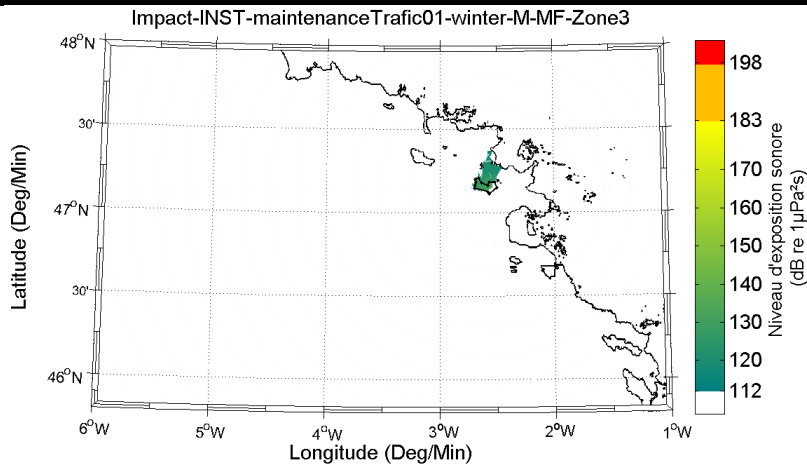
Marsouin commun



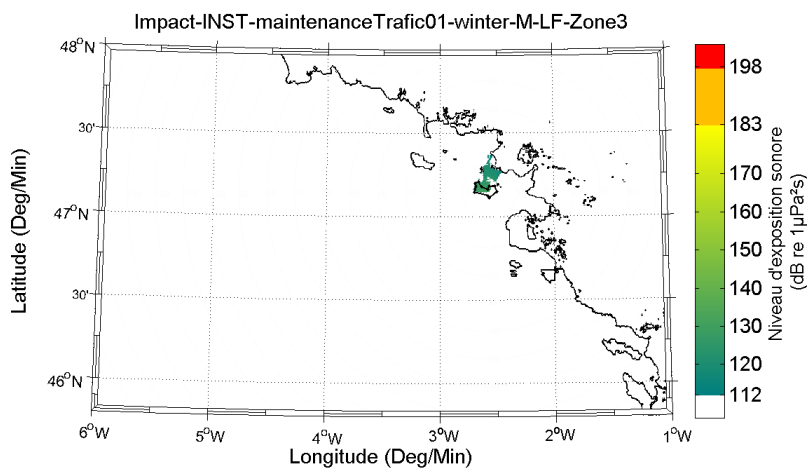
Hautes fréquences



Moyennes fréquences



Basses fréquences



V.4. Analyse des risques d'impacts

V.4.1. Analyse physique de la pression anthropique

La propagation des ondes est plus favorable en hiver à cause des conditions océanographiques qui favorisent une propagation dans les couches superficielles de l'océan, limitant ainsi les pertes liées aux réflexions des ondes sonores sur le fond. En été, au contraire, le réchauffement de la surface de l'océan entraîne une réfraction de l'énergie acoustique vers les plus grandes profondeurs, augmentant ainsi les pertes par interaction avec le fond.

La propagation du bruit généré sur la zone du projet est dépendante des conditions environnementales environnantes. En effet, les modélisations des empreintes sonores montrent :

- ✓ un effet d'ombre créé par Belle Ile pour les empreintes les plus grandes;
- ✓ un effet de bathymétrie qui tend à entraver la propagation des ondes à l'entrée de la baie de Quiberon ;
- ✓ une zone où le bruit du trafic maritime à l'approche du port de Saint-Nazaire et dans la zone d'attente au large de Saint-Nazaire tend à masquer les bruits du projet.

Les empreintes sonores des opérations de clapage restent circonscrites à l'emplacement du parc éolien. Par contre, lors des opérations de dépose des éoliennes gravitaires, les empreintes sonores s'étendent principalement vers le nord-ouest. En effet, on observe un effet de masquage par le trafic maritime entrant sortant du port de Saint-Nazaire à l'est et au sud du parc. Un effet de bathymétrie limite la propagation dans la baie de Quiberon. Lors d'une opération de clapage simultanée à une opération de dépose des fondations gravitaires, l'empreinte sonore est quasiment identique à celle induite par l'opération unitaire de dépose d'une éolienne.

Lors du forage de pieu de diamètre 6,8 m, l'empreinte sonore s'étend en dehors du périmètre du futur parc éolien seulement dans la direction nord-est (vers la côte. Vers le large, le bruit de cette opération est masqué par le bruit anthropique existant lié au trafic maritime et également par l'augmentation significative de la bathymétrie qui engendre une dispersion du bruit dans la colonne d'eau.

Les opérations de battage des structures monopieu de 7m présentent les empreintes sonores les plus étendues. Elles s'étendent principalement vers le sud-sud-est avec un effet d'ombre de l'île d'Yeu. Vers le nord-nord-ouest, les empreintes sonores présentent un effet d'ombre lié à la présence de Belle-Ile et des Iles d'Houat et Hoedic. Vers le large, le bruit de cette opération est masqué par le bruit anthropique existant lié au trafic maritime et également par l'augmentation significative de la bathymétrie qui engendre une dispersion du bruit dans la colonne d'eau.

Dans le cas de battages simultanés de pieux de 7 m de diamètre, les empreintes sonores sont légèrement plus importantes, mais on assiste à un masquage mutuel des deux empreintes sur la majeure portion des empreintes sonores.

L'ensouillage des câbles présente une empreinte sonore qui s'étend sur l'emprise du parc et s'étend vers la côte au nord-nord-est du parc. Cela est dû au niveau sonore introduit relativement faible et à la présence des activités anthropiques existantes qui en ont tendance à masquer cette activité.

Le trafic induit en phase de construction ou de maintenance présente une empreinte liée à la distribution de ces navires sur le plan d'eau, au sein du parc et vers les accès aux ports supports.

L'empreinte sonore liée à l'exploitation du parc devrait être circonscrite aux limites de la concession.

Les distances représentatives, exprimée en kilomètre, des zones de dépassement des seuils sonores pour chaque phase du projet et pour toutes les classes d'espèces de mammifères marins sont synthétisées dans le Tableau 17 pour la saison hiver (la plus défavorable) :

- ✓ la zone de modification comportementale ;
- ✓ la zone de dommage physiologique temporaire ;
- ✓ la zone de dommage physiologique permanent.

La quantification des zones de dépassement des seuils de tolérance est réalisée pour tous les azimuts autour des ateliers de construction. La variabilité azimutale est reportée dans les colonnes « min » et « max » qui traduisent des étendues minimales et maximales observées sur l'ensemble des scénarios traités. La forme des zones d'impact n'est jamais un cercle car elles dépendent de l'océanographie, de la bathymétrie et du bruit existant. Cela est d'autant plus vrai que les distances sont grandes. Les distances indiquées correspondent à une exposition sonore pour 1 seconde d'activité.

L'évaluation du dépassement des seuils de tolérances pour les mammifères marins a permis de quantifier les zones de risques de gêne ou de dommage physiologique en fonction des saisons et des scénarios du projet. L'étude indique :

- ✓ La mise en place des fondations gravitaires ne devrait pas entraîner le dépassement des seuils de dommages physiologiques temporaires et a fortiori permanents. Une gêne sans dommage physiologique direct est susceptible d'intervenir dans un rayon moyen de 1,68 kilomètres autour des navires de dépose d'éolienne les plus imposants ;
- ✓ La mise en place des fondations « jacket » par battage ne présentent un risque de dépassement des seuils de dommages physiologiques permanents que pour les pinnipèdes et les marsouin communs, dans un rayon pouvant atteindre 150 mètres en moyenne autour de l'atelier de battage ; un risque de dépassement des seuils de tolérance temporaire sont possibles dans un rayon de quelques centaines de mètres autour de l'atelier de battage, les distances les plus importantes concernant le marsouin commun (~1km) et les pinnipèdes (~0.8km) ;
- ✓ La mise en place des fondations « monopieu » par battage présentent, à diamètre équivalent, un risque bien plus élevé que par forage. Les risques de dépassement des seuils permanents sont possibles autour des ateliers de battage des fondations « monopieu » dans un rayon de quelques dizaines de mètres à 630m en fonction des espèces et du diamètre du pieu considéré ;
- ✓ Dans le cas de battages simultanés, les distances de dépassements des seuils permanents restent sensiblement identiques à un battage unitaire, alors que les zones de dépassement des seuils temporaires augmentent peuvent être amenées à se rejoindre pour certaines espèces, créant un risque de formation de barrière acoustique entre les ateliers, en fonction de leur espacement. L'effet d'un battage simultané joue principalement sur une augmentation des rayons de dépassement des seuils de gêne d'environ 30% ;
- ✓ L'ensouillage des câbles peut présenter un risque de dommage temporaire pour les espèces telles que le marsouin commun et les pinnipèdes dans un rayon moyen de quelques dizaines de mètres. L'exploitation et la maintenance du parc n'entraîne pas d'enjeux particulier dans l'état actuel des scénarios de maintenance. Cela est en cohérence avec les premiers retours d'expériences des parcs en exploitation en Europe du nord.

Saison	Atelier	Classe de mammifères marins	Durée d'exposition	Zone de modification du comportement			Zone de dépassement de dommage physiologique temporaire			Zone de dépassement de dommage physiologique permanent		
				(kilomètre)			(kilomètre)			(kilomètre)		
			(sec)	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max
Hiver	Clapage	Marsouin commun	1sec	-	0,03	0,37	-	-	-	-	-	-
		Hautes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Pinnipèdes		N/A			-	-	-	-	-	-
	Dépose structure éolienne	Marsouin commun	1sec	1,11	1,56	2,01	-	-	-	-	-	-
		Hautes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Pinnipèdes		N/A			-	-	-	-	-	-
	Clapage et dépose structure éolienne	Marsouin commun	1sec	1,11	1,68	6,83	-	-	-	-	-	-
		Hautes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Pinnipèdes		N/A			-	-	-	-	-	-
	Forage (diam 6.8m)	Marsouin commun	1sec	0,25	0,64	0,90	-	0,14	0,45	-	-	-
		Hautes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Pinnipèdes		N/A			-	0,03	0,37	-	-	-

Saison	Atelier	Classe de mammifères marins	Durée d'exposition	Zone de modification du comportement			Zone de dépassement de dommage physiologique temporaire			Zone de dépassement de dommage physiologique permanent		
			(sec)	(kilomètre)			(kilomètre)			(kilomètre)		
				Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max
	Battage unitaire (diam 3m)	Marsouin commun	1sec	5,11	6,24	8,52	0,45	0,83	1,08	-	0,15	0,46
		Hautes fréquences		N/A			-	0,15	0,46	-	-	-
		Moyennes fréquences		N/A			-	0,15	0,46	-	-	-
		Basses fréquences		N/A			-	0,15	0,46	-	-	-
		Pinnipèdes		N/A			0,25	0,53	0,79	-	0,15	0,46
	Battage unitaire (diam 7m)	Marsouin commun	1sec	8,39	13,20	18,54	1,79	2,23	2,75	-	0,25	0,45
		Hautes fréquences		N/A			-	0,14	0,45	-	-	-
		Moyennes fréquences		N/A			-	0,14	0,45	-	0,03	0,37
		Basses fréquences		N/A			-	0,48	0,79	-	0,09	0,37
		Pinnipèdes		N/A			1,11	1,41	1,77	-	0,17	0,45
	Battage simultané de 2 pieux (diam 7m)	Marsouin commun	1sec	10,75	20,56	31,58	1,57	2,91	8,97	-	0,21	0,63
		Hautes fréquences		N/A			-	0,10	0,51	-	-	-
		Moyennes fréquences		N/A			-	0,15	0,37	-	0,06	0,25
		Basses fréquences		N/A			-	0,59	7,33	-	0,23	7,08
		Pinnipèdes		N/A			0,79	1,84	8,09	-	0,10	0,51
	Ensouillage	Marsouin commun	1sec	1,22	1,55	1,87	-	0,14	0,45	-	-	-
		Hautes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Pinnipèdes		N/A			-	0,03	0,37	-	-	-
	Trafic induit	Marsouin commun	1sec	-	0,23	0,84	-	-	-	-	-	-

Saison	Atelier	Classe de mammifères marins	Durée d'exposition	Zone de modification du comportement			Zone de dépassement de dommage physiologique temporaire			Zone de dépassement de dommage physiologique permanent		
			(sec)	(kilomètre)			(kilomètre)			(kilomètre)		
				Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max
		Hautes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Pinnipèdes		N/A			-	-	-	-	-	-
	Exploitation	Marsouin commun	1sec	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Hautes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Pinnipèdes		N/A			-	-	-	-	-	-
	Maintenance	Marsouin commun	1sec	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Hautes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Pinnipèdes		N/A			-	-	-	-	-	-

Tableau 17 : Synthèse des étendues des zones d'impacts physiologiques et comportementaux potentiels en fonction de la nature des travaux, des espèces potentiellement en présence pour la saison Hiver (saison la moins favorable). La forme des zones d'impact n'est jamais un cercle car elles dépendent de l'océanographie, de la bathymétrie et du bruit existant. Aussi, les colonnes « min », « moyenne » et « max » correspondent aux variations d'étendue en fonction de l'azimut (ou direction géographique). Les distances indiquées correspondent à une exposition sonore cumulée sur la durée explicitée dans la troisième colonne, et sous l'hypothèse particulièrement conservatrice que les espèces exposées restent immobiles pendant toute la durée de l'exposition.

Atelier	Min.	Moy.	Max.
Clapage	133,6	135,9	139,0
Mise en place	148,7	151,9	157,8
Forage (Ø 6,8 m)	147,4	149,4	152,2
Battage (Ø 7 m)	177,4	180,8	185,5
Battage (Ø 3 m)	169,5	172,4	175,2
Ensouillage	152,8	155,0	157,8
Trafic induit	143,8	144,4	145,2
Maintenance	131,9	132,7	133,3

Tableau 18 : Niveau d'exposition sonore médian (dB réf. 1µPa²s) attendu à la distance de 750m de chaque atelier.

V.4.2. Description de la zone de risque

Le nombre d'animaux susceptible d'être touché par le processus d'installation est difficile à évaluer avec précision, mais des données de recensement de plusieurs enquêtes menées dans cette partie de l'océan Atlantique, notamment sur le site de construction actuel, sont disponibles. Les chiffres suivants sont principalement basés sur les données relevées sur le site par voie aérienne entre septembre 2011 et août 2012 dans le cadre du Suivi Aérien de la Mégafaune Marine (SAMM) afin d'identifier les éventuels habitats Natura 2000. Ces données sont accompagnées de données de dénombrement relevées par l'Observatoire Pelagis et de celles relatives aux animaux échoués relevées entre 1971 et 2011 par le Réseau National Echouages (RNE). Les données SAMM récapitulent ces données de dénombrement en quadrats de 40 x 40 km, dont deux accueillent la zone d'implantation proposée.

V.4.2.a. Impacts vis-à-vis des espèces sensibles aux hautes fréquences : cas du marsouin commun (*Phocoena phocoena*)

i. Impact du battage du monopieu de diamètre 7m

Selon le Tableau 17, l'impact sonore du battage d'un monopieu (7 m de diamètre) est critique pour la modification du comportement des marsouins communs à une distance pouvant aller jusqu'à 13,2km de la source, ce qui correspond à une surface de 547 km². La distance sur laquelle l'impact sonore du battage peut provoquer une perte de l'audition temporaire est estimée à 2,23km, ce qui équivaut à une surface d'environ 15,6 km² autour du site d'implantation. La zone de dépassement potentiel du PTS est estimée à 250 m au maximum pour un coup unique (soit une surface de 0,2 km²). Il est supposé qu'environ 60 % des marsouins quittent la zone dont le seuil d'exposition serait supérieur à 145 dBSEL. La durée de la perturbation s'étalerait sur 1 à 3 jours après la fin du battage.

Le risque de provoquer une perte d'audition permanente chez les marsouins communs est également évalué en prenant en compte l'accumulation du bruit résultant des expositions multiples, typiques dans le cas du battage de pieux avec une cadence de répétition rapprochée, de 30 coups/minute ici (la fréquence des coups de marteau dépend de l'équipement technique utilisé). Deux scénarios sont avancés : avec ou sans procédure soft-start. le rayon dans lequel un seuil de bruit critique peut être atteint sans procédure soft-start passe, au cours de l'opération de battage, de 1,31 km lors de la première minute à 2,18 km au bout de 10 min, à 3,19 km au bout de 30 min et jusqu'à 3,67 km au bout de 3 heures. Les animaux se trouvant à une distance de 1 à 2 km autour de la source seraient immédiatement exposés à des niveaux sonores provoquant une perte d'audition permanente. En supposant qu'aucun marsouin ne se trouve à moins d'un kilomètre de la source au début du battage (en raison des procédures d'effarouchement), les marsouins devraient s'éloigner de 1,18 km de la source

dans les dix premières minutes et de 2,19 km dans la première demi-heure pour éviter une exposition au bruit à des niveaux dangereux. La vitesse de nage nécessaire à cet effet est d'environ 7,1 km/h. Les marsouins sont tout à fait en mesure d'atteindre cette vitesse (des spécimens évoluant jusqu'à 16 km/h ont été observés lors de l'utilisation d'émetteurs acoustiques (Culik, 2001) mais il paraît peu probable que ceci puisse être appliqué aux individus de tous âges et aux groupes mères-progénitures. Si l'on considère que la procédure de soft-start du battage et l'augmentation progressive de l'énergie de battage permettent aux marsouins de s'éloigner de la source de bruit, il existe peu de risques de provoquer une perte de l'audition permanente chez un individu de cette espèce : lors de la procédure de soft-start, les distances dans lesquelles le PTS est provoqué passent de 380 m après la première minute à 740 m après 10 min, 1,47 km après 30 min et 3 km après trois heures de battage. Dans l'hypothèse où des dispositifs d'effarouchement permettent d'évacuer une zone dans un rayon d'un kilomètre, les animaux devraient nager sur 740 m et à une vitesse de 1,5 km/h pour éviter une perte d'audition permanente. (BioConsult, 2013).

ii. Impacts du battage d'un monopieu de 3 m de diamètre :

En se basant sur le diamètre réduit (3 m) des monopieux de l'OSS, les distances de perturbation et les risques de PTS et TTS diminuent, réduisant de la même façon la zone affectée. Les modifications comportementales induites peuvent survenir jusqu'à 6,24 km autour de la source sonore, ce qui correspond à une zone à risque de 122 km². Une perte d'audition temporaire peut survenir jusqu'à 0,83 km (soit une zone de 2,2 km²) de la source et une perte d'audition permanente peut survenir jusqu'à 150m (soit une zone de 0,1 km²) de la source. (BioConsult, 2013).

iii. Impacts du battage simultanés de deux monopieux de 7 m de diamètre :

Le niveau d'impact du battage en parallèle dépend principalement de la distance séparant les deux sites d'implantation. Si les sites d'implantation sont proches l'un de l'autre, la zone à risque est légèrement plus grande que prévu pour un pieu unique (Figure 47, à gauche). Cependant, l'augmentation du nombre de coups et l'accroissement sonore dans les zones où les bruits se chevauchent doivent être pris en compte. On estime que la distance entre les deux monopieux dont le battage a lieu en parallèle est de 7,1 km (Figure 47, à droite). Ces deux pieux permettent de calculer le potentiel cumulatif des émissions sonores lors de battages simultanés. Dans ce cas, des modifications comportementales peuvent survenir jusqu'à une distance de 20,56km, soit une zone de 1 328 km² par pieu. Il s'agit d'une approche prudente qui part du principe de l'existence de zones à risque plus étendues en raison de l'augmentation du rayon de perturbation associé à chaque pieu en cas de battage en parallèle.

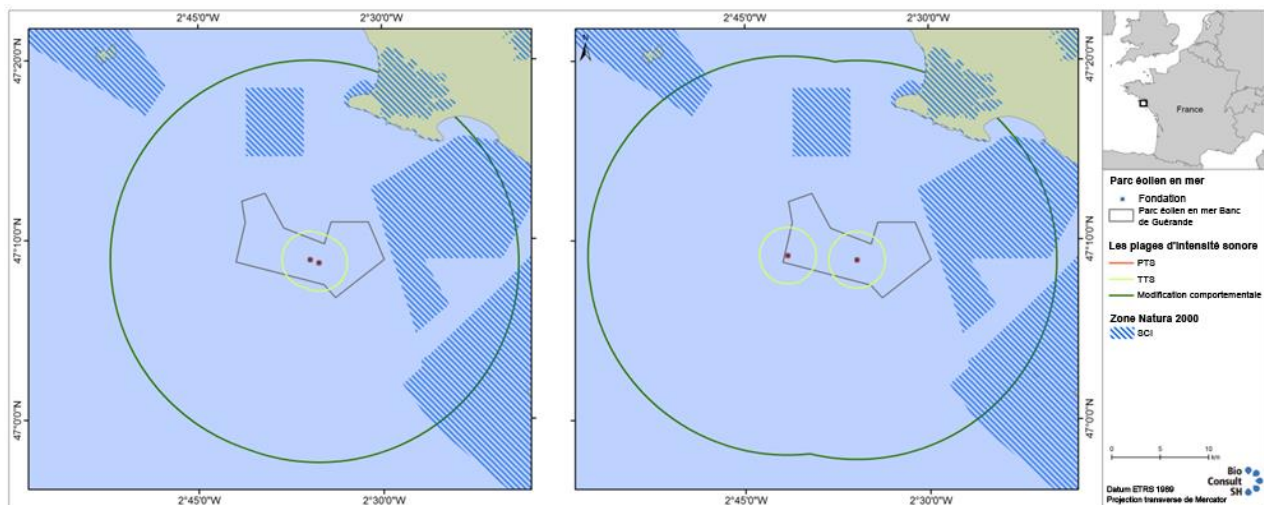


Figure 47 : Exemple de chevauchement de seuils de bruit provoqué par le battage en parallèle de deux monopieux. Les cercles représentent les zones de PTS, TTS et de perturbation (exposition d'une seconde, données selon le tableau 5). À gauche : les deux monopieux sont distants d'environ 970 m. À droite : les deux monopieux sont distants d'environ 7,1 km (le rayon est similaire aux chiffres mentionnés dans le texte.)

En cas de battage en parallèle de deux monopieux adjacents, la zone à risque totale peut être réduite et les temps de perturbation et d'effarouchement diminuent par rapport à deux battages distincts (consécutifs).

iv. Impacts liés aux autres sources de bruits du projet :

On estime que l'ensouillage risque d'engendrer des niveaux sonores susceptibles de provoquer des TTS à 140 m et des modifications comportementales jusqu'à 1,55 km, ce qui équivaut à une surface de 7,5 km². Le caractère continu des émissions sonores et le faible rayon d'impact (TTS) laissent supposer que les activités d'ensouillage ne gêneront pas le comportement des marsouins communs. Les activités de forage, de dragage, de pose de câbles, ainsi que tout le trafic induit sur le site d'implantation, peuvent atteindre des seuils de bruit risquant potentiellement d'entraîner des modifications comportementales, voire une perte d'audition temporaire (pour le forage et le dragage). On estime que la zone d'impact se situe dans un rayon compris entre 140m (distance au sein de laquelle les seuils de TTS sont atteints) et 1,56 km maximum (distances auxquelles des modifications comportementales peuvent survenir en raison de la mise en place des monopieux), soit une surface comprise entre 0,1 km² et 7,6 km². (BioConsult, 2013).

V.4.2.b. Impacts vis-à-vis des pinnipèdes : cas du phoque gris (*Halichoerus grypus*)

i. Impact du battage du monopieu de diamètre 7m

Les distances seuils jusqu'auxquelles une réaction comportementale peut survenir chez les pinnipèdes n'ont pas encore été étudiées en détail sur les sites d'implantation en mer. Il n'est donc pas possible d'estimer le rayon ou la zone susceptible d'être touchée par les émissions sonores engendrant des modifications comportementales (NA dans le Tableau 16). L'étude Southall et al (2007) mentionne un comportement d'évitement. Il est donc probable que des déplacements surviennent lorsque les niveaux sonores peuvent provoquer une perte d'audition temporaire. Les seuils TTS de 171 dBSEL sont également susceptibles d'entraîner des déplacements chez les pinnipèdes.

Les niveaux sonores provoqués par les activités de battage de monopieux de 7 m peuvent provoquer une perte d'audition temporaire (associée à des modifications comportementales) jusqu'à 1,41 km, ce qui correspond à une surface de 6,2 km². On estime que les niveaux de bruit provoquant une perte de l'audition se produiront jusqu'à 170 m autour de la source de bruit, ce qui équivaut à une surface inférieure à 0,1 km². Conformément aux densités données, ceci équivaut à 0 à 1 animal de chaque espèce exposé aux niveaux de bruits occasionnant une perte de l'audition temporaire ou permanente.

De la même manière que pour les marsouins communs, le risque de provoquer une perte d'audition permanente chez les phoques est évalué en prenant en compte l'accumulation du bruit, typique pour le battage de pieux avec une cadence de répétition rapprochée de 30 coups/minute. Deux scénarios sont avancés : avec ou sans procédure soft-start. Comme indiqué dans le Tableau 17, le rayon dans lequel un seuil de bruit critique peut être atteint sans procédure soft-start passe, au cours de l'opération de battage, de 0,9 km lors de la première minute à 1,71 km au bout de 10 min, à 2,04 km au bout de 30 min et jusqu'à 2,32 km au bout de 3 heures. Les animaux se trouvant à une distance de 1 à 2 km autour de la source de bruit seraient immédiatement exposés à des niveaux sonores provoquant une perte d'audition permanente. En supposant qu'aucun phoque ne se trouve à moins d'un kilomètre de la source au début du battage (en raison des procédures d'effarouchement en cours), les individus devraient s'éloigner de 0,71 km dans les dix premières minutes et de 1,04 km dans la première demi-heure afin d'éviter une exposition au bruit à des niveaux dangereux. La vitesse de nage nécessaire à cet effet est d'environ 4,2 km/h ; les phoques sont tout à fait en mesure d'atteindre cette vitesse (des vitesses de fuite pouvant atteindre 18 km/h ont été observées (Riedman, 1990)). Si l'on considère que la procédure de soft-start et l'augmentation progressive de l'énergie de battage permet aux phoques de s'éloigner de la source de bruits, il existe peu de risques de provoquer une perte d'audition permanente chez un individu de cette espèce : lors de la procédure de soft-start, les distances dans lesquelles le PTS est provoqué passent de 210 m après la première minute à 500 m après 10 min, 1,02 km après 30 min et 1,94 km après trois heures de battage. Dans l'hypothèse où des dispositifs d'effarouchement permettent d'évacuer une zone dans un rayon d'un kilomètre, les animaux ne sont pas exposés à un niveau d'exposition sonore susceptible d'entraîner un PTS dans les trente premières minutes, mais devraient quitter la zone de deux kilomètres autour de la source pendant les heures suivant le début des opérations de battage. (BioConsult, 2013).

ii. Impacts du battage des fondations du poste électrique (pieu de 3m de diamètre)

En se basant sur le diamètre réduit (3 m) des monopieux de l'OST, les distances de perturbation et les risques de PTS et TTS diminuent, réduisant de la même façon la zone affectée. Les modifications comportementales induites peuvent survenir jusqu'à 530 m autour de la source du bruit, ce qui correspond à une zone à risque de 0,9 km². Une perte d'audition temporaire peut survenir jusqu'à 150 m (soit une zone inférieure à 0,05 km²) autour de la source. (BioConsult, 2013).

iii. Impacts du battage simultané de deux monopieux de 7m de diamètre:

Le niveau d'impact du battage en parallèle dépend principalement de la distance séparant les deux sites d'implantation. Si les sites d'implantation sont proches l'un de l'autre, la zone à risque est légèrement plus grande que prévu pour un pieu unique (Figure 47, à gauche). Cependant, l'augmentation du nombre de coups et le surcroît sonore dans les zones où les bruits se chevauchent doivent être pris en compte. Dans cette étude, on estime que la distance entre les monopieux dont le battage a lieu en parallèle est de 7,1 km (Figure 47, à droite). Dans ce cas, les perturbations par émission de bruits peuvent entraîner des modifications comportementales chez les pinnipèdes jusqu'à une distance de 1,84 km, ce qui correspond à une zone de 10,6 km² par pieu (par manque de données, on estime que les

distances pouvant provoquer une perte d'audition temporaire sont les mêmes que les distances dans lesquelles peuvent survenir des modifications comportementales). Une perte d'audition temporaire peut survenir jusqu'à 100m (soit une zone inférieure à 0,1 km²) autour de la source.

iv. Impacts liés aux autres sources de bruit

On estime que l'ensouillage risque d'engendrer des TTS à 30 m autour de la source chez les pinnipèdes, ce qui équivaut à une surface minimale inférieure à 0,1 km². Il s'agit également de la distance où des modifications comportementales peuvent survenir suite à ces activités.

À part le battage, aucune activité n'est supposée atteindre des seuils d'impact de bruits créant des pertes d'audition temporaires et encore moins des pertes d'audition permanentes. (BioConsult, 2013).

V.4.2.c. Impacts vis-à-vis des espèces sensibles aux moyennes fréquences

Dans cette étude, les espèces appartenant à la classe des moyennes fréquences selon Southall (2007) sont les suivantes :

- ✓ le globicéphale noir (*Globicephala melas*),
- ✓ le grand dauphin (*Tursiops truncatus*),
- ✓ le dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*),
- ✓ le dauphin commun (*Delphinus delphi*),

i. Impact du battage du monopieu de diamètre 7m

On peut supposer que les mêmes seuils provoquent des déficiences auditives chez ces quatre espèces. Aucune information n'est disponible sur les seuils de bruits entraînant des modifications comportementales. Par conséquent, il est supposé que les seuils d'exposition étant à l'origine d'une perte de l'audition temporaire provoquent également des modifications comportementales. Les niveaux de bruits provoquant une perte de l'audition temporaire (et des modifications comportementales) chez ces espèces sont supposés se produire jusqu'à une distance de 140 m autour de la source de bruit, ce qui correspond à une zone de 0,07 km². On estime que les niveaux sonores sont suffisamment élevés pour provoquer un PTS dans un rayon minimal de 30 m autour du site d'implantation.

Le risque de provoquer une perte d'audition permanente chez les cétacés sensibles aux moyennes fréquences est évalué en prenant en compte le cumul de bruit résultant du battage de pieux avec une cadence de répétition rapprochée de 30 coups/minute. Deux scénarios sont avancés : avec ou sans procédure soft-start. Comme indiqué dans le Tableau 17, le rayon dans lequel un seuil de bruit critique peut être atteint sans procédure soft-start passe, au cours de l'opération de battage, de 280 m lors de la première minute à 410 m au bout de 10 min, à 470 m au bout de 30 min et jusqu'à 540 m au bout de 3 heures. Le scénario avec procédure soft-start réduit davantage les éventuelles distances nocives : Après 10 minutes, une distance de 170 m est atteinte, s'étendant à 290 m après 30 min, puis à 450 m après 3 heures de battage. En prenant en compte ces distances et le fait que les effaroucheurs de type pingers ou sealscarers sont également efficaces sur les dauphins (Cox, 2003), il existe peu de risque de provoquer une perte d'audition permanente auprès d'un individu de ces espèces : C'est pourquoi la zone critique dans laquelle une perte d'audition permanente peut se produire devrait être complètement évacuée si des mesures de dissuasion sont correctement prises.

(BioConsult, 2013).

ii. Impacts du battage des fondations du poste électrique (pieu de 3m de diamètre)

En se basant sur le diamètre réduit (3 m) des monopieux de l'OST, les distances de perturbation et les risques de PTS et TTS diminuent, réduisant de la même façon la zone affectée. Une perte d'audition temporaire (et des modifications comportementales) peut survenir suite aux émissions sonores

provoquées par le battage de monopieux de 3m jusqu'à 150 m (soit une zone inférieure à 0,05 km²) autour de la source. Les niveaux sonores entraînant des PTS ne seront pas atteints. Conformément à l'affirmation précédente, la zone potentiellement nocive pour les cétacés doit être évacuée à l'aide de procédures de dissuasion. (BioConsult, 2013).

iii. Impacts du battage simultané de deux monopieux de 7m de diamètre

Le niveau d'impact du battage en parallèle dépend principalement de la distance séparant les deux sites d'implantation. Si les sites d'implantation sont proches l'un de l'autre, la zone à risque est légèrement plus grande que prévu pour un pieu unique (Figure 47, à gauche). Cependant, l'augmentation du nombre de coups et le surcroît sonore dans les zones où les bruits se chevauchent doivent être pris en compte. Dans cette étude, on estime que la distance entre les monopieux dont le battage a lieu en parallèle est de 7,1 km. Dans ce cas, les perturbations par émission de bruits peuvent entraîner des modifications comportementales chez les cétacés sensibles aux moyennes fréquences jusqu'à une distance de 0,15km, ce qui correspond à une zone de 0,5 km² par pieu (par manque de données, les distances pouvant entraîner une perte d'audition temporaire sont supposées être les mêmes que les distances dans lesquelles peuvent survenir des modifications comportementales). On peut parler de PTS dans un rayon de 60 m autour de la source, soit une zone inférieure à 0,05 km². (BioConsult, 2013).

iv. Impacts liés aux autres sources de bruit

À part le battage, aucune activité n'est supposée atteindre des seuils d'impact de bruits créant des modifications comportementales, des pertes d'audition temporaires et encore moins des pertes d'audition permanentes. C'est pourquoi les effets des travaux de construction (à l'exception du battage) sont considérés comme négligeables en termes d'impact sur les mammifères marins. (BioConsult, 2013).

V.4.2.d. Impacts vis-à-vis des espèces sensibles aux basses fréquences

Le petit rorqual du Nord (*Balaenoptera acutorostrata*) est la seule espèce de la classe basse fréquence au sens de Southall (2007) susceptible de fréquenter la zone à proximité du site d'implantation (BioConsult, 2013).

i. Impact du battage du monopieu de diamètre 7m

Aucune information n'est disponible sur les seuils de bruits entraînant des modifications comportementales. Par conséquent, il est supposé que les seuils d'exposition étant à l'origine d'une perte de l'audition temporaire provoquent également des modifications comportementales. Les niveaux de bruits provoquant une perte de l'audition temporaire (et des modifications comportementales) chez ces espèces sont supposés se produire jusqu'à une distance de 480 m autour de la source de bruit, ce qui correspond à une zone de 0,7 km². Un PTS est possible dans un rayon de 90 m autour de la source, ce qui correspond à une zone inférieure à 0,05 km².

Le risque de provoquer une perte d'audition permanente chez les cétacés sensibles aux basses fréquences est évalué en prenant en compte le cumul de bruits résultant du battage de pieux avec une cadence de répétition rapprochée de 30 coups/minute. Deux scénarios sont avancés : avec ou sans procédure soft-start. Le rayon dans lequel un seuil de bruit critique peut être atteint sans procédure soft-start passe, au cours de l'opération de battage, de 340 m lors de la première minute à 780 m au bout de 10 min, à 920 m au bout de 30 min et jusqu'à 1,3 km au bout de 3 heures. Le scénario avec procédure soft-start réduit davantage les éventuelles distances nocives : Après 10 minutes, la distance est de 200 m. Elle s'étend ensuite à 390 m après 30 min, puis à 870 m après 3 heures de battage. En prenant en compte ces distances et le fait que les effaroucheurs de type pingers ou sealscarers sont également efficaces sur les espèces sensibles aux basses fréquences (Morton, 2002), il existe peu de risque de provoquer une perte d'audition permanente auprès d'un individu de ces espèces : C'est pourquoi la zone critique dans laquelle une perte d'audition permanente peut se produire devrait être complètement évacuée si des mesures de dissuasion sont correctement prises. (BioConsult, 2013)

ii. Impacts du battage des fondations du poste électrique (pieu de 3m de diamètre)

En se basant sur le diamètre réduit (3 m) des monopieux de l'OST, les distances de perturbation et les risques de PTS et TTS diminuent, réduisant de la même façon la zone affectée. Une perte d'audition temporaire (et des modifications comportementales) peut survenir suite aux émissions sonores provoquées par le battage de monopieux de 3m jusqu'à 150 m (soit une zone inférieure à 0,05 km²) autour de la source. Les niveaux sonores entraînant des PTS ne seront pas atteints. Conformément à l'affirmation précédente, la zone potentiellement nocive pour les cétacés doit être évacuée à l'aide de procédures de dissuasion. (BioConsult, 2013)

iii. Impacts du battage simultané de deux monopieux de 7m de diamètre:

Le niveau d'impact du battage en parallèle dépend principalement de la distance séparant les deux sites d'implantation. Si les sites d'implantation sont proches l'un de l'autre, la zone à risque est légèrement plus grande que prévu pour un pieu unique (Figure 47, à gauche). Cependant, l'augmentation du nombre de coups et le surcroît sonore dans les zones où les bruits se chevauchent doivent être pris en compte. Dans cette étude, on estime que la distance entre les monopieux dont le battage a lieu en parallèle est de 7,1 km (voir Figure 47, à droite). Dans ce cas, les perturbations par émission de bruits peuvent entraîner des modifications comportementales chez les cétacés sensibles aux basses fréquences jusqu'à une distance de 0,59km, ce qui correspond à une zone de 1,1 km² par pieu (par

manque de données, on estime que les distances pouvant provoquer une perte d'audition temporaire sont les mêmes que les distances dans lesquelles peuvent survenir des modifications comportementales). On peut parler de PTS dans un rayon de 230 m autour de la source, soit une zone inférieure à 0,2 km².

Le niveau d'impact du battage simultané de deux pieux de diamètre 7m dépend principalement de la distance entre les deux ateliers de battage. Si les sites d'implantation sont proches l'un de l'autre (940m), la zone affectée s'en trouve légèrement plus grande que ce qui est prévu pour un pieu unique (Figure 47, gauche). Dans cette étude, la distance entre les deux monopieux dont le battage a lieu simultanément est de 7,1 km (Figure 47, droite). Dans ce cas, les perturbations par émission de bruits peuvent entraîner des modifications comportementales chez les cétacés sensibles aux moyennes fréquences jusqu'à une distance de 0,59km, ce qui correspond à une zone de 1,1 km² par pieu (par manque de données, les distances pouvant entraîner une perte d'audition temporaire sont supposées être les mêmes que les distances auxquelles peuvent survenir des modifications comportementales). Le seuil de dommage physiologique permanent est atteint dans un rayon de 230 m autour de la source, soit une superficie inférieure à 0,2 km². (BioConsult, 2013)

V.4.2.e. Conclusion

Le battage (simultané) de monopieux de 7 m et de 3 m peut éventuellement provoquer des PTS et TTS chez les mammifères marins, plus particulièrement chez les cétacés sensibles aux hautes fréquences et chez les pinnipèdes. Concernant les scénarios de seuils de bruit cumulatif, les individus de chaque groupe peuvent être exposés à des niveaux de bruits élevés pouvant provoquer un PTS dès le premier coup, même s'ils se trouvent à une distance de plus de 1 km de la source. Toutes les autres activités liées aux sites d'implantation ont des effets très localisés en matière de modifications comportementales jusqu'à 1,56 km (ensouillage et positionnement) et en matière de TTS à des distances inférieures à 140 m (ensouillage et forage) et n'entraînent pas de modifications comportementales ni de lésions durables sur les mammifères marins. (BioConsult, 2013)

Chapitre VI. Scénarios de réduction des risques vis-à-vis des mammifères marins

Le battage (simultané) de monopieux de 7 m et de 3 m peut éventuellement provoquer des dommages physiologiques temporaires et permanents chez les mammifères marins, et en particulier chez les cétacés de la classe haute fréquence et les pinnipèdes. En conséquence, il convient de mettre en place une procédure de soft start afin de diminuer l'énergie sonore introduite en début de phase de battage, de permettre aux mammifères de s'éloigner de l'atelier de battage en évitant d'atteindre les seuils cumulatifs. Parallèlement des mesures d'effarouchement seront mises en œuvre pour interdire la présence d'un animal dans un rayon d'un kilomètre autour de l'atelier.

A partir des résultats et analyses des impacts sonores pour une seconde d'activité, la mise en œuvre de mesures de réduction ou d'évitement doit être évaluée. Ce chapitre étudie les effets bénéfiques d'une mesure de réduction en mettant en place une procédure du type « soft-start » lors des phases de battage de monopieu.

VI.1. Description technique du soft start ou départ progressif

Dans le cas de l'enfoncement d'un pieu par battage, la Société du Parc de Guérande envisage la mise en place d'une procédure de soft start ou départ progressif. Cette procédure se décompose en différentes phases (de #1 à #5) au cours de laquelle l'énergie du marteau augmente de manière progressive et de la même manière la cadence de coups par minute (Tableau 19). L'objectif recherché est de contrôler les effets cumulatifs des risques de dépassement de seuils.

En pratique, la Société du Parc de Guérande propose un départ progressif pendant les 30 premières minutes de l'opération. A l'issue le marteau est en fonctionnement nominal (100% de l'énergie et cadence de 35 coups par minute) jusqu'à l'enfoncement total du pieu. Cette procédure entraîne un allongement la durée totale pour l'enfoncement du pieu de moins d'une demi-heure.

	Soft Start (départ progressif)				Fonctionnement nominal
Durée (en seconde)	450	450	450	450	NA
Proportion de l'énergie maximale du marteau (en %)	20	40	60	80	100
Cadence (Nbre de coups /min)	10	10	15	15	35

Tableau 19 : Description technique des paramètres du Soft Start qui consiste, pendant la première demi-heure du battage à réaliser une augmentation progressive et par paliers de la cadence du battage et de l'énergie mise en œuvre (source : Société du Parc de Guérande)

VI.2. Evaluation de la réduction du risque biologique par la mise en œuvre d'un soft start

VI.2.1. Analyse physique

Les paragraphes ci-après reportent l'évolution des distances autour de l'atelier de battage de pieu de diamètre 7m associées au dépassement du seuil de dommage physiologique permanent. Les tableaux constituent donc une évaluation des distances d'impact de dépassement du seuil de dommage physiologique permanent pour différents temps d'exposition sonore effectifs, c'est-à-dire sans interruption, pour la saison hiver et pour les différentes espèces susceptibles d'être présentes sur la zone d'étude. Les distances sont exprimées en kilomètre.

Concernant le battage de pieu, il est supposé durant l'enfoncement du pieu une atténuation progressive de l'énergie sonore émise pour chaque coup en raison du confinement progressif de la

source sonore dans le substrat. Cette atténuation peut atteindre 10dB en phase finale de l'enfoncement (Lübben, Neumann, & Gabriel, 2013). Cette évolution ne tient pas compte du changement de substrat au cours de l'enfoncement du pieu. Concernant les mammifères marins susceptibles d'être présents dans la zone d'étude, Il est supposé que l'animal ne se déplace pas pendant les 180 minutes d'exposition aux bruits de l'atelier de battage. Ces distances ne tiennent donc pas compte d'un éventuel instinct de fuite dans une direction opposée à la source de bruit et qui aurait comme conséquence de réduire son exposition sonore instantanée.

Les résultats sont présentés sans et avec procédure de démarrage progressif. Comme le montre les évolutions des distances de risques permanents cumulés en fonction du temps, l'effet du soft start est significatif pour toutes les classes d'espèces de mammifères marins, car il permet la réduction jusqu'à 50% des distances pour les premiers instants du battage. L'objectif recherché de « laisser du temps pour fuir » à un spécimen qui serait présent au voisinage de l'atelier et qui n'aurait pas été détecté est donc pleinement atteint. La distance maximale du risque cumulé dans ces hypothèses de calcul est toujours inférieure à 1 kilomètre jusqu'à 180 minutes d'exposition en continue pour les espèces hautes, moyennes et basses fréquences. Cette distance est atteinte après 10 à 30 minutes de battage sans interruption pour le marsouin commun et les pinnipèdes

Les distances de risque sont suffisamment faibles pour qu'il n'y ait pas d'effet saisonnier sur ces résultats.

VI.2.1.a. Risque cumulé pour les Pinnipèdes

Temps (min)	1	5	10	30	60	180
Sans Soft Start	0.92	1.45	1.71	2.04	2.21	2.32
Avec Soft Start	0.21	0.36	0.50	1.02	1.66	1.94

Tableau 20 : Estimation de la distance (en kilomètre) de dépassement du seuil de dommage physiologique permanent (PTS) pour différents temps d'exposition sonore. Saison Hiver. Opération de battage de pieu de 7m de diamètre avec ou sans la mise en place d'une procédure de Soft Start. Pinnipèdes. Hypothèse statique.

VI.2.1.b. Pour le marsouin commun

Temps (min)	1	5	10	30	60	180
Sans Soft Start	1.31	2.18	2.61	3.19	3.50	3.67
Avec Soft Start	0.38	0.53	0.74	1.47	2.53	3.00

Tableau 21 : Estimation de la distance (en kilomètre) de dépassement du seuil de dommage physiologique permanent (PTS) pour différents temps d'exposition sonore. Saison Hiver. Opération de battage de pieu de 7m de diamètre avec ou sans la mise en place d'une procédure de Soft Start. Marsouin commun. Hypothèse statique.

VI.2.1.c. Pour les espèces hautes fréquences

Temps (min)	1	5	10	30	60	180
Sans Soft Start	0.25	0.34	0.37	0.42	0.45	0.46
Avec Soft Start	0.00	0.09	0.16	0.27	0.36	0.40

Tableau 22 : Estimation de la distance (en kilomètre) de dépassement du seuil de dommage physiologique permanent (PTS) pour différents temps d'exposition sonore. Saison Hiver. Opération de battage de pieu de 7m de diamètre avec ou sans la mise en place d'une procédure de Soft Start. Espèces hautes fréquences. Hypothèse statique.

VI.2.1.d. Pour les espèces basses fréquences

Temps (min)	1	5	10	30	60	180
Sans Soft Start	0.41	0.56	0.67	0.80	0.87	0.90
Avec Soft Start	0.22	0.28	0.32	0.43	0.65	0.76

Tableau 23 : Estimation de la distance (en kilomètre) de dépassement du seuil de dommage physiologique permanent (PTS) pour différents temps d'exposition sonore. Saison Hiver. Opération de battage de pieu de 7m de diamètre avec ou sans la mise en place d'une procédure de Soft Start. Espèces basses fréquences. Hypothèse statique.

VI.2.1.e. Pour les espèces moyennes fréquences

Temps (min)	1	5	10	30	60	180
Sans Soft Start	0.28	0.37	0.41	0.47	0.51	0.54
Avec Soft Start	0.00	0.13	0.19	0.29	0.40	0.45

Tableau 24 : Estimation de la distance (en kilomètre) de dépassement du seuil de dommage physiologique permanent (PTS) pour différents temps d'exposition sonore. Saison Hiver. Opération de battage de pieu de 7m de diamètre avec ou sans la mise en place d'une procédure de Soft Start. Espèces moyennes fréquences. Hypothèse statique.

VI.2.2. Interprétation biologique

Pour chaque espèce, le risque de provoquer une perte d'audition permanente est évalué en prenant en compte l'accumulation du bruit résultant des expositions multiples, typiques dans le cas du battage d'un pieu de diamètre 7m avec une cadence de répétition rapprochée de 30 coups/minute (le taux des coups de marteau dépend de l'équipement technique utilisé). Deux scénarios sont présentés : avec ou sans procédure de démarrage progressif ou « soft-start ».

i. Risque cumulé vis-à-vis du marsouin commun

Comme indiqué dans le Tableau 21, le rayon dans lequel un seuil de bruit critique peut être atteint sans soft-start augmente au cours de l'opération de battage de 1,31 km pendant la première minute à 2,18 km après 10 min, 3,19 km après 30 min et jusqu'à 3,67 km après 3 heures. Les animaux se trouvant à une distance de 1 à 2 km de la source seront immédiatement exposés à des niveaux sonores provoquant une perte d'audition permanente. En supposant qu'aucun marsouin ne se trouve à moins d'un kilomètre de la source au début du battage (par la mise en œuvre d'une procédure d'effarouchement), les marsouins devraient s'éloigner de 1,18 km de la source dans les dix premières minutes et de 2,19 km dans la première demi-heure pour éviter une exposition au bruit à des niveaux dangereux. La vitesse de nage nécessaire à cet effet est d'environ 7,1 km/h. Les marsouins sont tout à fait en mesure d'atteindre cette vitesse (des spécimens évoluant jusqu'à 16 km/h ont été observés lors de l'utilisation d'émetteurs acoustiques (Culik, 2001), même si les résultats divergent selon les classes d'âge. La mise en place d'une procédure de soft-start offre au marsouin davantage de temps pour s'éloigner de l'atelier de battage, il existe donc peu de risque de provoquer une perte d'audition permanente auprès d'un individu de cette espèce. En utilisant le soft-start, les distances pour lesquelles le seuil de dommage permanent est atteint passent de 380 m après la première minute à 740 m après 10 min, 1,47 km après 30 min et 3 km après trois heures de battage. Si un rayon d'un kilomètre, autour de l'atelier, est préservé grâce à des mesures d'effarouchement les animaux devront nager 740 m et à une vitesse de 1,5 km/h pour éviter une perte d'audition permanente.

ii. Risque cumulé vis-à-vis du phoque gris

Comme indiqué dans le Tableau 20, le rayon dans lequel un seuil de bruit critique peut être atteint sans soft-start augmente au cours de l'opération de battage de 0,9 km lors de la première minute à 1,71 km au bout de 10 min, à 2,04 km au bout de 30 min et jusqu'à 2,32 km au bout de 3 heures. Les animaux se trouvant à une distance de un kilomètre de la source seront immédiatement exposés à des niveaux sonores provoquant une perte d'audition permanente. En supposant qu'aucun pinnipède ne se trouve à moins d'un kilomètre de la source au début du battage (en raison des procédures d'effarouchement), les pinnipèdes devraient s'éloigner de 0,71 km dans les dix premières minutes et de 1,04 km dans la première demi-heure afin d'éviter une exposition au bruit à des niveaux dangereux. La vitesse de nage nécessaire à cet effet est d'environ 4,2 km/h et les pinnipèdes sont tout-à-fait en mesure d'atteindre cette vitesse (des vitesses de fuite pouvant atteindre 18 km/h ont été observées (Riedman, 1990)). Une procédure de soft_start permet aux pinnipèdes de s'éloigner de la source de bruits, il existe peu de risques de provoquer une perte d'audition permanente chez un individu de cette espèce. Si la procédure de soft start est mise en œuvre, les distances pour lesquelles le dommage physiologique permanent est provoqué passent de 210 m après la première minute à 500 m après 10 min, 1,02 km après 30 min et 1,94 km après trois heures de battage. Si un rayon d'un kilomètre est préservé autour de l'atelier de battage grâce à des mesures de dissuasion, les animaux ne devraient pas être exposés à un niveau d'exposition sonore susceptible d'entraîner un dommage physiologique permanent durant les trente premières minutes de battage mais les pinnipèdes ne doivent pas être présents dans une rayon de deux kilomètres autour de l'atelier dans les heures suivant le début du battage.

iii. Risque cumulé chez les cétacés de la classe moyenne fréquence

Comme indiqué dans le Tableau 24, le rayon dans lequel un seuil de bruit critique peut être atteint sans soft-start augmente au cours de l'opération de battage de 280 m lors de la première minute à 410 m au bout de 10 min, à 470 m au bout de 30 min et jusqu'à 540 m au bout de 3 heures. La procédure de soft-start réduit significativement des distances de risque : après 10 minutes, la distance de risque de perte d'audition permanente est de 170 m, s'étend à 290 m après 30 min, puis à 450 m après 3 heures de battage. En prenant en compte ces distances, les dispositifs de dissuasion (les émetteurs acoustiques et effaroucheurs), ont également des effets probants sur les espèces des dauphins (Cox, 2003). Si cette mesure de dissuasion est prise, il existe peu de risques de provoquer une perte d'audition permanente chez les individus de cette espèce.

iv. Risque cumulé vis-à-vis du petit rorqual

Comme indiqué dans le Tableau 23, le rayon dans lequel un seuil de bruit critique peut être atteint sans soft-start augmente au cours de l'opération de battage de 340 m lors de la première minute à 780 m au bout de 10 min, à 920 m au bout de 30 min et jusqu'à 1,3 km au bout de 3 heures. Si la procédure de soft start est mise en œuvre, les distances pour lesquelles le dommage physiologique permanent est provoqué passent de 200 m après 10 minutes. Elle s'étend ensuite à 390 m après 30 min, puis à 870 m après 3 heures de battage. En prenant en compte ces distances, les dispositifs de dissuasion (les émetteurs acoustiques et effaroucheurs), ont également des effets probants sur les espèces de la classe basse fréquence (Morton, 2002). Si cette mesure de dissuasion est prise, il existe peu de risques de provoquer une perte d'audition permanente chez les individus de cette espèce.

v. Conclusion

Concernant les scénarios de seuils de bruit cumulatif, les individus de chaque groupe peuvent être exposés à des niveaux de bruits élevés pouvant provoquer un PTS dès le premier coup, même s'ils se trouvent à une distance de plus de 1 km de la source. Les procédures soft-start contribuent

grandement à réduire les risques et permettent à chacun des groupes de s'éloigner de la source de bruits afin d'éviter qu'ils ne soient exposés à des niveaux sonores nocifs. (BioConsult, 2013)

Chapitre VII. Gestion des risques et recommandations

Les mesures de gestion et les recommandations sont proposées par BioConsult (BioConsult, 2013).

VII.1. Procédures et dispositifs de dissuasion acoustique

Les dispositifs de dissuasion acoustique (ADD) sont spécialement conçus pour éloigner les mammifères marins, par ex. pour protéger les phoques en chasse des filets de pêche. Ces dispositifs utilisent des sons sous-marins puissants et se distinguent par leur niveau sonore émis (SMRU I. , 2007):

- ✓ **Émetteurs acoustiques** : dispositifs dont le niveau d'émission est inférieur à 185dB re 1μPa @ 1m ;
- ✓ **Dispositifs pour effrayer les phoques** (sealscarers) : dispositifs dont le niveau d'émission est supérieur à 185dB re 1μPa @ 1m.

VII.1.1. Émetteurs acoustiques

Les émetteurs acoustiques sont principalement utilisés dans l'aquaculture et la pêche pour tenir les mammifères marins à l'écart des filets et réduire les prises accidentelles de cétacés. Ces dispositifs fonctionnent à des fréquences moyennes et hautes (2,5 à 100 kHz) et à des fréquences harmoniques plus élevées allant jusqu'à 180kHz. Même si ces dispositifs ont une efficacité prouvée, l'accoutumance des espèces au bruit a été documentée et est une préoccupation majeure concernant l'utilisation des émetteurs acoustiques (Teilmann, 2006)(Cox *et al.* 2001). En prenant en compte les différences interspécifiques de sensibilité auditive des mammifères marins, la puissance de ces dispositifs doit être spécifiquement établie pour les espèces cibles.

Dans la zone d'étude, les deux espèces identifiées comme étant probablement les plus affectées par les émissions sonores des activités de construction sont le marsouin commun (*Phocoena phocoena*) et les dauphins.

Sur la base de la documentation disponible, chaque étude menée sur les effets des émetteurs acoustiques sur les marsouins communs a montré un degré important d'exclusion, même si certains rapports fournissent des observations apparemment contradictoires sur l'accoutumance suite à une utilisation intense des émetteurs acoustiques (Gordon, 2002).

En revanche, les émetteurs acoustiques semblent avoir peu d'effets négatifs sur les pinnipèdes (SMRU I. , 2007).

Il n'existe que peu de données disponibles sur les espèces considérées comme visiteurs occasionnels de la zone du projet. Sur les grands dauphins (*Tursiops truncatus*), par exemple, les émetteurs acoustiques semblent avoir un effet de surprise, de gêne ou d'alerte : les animaux contournent ainsi légèrement les filets (Cox, 2003), mais n'ont aucun comportement de fuite (Buscaino G., 2009).

VII.1.2. Dispositif pour effrayer les phoques

L'efficacité de ces dispositifs provient de leurs niveaux de puissance élevés dans la plage de meilleure sensibilité auditive des phoques (8 à 17 kHz).

De manière surprenante, il n'existe aucun autre article publié qui prouve un déplacement effectif des phoques. Cela peut être dû au fait que les dispositifs d'effarouchement utilisés sur les installations piscicoles ou pièges à poissons sont souvent activés en permanence pendant de longues

périodes. De plus, ces dispositifs sont déployés à proximité de ressources particulièrement recherchées par les phoques.

Le marsouin commun a montré une forte réaction aversive à ce type de dispositif à une distance d'1 ou 2 km (Brandt, 2011) (Brandt *et al.* 2012). On suppose que le marsouin commun fuit sur plus d'1 km. Il existe également des preuves documentées d'un comportement de fuite et d'évitement des orques (*Orcinus orca*) suite à l'utilisation d'ADD (Morton, 2002), mais aucune donnée publiée n'est disponible pour d'autres espèces cibles du projet, comme des grands dauphins ou des globicéphales. Pour ces espèces, on estime que leur réaction est similaire à celle des marsouins communs.

Cependant, une combinaison entre une activation intermittente d'un émetteur acoustique et d'un dispositif pour effrayer les phoques, suivie d'une augmentation progressive du niveau sonore et d'un battage à énergie réduite sont recommandées comme procédure de dissuasion appropriée. La faible utilisation des émetteurs acoustiques et des dispositifs ADD est peu susceptible d'engendrer un phénomène d'accoutumance. Si l'on part du principe que la distance à risque susceptible d'entraîner un PTS chez les phoques et les marsouins communs est inférieure à celle mentionnée au chapitre 3, les individus situés potentiellement à proximité du site de battage des pieux auront quitté la zone de danger avant le lancement des principales opérations.

VII.2. Surveillance pendant le battage des pieux

Afin de prévenir l'exposition des mammifères marins à des niveaux sonores dangereux autour de l'atelier, il est d'usage de surveiller la zone à risques. Cette surveillance est généralement réalisée par observation visuelle depuis un bateau. Comme le battage des pieux peut se dérouler pendant la nuit ou en conditions météorologiques rendant difficiles de telles observations, cette méthode présente un risque élevé de non détection. Il est ainsi recommandé d'utiliser une technique de surveillance acoustique passive (PAM), par hydrophones remorqués ou à poste fixe. La technique la plus appropriée pour la mise en œuvre du projet Saint-Nazaire ne peut pas encore être définie à ce stade, car cela dépendra des différents aspects pratiques qui surviendront au cours des travaux d'implantation. Il est donc conseillé d'établir un premier plan détaillé des mesures de réduction et de surveillance à mettre en œuvre avant le lancement des travaux.

Bibliographie

- Applied Physics Laboratory. (October 1994). *APL-UW High Frequency Ocean Environmental Models HandBook*. Washington DC, USA: University of Washington.
- Amante, C. a. (2009). *ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis*. NOAA.
- American National Standards Institute. (2004). *Specification for Octave, Half-Octave, and Third Octave Band Filter Sets*.
- Betke. (2008). *Measurement of wind turbine construction noise at Horns Rev II*. ITAP Report no.: 1256-08-a-KB.
- Betke, K. (2006). *Measurement of underwater noise emitted by an offshore wind turbine at Horns Rev*. ITAP – Institut für technische und angewandte Physik GmbH.
- BioConsult. (2013). *Supplément "Étude d'Impact Acoustique du Parc Éolien en Mer du Saint Nazaire"*.
- Blew, J. D. (2006). *Investigations of the bird collision risk and the responses of harbour porpoises in the offshore wind farms at Horns Rev, North Sea and Nysted, Baltic Sea, in Denmark*.
- Bowen, W. D. (1997). Role of marine mammals in aquatic ecosystems. *Ecology Progress, Series* 158:267-274.
- Boyd, I. B. (2008). *The effects of anthropogenic sound on marine mammals - a draft research strategy*. European Science Foundation and Marine Board.
- Boyer, T., Levitus, S., Garcia, H., Locarnini, R., Stephens, C., & Antonov, J. (2004). Objective Analyses of Annual, Seasonal, and Monthly Temperature and Salinity for the World Ocean on a 1/4degree Grid. *International Journal of Climatology*, 25,, 931-945.
- Brandt, M. J. (2011). Responses of harbour porpoises to pile driving at the Horns Rev II offshore wind farm in the Danish North Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 421: 205-216.
- Buscaino G., B. G. (2009). *Pinger affects fish catch efficiency and damage to bottom gill nets related to bottlenose dolphins*. *Fish Sci* 75(75): 537-544.
- Caiti, A., Hermand, J.-P., Jesus, S. M., & Porter, M. B. (2000). *Experimental acoustic inversion methods for exploration of th shallow water environment*. The Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Collins, M. (1994). Generalization of the Split-Step Pade. *J. Acoust. Soc. Am.*, 96, 382-385 .
- Collins, M., Cederberg, R. J., King, D., & Chin-Bing, S. (1996). Comparison of Algorithms for Solving Parabolic Wave Equations. *J. Acoust. Soc. Am.*, 100, 178-182.
- Commission Européenne. (2010). Decision relative aux critères et aux normes méthodologiques concernant le bon état écologique des eaux marines. *Journal officiel de l'Union européenne*, 2010/477/UE.
- Cox, T. M. (2003). Behavioural responses of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, to gillnets and acoustic alarms. *Biological Conservation* 115: 203-212.
- Culik, B. K. (2001). Reactions of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) and herring (*Clupea harengus*) to acoustic alarms. *Marine Ecol. Prog. Ser. Vol.* 211 255-260.
- De Brooke, M. L. (2004). The food consumption of the world's seabirds. *Proc. Of the Royal Soc. Of Lond.*, (pp. 271:246-248).
- De Jong, C., Ainslie, M., Benda-Beckman, A., & Blacquiére, G. (2008). *Pile driving noise and acoustic measurement*. The Netherland: TNO.

- DosSantos. (2010). Monitoring underwater explosions in the habitat of resident bottlenose dolphins. *J. Acoust. Soc. Am.* 128 (6).
- Environmental, Talisman. (2005). *Potential Impacts of Underwater Noise, Projet Beatrice*.
- Erbe. (2000). A software model to estimate zones of impact on marine mammals around anthropogenic noise. *J. Acoust. Soc. Am.* 108 (3), Pt. 1,.
- European Parliament. (2004). *Resolution on the environmental effects of high-intensity active Naval sonar*. Brussels: European Parliament.
- Fallon. (1984). *Dynamic response of naval structures to the application to predict underwater explosions*.
- Folegot, T. (2010a). Vers la prévision du bruit anthropique. *Surveillance, étude et reconnaissance de l'environnement par acoustique discrète*. Brest.
- Folegot, T. (2010b). The most intense ocean noise pollution around the Strait of Gibraltar concentrates into bubbles located at cetacean prey hunting depths. *Annual Congress of the European Cetacean Society*. Strahlsund, Germany.
- Folegot, T. (2010c). Ship traffic noise distribution in the Strait of Gibraltar: an exemplary case for monitoring global ocean noise. *The Effect of Noise on Aquatic Life*. Cork, Ireland: Springer.
- Folegot, T., & Clorennec, D. (2013). A Monté-Carlo approach to anthropogenic sound mapping. *Underwater Acoustics Conference*. Corfu, Greece: Institute of Acoustics.
- Folegot, T., Clorennec, D., Stephan, Y., Gervaise, C., & Kinda, B. (2012). Now-casting ambient noise in high anthropogenic pressure areas. *European Conference on Underwater Acoustics*. Edinburgh, Scotland.
- Gervaise. (2012). Shipping noise in whale habitat: Characteristics, sources budget, and impact on belugas in Saguenay–St. Lawrence Marine Park hub. *J. Acoust. Soc. Am.* 132 (1),.
- Gordon, J. a. (2002). *Potential Impact of Acoustic Deterrent Devices on Scottish Marine Wildlife*. Scottish Natural Heritage: 63.
- Guiesse, L., & Sabathié, P. (1964). *Acoustique Sous-Marine*. Paris: Dunod.
- Halvorsen, P. N. (2011). *Effects of Tidal Turbine Noise on Fish Hearing and Tissues*.
- Hammond, K. A. (2002). Abundance of harbour porpoise and other cetaceans in the North Sea and adjacent water. *J Appl Ecol* 39: 361-376.
- Hammond, P. S. (2003). *Background information on marine mammals relevant to Strategic Environment Assessment 4*. St Andrews, Seam Mammal Research Unit, Gatty Marine Laboratory, University of St Andrews.
- Hastings, M. C., & Popper, A. N. (2005). *Effects of sound on fish*. Report to Jones and Stokes for California Department of Transportation.
- Hildebrand. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 395:5-20.
- Hildebrand, J. A. (2005). Impacts of anthropogenic sound. Dans J. e. Reynolds, *Marine mammal research: conservation beyond crisis* (pp. 101-124). Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press.
- Houser, D. S. (2006). Variation in the hearing sensitivity of a dolphin population determined through the use of evoked potential audiometry. *Journal of the Acoustical Society of America* 120: 4090-4099.
- International Fund for Animal Welfare. (2008). *Ocean Noise: turn it down, a report on ocean noise pollution*. Yarmouth Port, Massashusets, USA: IFAW International headquarters.

- International Maritime Organisation. (2009). *Noise from commercial shipping and its adverse effects on marine life*. Marine Environment Protection Committee.
- Jensen, F. B., Kuperman, W. A., Porter, M. B., & Schmidt, H. (2000). *Computational Ocean Acoustics* (Vol. AIP Series in Modern Acoustics and Signal Processing). Springer.
- Jones, A., J., S., J., D. A., & P.A., C. (2009). Modelling the acoustic reflection loss at the rough ocean surface. *Proceeding of Acoustics 2009*. Adelaide, Australia: Australian Acoustical Society.
- Kastelein. (2012). Hearing threshold shifts and recovery in harbor seals (*Phoca vitulina*) after octave-band noise exposure at 4 kHz. *J. Acoust. Soc. Am.* 132 (4).
- Kastelein, R. A. (2002). Audiogram of a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) measured with narrow-band frequency-modulated signals. *J. Acoust Soc Am* 112(1): 334-344.
- Kastelein, R. A. (2006). Differences in the response of a striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*) and a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) to an acoustic alarm. *Marine Environmental Research* 61: 363-378.
- Kastelein, R. A. (2013). Hearing thresholds of two harbour seals (*Phoca vitulina*) for playbacks of multiple pile driving strike sounds. *J.A.S.A* 134.
- Laboratory, A. P. (October 1994). *APL-UW High Frequency Ocean Environmental Models Handbook*. APL-UW TR 9407 AEAS 9501, University of Washington.
- Lucke, K. e. (2007). Tolerance of harbour porpoise hearing to single airgun impulses. *Year of the dolphin in Europe - German Oceanographic Museum, Stralsund, Germany*.
- Lucke, K., Siebert, U., Lepper, P. A., & Blanchet, M.-A. (June 2009). Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismicairgun stimuli. *J. Acoust. Soc. Am.*, 125 (6).
- Lurton. (2007). *Analyse des risques pour les mammifères marins liés à l'emploi des méthodes acoustiques en océanographie*. Ifremer.
- Madsen, P., Wahlberg, M., Tougaard, J., Lucke, K., & Tyack, P. (2006). Wind turbine underwater noise and marine mammals: implications of current knowledge and data needs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 309: 279–295.
- Marine Mammal Commission. (2007). *The Marine Mammal Protection Act of 1972 as ammended 2007*. Silver Spring, MD, USA: NOAA's National Marine Fisheries Service.
- Martinez L, D. W. (2011). *Contributions thématiques concernant l'état écologique des populations de mammifères marins dans les sous-régions marines Golfe de Gascogne, Mers Celtiques, Manche-Mer du Nord et Méditerranée Occidentale dans le cadre de la DCSMM*. Rapport CRMM pour Ifremer - Agence des Aires Marines Protégées - Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable .
- Matuschek R., B. K. (2009). Measurements of Construction Noise During Pile Driving of Offshore. *NAG/DAGA Rotterdam*, p.262.
- MEDDE. (2010). *Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens*. Paris, France: Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer.
- Ministère de l'écologie, d. d. (2013). *Cahier des charges de l'appel d'offres portant sur des installations éoliennes de production d'électricité en mer en France métropolitaine*.
- Ministere de l'Ecologie. (2011, Juillet 1). Decret fixant la liste des mammifères marins protégés sur le territoire national et les modalités de leur protection. France.
- Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer. (2010). *Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens*. Paris, France: Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer.

- Morton, A. B. (2002). *Displacement of Orcinus orca (L.) by high amplitude sound in British Columbia, Canada*. ICES J. mar. Sci. 59: 71-80.
- MyOcean. (2011-2012). *Ocean monitoring and forecasting*. Récupéré sur <http://www.myocean.eu.org>
- National Research Council. (2003). *Ocean Noise and Marine Mammals*. The National Academies Press.
- National Research Council. (2005). *Marine Mammal Populations and Ocean Noise: Determining When Noise Causes Biologically Significant Effects*. Washington DC: The National Academies Press.
- NATO Undersea Research Centre. (2004). *NURC diver and marine mammal risk mitigation rules*. La Spezia, Italy: NURC.
- Naval Submarine Medical Research Laboratory. (2002). *Recreational Diver Responses to 600-2500 Hz Waterborne Sound*. Naval Submarine Medical Research Laboratory.
- Nedwell. (2003). *Assessment of sub-sea acoustic noise and vibration from offshore wind turbines and its impact on marine wildlife; initial measurements of underwater noise during construction of offshore windfarms, and comparison with background noise*.
- Nedwell. (2008). *Measurement and assessment of background underwater noise and its comparison with noise from pin pile drilling operations during installation of the SeaGen tidal turbine device, Strangford lough*.
- Nedwell, J., & Howell, D. (2004). *A review of offshore windfarm related underwater noise sources*. Collaborative Offshore Wind Research Into The Environment.
- Nedwell, J., Langworthy, J., & Howell, D. (2004). *Underwater noise and offshore windfarms and construction*. BWEA Conference.
- Nowacek, D. P., Thorne, L. H., Johnston, D. W., & Tyack, P. L. (2007). Responses of cetaceans to anthropogenic noise. *Mammal Rev*, 37: 81-115.
- Parlement Européen. (2000). *Cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau*. Brussel: Parlement Européen.
- Parvin. (2008). *Assessment of underwater noise from dredging operations on the Hastings shingle bank*.
- Parvin S J, C. E. (2002). Guidance for diver exposure to underwater sound in the frequency range from 500 to 2500 Hz. *Proceedings of Undersea Defence Technology*. La Spezia, Italy.
- Payne, R., & Webb, D. (1971). Orientation by means of long range acoustic signaling in baleen whales. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 188:110-141.
- Pehlke, H. G. (2013). *Schlussbericht Entwicklung und Erprobung des Großen Blasenschleiers zur Minderung der Hydroschallemissionen bei Offshore Rammarbeiten*.
- Pelagis, U. V. (2013). *Etude préliminaire des interactions possibles entre le projet de parc éolien du Banc de Guérande et les mammifères marins (synthèse)*.
- Polglaze, U. A. (2011). *Potential effects of underwater blasting, piledriving and dredging on sensitive marine fauna in Darwin harbour*.
- Popov. (2011). Noise-induced temporary threshold shift and recovery in Yangtze finless porpoises *Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*. *J. Acoust. Soc. Am.* 130 (1).
- Popper, A. F., & McCauley, R. (2004). Anthropogenic sound: Effects on the behavior and physiology of fishes. *Marine Technology Soc. J.*, 37(4). 35-40.
- Porter, M. B., & Reiss, E. L. (1984). A numerical method for ocean-acoustic normal modes. *Journal of the Acoustical Society of America*, 76, 244-252.

- Richardson, W., Fraker, M., Wuersig, B., & Wells, R. (1985). Behaviour of bowhead whales, *Balaena mysticetus* summering in the Beaufort sea: Reactions to industrial activities. *Biological Conservation*, 32: 195-230.
- Richardson, W., Malme, C., Green, C., & Thomson, D. (1995). *Marine Mammals and Noise*. San Diego, CA: Academic Press.
- Riedman, M. (1990). *The Pinnipeds, Seals, Sea Lions, and Walruses*. University of California Press Berkeley/Los Angeles Oxford.
- Robinson. (2011). *Measurement of noise arising from marine aggregate dredging operations*.
- Robinson, A. R., & Lee, D. (1994). *Oceanography and acoustics: prediction and propagation models*. New-York, USA: American Institute of Physics.
- SMRU, I. (2007). *Assessment of the potential for acoustic deterrents to mitigate the impact on marine mammals of underwater noise arising from the construction of offshore windfarms.* Commissioned by COWRIE Ltd (project reference DETER-01-07).
- Southall, B., Bowles, A., Ellison, W., Finneran, J., Gentry, R., Greene, C., . . . Tyack, P. (2007). Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations. *Aquatic Mammals*, 33: 411-521.
- Stadler, J. H. (2009). *Assessing the effects to fishes from pile driving: Application of new hydroacoustic criteria*. Meeting Inter-Noise.
- Talisman Energy (UK) Limited. (2004). *Beatrice Wind Farm Demonstrator Project - Environmental Statement*.
- Teilmann, J. J. (2006). *Reactions of Captive Harbor Porpoises (Phocoena phocoena) to pinger-like sounds*. Mar. Mammal Sc. 22(2): 240-260.
- Thomsen, F., Lüdemann, K., Kafemann, R., & Piper, W. (2006). *Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish*. Newbury, U.K.: COWRIE Ltd.
- URL Valor Pelagis. (2011). *Contributions thématiques concernant l'état écologique des populations de mammifères marins dans les sous-régions marines Golfe de Gascogne, Mers Celtiques, Manche-Mer du Nord et Méditerranée Occidentale dans le cadre de la DCSMM*. Rapport CRMM pour Ifremer - Agence des Aires Marines Protégées - Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable.
- Wahlberg, M., & Westerberg, H. (2005). Hearing in fish and their reactions to sound from offshore wind farms. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 288, 295-309.
- Wales, S. C., & Heitmeyer, R. M. (2002). An ensemble source spectra model for merchant ship-radiated noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 111 (3).
- Wenz, G. (1962). Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *J. Acoust. Soc. Am.*, 34:1936-1956.
- Wilson, B., Carter, C., & Elliott, J. (2009). *A baseline acoustic survey of the Fall of Warness tidal test site and assessment of the acoustic output of the vessel CS Sovereign during ROV & Cable laying operations*. Oban, PA371QA, UK: Scottish Association for Marine Science.
- Würsig, B. G. (2000). Development of an air bubble curtain to reduce underwater noise of percussive piling. *Marine Environmental Research*, 79-93.
- Würsig, B., & Richardson, W. (2002). Effects of Noise. Dans W. Perrin, B. Würsig, & J. Thewissen, *The Encyclopedia of Marine Mammals* (pp. 794-802). New-York: Academic Press.

Annexe : Les dispositifs de dissuasion acoustique

Les « pingers » acoustiques sont principalement utilisés dans l'aquaculture et la pêche pour tenir les mammifères marins à l'écart des filets et réduire les prises accidentelles de cétacés. Ces dispositifs fonctionnent à des fréquences moyennes et hautes (2,5 à 100kHz) et à des fréquences harmoniques plus élevées allant jusqu'à 180kHz. Même si ces dispositifs ont une efficacité prouvée, l'accoutumance des espèces au bruit a été documentée et est une préoccupation majeure concernant l'utilisation des émetteurs acoustiques (Cox, 2003) (Gordon, 2002), (Teilmann, 2006). En prenant en compte les différences interspécifiques de sensibilité auditive des mammifères marins, la puissance de ces dispositifs doit être spécifiquement établie pour les espèces cibles.

Sur la base de la documentation disponible, chaque étude menée sur les effets des émetteurs acoustiques sur les marsouins communs a montré un degré important d'exclusion, même si certains rapports fournissent des observations apparemment contradictoires sur l'accoutumance suite à une utilisation intense des émetteurs acoustiques (Gordon, 2002) En revanche, les émetteurs acoustiques semblent avoir peu d'effets négatifs sur les pinnipèdes (SMRU, 2007).

L'efficacité des effaroucheurs acoustiques provient de leurs niveaux de puissance élevés dans la plage de meilleure sensibilité auditive des phoques (8 à 17kHz). Le marsouin commun a montré une forte réaction aversive à ce type d'ADD²² à une distance de 1 ou 2 km, aussi bien dans l'analyse bibliographique (Johnston, 2002), (Olesiuk, 2002) (Robertson, 2004) que dans l'analyse des retours d'expérience des parcs éoliens allemands. Il existe également des preuves documentées d'un comportement de fuite et d'évitement des orques (*Orcinus orca*) suite à l'utilisation d'ADD (Morton, 2002) mais aucune donnée publiée n'est disponible pour d'autres espèces cibles du projet, comme des grands dauphins ou des globicéphales. De manière surprenante, il n'existe aucun autre article publié qui prouve un déplacement effectif des phoques. Cela peut être dû au fait que les dispositifs d'effarouchement utilisés sur les installations piscicoles ou pièges à poissons sont souvent activés en permanence pendant de longues périodes. De plus, ces dispositifs sont déployés à proximité de ressources particulièrement recherchées par les phoques.

Sur les grands dauphins (*Tursiops truncatus*), par exemple, les émetteurs acoustiques semblent avoir un effet de surprise, de gêne ou d'alerte : les animaux contournent ainsi légèrement les filets (Cox, 2003) mais n'ont aucun comportement de fuite (Buscaino G., 2009) ;



Exemple de pinger (Source : NOAA).

²² Acoustic Deterrent Devices ou dispositifs de dissuasion acoustique