



# Etude d'Impact Acoustique du Parc Eolien en Mer de Fécamp, France

## Identification

Référence du document :	QO.RAP.20121212.03.001
Version :	3.0
Client :	Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises
Réf. client	Contrat n° FEC-CON-EIA-SPC-EOHF-101
Auteurs :	D. Clorennec, T. Folegot (Quiet-Oceans) G. Nehls, T. Liesenjohann, M. Gelippi (BioConsult)

## Visa

Thomas Folegot, Président de Quiet-Oceans SAS  
Plouzane, le 05.02.2014



**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	24.06.2013	Version initiale	D. Clorennec	T. Folegot	25.06.2013
1.1	23.07.2013	Version calibrée	D. Clorennec	T. Folegot	29.07.2013
1.2	02.08.2013	Prise en compte remarques client	D. Clorennec	T. Folegot	04.08.2013
1.3	29.09.2013	Remarques réunion du 30.08.2013	D. Clorennec	T. Folegot	02.10.2013
1.4	07.11.2013	Prise en compte précisions client	D. Clorennec	T. Folegot	08.11.2013
1.5	12.11.2013	Corrections Tableau 5	D. Clorennec	T. Folegot	12.11.2013
1.6	02.12.2013	Concertations QO/BioConsult	D. Clorennec	T. Folegot	03.12.2013
2.0	23.12.2013	Intégration Etude & Recommandations BioConsult	D. Clorennec	T. Folegot	09.01.2014
2.1	14.01.2014	Version finale	D. Clorennec		
3.0	04.02.2014	Effet sur benthique et poissons	D. Clorennec	T. Folegot	

Cette étude est le fruit d'une collaboration entre



65, place Nicolas Copernic – 29280 Plouzané – France  
[www.quiet-oceans.com](http://www.quiet-oceans.com)  
[contact@quiet-oceans.com](mailto:contact@quiet-oceans.com)  
RCS BREST RCS BREST 524 673 803



## Table des matières

Chapitre I. Enjeux, approche et méthode adoptée .....	9
I.1. Contexte scientifique .....	9
I.2. Emergence sociétale et réglementaire .....	9
I.3. Généralités sur le bruit sous-marin .....	10
I.4. Contexte de l'étude .....	13
I.5. Enjeux biologiques .....	14
I.6. Approche adoptée .....	14
I.7. Enjeux de l'étude d'impact acoustique prédictive .....	14
I.8. Méthodologie .....	15
I.8.1. Protocole détaillé de l'étude des impacts sonores .....	15
I.8.2. Approche statistique .....	18
I.8.3. Technologie utilisée .....	18
I.8.4. Limites de la méthode et lacunes de connaissances .....	21
Chapitre II. Description de la zone d'étude .....	24
II.1. Campagne de mesures acoustiques in-situ .....	24
II.1.1. Protocole .....	24
II.1.2. Moyens d'acoustique passive mis en œuvre .....	25
II.1.3. Moyens d'acoustique active mis en œuvre .....	25
II.2. Milieu physique.....	26
II.2.1. Bathymétrie.....	26
II.2.2. Nature du fond .....	27
II.2.3. Environnement océano-météo .....	27
II.2.4. Bruit ambiant mesuré .....	29
II.2.5. Effets du milieu physique sur la propagation sonore et sur les niveaux de bruit ambiant.....	31
II.3. Caractérisation des sources de bruit existantes.....	33
II.3.1. Méthode.....	33
II.3.2. Représentation des activités humaines existantes.....	33
II.3.3. Signatures individuelles des sources de bruit existantes.....	35
Chapitre III. Cartographie saisonnière de l'état sonore actuel .....	37
III.1.1. Zones géographiques .....	37
III.1.2. Correction des incertitudes de l'atlas sonore .....	37
III.1.3. Guide lecture de l'atlas sonore .....	38
III.1.4. Analyse géographique .....	38
III.1.5. Atlas sonore saisonnier .....	38
Chapitre IV. Empreinte sonore prédictive du projet .....	46
IV.1. Scénarios descriptifs du projet de parc éolien en mer .....	46
IV.1.1. Description des opérations de construction .....	46
IV.2. Caractérisation des sources de bruit liées à l'implantation du parc éolien en mer .....	47

IV.2.1. Bruit généré par les opérations de dragage .....	47
IV.2.2. Bruit généré par les opérations d'ensouillage des câbles .....	48
IV.2.3. Bruit généré par une opération de déversement de matériaux (ou clapage) .....	49
IV.2.4. Bruit généré par les opérations de dépose d'éolienne dans le parc.....	50
IV.2.5. Bruit généré par les navires du chantier .....	52
IV.2.6. Bruit généré par le battage de pieu.....	53
IV.2.7. Bruit généré en phase d'exploitation du parc éolien .....	55
IV.2.8. Bruit généré lors de la phase de maintenance.....	55
IV.3. Définition de l'empreinte sonore du projet .....	57
Chapitre V. Evaluation des risques vis-à-vis des mammifères marins .....	60
V.1. Fréquentation du site par les mammifères marins .....	60
V.1.1. Espèces fréquentes .....	61
V.1.2. Espèces rares visitant régulièrement la zone du projet.....	62
V.1.3. Espèces rares visitant occasionnellement la zone du projet .....	62
V.2. Méthode d'évaluation des risques biologiques .....	62
V.2.1. Classification acoustique des espèces de mammifères marins dans la zone d'étude ...	63
V.2.2. Critères de dépassement des seuils .....	63
V.2.3. Présentation des résultats .....	72
V.3. Cartographies sonores pour une exposition d'une seconde.....	72
V.3.1. Construction – opération de dragage .....	72
V.3.2. Construction – opération de déversement de matériaux (clapage).....	75
V.3.3. Construction - dépose d'éolienne .....	78
V.3.4. Construction - opérations simultanées de dragage, clapage et dépose d'éolienne.....	81
V.3.5. Construction – OST - battage de pieu de 3m de diamètre.....	84
V.3.6. Construction - trafic induit .....	87
V.3.7. Construction – opération d'ensouillage des câbles .....	90
V.3.8. Exploitation du parc éolien .....	93
V.3.9. Exploitation - maintenance du parc éolien .....	96
V.4. Analyse des risques d'impacts.....	99
V.4.1. Analyse physique.....	99
V.4.2. Interprétation biologique.....	101
V.5. Analyse des risques d'impacts pour une exposition sonore cumulée .....	103
V.5.1. Risques biologiques liés à une exposition cumulée des espèces à proximité du site..	103
V.5.2. Cas des pinnipèdes en Baie des Veys ou en Baie de Somme .....	104
V.6. Synthèse .....	106
Chapitre VI. Effets du bruit sur les poissons et autres invertébrés .....	108
VI.1. Effets de bruit sur les poissons.....	108
VI.1.1. Dommages physiologiques sur les poissons.....	108
VI.1.2. Modification du comportement des poissons exposés au bruit.....	109
VI.2. Effet du bruit sur les invertébrés.....	110

---

VI.3. Quantification des risques.....	110
Chapitre VII. Gestion des risques et recommandations.....	112
VII.1. Gestion des risques .....	112
VII.2. Solutions d'évitement .....	112
VII.3. Recommandations.....	113
VII.3.1. Recommandations générales .....	113
VII.3.2. Recommandations préparatoires aux opérations de construction .....	113
VII.3.3. Recommandations spécifiques aux opérations de battage .....	113
VII.3.4. Recommandations pendant chaque opération de construction .....	113
VII.3.5. Recommandations consécutives à chaque opération de construction .....	114

## Résumé de l'étude

### Méthodologie

Quiet-Oceans et BioConsult ont été mandaté par la Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises pour réaliser une étude des impacts sonores potentiels d'un projet d'implantation d'un parc éolien offshore composée de 83 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*), le dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*) et le globicéphale noir (*Globicephala melas*) fréquentant régulièrement mais de façon saisonnière le site. Le phoque gris (*Halichoerus grypus*) et le phoque commun ou veau marin (*Phoca vitulina*) sont des visiteurs occasionnels du site.

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 fin juin début juillet 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**

D'une manière générale, à l'échelle de la Manche, les fréquences inférieures à 500Hz dominent largement le bruit ambiant, mais ces basses fréquences présentent une variabilité temporelle et spatiale pouvant atteindre plusieurs dizaines de dB, ce qui est considérable. Cela peut s'expliquer par un environnement majoritairement peu profond (< 160m), défavorable à la propagation des ondes basses fréquences, en particulier celles émises par le rail de trafic maritime au Nord. Les rails de trafic maritime sont en effet particulièrement sonores, de façon permanente, avec des niveaux médians large bande (énergie acoustique intégrée de 45Hz-à 89kHz) environ 40dB plus élevés qu'à l'emplacement du futur parc.

Autour de 20kHz, on observe une augmentation significative du bruit sur les percentiles de l'ordre de quelques dizaines de pourcents, directement liée aux activités de pêche et de plaisance (en été). Les ondes acoustiques à ces fréquences étant fortement atténuées avec la distance de propagation, le bruit reporté dans cette bande décrit en effet des activités localisées. Les mesures ont permis de mettre en évidence une variabilité de l'ordre de 4 à 6 dB sur les niveaux de bruit large bande sur les périodes nocturnes.

Les différences saisonnières du bruit ambiant semblent relativement faibles. Ce résultat n'est que prédictif, puisque seule la saison « été » a fait l'objet d'un levé terrain acoustique. Des incertitudes en particulier liées à la description des activités anthropiques demeurent pour les autres saisons. Il est donc fortement recommandé de calibrer les autres cartes saisonnières par des levés terrains ad-hoc dans la phase de suivi.

### **Risques biologiques liés au projet**

Les différences saisonnières des prévisions des incidences sonores réalisées dans cette étude sont relativement faibles.

Parmi tous les scénarios descriptifs du projet de construction, d'exploitation et de maintenance étudiés, les opérations de battage de pieux liés à la mise en place de la fondation « jacket » de l'OST est celle qui présente le plus d'enjeux vis-à-vis des pinnipèdes et du marsouin commun et dans une moindre mesure des autres cétacés. En effet, ces opérations sont les seules pour lesquelles des dépassements de seuils de dommage physiologique permanents sont possibles à chaque coup de battage dans un rayon de quelques centaines de mètres autour de l'atelier, et des modifications de comportement possibles des mammifères marins dans une zone de quelques dizaines de kilomètres.

Les autres opérations de construction, telles que définies par la Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises dans le cadre de cette étude présentent des enjeux de moindre mesure. Des dommages physiologiques temporaires sont susceptibles d'intervenir à chaque instant dans des rayons de quelques centaines de mètres autour des ateliers de construction, et des modifications de comportement dans un rayon de quelques kilomètres à une dizaine de kilomètres selon la saison, la direction et les espèces concernées.

Les risques liés à une exposition sonore prolongée ont été étudiés pour l'ensemble des espèces sur une zone correspondant à l'empreinte sonore de chaque opération de construction, d'exploitation et de maintenance.

D'une manière générale, une exposition sonore prolongée augmente les risques, mais de façon relativement différente suivant la durée d'exposition, l'espèce concernée et sa mobilité. Les risques augmentent particulièrement rapidement pendant, disons, la première heure de chaque opération. Une règle générale est évidemment difficile à formuler, mais l'étude fournit l'ensemble des cartographies de niveau sonore cumulé et de risques de dépassement de seuil nécessaire à une gestion éclairée.

### ***Recommandations***

Une série de recommandations concernant les bonnes pratiques de la gestion de la problématique du bruit ont été formulées. Dans le cas du projet de construction, les étendues des zones de risques et les durées des opérations ne justifie pas la mise en œuvre de mesures de réduction si des mesures appropriées d'évitement sont mises en œuvre afin de minimiser la probabilité de présence d'un individu ou groupe d'individu dans un rayon de 1 km autour de l'atelier de battage de l'OST. Ces mesures devront être accompagnées d'un plan de suivi conformément aux pratiques internationales.

---

## Chapitre I. Enjeux, approche et méthode adoptée

Le projet de parc éolien en mer au large de Fécamp, porté par Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises, consiste en la mise en place et l'exploitation de 83 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); Sigray 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 gestion significatives dans l'objectif de futures réglementations.

### I.2. Emergence sociétale et réglementaire

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) se sont emparés de cette problématique 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:

- ✓ 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 ;
- ✓ 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) ;
- ✓ 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 ;
- ✓ 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).

### 1.3. 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 décibels<sup>1</sup> (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 1µPa (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 1µPa.

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.

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 (pour deux immersions différentes par exemple) ou à l'échelle d'un bassin océanique.

<sup>1</sup> 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.

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 octaves<sup>2</sup> 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 anthropique<sup>3</sup>, est par définition de nature stochastique<sup>4</sup>. 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 percentile<sup>5</sup> correspond à la proportion du temps et de l'espace pour lequel le bruit dépasse un niveau donné.

---

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> Relatif à l'activité humaine.

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

<sup>5</sup> 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<sup>ième</sup> percentile représente quant à lui le poids médian, c'est-à-dire le poids de 50% des enfants d'un même âge.

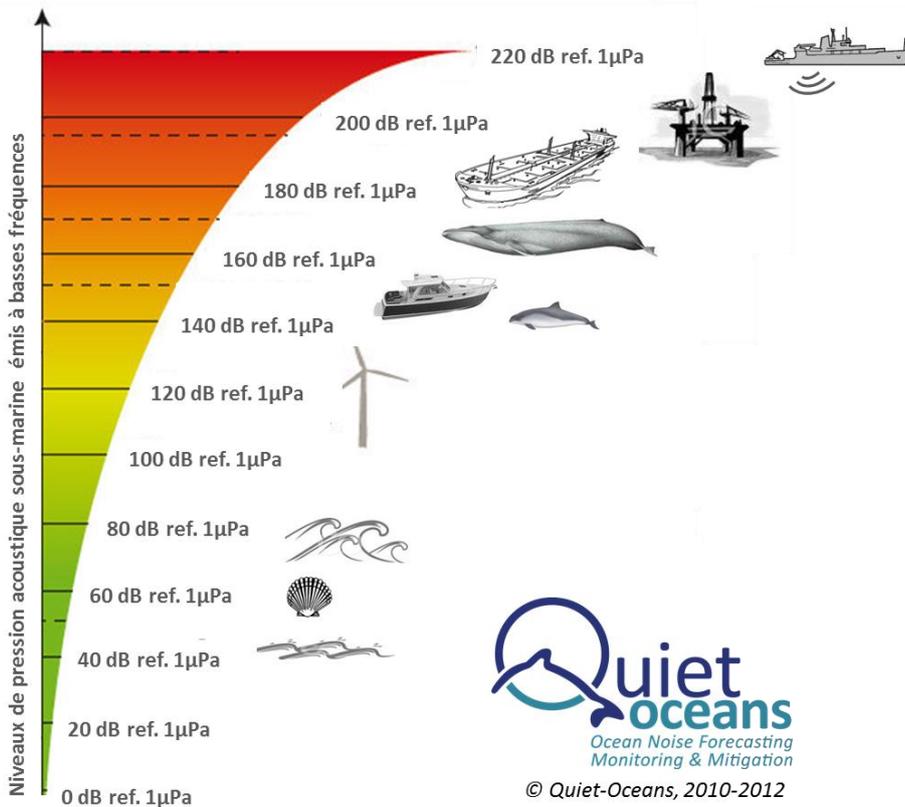


Figure 1 : Echelle qualitative des niveaux de bruits sous-marins émis à un mètre dans une bande basse fréquence de quelques kHz. Source Quiet-Oceans.



Dénomination	Définition	Unité
<b>Pression acoustique émise</b>	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 <sup>6</sup> , ou en valeur maximale.	dB réf. 1µPa @1m
<b>Pression acoustique reçue</b>	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
<b>Niveau d'exposition sonore</b>	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 <sup>2</sup> s

Tableau 1 : Définitions et unités de mesure acoustique

<sup>6</sup> 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

Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises développe un projet éolien offshore qui porte sur l'installation et l'exploitation d'un parc de 83 éoliennes d'une puissance nominale de 6MW, dans les eaux territoriales française au large de Fécamp (Manche). La période de construction globale devrait durer entre 22 et 36 mois. La mise en service industrielle de ces éoliennes est prévue entre 2018 et 2020. La phase d'exploitation du parc éolien en mer est initialement prévue pour une durée de 20 ans.

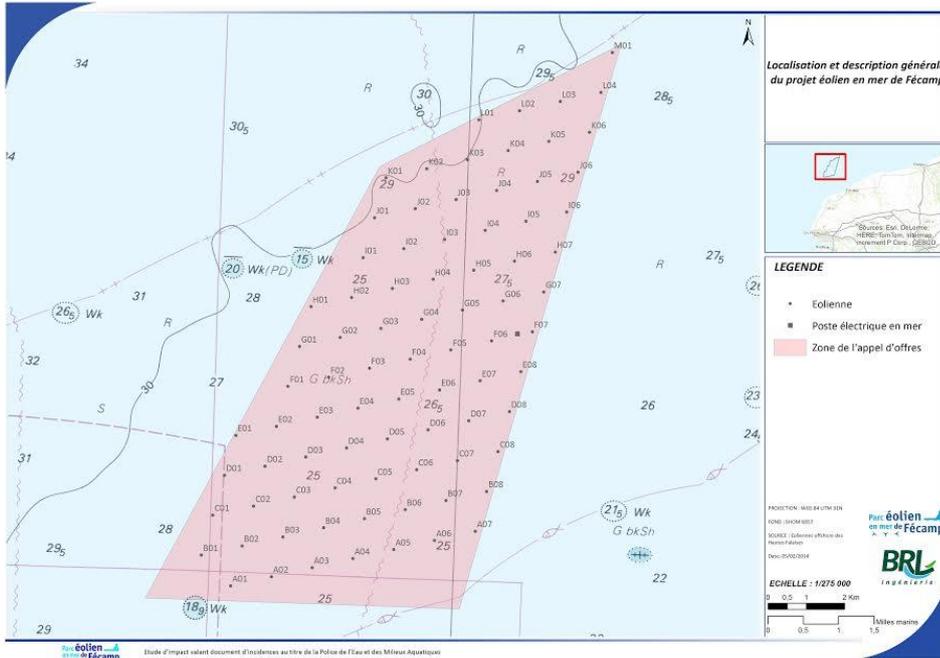


Figure 2 : Implantation du parc éolien offshore au large de Fécamp (source : Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises/Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises/Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises)

Eléments	Caractéristiques
Nombre d'éoliennes ALSTOM 6MW	83
Puissance totale du parc	498 MW
Surface totale du parc	64,8 km <sup>2</sup>
Surface totale de la zone d'appel d'offre	88 km <sup>2</sup>
Distance à la côte au point le plus proche	13 km
Nombre de sous-stations électriques	1

Tableau 2 : Caractéristiques techniques du futur parc éolien (source : Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises)

### I.5. Enjeux biologiques

Les mammifères marins étant des prédateurs supérieurs, ils jouent un rôle crucial dans les équilibres des chaînes alimentaires (Bowen, 1997) (De Brooke, 2004). La zone du projet est, en partie, située au sein d'une zone de protection spéciale (ZPS) conformément à la directive européenne oiseaux (« Littoral Seine-marine », FR2310045). La bande côtière de Fécamp est répertoriée comme étant un site d'intérêt communautaire (SIC) dans le cadre de la directive habitats Natura 2000 (SIC « Littoral Cauchois », FR2300139) comprenant quatre espèces protégées de mammifères marins. La zone d'implantation proposée accueille régulièrement divers espèces de mammifères marins. A ce titre, les effets des opérations de construction et d'exploitation et de maintenance sur les espèces de mammifères marins doivent être évalués.

### I.6. Approche adoptée

La Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises 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 Fécamp. 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.

Aussi, ce rapport décrit, 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 3 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 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.

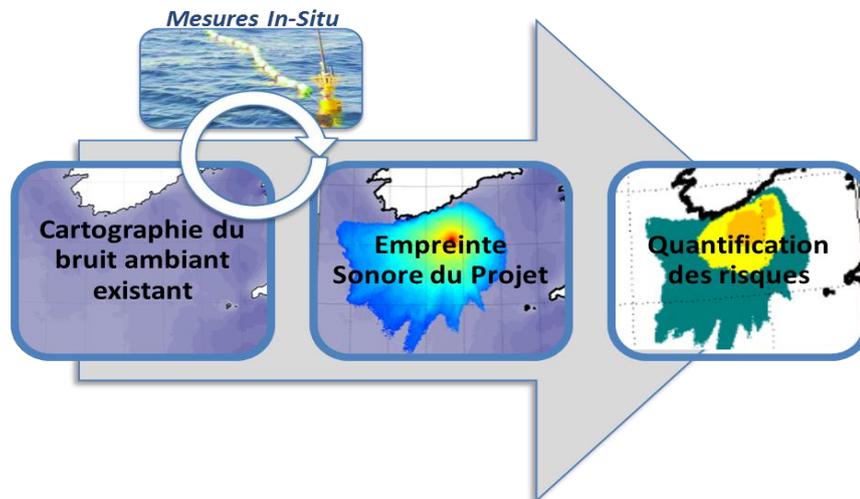


Figure 3 : Protocole d'étude détaillé d'évaluation des impacts acoustiques. Les mesures in-situ permettent de calibrer les champs sonores.

#### I.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 la Manche Orientale, des côtes françaises aux côtes anglaises, de la presqu'île du Cotentin à l'Ouest à Calais à l'Est.

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 Eoliennes Offshore des Hautes Falaises 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.

#### *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 3), 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.).

#### *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, et 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 les mammifères marins qui disposent d'une sensibilité auditive accrue (SMRU 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 4).

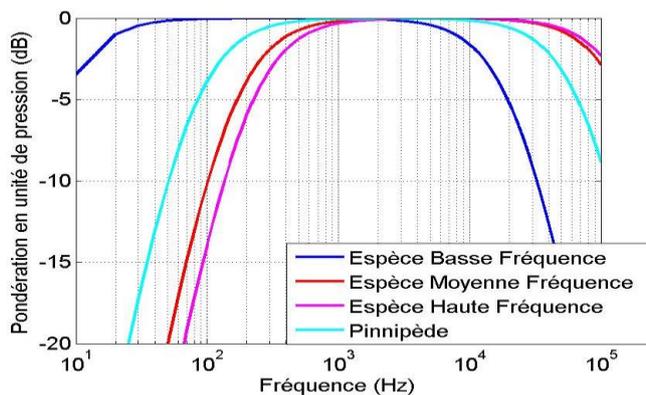


Figure 4: Fonctions de pondération par classe d'espèce de mammifère marin, ou fonction d'audiogramme, permettant d'estimer les niveaux sonores perçus par les espèces biologiques (Southall, et al., 2007). Pour l'Homme la bande de fréquence utile est de 20Hz-20kHz.

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 les espèces hautes fréquences ;
- ✓ 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.

#### 1.8.1.e. Etape 5 : 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.

### 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 3). Une approche par la méthode de Monte-Carlo<sup>7</sup> (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).

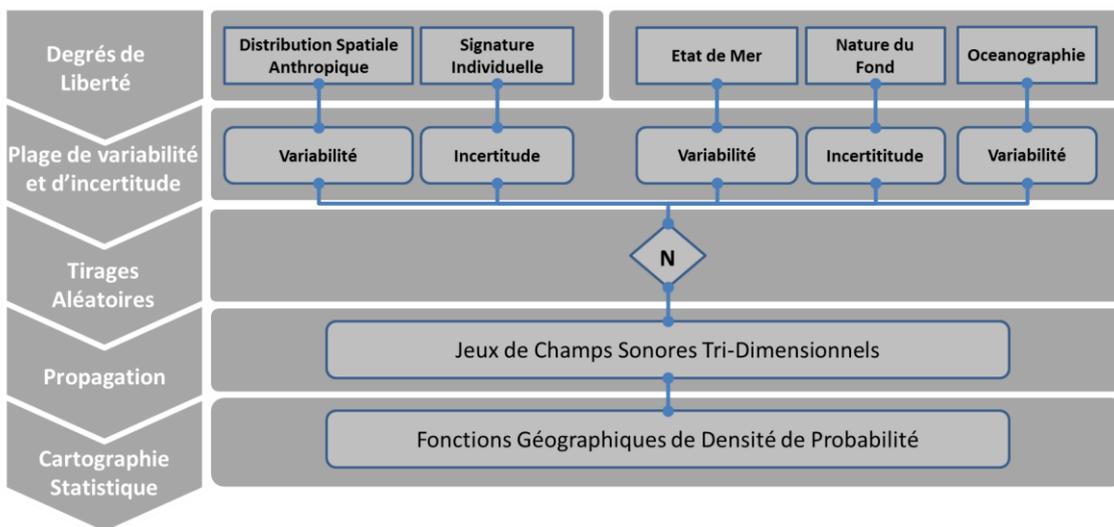


Tableau 3 : Approche statistique par méthode de Monté-Carlo pour la caractérisation sonore sous-marine permettant de prendre en compte (a) les incertitudes liées à la connaissance du milieu océanique et liées aux incertitudes des bruits anthropiques émis ; (b) la variabilité de l'environnement et de 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

<sup>7</sup> 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.

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 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 dragage, les sources de bruit sont considérées proches du fond (source prédominante) et en surface pour le bruit du navire support
- ✓ Pour les opérations 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 submergée des éoliennes, 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.

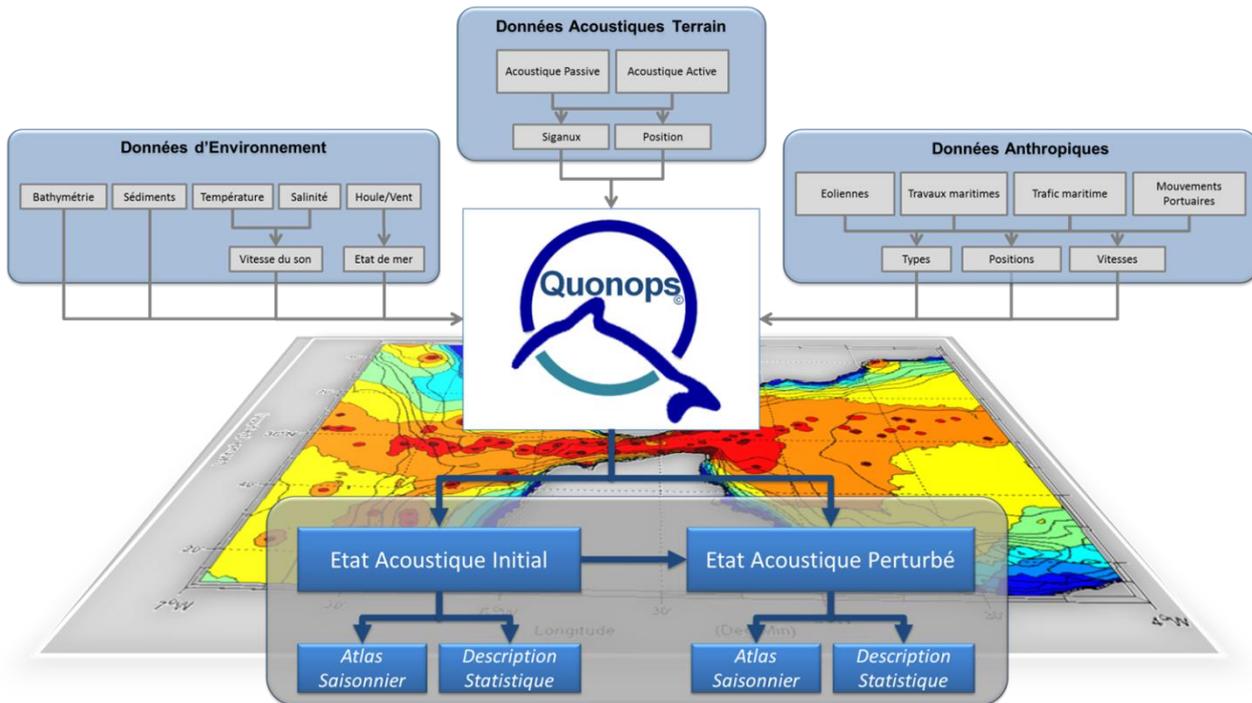


Tableau 4 : Description schématique de la plateforme opérationnelle de prévision des bruits.

### 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 5 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 5). Ainsi, le champ estimé par Quonops®, à partir des données environnementales et des activités humaines, sur l'ensemble de la zone (Figure 5 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 internationales<sup>8910</sup>.

<sup>8</sup> Conférence International Quiet Ocean Experiment, Aout 2011, UNESCO, Paris.

<sup>9</sup> Conférence Ambient noise in north-European seas: Monitoring, impact and management, Octobre 2011, Southampton.

<sup>10</sup> Séminaire Surveillance, l'Etude et la Reconnaissance de l'Environnement par Acoustique Discrète (SERENADE), Avril 2012, Grenoble.

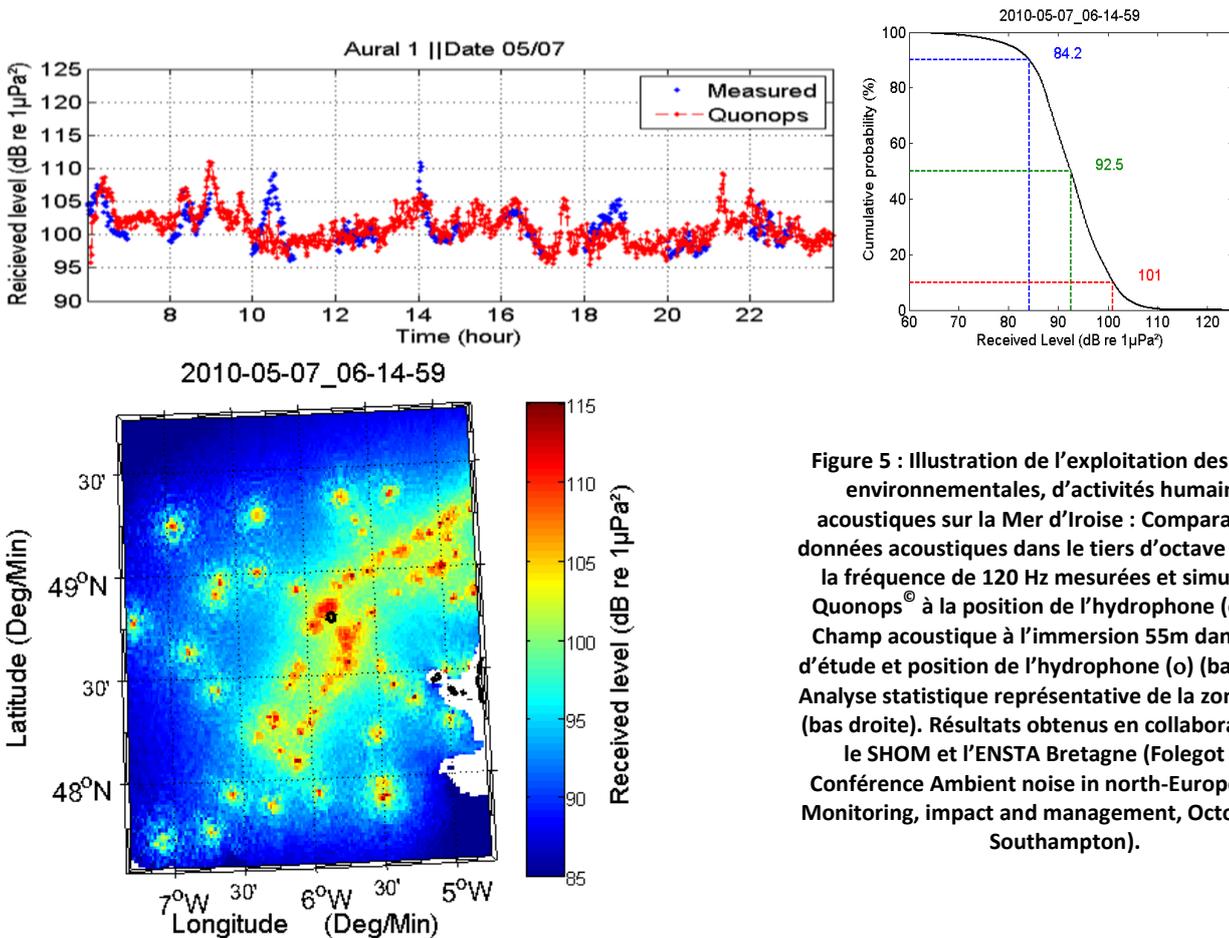


Figure 5 : Illustration de l'exploitation des mesures environnementales, d'activités humaines et acoustiques sur la Mer d'Iroise : Comparaison des données acoustiques dans le tiers d'octave centré sur la fréquence de 120 Hz mesurées et simulées par Quonops® à la position de l'hydrophone (en haut). Champ 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 géoacoustiques des sédiments et de leur distribution spatiale*

L'incertitude sur les propriétés géoacoustiques 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 géoacoustique) permettraient d'ajuster les paramètres géoacoustiques 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. C'est le cas en Manche.

##### *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'existantes, 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*

Par mesure conservatrice, les bruits de dragage, battage et ensouillage sont cumulés sur la durée des opérations. Les durées prises en compte sont des durées effectives cumulées. A titre d'exemple, 8h signifie que le bruit est généré pendant 8h au cours d'une opération qui prend effectivement 8h30, mais pour laquelle 2 fois 15 minutes d'interruptions ont pu se produire. Les niveaux d'exposition sonore sont donc cumulés, indépendamment d'interruptions qui pourraient intervenir et qui ne sont pas prédictibles à ce jour.

L'effet cumulatif de ce projet avec d'autres projets en cours ou susceptibles d'être conduits en même temps que le projet éolien offshore n'est pas pris en compte dans cette étude. Il pourrait faire l'objet d'une étude plus globale ordonnée par une autorité ayant la connaissance de l'ensemble de projets.

#### *v. Evaluation des risques 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 risque sur l'individu en trois termes: pertes auditives permanentes, pertes auditives temporaires et dérangements comportementaux (Southall, et al., 2007). Conscient de ce fait, il doit être cependant noté que le protocole de suivi in situ proposé en guise de perspective par Quiet-Oceans pour l'observation de la phase d'installation et d'exploitation intègre des points de mesure permettant le recueil d'informations utiles à la caractérisation des impacts sur les populations.

Suivant les techniques utilisées, les émissions sonores peuvent s'étaler sur des durées pouvant atteindre plusieurs jours. A cause des protocoles de mesures, l'impact des émissions de longue durée (typiquement plusieurs heures) sur les capacités auditives des mammifères marins n'a jamais, à notre connaissance, été évalué. Conscient de ce besoin de caractérisation, des expérimentations récentes se sont intéressées à des expositions sonores s'étalant entre 1 minute et 240 minutes (Popov & al, 2011; Kastelien & al, 2012), n'atteignant cependant pas les durées de travaux d'installation des éoliennes. Afin de palier à ces incertitudes, il est possible d'appliquer les règles proposées par la communauté en les interpolant si nécessaire. Il a donc été décidé de choisir une méthode conservative compte tenu de la lacune de connaissance, en application du principe de précaution.

## 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 de bruit existant et de lever les incertitudes en terme de nature du fond ;
- ✓ les conditions environnementales saisonnières statistiques du site (océanographie, houle, vagues, bathymétrie, nature des fonds, etc.) ;
- ✓ les caractéristiques des activités maritimes déjà existantes ;
- ✓ la caractérisation 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 ont été réalisées dans et à proximité du futur parc éolien pendant la période du 26/06 au 14/07/2013. Aux points de mesure **P<sub>3</sub>** et **P<sub>4</sub>** (Figure 6) ont été déployés des enregistreurs passifs permettant d'évaluer les niveaux sonores actuellement présents. Des transmissions actives de signaux acoustiques calibrés ont permis de réduire les incertitudes, en particulier sur la nature géoacoustique des fonds.

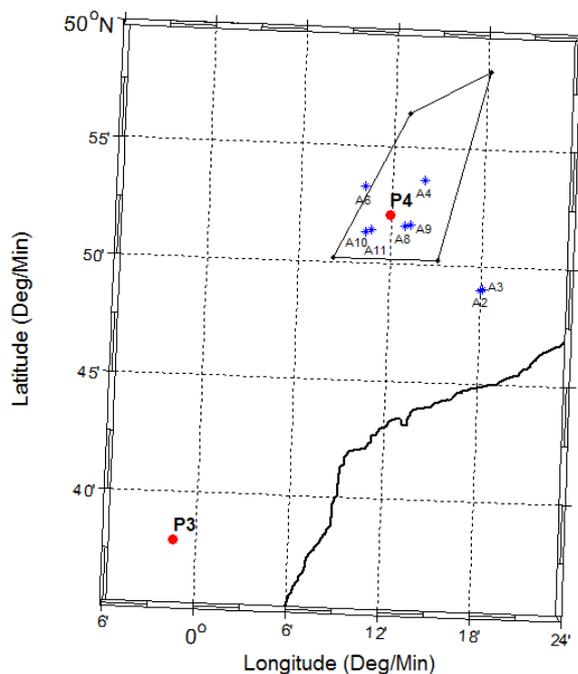


Figure 6 : Positions des enregistreurs acoustiques (P) et des émissions actives (A) ayant servi à la calibration des résultats de l'étude.

Localisation des enregistreurs passifs	Longitude	Latitude	Immersion	Distance au centre du parc (en mille nautique)
P3	0°1'27.5"W	49°37'57.5"N	Posé sur le fond	18.6
P4	0°11'53.6"E	49°52'6.2"N	Posé sur le fond	2.08

Tableau 5 : 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 7) dont les caractéristiques techniques sont adaptées à l'étude :

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

Cet instrumentation est intégré dans une cage dite « anti-chalutage » (Figure 7) qui repose sur le fond. Une bouée programmable est libérée à une date définie lors du déploiement et permet de faciliter la récupération tout en évitant une signature de surface.

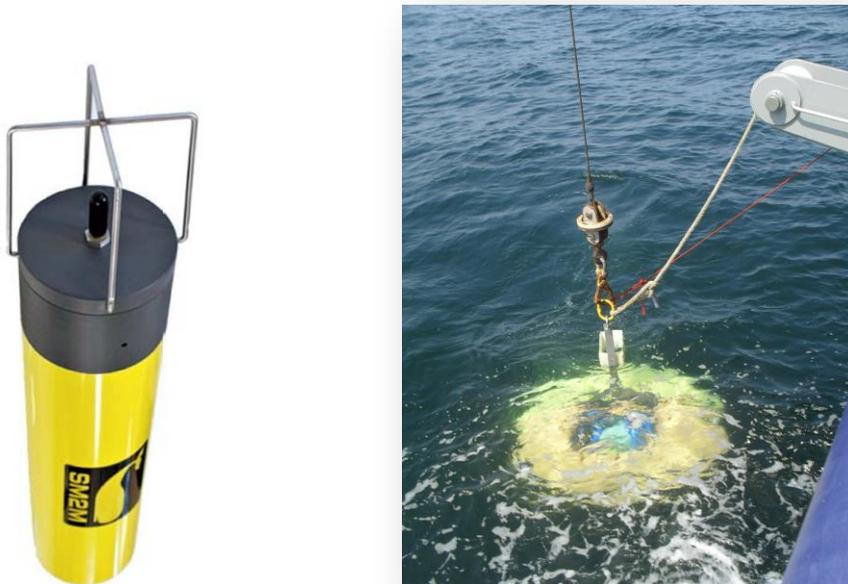


Figure 7 : Gauche : SM2M de la société Wildlife Acoustics. Droite : mise en œuvre de la cage instrumentée (source : Quiet-Oceans)

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

Le système d'acoustique actif PULSE©, développé spécifiquement par Quiet-Oceans (Figure 8) permet, par des transmissions acoustiques de signaux contrôlés, de quantifier les pertes de transmission entre :

- ✓ Un hydrophone mouillé ( $P_4$  sur la Figure 6), positionné dans le périmètre du futur parc,
- ✓ Différents points à différentes positions, à portée acoustique de l'hydrophone (numérotés  $A_i$  sur la Figure 6) ;

Le système PULSE© utilisé répond aux spécifications suivantes :

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



Figure 8 : 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 (Guisse & 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 9) résulte de la fusion entre

- ✓ la base de données ETOPO (National Geophysical Data Center, US National Oceanographic and Atmospheric Administration, (Amante, 2009) ,
- ✓ la dalle bathymétrique MNT 500 Golfe de Gascogne-Manche 91 fournie par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM),
- ✓ et de la dalle bathymétrique (semis de points) 180-90 fournie par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM).

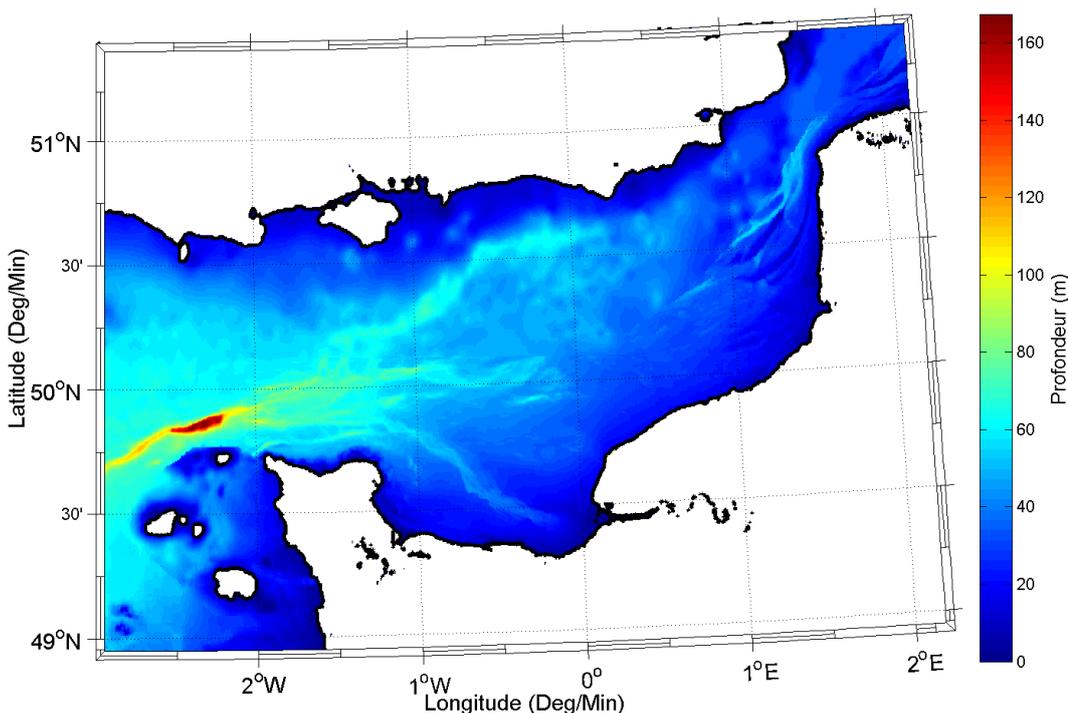


Figure 9 : Bathymétrie de la zone d'étude utilisée pour les simulations acoustiques. (source Quiet-Oceans d'après traitement des données SHOM et ETOPO1).

### 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  $P_4$  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 (Figure 10) sont reportées dans le Tableau 6. 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  $\sigma$  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.

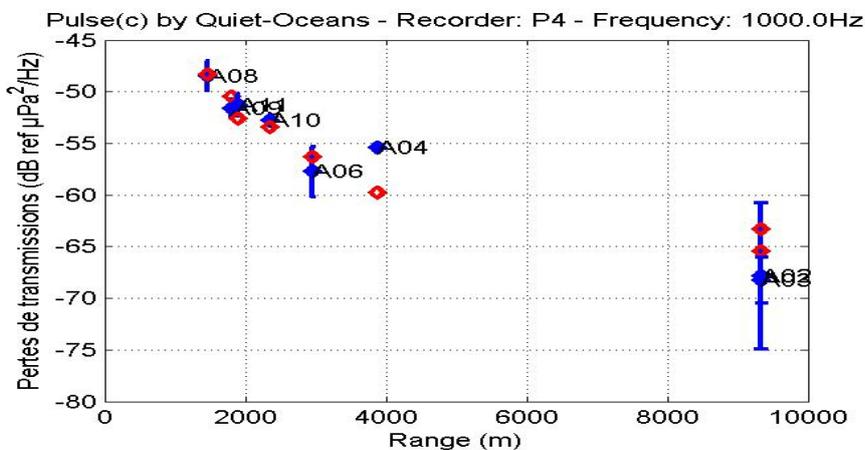


Figure 10 : Comparaison des pertes de transmission acoustiques mesurées (bleu) par Pulse© et prédites par Quonops© (rouge) en fonction de la distance autour de P4 à 1 kHz. Source : Quiet-Oceans.

Densité (tonne/m <sup>3</sup> )	Vitesse de compression (m/s)	Atténuation de compression (dB/λ)
1.4	1900	1.1

Tableau 6 : 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, S., H., Locarnini, Stephens, & Antonov, 2004). Quatre profils de célérité représentatifs de la variation

saisonniers en Manche orientale ont été extraits (Figure 11). 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 proches des profils isocèles, la différence entre le maximum et le minimum de célérité étant inférieure à 2m/s. Aussi, on considèrera trois saisons océanographiques : l'hiver, l'été, et le printemps/automne.

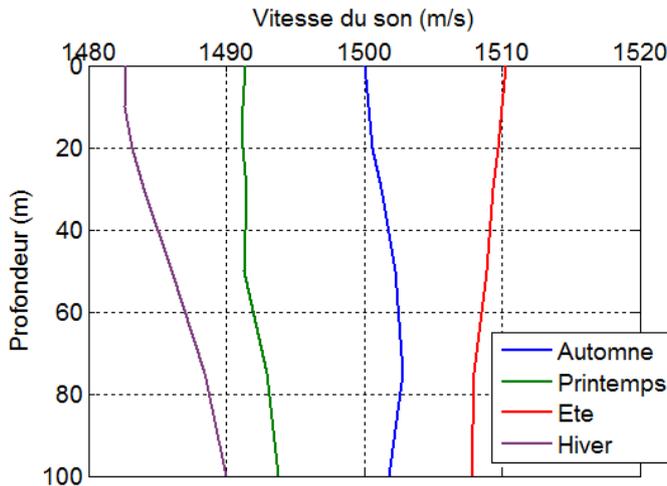


Figure 11 : Quatre profils de célérité représentatifs de la zone d'étude, pour les quatre saisons (source Quiet-Oceans d'après données NOAA).

### 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 8.5 m d'amplitude dans la zone de Fécamp. Le caractère ondulatoire des ondes de marée impose de choisir la distribution statistique des hauteurs d'eau tel que décrit Figure 12. Pour les scénarios technico-opérationnels, le marnage aura une probabilité forte et quasi-uniforme d'être compris entre 2 et 6 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.

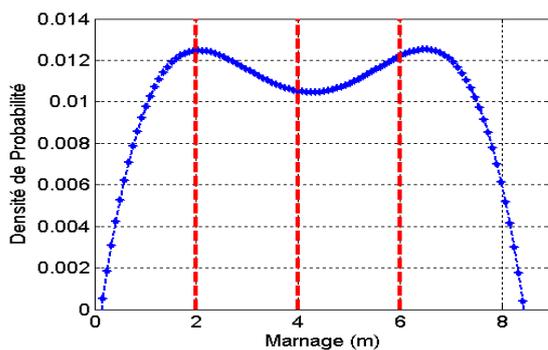


Figure 12 : Loi de distribution des hauteurs d'eau sous l'effet des marées (courbe bleue) et niveaux de marée représentatifs (traits rouges) (source Quiet-Oceans d'après données de marée à Fécamp du SHOM).

### 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 sous-marin naturel 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 13 et sert de base à l'étude.

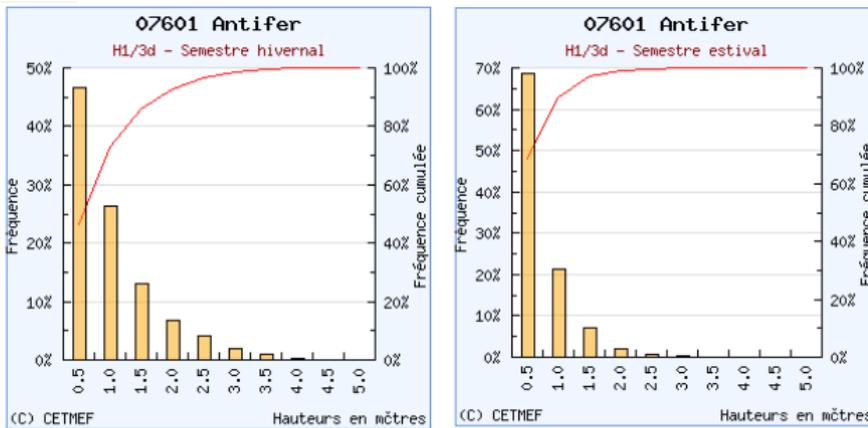


Figure 13 : Distribution spectrale des hauteurs significatives de vagues au voisinage du site d'implantation du parc éolien (Bouée Candhis d'Antifer -07601) (source CETMEF/EDF R&D-LNHE).

### II.2.3.d. Courants

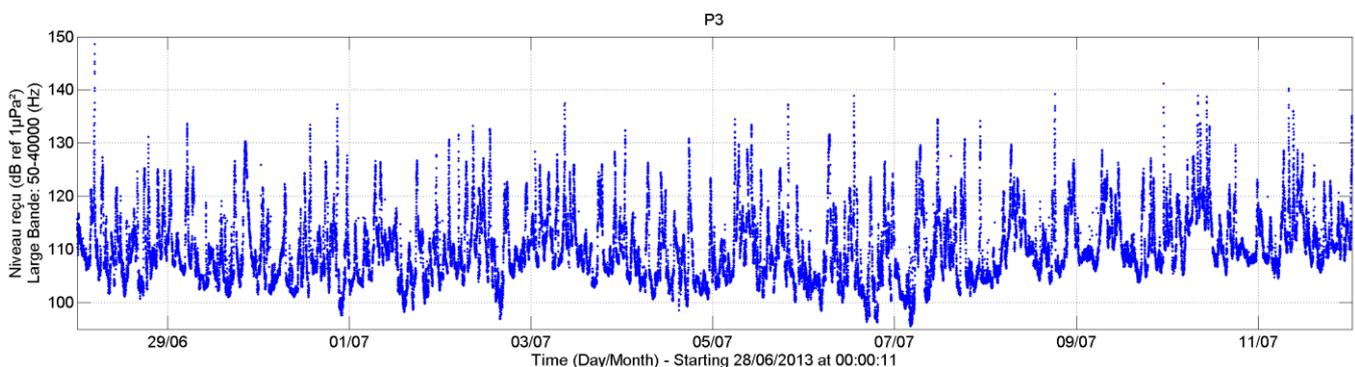
L'effet du courant sur la propagation du bruit n'est pas significative comparativement aux autres effets environnementaux. Cependant, le bruit acoustique généré par une éolienne en exploitation peut dépendre du bruit hydrodynamique dû à l'écoulement. Le courant est donc à l'origine d'un bruit environnemental 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  $P_3$  et  $P_4$  pendant la période du 28 juin au 12 juillet 2013 (Figure 14) montre la superposition :

- ✓ d'un bruit permanent présentant une variabilité jour-nuit d'environ 4 à 6dB, vraisemblablement lié aux activités de pêche,
- ✓ 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.

La distribution statistique du spectre sonore mesuré (densité spectrale de puissance dB réf.  $1\mu Pa^2/Hz$ ) 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 15). Les spectres mesurés sont globalement compatibles avec le modèle de Wenz tant du point de vue des niveaux que de la forme.



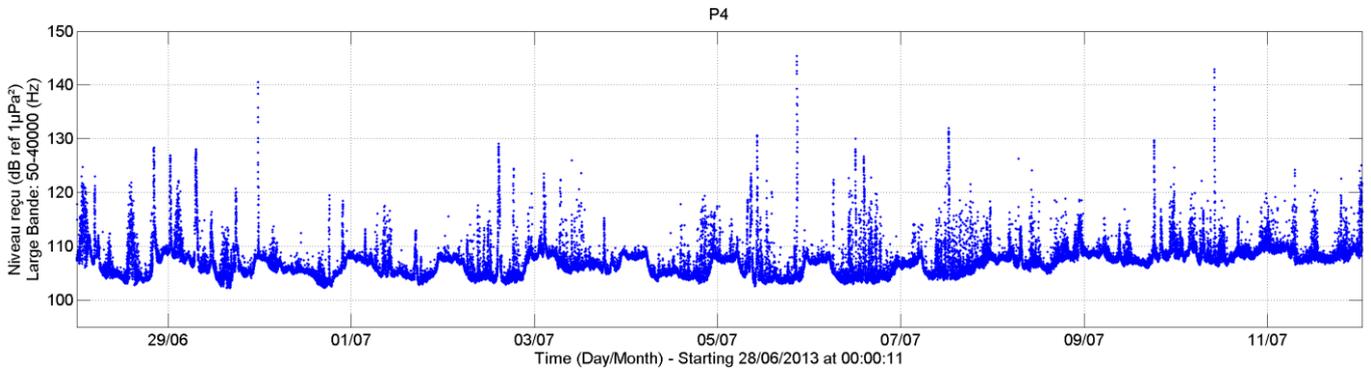


Figure 14 : Niveau sonore reçu dans la bande de fréquence (50Hz-40kHz) par les enregistreurs P3 etP4 durant la période du 28/06 au 12/07/2013.

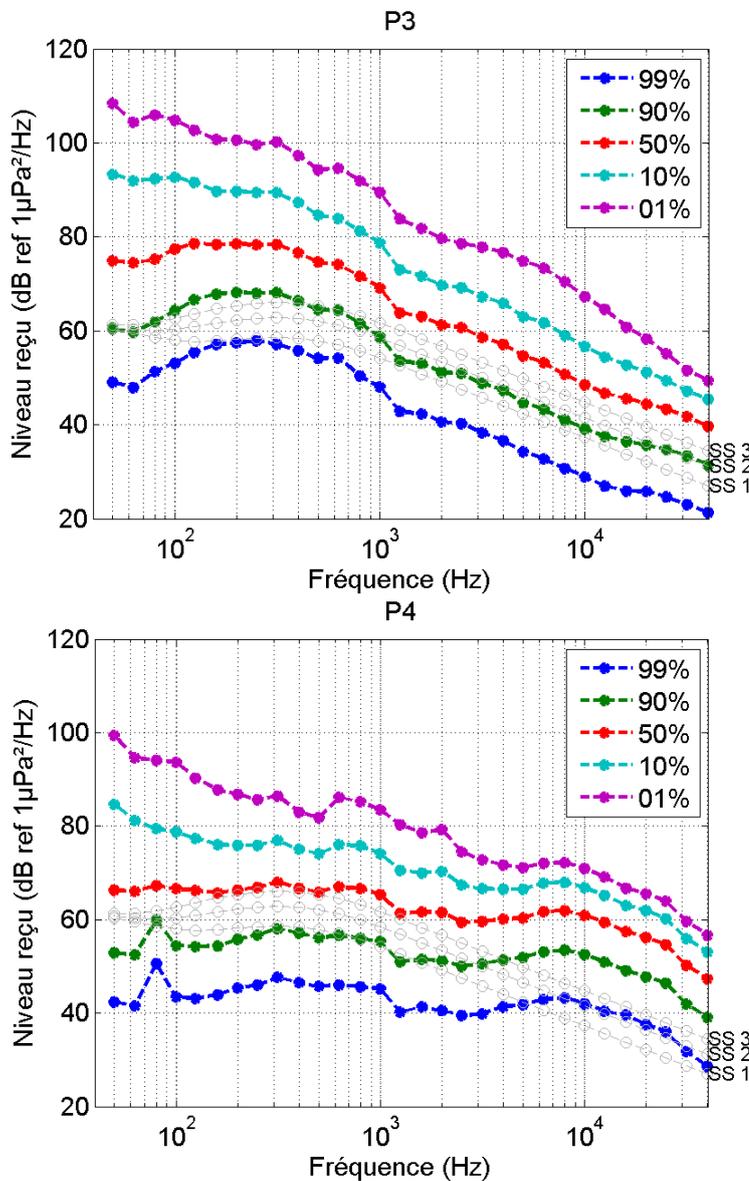


Figure 15 : Niveau d'énergie (par Hz) pour différents taux de probabilité ou percentiles (1, 10, 50, 90, 99%) à l'emplacement des enregistreurs passifs P3 et P4. En gris, comparaison au niveau de bruit ambiant environnemental (SS) pour trois états de mer (Wenz, 1962).

### **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 7) :

- ✓ 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 7 : 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 Manche a principalement pour origine quatre types d'activités maritimes :

- ✓ le trafic maritime commercial intensif entre le rail DST Casquets entre la mer du Nord et le rail DST Pas de Calais. Ce trafic commercial provient également des entrées et sorties des ports français du Havre, de Cherbourg, de Dieppe et des ports anglais de Plymouth et Southampton,
- ✓ le trafic de ferries (marchandises et passagers) entre la France et l'Angleterre,
- ✓ 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 différente 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 transmanche

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 nautiques présentes en France et en Angleterre, permettent ainsi de couvrir l'ensemble des navires dans la Manche Occidentale en fonction des conditions climatiques.

Les estimations obtenues concernant le trafic commercial sont établies à partir des données AIS de distribution et de vitesses disponibles en décembre 2012 et janvier 2013 (Figure 16). Cette carte quantifie le flux journalier entrant et sortant dans le Rail DST Casquets (Dispositif de Séparation de Trafic au Nord de la presqu'île du Cotentin) de la Manche Occidentale (respectivement 150 et 197 navires/jour), les lignes de trafic secondaires et les lignes commerciales de ferry et les activités de pêche.

ii. Pêche

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

- ✓ La pêche dans ou à proximité du Rail, au départ des principaux ports français et britanniques,
- ✓ la pêche dite côtière le long des côtes françaises.

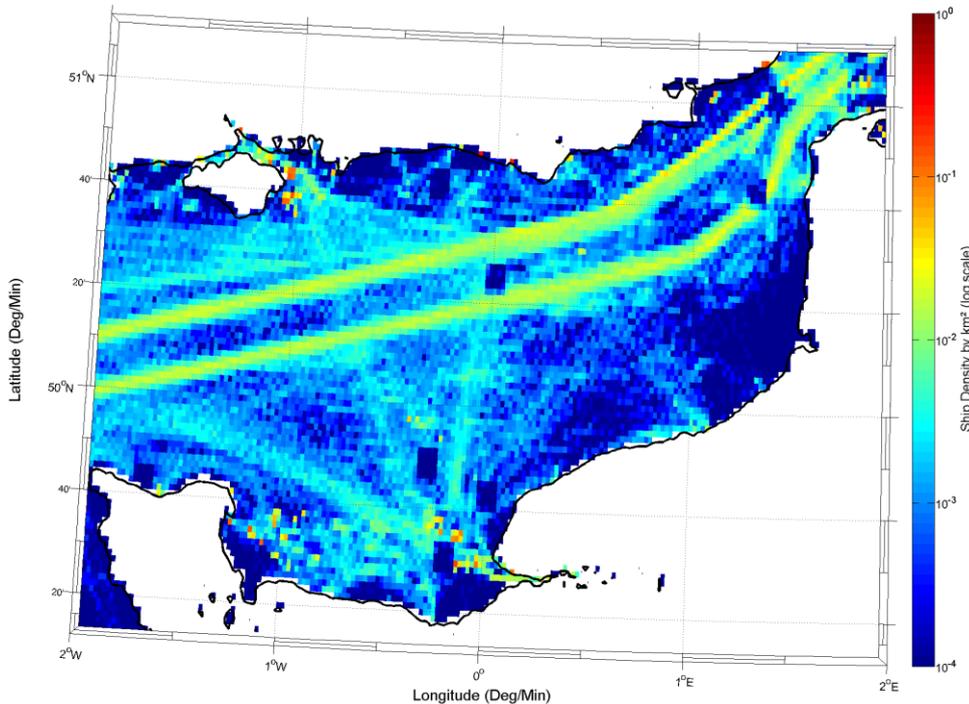


Figure 16 : Densité du trafic (échelle logarithmique) en Manche par traitement des données AIS (source : Quiet-Oceans).

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 tirages<sup>11</sup> 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 17 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.

<sup>11</sup> 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.

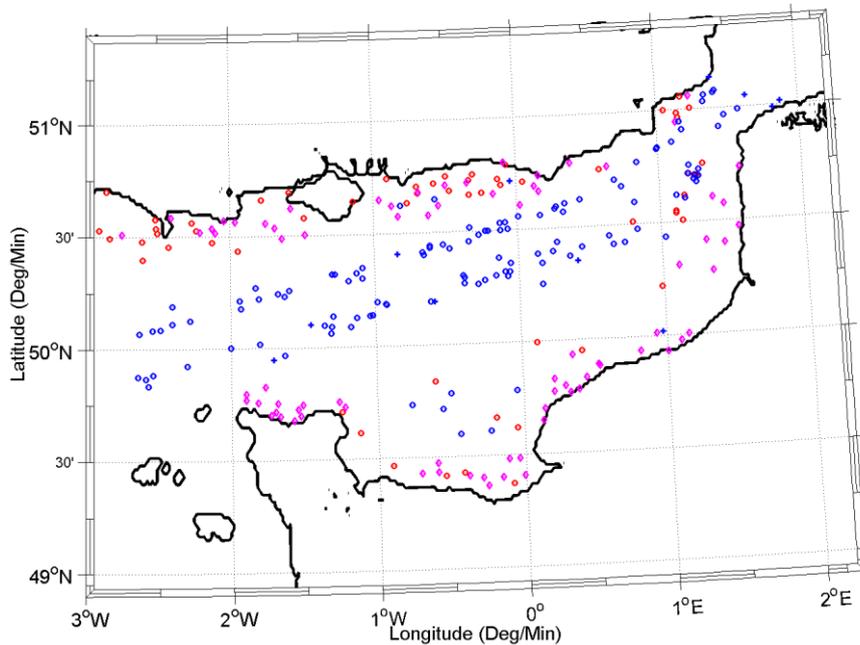


Figure 17 : Exemple d'une des 100 situations anthropiques utilisée pour l'estimation statistique du bruit ambiant initial. La couleur des marques indique un type de navire ou d'activité différent.

### 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  $f_{min}=f_{octave}/\sqrt{2}$  et  $f_{max}=f_{octave}*\sqrt{2}$  (Tableau 8).

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

Tableau 8 : 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 générés 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 18) 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.

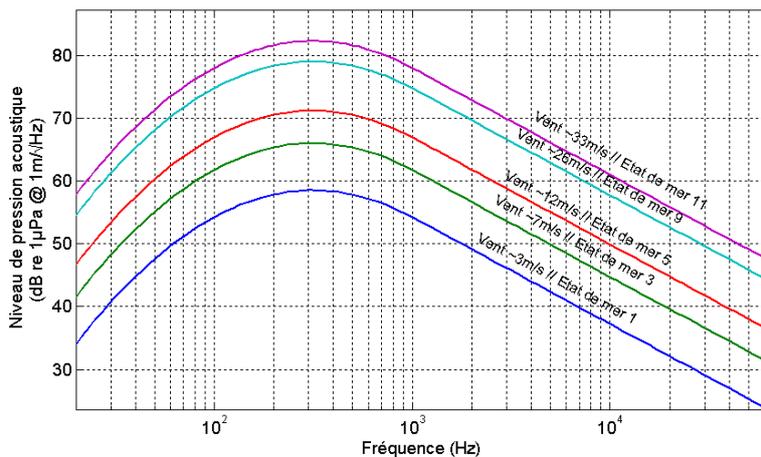


Figure 18 : Exemple de niveau acoustique de bruits de mer (en dB réf. 1µPa/VHz) en fonction de l'état de mer et de la vitesse du vent (en m/s) (Wenz, 1962)

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 32Hz et 64kHz 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 19. Etant donné les échelles géographiques en jeu (propagations longues distances), les sources de bruit de navire seront considérées comme ponctuelles et monopolaires.

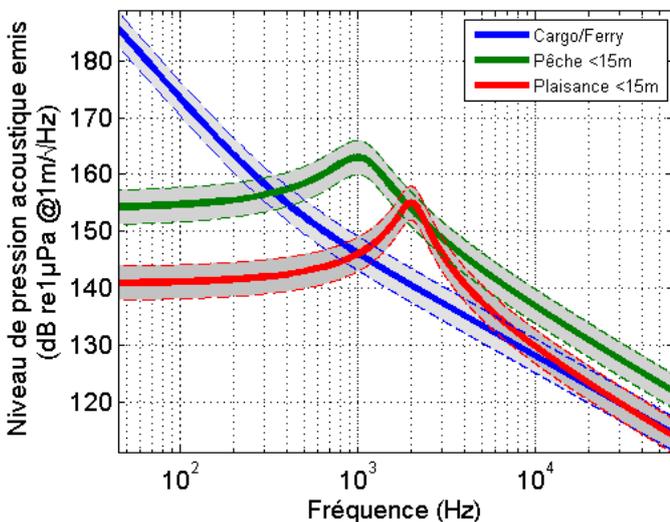


Figure 19 : Gabarit et tirages des spectres de niveaux de bruit émis par les navires (en dB réf. 1µPa/VHz @1m) en fonction de la fréquence et de leur catégorie (« Cargo », « Ferry », « Pêche », « Plaisance »). Les barres d'erreurs (gris) indiquent la variabilité observée dans les tirages aléatoires effectués 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.1.1. Zones géographiques

La zone d'étude acoustique (Figure 20) comprend l'ensemble de la Manche Orientale de la pointe du Cotentin à la liaison à la Mer du Nord, les côtes françaises et anglaises.

La faible bathymétrie de la zone d'étude (profondeur maximale égale à 100m) impose d'analyser le bruit sur l'ensemble de la colonne d'eau. Cette gamme d'immersions (0-100m) est potentiellement utilisable par les espèces susceptibles d'être présentes dans la zone d'étude.

	Longitude Est	Longitude Ouest	Latitude Nord	Latitude Sud
<b>Zone Etude Acoustique</b>	2°00'W	01°30'E	49°00'N	51°00'N

Tableau 9 : Limites géographiques des zones d'étude acoustique

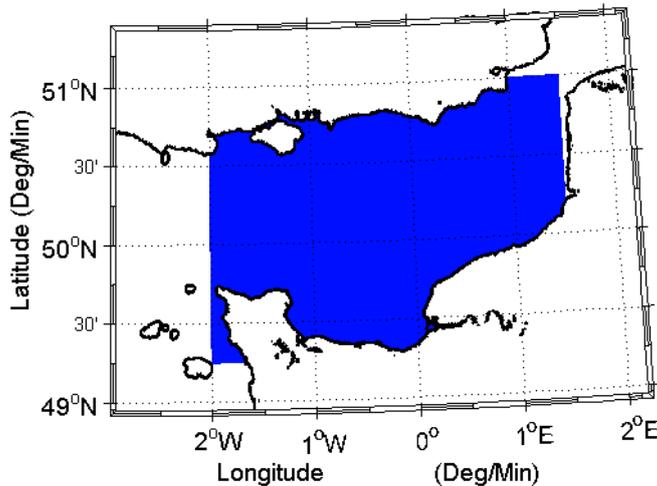


Figure 20 : Définition de la Zone d'Etude Acoustique pour l'étude et l'analyse de l'Etat Sonore Initial. Chaque source sonore (navire) présente dans cette zone est susceptible de contribuer au bruit initial sur le site (Source Quiet-Oceans).

#### III.1.2. 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, 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 10.

Fréquence	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz	32kHz	64kHz
Ecart-type (dB)	2,8	5,8	4,1	0,6	4,5	2,1	5,0	9,2	9,9	4,2	4,0

Tableau 10 : Ecart-type entre les données mesurées et les données simulées à la médiane (percentile 50%).

### **III.1.3. Guide lecture de l'atlas sonore**

L'atlas sonore est détaillé dans les paragraphes III.1.5. Les cartes de bruit large bande (63Hz à 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 d'immersions 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 donnée par le code de couleur est de N%. L'atlas sonore saisonnier est établi pour les percentiles 99 %, 90%, 50%, 10% et 1%.

### **III.1.4. Analyse géographique**

Plus le percentile est élevé, plus il représente un niveau sonore fréquent. Dans le cas des eaux en Manche Orientale, ce niveau fréquemment observé est un bruit anthropique, lié au bruit du trafic commercial principalement dans la zone du Rail et aux activités de pêche côtière dans la partie sud. Les niveaux de bruit ambiant naturels considérés dans cette cartographie sont restreints aux bruits liés aux vagues et à la houle. Les bruits liés aux précipitations ne sont pas pris en compte.

### **III.1.5. Atlas sonore saisonnier**

#### **III.1.5.a. Caractérisation spectrale du bruit**

D'une manière générale, à l'échelle de la Manche, les fréquences inférieures à 500Hz dominent largement le bruit ambiant, mais ces basses fréquences présentent une variabilité temporelle et spatiale pouvant atteindre plusieurs dizaines de dB, ce qui est considérable. Cela peut s'expliquer par un environnement majoritairement peu profond (< 160m), défavorable à la propagation des ondes basses fréquences, en particulier celles émises par le rail de trafic maritime au Nord. Les rails de trafic maritime sont en effet particulièrement sonores, de façon permanente, avec des niveaux médians large bande (énergie acoustique intégrée de 45Hz-à 89kHz) environ 40dB plus élevés qu'à l'emplacement du futur parc.

Autour de 20kHz, on observe une augmentation significative du bruit sur les percentiles de l'ordre de quelques dizaines de pourcents, directement liée aux activités de pêche et de plaisance (en été). Les ondes acoustiques à ces fréquences étant fortement atténuées avec la distance de propagation, le bruit reporté dans cette bande décrit en effet des activités localisées. Les mesures ont permis de mettre en évidence une variabilité de l'ordre de 4 à 6 dB sur les niveaux de bruit large bande sur les périodes nocturnes.

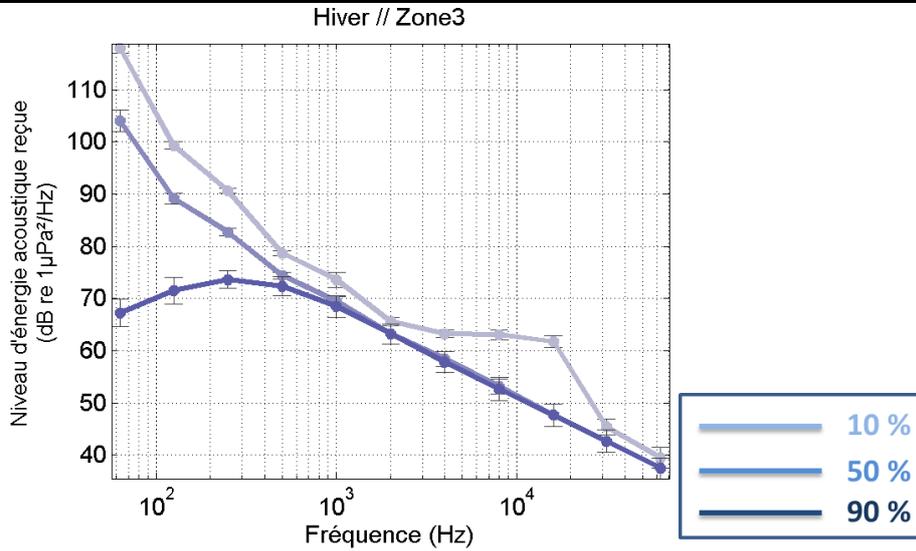
Les différences saisonnières du bruit ambiant semblent relativement faibles sur les cartes représentées ci-après. Il faut toutefois noter que seule la saison « été » a fait l'objet d'un levé terrain qui permet d'obtenir une confiance importante dans la carte associée. Concernant les autres saisons, bien que les résultats des mesures acoustiques en été soit indirectement prises en comptes<sup>12</sup>, les incertitudes sont plus importantes sur la description des activités anthropiques et, par suite, sur les cartes associées. Il est donc fortement recommandé de calibrer les autres cartes saisonnières par des levés terrains ad-hoc.

<sup>12</sup> On appelle cela une « calibration partielle »

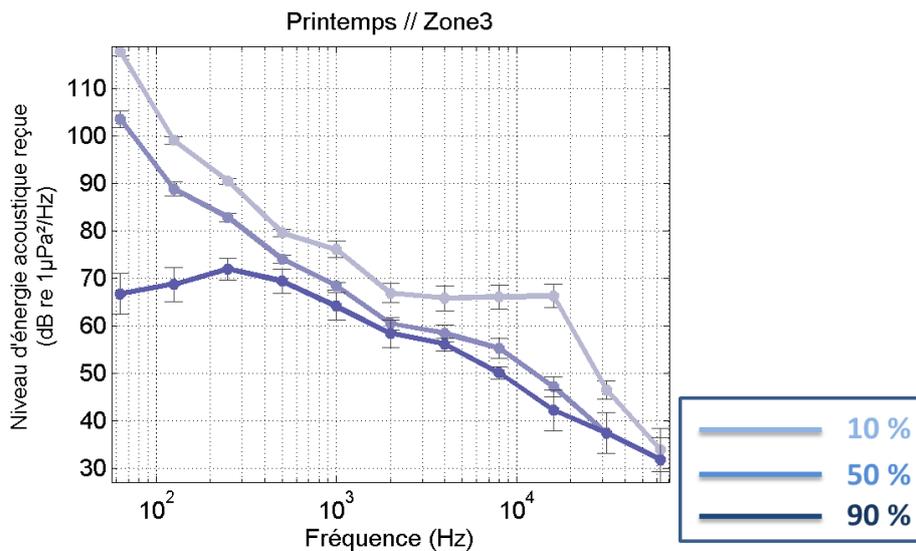
45Hz à  
89 kHz

Gamme d'immersion : Toute la hauteur d'eau  
Représentativité: Manche Ouest

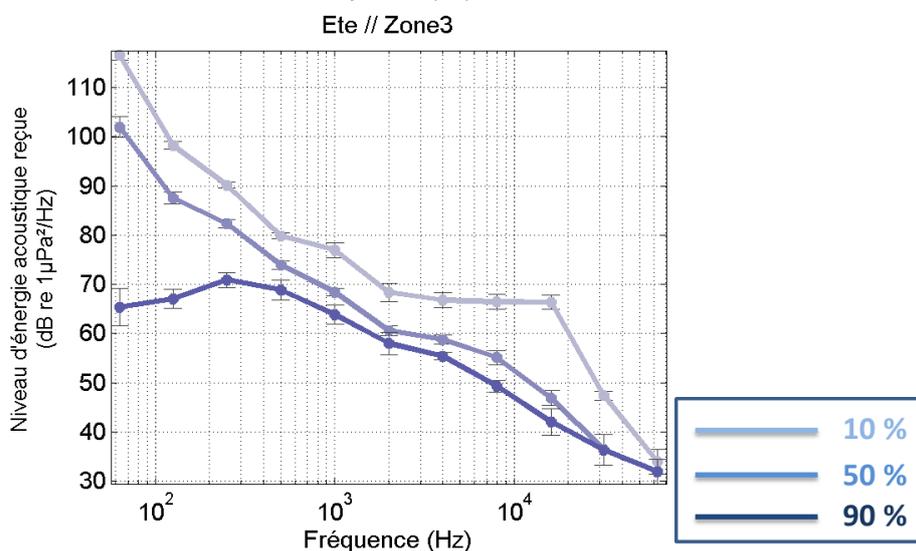
Hiver  
(partiellement calibrée)



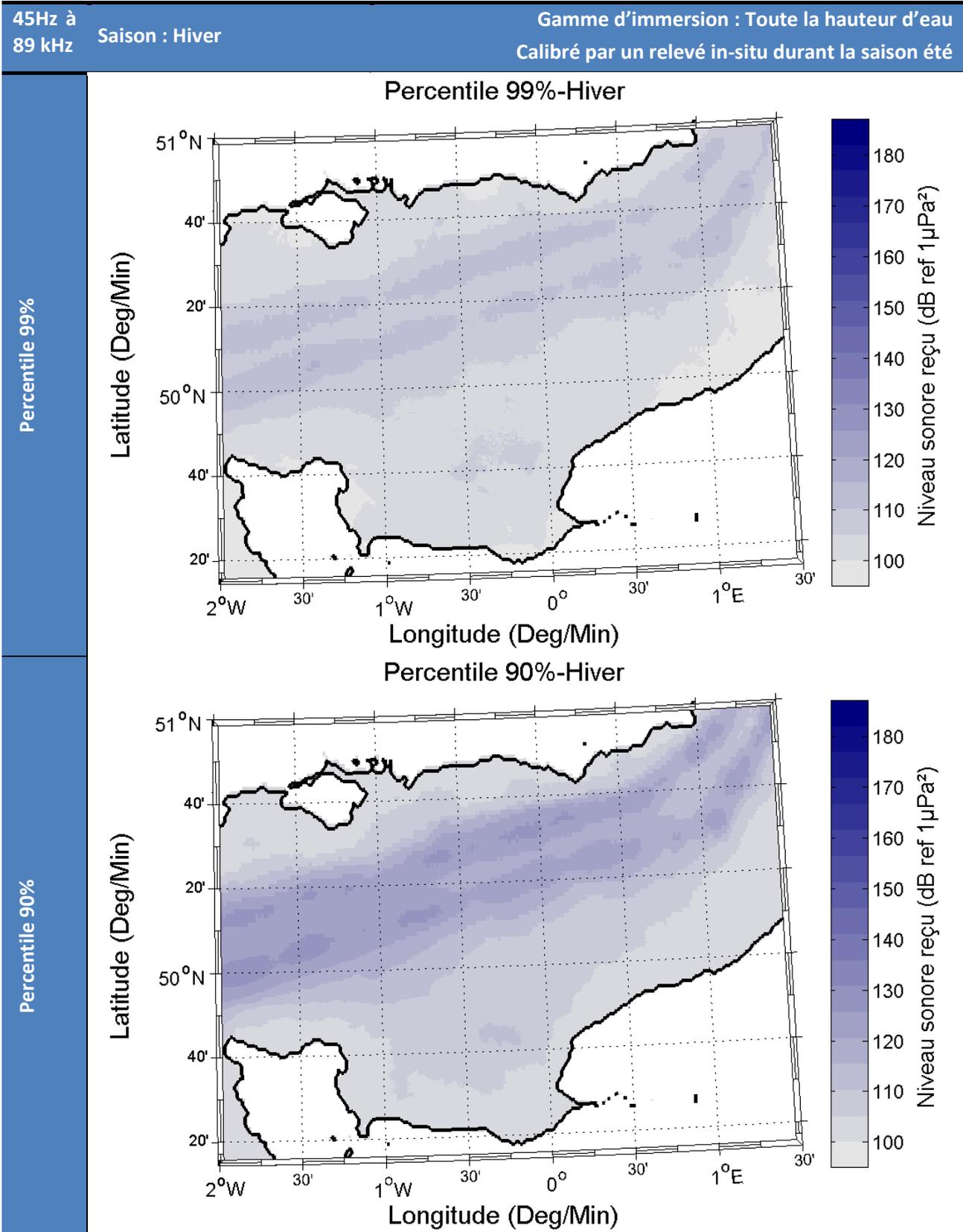
Printemps/ automne  
(partiellement calibrée)



Eté  
(Calibrée)



III.1.5.b. Caractérisation spatiale et statistique du bruit actuel



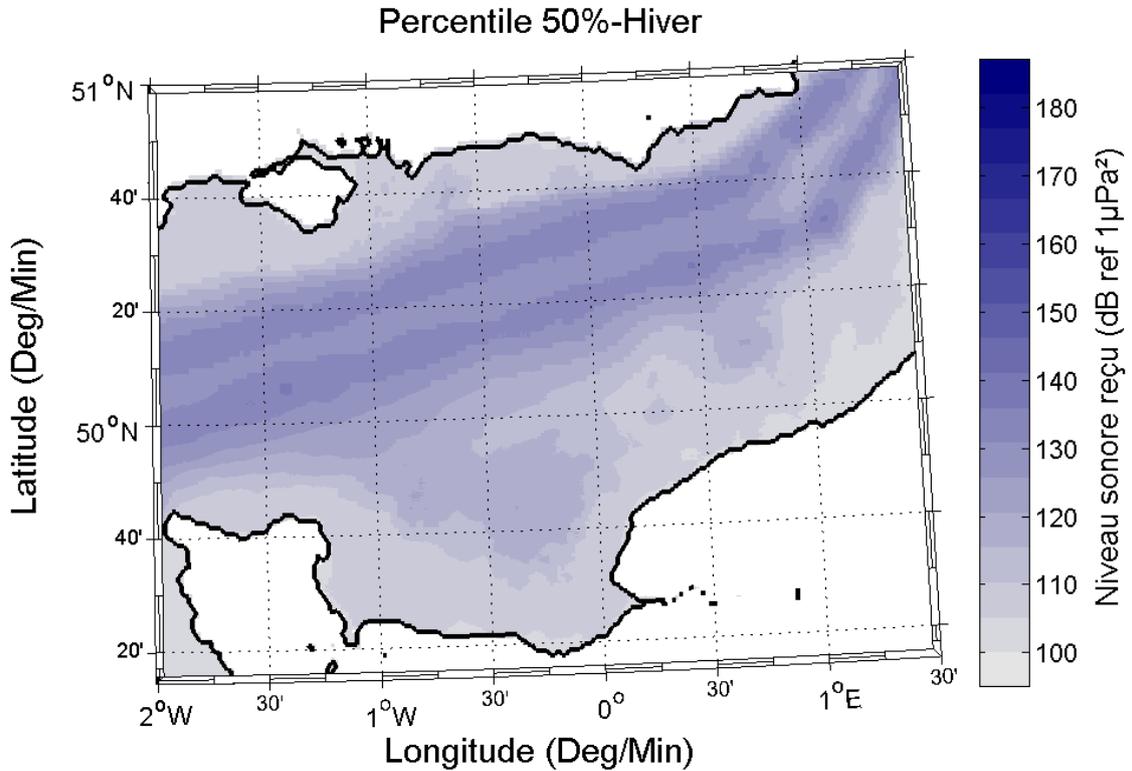
45Hz à  
89 kHz

Saison : Hiver

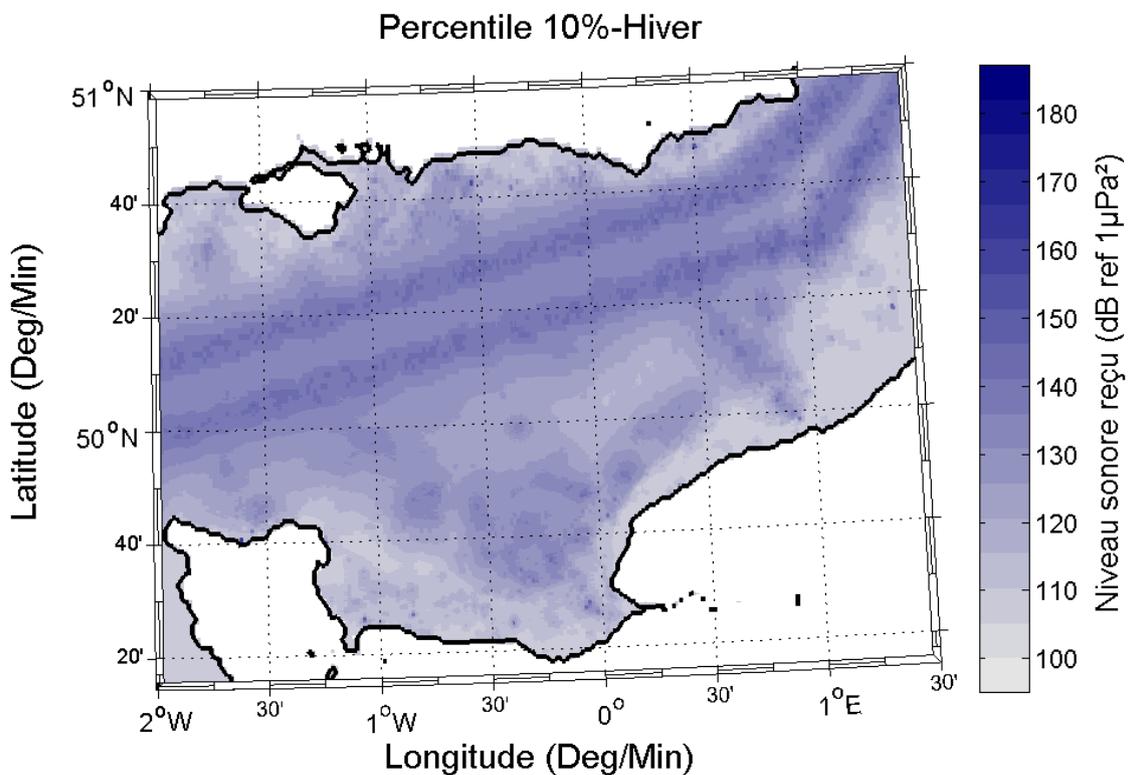
Gamme d'immersion : Toute la hauteur d'eau

Calibré par un relevé in-situ durant la saison été

Percentile 50%



Percentile 10%

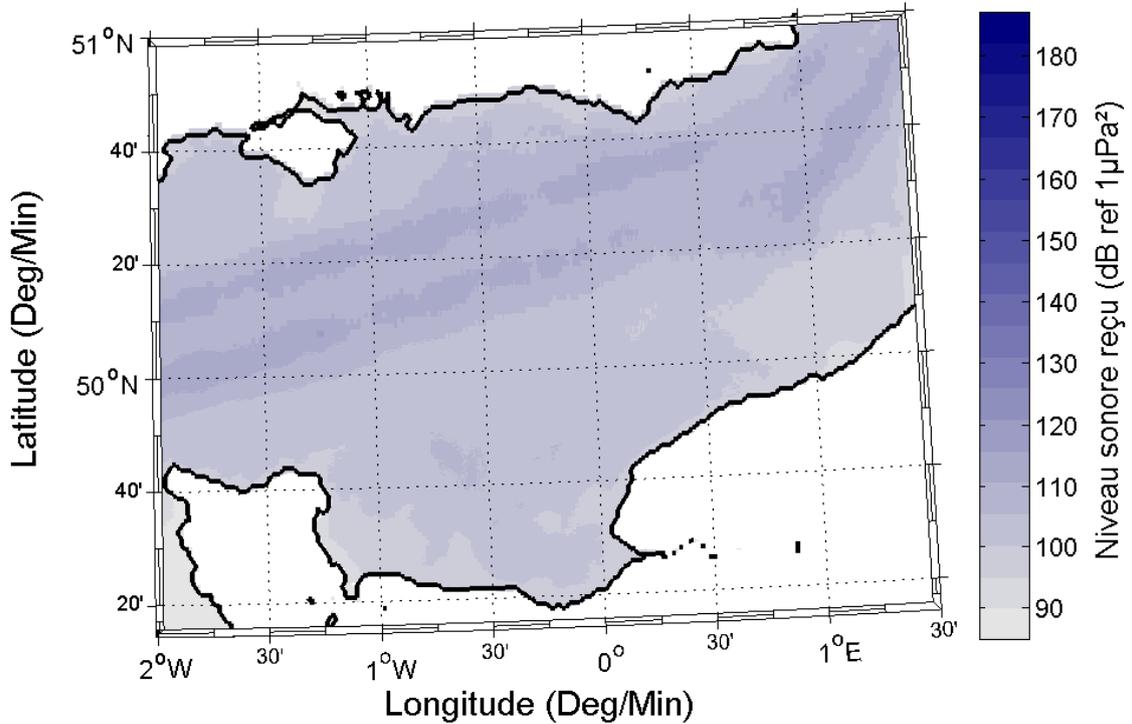


45Hz à  
89 kHz

Saison Printemps/Automne

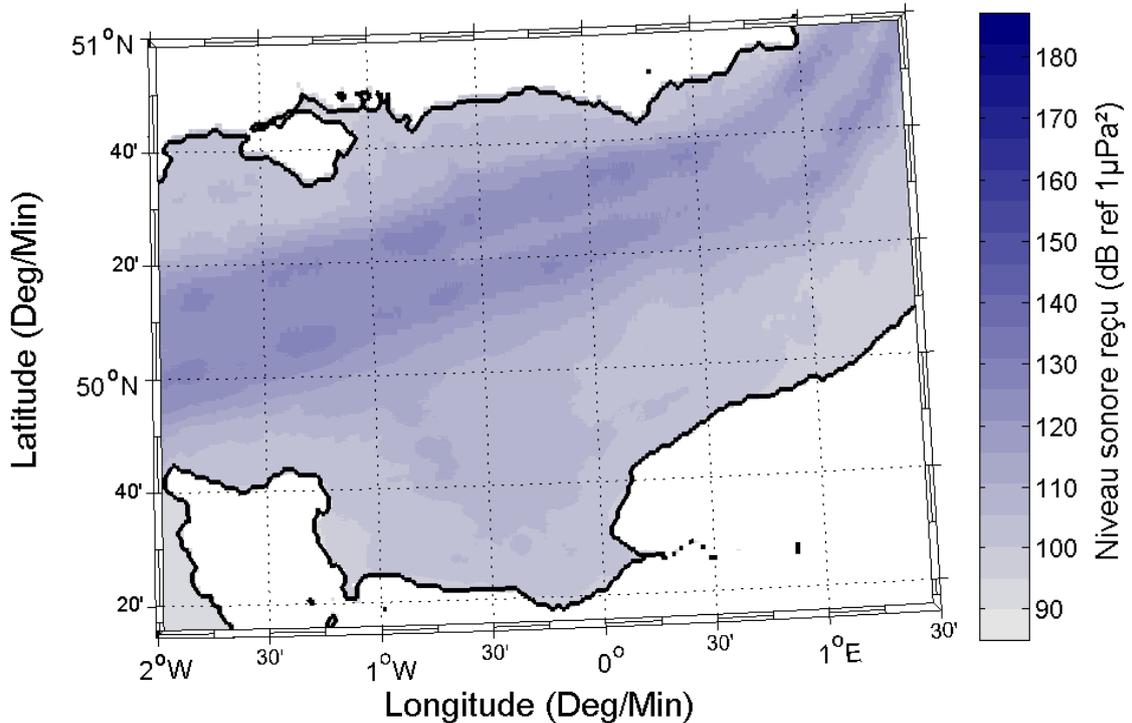
Gamme d'immersion : Toute la hauteur d'eau  
Calibré par un relevé in-situ durant la saison été

Percentile 99%-Printemps



Percentile 99%

Percentile 90%-Printemps



Percentile 90%

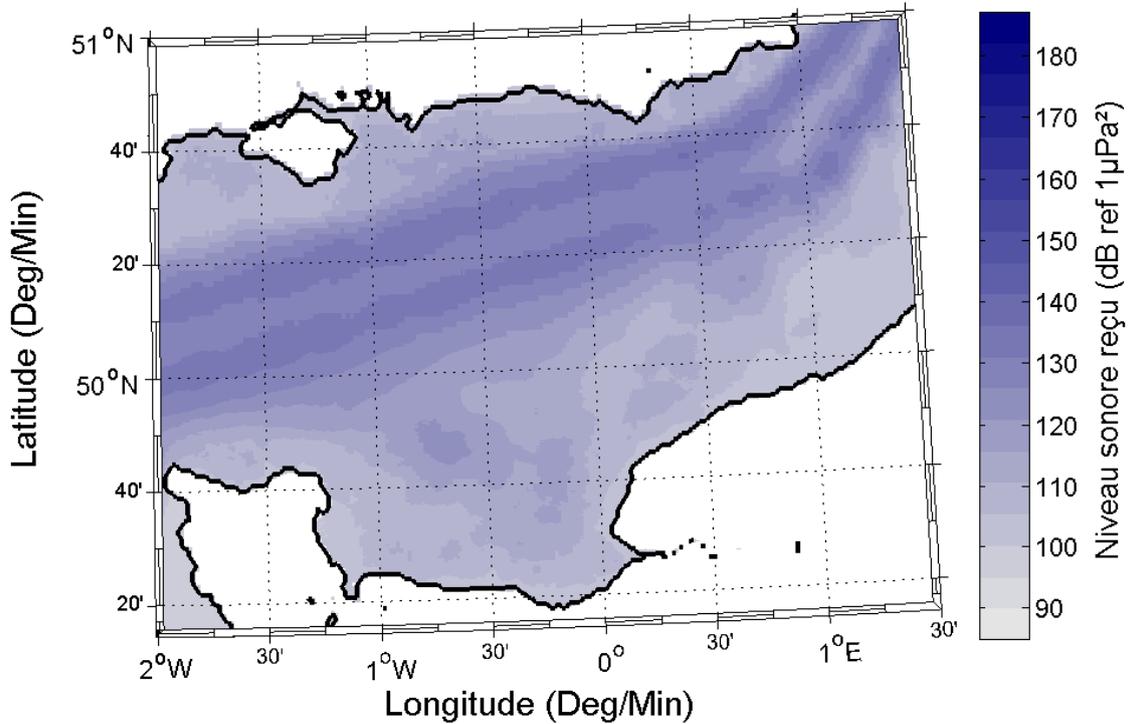
45Hz à  
89 kHz

Saison Printemps/Automne

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

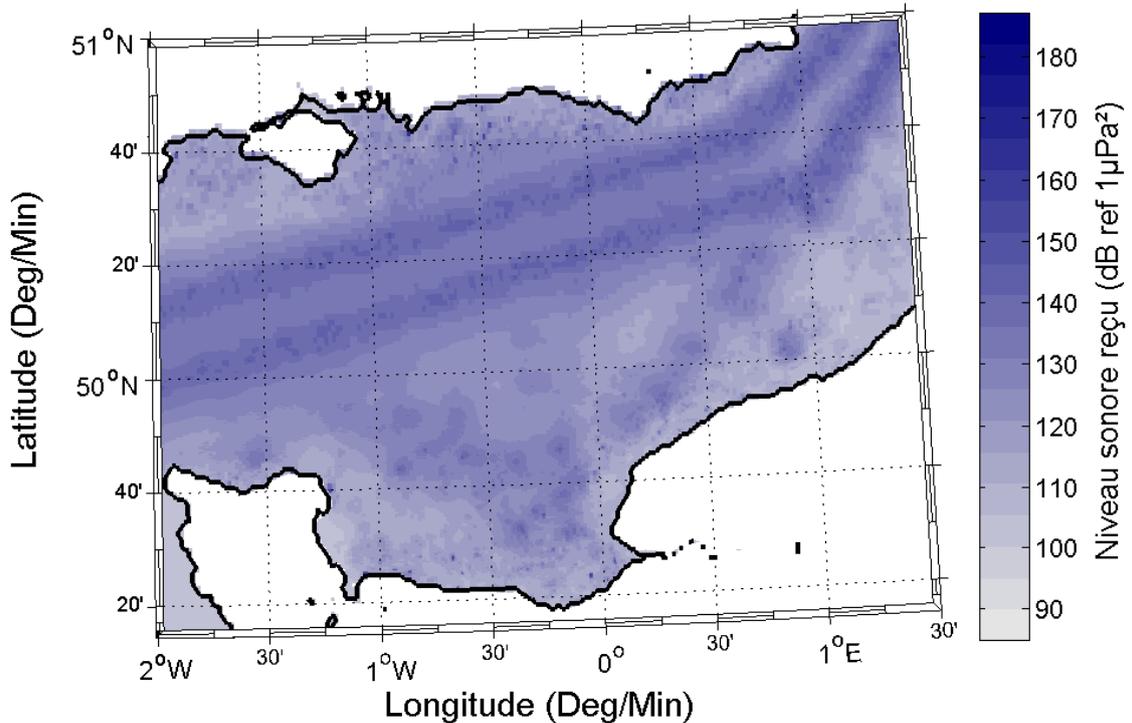
Percentile 50%

Percentile 50%-Printemps



Percentile 10%

Percentile 10%-Printemps

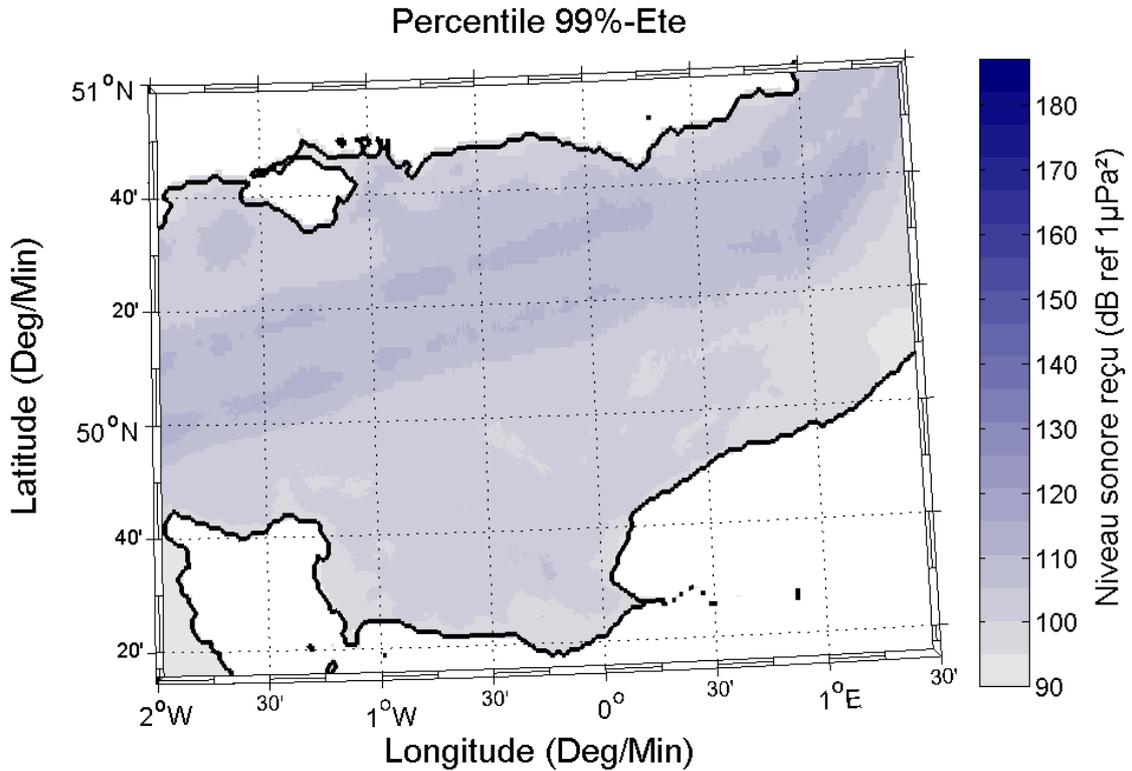


45Hz à  
89 kHz

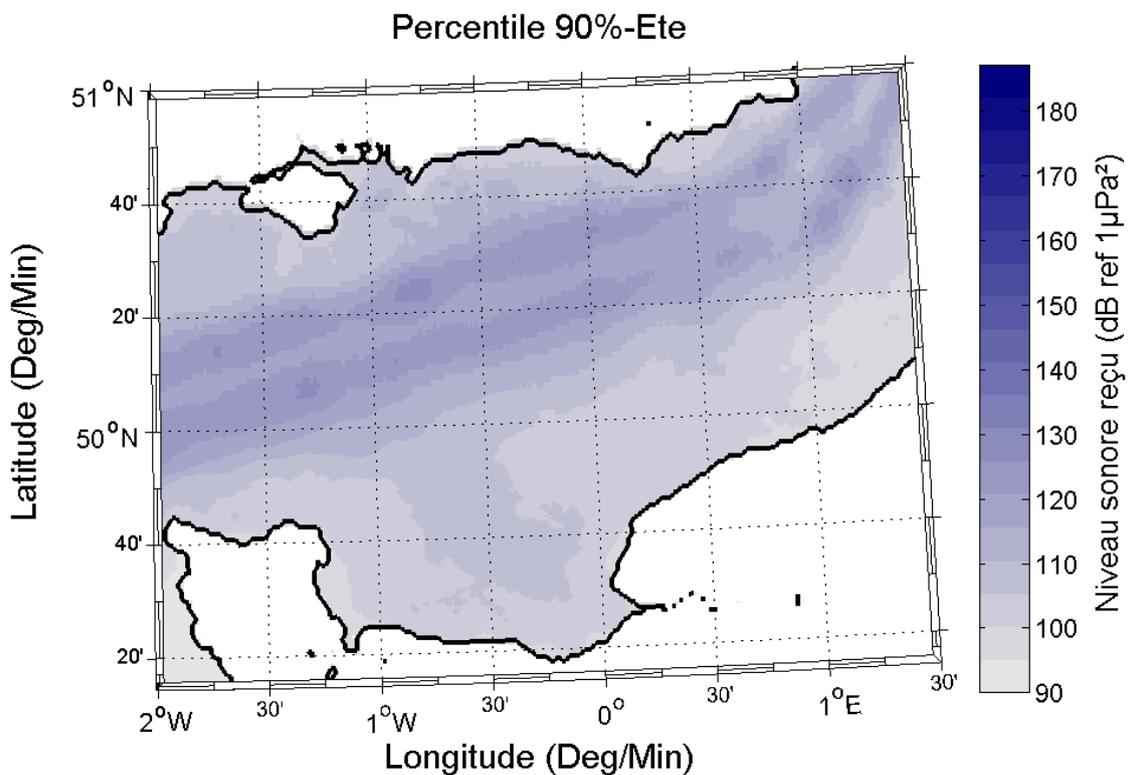
Saison Eté

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

Percentile 99%



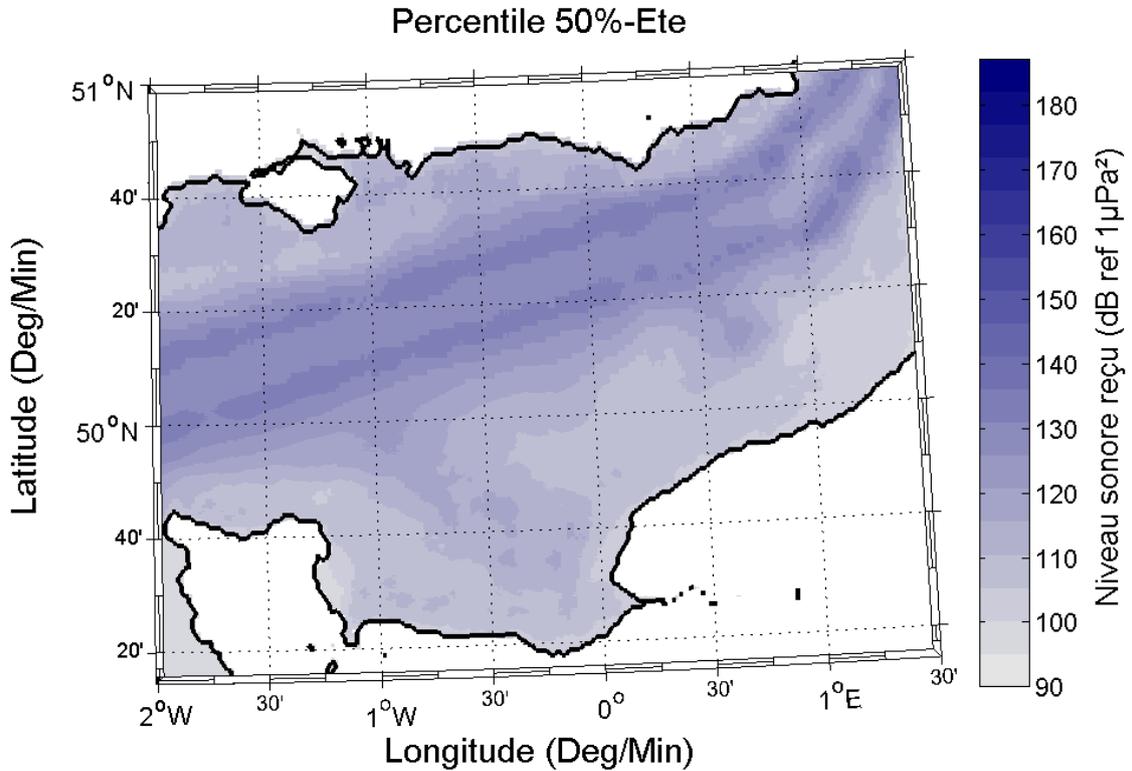
Percentile 90%



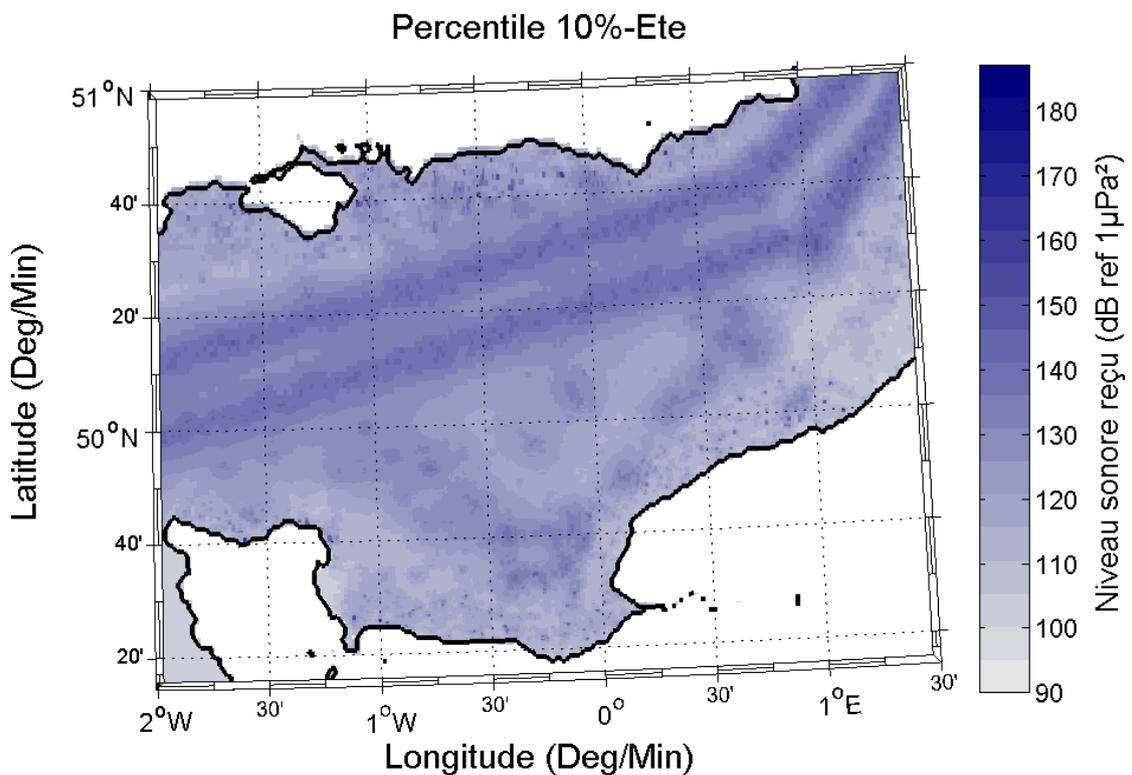
45Hz à 89 kHz  
Saison Eté

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 offshore au large de Fécamp. 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 Fécamp. Aussi, ce chapitre regroupe :

- ✓ une description des techniques de construction mises en œuvre, appelés scénarios, telles que prévues à ce jour par Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises ;
- ✓ 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 Eoliennes Offshore des Hautes Falaises prévoit l'implantation d'un champ éolien constitué de 83 éoliennes au large de Fécamp. Les éoliennes seront mises en place sur des fondations à base gravitaire (GBS, Gravity Base Structures) avec une embase de 36 mètres de diamètre. Le processus d'implantation comprend la préparation des fonds marins (préparation des fonds, des remblaiements et des couches anti-affouillement), le remorquage des GBS sur la zone du parc éolien, le positionnement et l'immersion des GBS sur leur emplacement définitif et l'installation d'un système de protection anti-affouillement (couche graveleuse).

La construction de ce parc éolien comprend différentes phases (Figure 21) :

- ✓ les opérations de construction ;
- ✓ l'exploitation du parc éolien en mer ;
- ✓ la maintenance à partir du port de Fécamp.

Les scénarios de démantèlement n'étant pas connus à ce jour, une quantification des risques biologique liés spécifiquement à cette phase du cycle de vie du projet n'a pas pu être menée. On anticipe cependant que les enjeux biologiques lors de cette phase sont aussi importants que ceux liés à la construction des parcs éoliens.

#### IV.1.1. Description des opérations de construction

Les opérations de construction regroupent plusieurs ateliers qui seront considérés comme non-concomitants sauf dans certains cas :

- ✓ le dragage afin de préparer le sol ;
- ✓ le clapage afin de déverser les matériaux nécessaires à la réalisation du socle (ou semelle) ;
- ✓ le transfert des structures des éoliennes depuis Le Havre ;
- ✓ la dépose des structures éoliennes dans le parc ;
- ✓ l'ensouillage des câbles dans le parc à partir d'un navire spécifique ;
- ✓ le battage de la fondation du poste électrique (ou OST) ;
- ✓ le trafic induit par l'ensemble des travaux dans ou à proximité du parc ;
- ✓ l'exploitation de 83 éoliennes 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 situation de travaux « cumulatifs » prend en compte un atelier de dragage, un déversement de matériaux (clapage) et la dépose d'une structure d'éolienne. Ces différents ateliers sont espacés arbitrairement de 7 km dans le cadre des simulations réalisées (donnée Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises).

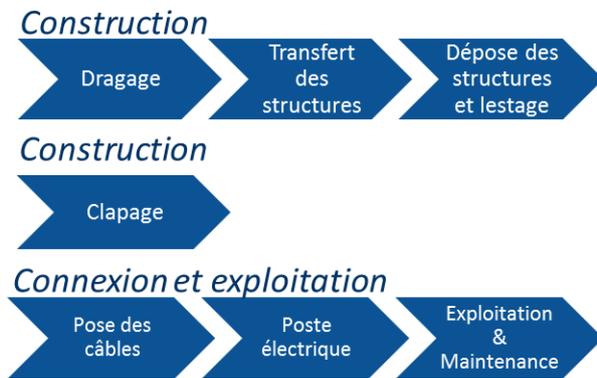


Figure 21 : Synoptique des ateliers constituant les scénarios du projet. D'après Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises.

## 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 Fécamp. 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 permettrait d'affiner les résultats.

### IV.2.1. Bruit généré par les opérations de dragage

L'opération de dragage est effectuée à partir d'un navire spécifique (drague aspiratrice en marche ou stationnaire). Les opérations ont lieu en continu, et le bruit généré est donc de même nature. La durée maximale de travaux en continu est de 20h.

Le scénario technico-opérationnel représentatif d'une position de dragage correspond à la superposition d'un navire générant un bruit propre et d'un engin sous-marin sur le fond générant un bruit propre. Le gabarit de source sonore à 1m choisi (Figure 22) est dérivé de la littérature (Parvin, 2008), (Robinson, 2011).

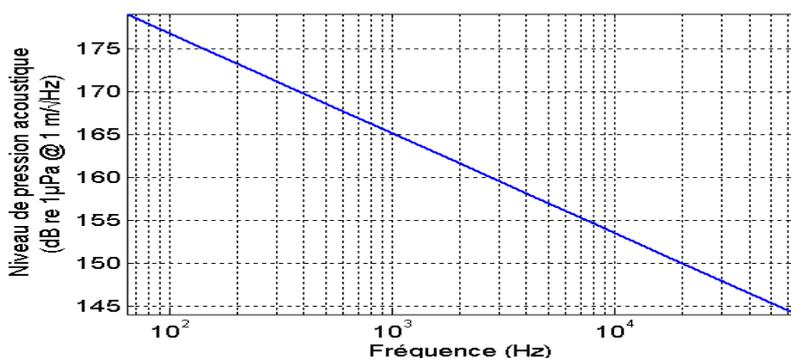


Figure 22 : Gabarit de source sonore (en dB ref. 1µPa/VHz @1m) localisée près du fond permettant de modéliser le bruit généré par l'opération de dragage. D'après littérature (Parvin, 2008) et (Robinson, 2011)

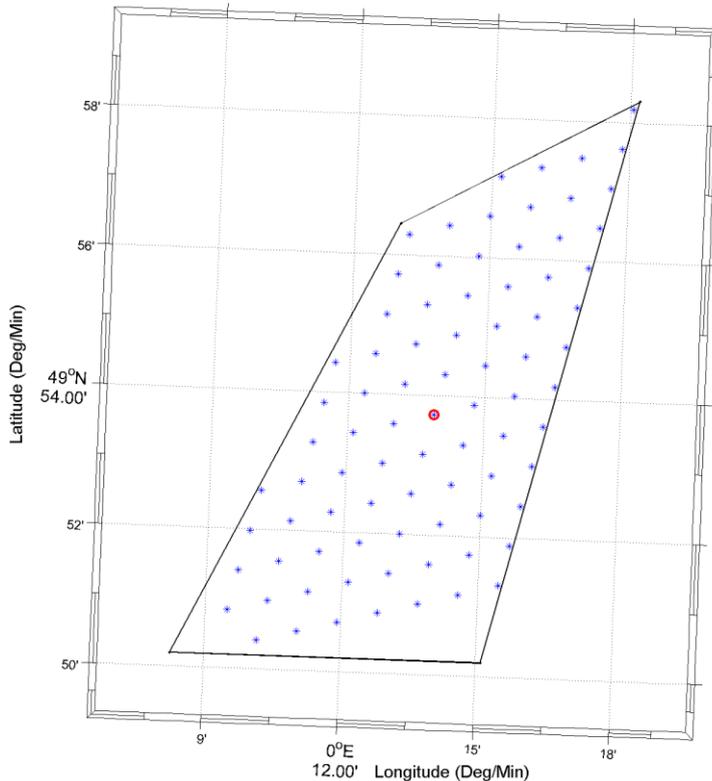


Figure 23 : En rouge, la position géographique servant à l'évaluation des incidences sonores lors d'une opération de dragage sur une durée maximale effective de 20 heures.

#### IV.2.2. 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 24) 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 réalisés à la vitesse moyenne d'avancement de 150m/h (Figure 25).

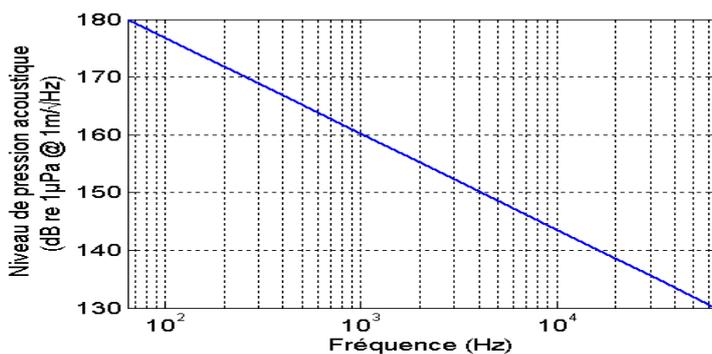


Figure 24 : Gabarit de source sonore (en dB ref. 1µPa/√Hz @1m) localisée près du fond permettant de modéliser le bruit généré par l'outil tracté d'ensouillage des câbles (d'après (Talisman Energy (UK) Limited, 2004), et (Wilson, Carter, & Elliott, 2009)

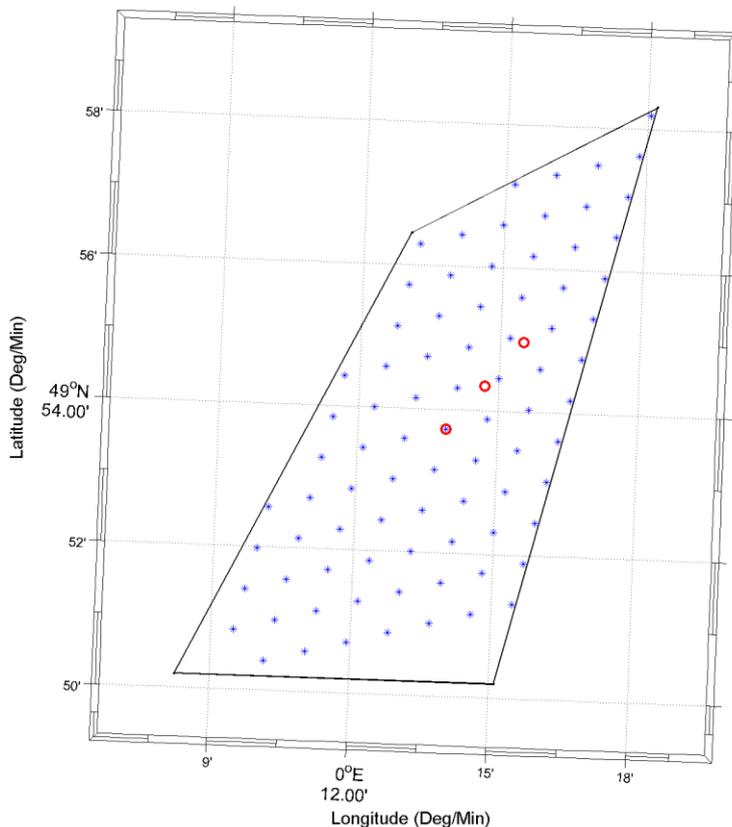


Figure 25 : : En rouge, trois positions géographiques servant à l'évaluation des incidences sonores dues à l'ensouillage des câbles électriques à l'intérieur du parc éolien pendant une durée totale de 20 heures à la vitesse de 150m/h.

#### IV.2.3. Bruit généré par 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'atterrissement des matériaux sur le fond fait que ce bruit n'est pas considéré.

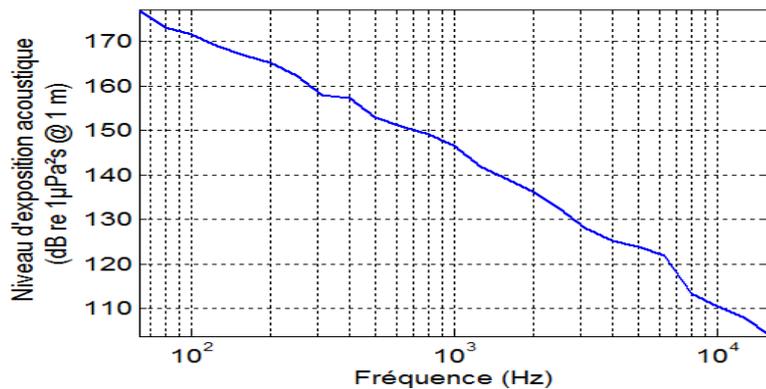


Figure 26 : Modèle de niveau d'exposition sonore (Sound Exposure Level SEL) localisée près de la surface permettant de modéliser le bruit généré par un déversement à partir d'une barge. Source Quiet-Oceans.

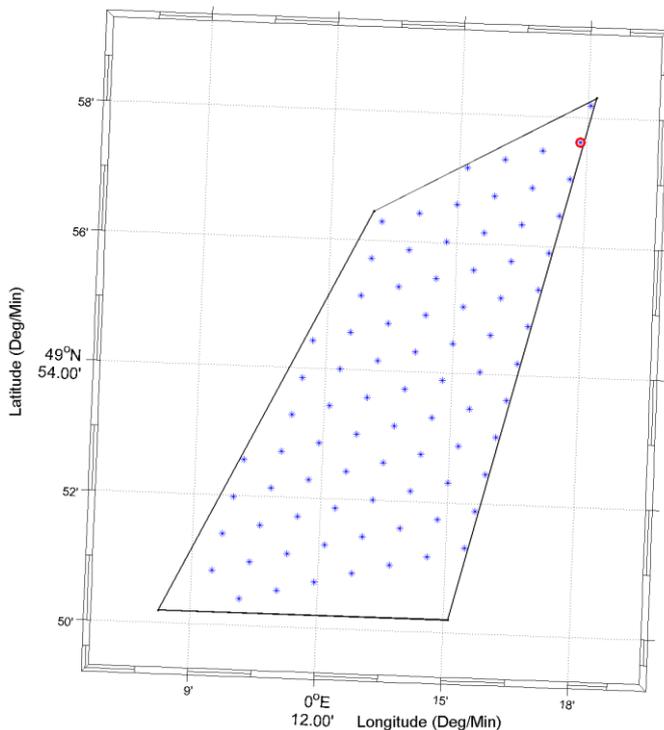


Figure 27 : En rouge, position géographique servant à l'évaluation des incidences sonores lors d'une opération de clapage.

#### IV.2.4. 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 du Havre à l'aide de 5 navires de type remorqueur puis la dépose de chaque structure à l'emplacement désiré (Figure 28). 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 29. Ce gabarit est issu de la littérature (Hildebrand, 2009), (Wales & Heitmeyer, 2002).

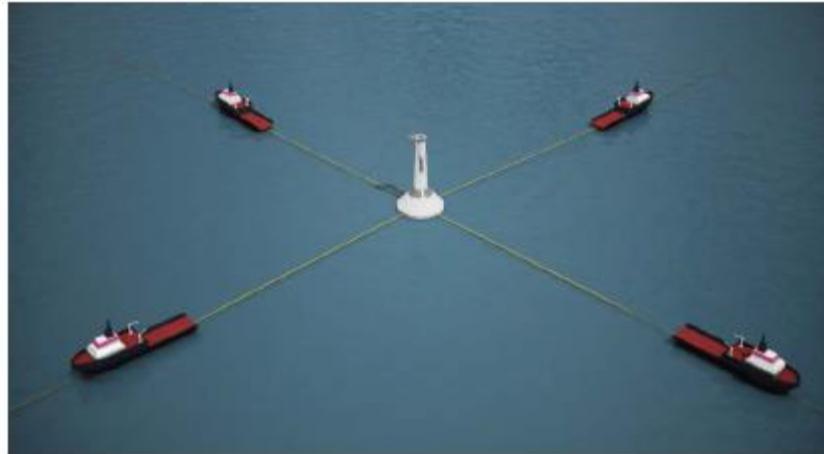


Figure 28 : illustration d'une opération de transfert et de dépose d'une structure d'éolienne (source Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises).

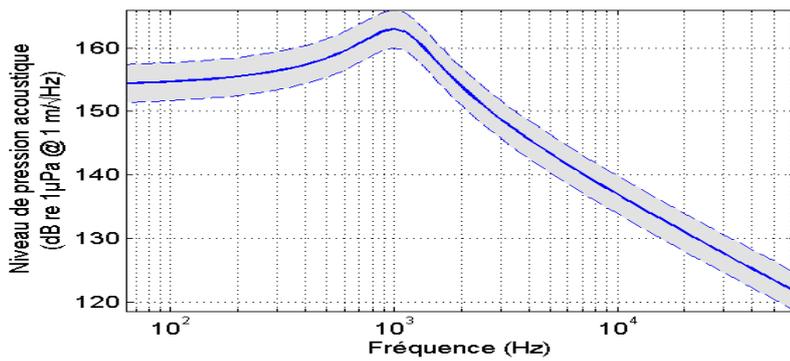


Figure 29 : Gabarit de source sonore (en dB ref. 1µPa/VHz @1m) modélisant un navire de type remorqueur. D'après (Hildebrand, 2009), (Wales & Heitmeyer, 2002)

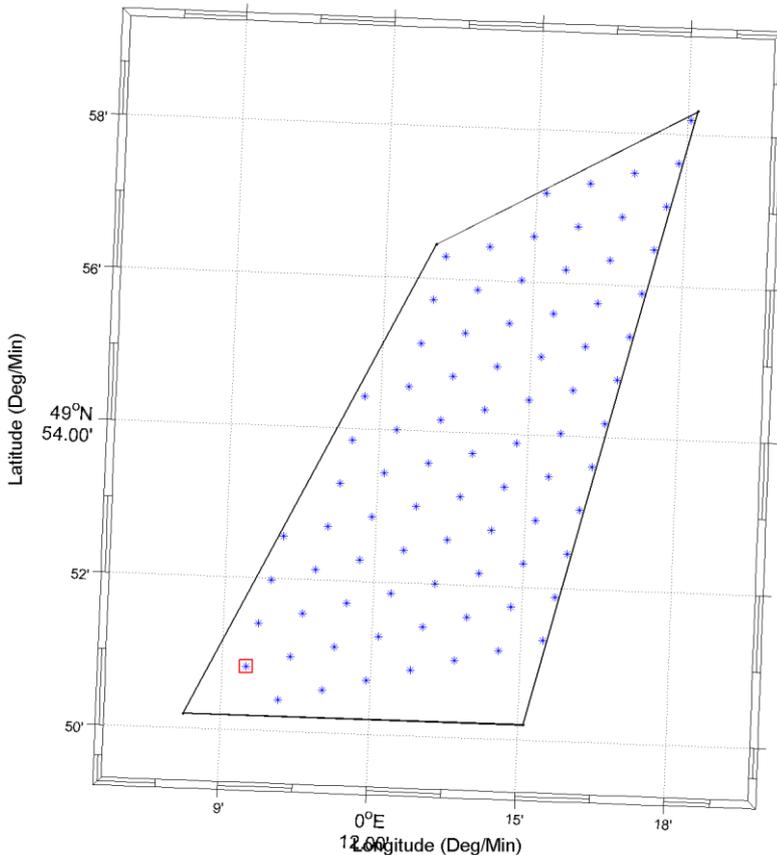


Figure 30 : En rouge, zone géographique servant à l'évaluation des incidences sonores lors d'une dépose d'une structure d'éolienne.

#### IV.2.5. 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 Fécamp. 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 Fécamp/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 31 montre le niveau de pression acoustique à 1m en fonction de la fréquence.

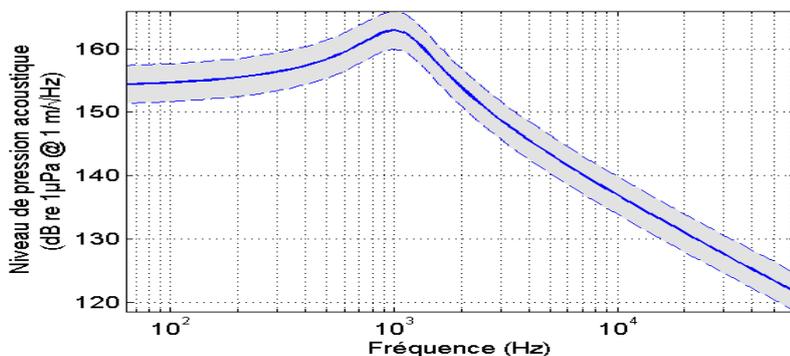


Figure 31 : Gabarit de source sonore (en dB ref. 1µPa/√Hz @1m) modélisant un navire de type remorqueur. D'après (Wales and Heitmeyer 2002) et (Hildebrand 2009).

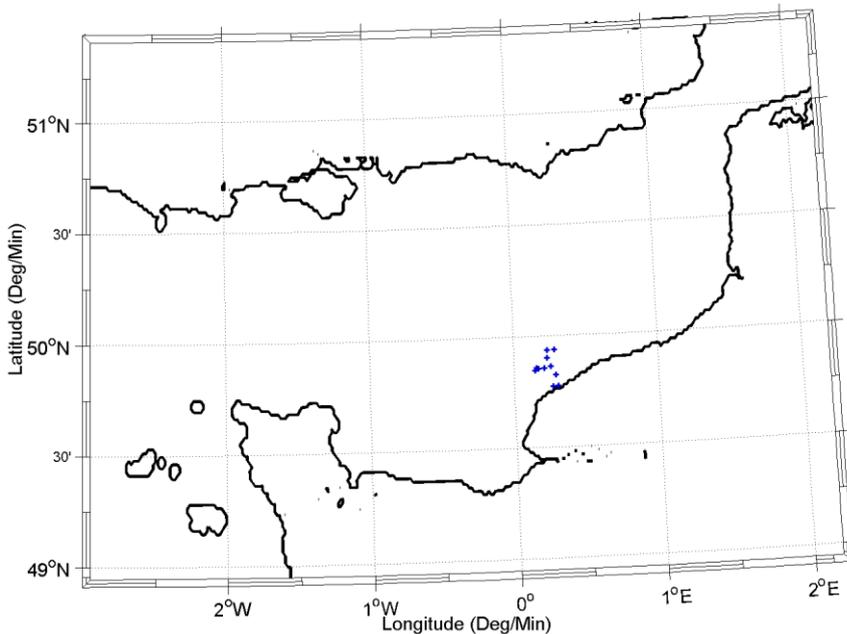


Figure 32 : Exemple de situation instantanée

#### IV.2.6. Bruit généré par le battage de pieu

Le poste électrique (ou OST) se situe sur une fondation de type jacket avec quatre accroches au sol. La fixation au sol se fait par l'intermédiaire de pieu de diamètre 3m. Chaque pieu est enfoncé d'une profondeur de l'ordre de 40m à la vitesse de 30 coups par minute. Le nombre total de coups pour l'enfoncement d'un pieu est estimé à 15 000 coups, soit 9 heures de battage en continu sans interruption (donnée Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises). Chaque pieu de la structure jacket est battu indépendamment.

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, exprimé en dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ). L'énergie d'exposition sonore correspond à l'énergie acoustique reçue en un point, intégrée sur toute la bande de fréquence et sur la durée significative de l'impulsion sonore ( $T_i$ ). Dans le cadre de cette étude,  $T_i$  est choisi égal à 100ms, conformément à la littérature, (De Jong, Ainslie, Benda-Beckman, & Blacquièrre, 2008) par exemple.

Les hypothèses relatives aux niveaux des bruits de construction choisies sont dérivées de la littérature internationale disponible (ITAP, 2008) issue en particulier des projets de construction des plateformes Q7 et OWEZ (De Jong, Ainslie, Benda-Beckman, & Blacquièrre, 2008), Beatrice (Talisman Energy (UK) Limited, 2004), North Hoyle et Scroby Sands (Nedwell, Langworthy, & Howell, 2004) et Horns Rev II (ITAP, 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 (ITAP, 2008) (Figure 34).

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  $\frac{3}{4}$  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.

La Figure 36 illustre la position géographique représentative du projet de construction utilisées pour la modélisation des incidences sonores lors du battage de pieu de l'OST).

Durant l'enfoncement du pieu, une atténuation progressive de l'énergie sonore émise est modélisée 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.

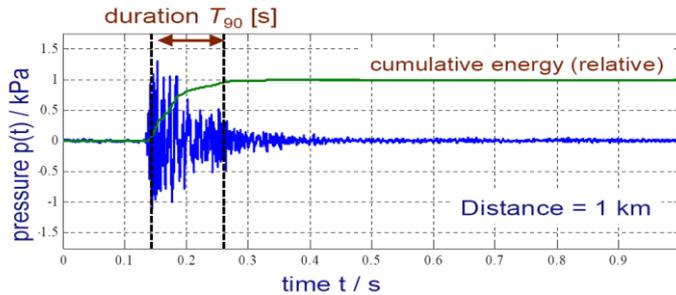


Figure 33 : Signal acoustique type d'un coup en fonction du temps (courbe bleue) et énergie cumulée de l'impulsion sonore mesurée lors d'une opération de battage sur le site Q7. L'énergie mise en jeu est de 800 kJ/coup. La durée significative de l'impulsion sonore  $T_i$  mesurée est de 100 ms. D'après (De Jong, Ainslie, Benda-Beckman, & Blacchiere, 2008).

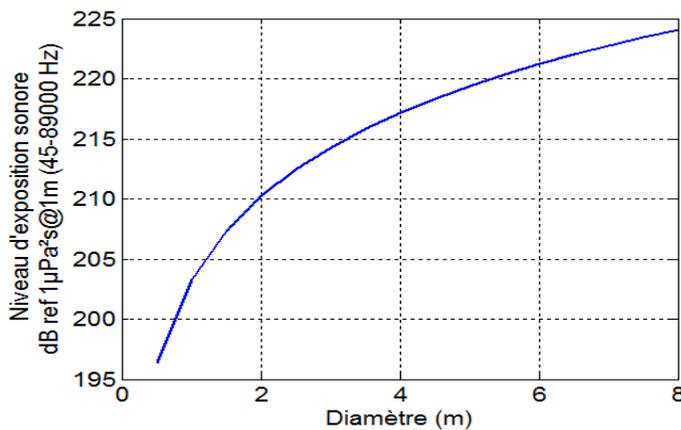


Figure 34 : Régression par hypothèse logarithmique entre le diamètre des pieux et le niveau d'exposition sonore (Sound Exposure Level SEL) maximum par coup à un mètre du pieu. Dérivé des données mesurées lors des opérations de constructions portuaires en Allemagne, et des parcs éoliens en mer Q7, FINO 1, 2 et 3, Alpha Ventus, Utgrunden, Sky 2000, Amrumbank West, Horns Rev II, North Hoyle, et Barrow. Source Quiet-Oceans d'après (ITAP, 2008).

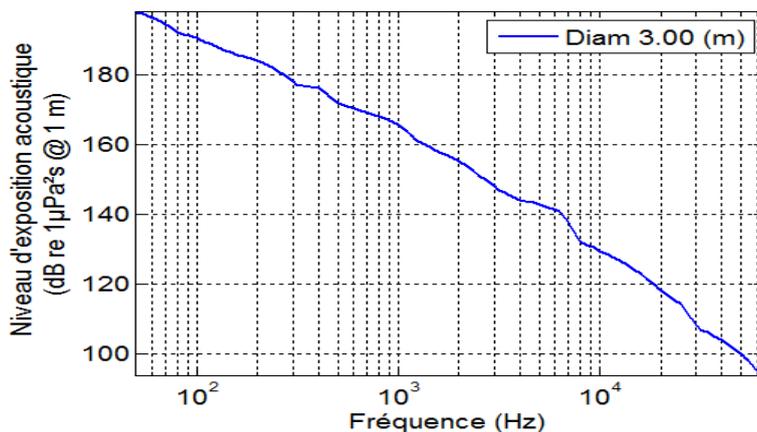
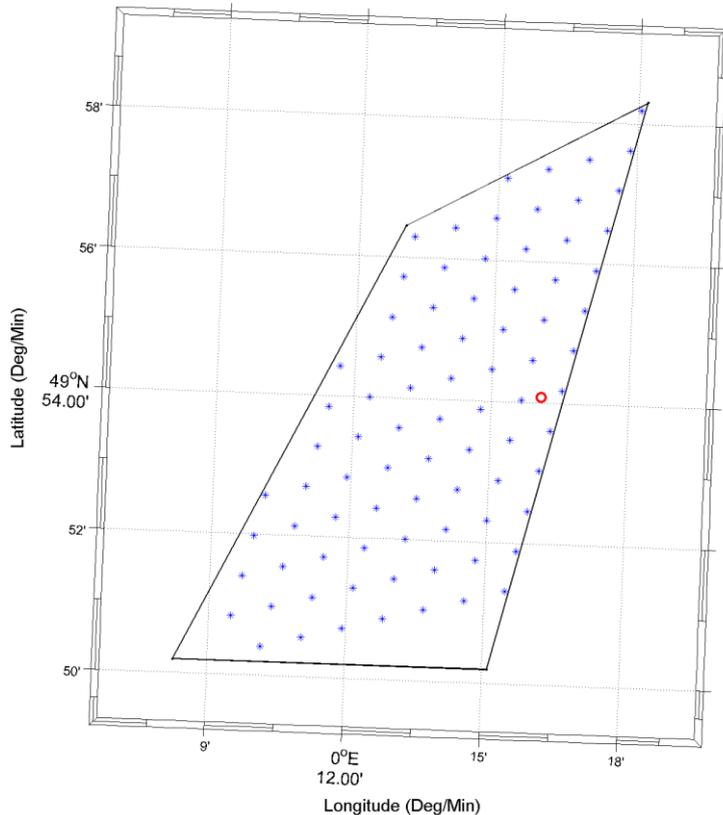


Figure 35 : Modèle de niveau d'exposition sonore (Sound Exposure Level SEL) à un mètre du pieu de diamètre 3m, pour un coup unique, en fonction de la fréquence. Source Quiet-Oceans dérivée de mesures in situ Source Quiet-Oceans d'après (ITAP, 2008).



**Figure 36 : En rouge, position géographique servant à l'évaluation des incidences sonores lors du battage de la structure du poste électrique (Source : Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises).**

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

Les mesures de bruit rayonné par une structure éolienne « monopieu » de 4,9m de diamètre 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 du gabarit de bruit rayonné pour une éolienne reposant sur une structure « monopieu », Quiet-Oceans a établi le gabarit d'une éolienne reposant sur une structure « GBS<sup>13</sup> » en supposant que le bruit de fond large bande est 9 dB en dessous et que les raies spectrales sont moins intenses car le mat de l'éolienne est maintenu dans la structure GBS qui atténue les fréquences propres de celui-ci. Cette hypothèse reste à confirmer par des mesures in-situ.

A partir de cette analyse, un gabarit de bruit rayonné par une éolienne à 1 mètre basée sur une structure « GBS » a été élaboré (Figure 38). Le bruit rayonné par une éolienne est modélisé par une répartition uniforme de sources sur toute la hauteur d'eau.

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

Les opérations de maintenance décrites par la Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises consistent en un trafic induit moyen journalier de 1 à 3 navires de type « supply » de 20m de longueur circulant à

<sup>13</sup> Gravity Base Solution

l'intérieur du parc et/ou en transit entre le parc et le port de Fécamp. Le gabarit sonore est similaire à la Figure 29. Les gabarits sont sensiblement inférieurs aux navires commerciaux transitant en Manche.

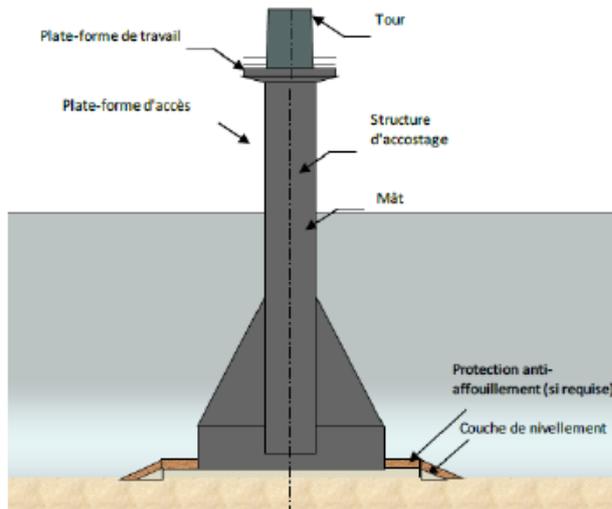


Figure 37 : une structure GBS est un ouvrage posé rempli de matériau de ballastage, le mat de l'éolienne s'insère dans cette structure. (source Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises)

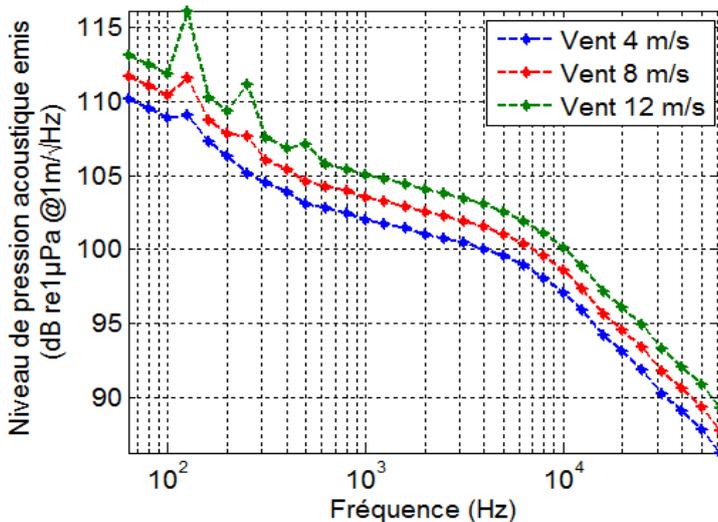
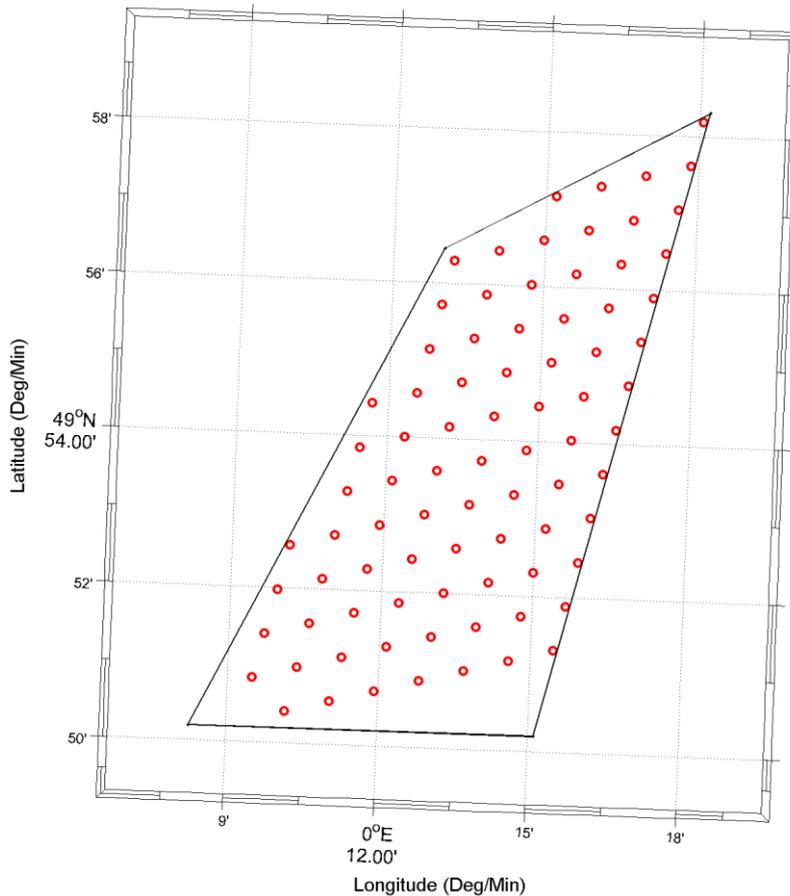


Figure 38 : Modèle de bruit généré par une éolienne structure « GBS » à 1 mètre de la structure en fonction de la fréquence. La courbe bleue correspond au rayonnement pour un fonctionnement « basse puissance », la courbe rouge « moyenne puissance » et la courbe verte « puissance nominale ». Source Quiet-Oceans dérivée de (Betke K., 2006).



**Figure 39 : Positions géographiques des éoliennes servant à l'évaluation des incidences sonores lors de l'exploitation du parc éolien (source Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises).**

### 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.

Un point géographique de la zone est considéré comme faisant partie de l'empreinte sonore si, en ce point, la médiane (ou percentile 50%) saisonnière du bruit du projet est supérieure à la médiane saisonnière 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. Ces 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 40 illustre les empreintes sonores d'une activité de clapage pour chaque catégorie d'espèces potentiellement en présence, et pour deux saisons extrêmes. Les zones blanches correspondent aux zones pour lesquelles le bruit médian existant domine le bruit médian lié au projet.

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

On démontre ainsi que les effets saisonniers sont faibles, les empreintes sonores ne varient que peu entre les deux saisons océanographiques extrêmes que sont l'été et l'hiver. La suite du document ne représentera donc uniquement la saison pour laquelle la tenue des travaux est la plus probable, à savoir l'été.

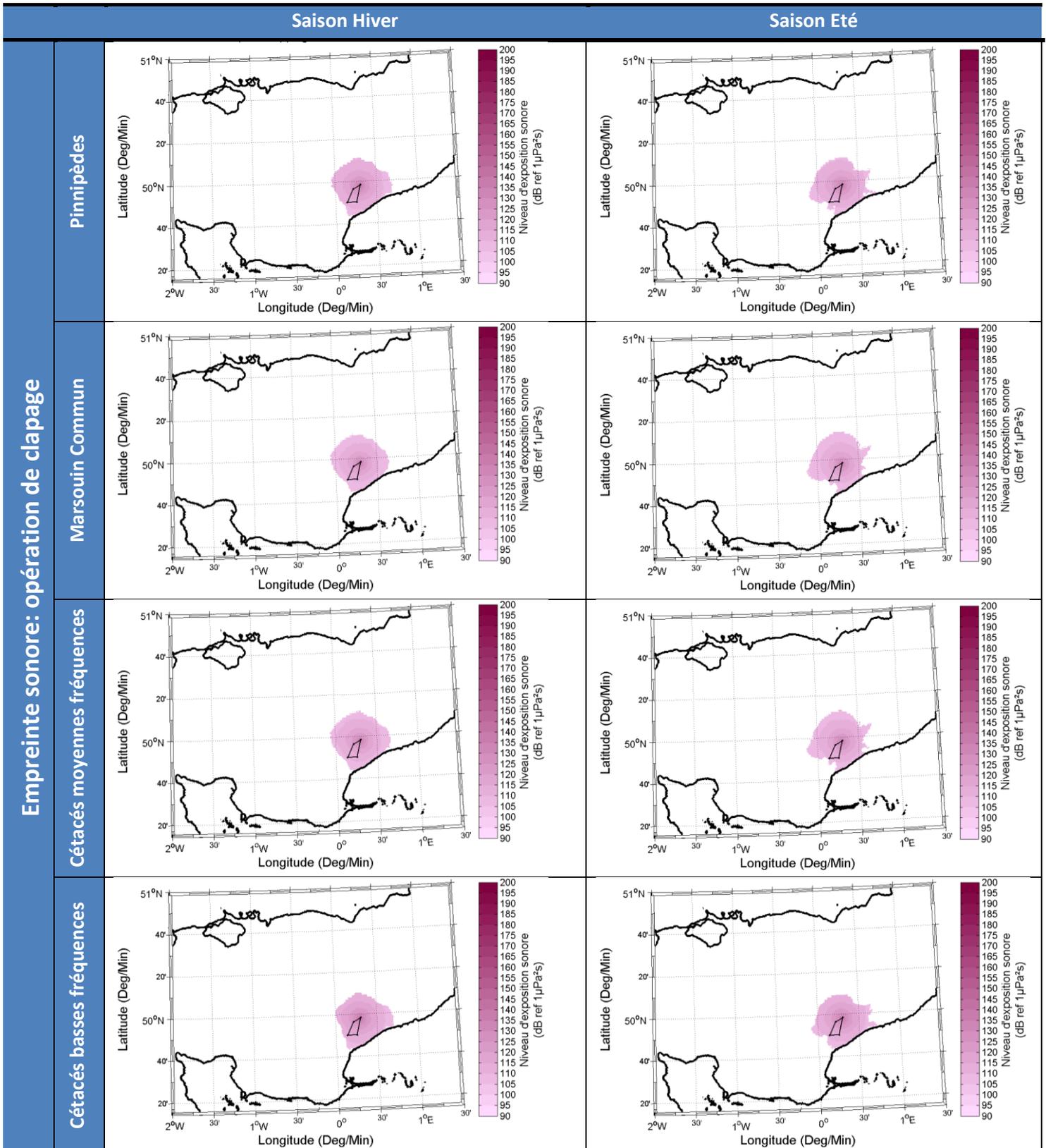


Figure 40 : Exemple d’empreinte sonore d’une activité de clapage pour chaque catégorie d’espèces potentiellement en présence, et pour deux saisons extrêmes. Les zones blanches correspondent aux zones pour lesquelles le bruit médian existant domine le bruit médian lié au projet. Cette figure démontre que les effets saisonniers sont faibles.

---

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

Ce chapitre analyse les risques potentiels vis-à-vis des mammifères marins. Il s'inscrit dans la suite logique du chapitre IV traitant des empreintes sonores prédites liées au projet. Les risques biologiques sont définis par des dépassements éventuels des seuils de dommages auditifs temporaires ou permanents. Ils sont directement évalués à partir des niveaux et distributions sonores saisonnières des scénarios de construction du projet de parc éolien offshore au large de Fécamp. 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

Toutes les études menées par GMN, GON et Biotope ont documenté un nombre global de 52 cétacés dans la zone côtière au large de Fécamp, dont quatre dans la zone du site d'implantation. La plupart des comptages ont été réalisés entre février et août. Tous les pinnipèdes ont été observés près de la côte et peu d'observations par télémétrie ont été réalisées en pleine mer.

Sur les 27 espèces de mammifères marins répertoriées dans le Tableau 11 dont la présence est confirmée dans la Manche, seules 9 d'entre elles ont fait l'objet d'observations régulières dans la zone côtière au large de Fécamp. Sur ces neuf espèces, les espèces de grande taille telles que le *Balaenoptera physalus* sont peu mentionnées dans les eaux peu profondes du site d'implantation. De ce fait, six espèces de mammifères marins sont sélectionnées pour l'évaluation suivante car représentatives des différentes catégories de mammifères marins présents sur zone. Les espèces sélectionnées comportent des représentants des trois catégories acoustiques classées par (Southall, et al., 2007): les cétacés moyenne-fréquence (par exemple le grand dauphin), les cétacés haute-fréquence (par exemple le marsouin commun) et les pinnipèdes (par exemple le phoque veau-marin). Il est peu probable que les espèces basse-fréquence soient présentes dans ces zones côtières.

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	Inconnu
Rorqual commun	<i>Balaenoptera physalus</i>	Cétacé Basse Fréquence	LF	Permanent
Rorqual bleu	<i>Balaenoptera musculus</i>	Cétacé Basse Fréquence	LF	Inconnu
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	Occasionnel
Dauphin commun	<i>Delphinus delphis</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Occasionnel
Lagénorhynque à bec blanc	<i>Lagenorhynchus albirostris</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Permanent
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
Orque	<i>Orcinus orca</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Occasionnel
Cachalot macrocéphale	<i>Physeter macrocephalus</i>	Cétacé Haute Fréquence	MF	Inconnu
Baleine à bec de cuvier	<i>Ziphius cavirostris</i>	Cétacé Moyenne Fréquence	MF	Erratique
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	Inconnu
Phoque veau marin	<i>Phoca vitulina</i>	Pinnipèdes	P	Permanent
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
Marsouin commun	<i>Phocoena phocoena</i>	Cétacé Haute Fréquence	HF	Permanent

Tableau 11 : Synthèse des données fournies par le Centre de Recherche sur les Mammifères Marins concernant les mammifères marins susceptibles d'être présents dans la zone d'étude (URL Valor Pelagis, 2011).

### V.1.1. Espèces fréquentes

Le marsouin commun (*Phocoena phocoena*) est le mammifère marin le plus courant en mer du Nord et en Manche. La taille de sa population a été estimée à 340 000 individus en 1994 (Hammond, 2003) et est restée relativement constante à travers le temps (environ 322 000 individus en 2005 (SCANS II, (University of St Andrews, 2006))). La répartition des marsouins communs n'est cependant pas statique dans le temps et l'espace. Des études plus récentes ont rapporté depuis 1997 des taux d'observation plus élevés (Scheidat M. A., 2003), (Scheidat M. A.-H., 2004), dans le sud de la mer du Nord en comparaison des années 1979 à 1997. Dans la Manche, un total de 40 927 individus a été répertorié, ce qui correspond à 0,33 individus par km<sup>2</sup> (SCANS II / Sector B, (University of St Andrews, 2006)).

Les marsouins communs présentent des particularités saisonnières dans le secteur d'implantation. Lors de l'hiver 2011, on a estimé entre 15 et 29 le nombre d'individus présents sur un quadrat de 40x40km (1600km<sup>2</sup>) incluant le site d'implantation. Pendant les mois d'été, la fréquentation diminue entre 0 et 3 individus pour le site d'implantation et entre 3 et 14 individus dans certaines zones aux alentours du site d'implantation. Ces espèces ont été aperçues au large des côtes de Fécamp au cours de l'année, généralement en petits groupes, lors des sorties d'observations par avion et par bateau (Biotope, 2013) et également au cours d'observations ponctuelles.

Les marsouins communs appartiennent au groupe des cétacés haute-fréquence qui se servent de leur audition et de l'écholocation pour s'orienter et chasser. L'écholocation couvre une gamme de fréquence située entre 120 et 150kHz. Les clics de communication sont émis entre 1 et 150kHz. Compte tenu de ces

caractéristiques, les marsouins communs sont particulièrement sensibles à la technique de construction par battage.

### V.1.2. Espèces rares visitant régulièrement la zone du projet

Le grand dauphin (*Tursiops truncatus*), le dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*) et le globicéphale noir (*Globicephala melas*) sont des visiteurs réguliers mais saisonnier dans la zone proposée, sans que celle-ci soit une zone d'alimentation ou une zone de repos (Biotope, 2013). Ces trois 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. Ces espèces ont tendance à apparaître en groupe de plusieurs individus (jusqu'à 50 dans le cas des globicéphales (Biotope, 2013), mais ne sont pas inféodées à la zone. Leur présence est saisonnière. En effet, davantage de globicéphales dans la zone proposée au début de l'automne sont observés, sans qu'ils ne viennent systématiquement tous les ans (Biotope, 2013). Les dauphins et les globicéphales appartiennent aux cétacés moyenne-fréquence. Les dauphins 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.1.3. Espèces rares visitant occasionnellement la zone du projet

Le phoque gris (*Halichoerus grypus*) et le phoque commun ou veau marin (*Phoca vitulina*) ont été aperçus occasionnellement sur le site Natura 2000 « Littoral Cauchois » le long des côtes de Fécamp, mais aucun rapport de suivi ne présente de densité élevée ou ne révèle de fréquentation régulière sur le site d'implantation en mer (Vincent, 2010). Les études de télémétrie montrent que les phoques gris traversent le site d'implantation en période de chasse. Leur présence ne peut donc pas être exclue (Valor, 2013). Ces deux espèces sont répertoriées sur la liste rouge de l'UICN (Union internationale pour la conservation de la nature) avec un statut de préoccupation mineure (« Least Concern »).

Au cours d'études PAMM<sup>14</sup> (Valor, 2013), (Vincent, 2010) en hiver et en été 2011/2012, des individus solitaires de chaque espèce ont été aperçus dans la zone comprise entre le site d'implantation et le littoral, mais ces deux espèces ont tendance à rester à proximité du littoral pour s'alimenter. La population des veaux marins est stable et, leurs zones de repos se trouvent l'une dans la baie de Somme (à l'est du projet), l'autre dans la baie des Veys (au sud-ouest du projet) (Tableau 12).

Les pinnipèdes forment leur propre classe acoustique et il est nécessaire de distinguer deux phases de sensibilité, dans l'eau et hors de l'eau. Ces espèces utilisent également des clics de communication, en particulier sur de courtes distances, comme par exemple entre les mères et leur progéniture (les clics émis sont généralement compris sur une plage allant de 1 à 50kHz).

Localisation des espèces dites résidentes	Espèce	Longitude	Latitude	Distance au projet (en mille nautique)
Baie de Somme	Phoque Veau-marin	1°36'19" E	50°12'39" N	52
Baie des Veys	Phoque Veau-marin	1°8'11" W	49°22'40" N	58

Tableau 12 : Localisation des espèces résidentes (source Société Eoliennes Offshore des Hautes Falaises)

## V.2. Méthode d'évaluation des risques biologiques

<sup>14</sup> Plan d'Action Mammifères Marins

La chaîne de traitement utilisée est représentée dans le Tableau 13. Elle consiste en la fusion des données biologiques (URL Valor Pelagis, 2011) aux empreintes sonores, dont chaque étape est détaillée dans les paragraphes suivants.

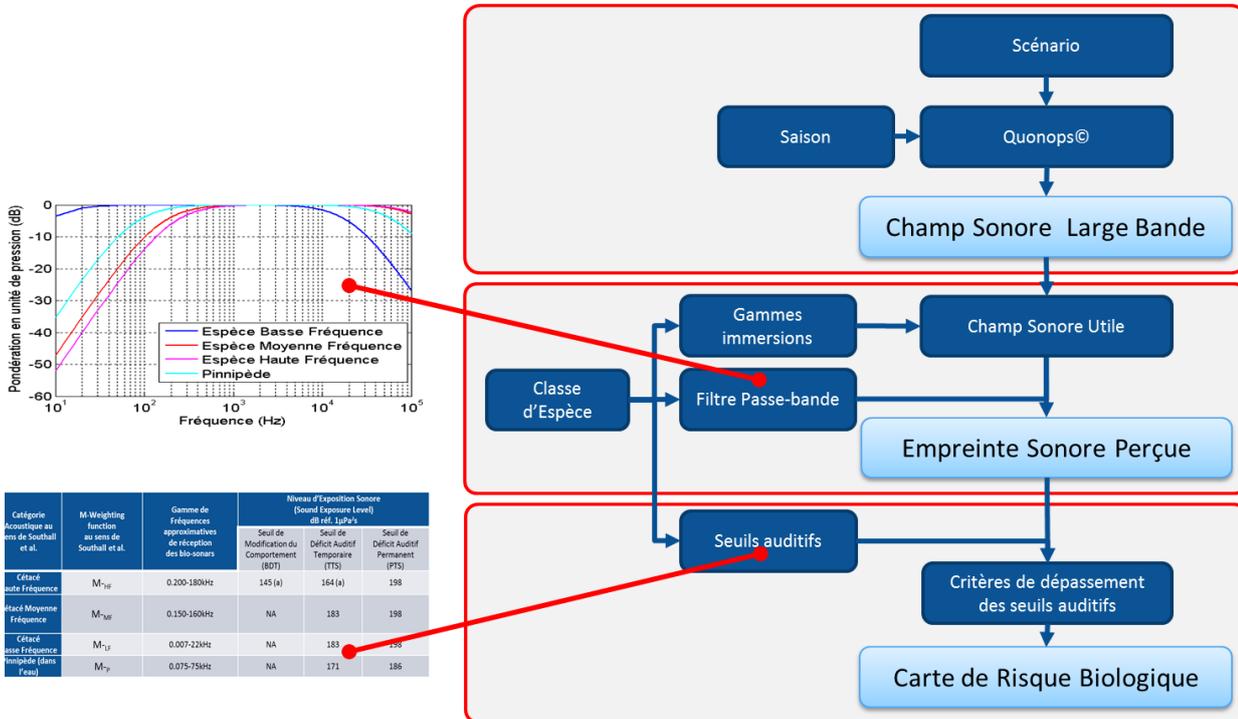


Tableau 13: Méthode d'établissement des risques biologiques par traitement des empreintes sonores saisonniers établis au Chapitre IV.

### 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 sensibilité auditive et de 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.

### V.2.2. Critères de dépassement des seuils

Des différences comportementales importantes peuvent être observées entre les individus d'une même espèce selon les conditions de sexe, d'âge, d'activité, etc. Ces différences sont difficilement appréhendables par un seuil fixe. Ces hypothèses permettent cependant d'établir une aide à la décision à la hauteur du niveau de connaissance actuel. Il existe cependant un cadre réglementaire national et international, et des considérations scientifiques issues des efforts récents pour caractériser les risques et les impacts.

#### V.2.2.a. Aspect réglementaire communautaire

Les paragraphes 1 et 2 de l'Article 6 stipulent que l'état de tous les sites Natura 2000 doit être conservé ou amélioré, conformément aux besoins des espèces y vivant. De plus, toutes activités détériorant l'habitat et perturbant les espèces concernées doivent être évitées. C'est pourquoi tout projet susceptible d'affecter un habitat ou ses espèces doit faire l'objet d'une évaluation appropriée (Article 6, paragraphe 3) pour garantir

l'absence d'effet néfaste sur le site. En ce qui concerne la zone de protection spéciale Natura 2000 (ZPS « Littoral Seine-marine », FR2310045), à part les oiseaux, aucune autre espèce importante n'a été répertoriée. La zone côtière au large de Fécamp est répertoriée en tant que SIC « Littoral Cauchois » (FR2300139), et comprends les espèces de mammifères marins protégés : *Phocoena phocoena*, *Tursiops truncatus*, *Phoca vitulina*, et *Halichoerus grypus*. Le site est situé à une dizaine de kilomètres du site d'implantation et ne sera affecté que sur des courtes durées par des niveaux de bruits élevés pendant le battage. Les niveaux acoustiques ne dépasseront pas les seuils provoquant une perte d'audition temporaire ou permanente et seront à la limite pour entraîner des modifications comportementales chez les marsouins communs.

#### i. Espèces strictement protégées :

L'article 12 de la directive « Habitats » du Conseil 92/43/CEE sur la protection des espèces stipule que :

- ✓ Les États membres prennent les mesures nécessaires pour instaurer un système de protection stricte des espèces animales figurant à l'annexe IV point a), dans leur aire de répartition naturelle, interdisant (a) toute forme de capture ou de mise à mort intentionnelle de spécimens de ces espèces dans la nature ; (b) la perturbation intentionnelle de ces espèces notamment durant la période de reproduction, de dépendance, d'hibernation et de migration ; (c) la détérioration ou la destruction des sites de reproduction ou des aires de repos.
- ✓ Pour ces espèces, les États membres interdisent la détention, le transport, le commerce ou l'échange et l'offre aux fins de vente ou d'échange de spécimens prélevés dans la nature, à l'exception de ceux qui auraient été prélevés légalement avant la mise en application de la présente directive.
- ✓ Les interdictions visées au paragraphe 1 points a) et b) ainsi qu'au paragraphe 2 s'appliquent à tous les stades de la vie des animaux visés par le présent article.

Les États membres instaurent un système de contrôle des captures et mises à mort accidentelles des espèces animales énumérées à l'annexe IV et font en sorte que les captures ou mises à mort involontaires n'aient pas une incidence négative importante sur les espèces en question (dans ce projet et selon l'annexe IV les espèces à considérées sont les suivantes : *Tursiops truncatus*, *Phocoena phocoena*, *Globicephala melas* et *Stenella coeruleoalba*).

La mise à mort délibérée n'est pas limitée à la mise à mort intentionnelle d'individus comme par ex. par la chasse : L'article 12, paragraphe 1, point a), interdit toute forme de capture ou de mise à mort intentionnelle de spécimens des espèces selon l'annexe IV (point a) dans la nature. Le terme « intentionnel » doit être interprété au-delà de l'« intention directe ». Une personne raisonnablement censée savoir que son acte portera très probablement atteinte à une espèce, mais qui le commet à dessein, ou qui tout au moins en accepte sciemment les résultats prévisibles, commet un délit. » (Document d'orientation européen). Selon de récentes affaires judiciaires, il est reconnu qu'une augmentation importante du risque qu'un animal puisse être tué par une certaine activité, puisse être considérée comme une violation du règlement de l'article 12. Bien que l'article 12 concerne la conservation des espèces et populations, l'interdiction de mise à mort intentionnelle se rapporte aux individus d'espèces strictement protégées. Dans cette évaluation, une déficience auditive permanente est reconnue comme répondant au critère de blessure et tombe ainsi sous l'interdiction de l'article 12.

En ce qui concerne les perturbations intentionnelles, le terme intentionnel doit être compris de la même manière que décrit précédemment et va au-delà de l'intention directe. De plus, contrairement à la mise à mort intentionnelle, la perturbation intentionnelle ne se rapporte pas à l'individu et l'article 12 n'interdit pas les perturbations, mais évalue les impacts sur les espèces et leur population : « L'intensité, la durée et la fréquence des perturbations sont des paramètres importants pour évaluer l'impact de ces dernières sur une espèce. » (Document d'orientation européen). Aucune définition du terme « perturbation » n'est fournie et le degré de la perturbation qui est considéré comme une violation de la directive n'est pas défini non plus. En règle générale, une perturbation désigne tout effet qui a pour conséquence le déplacement

d'animaux de leur habitat naturel. Dans cette évaluation, une perturbation importante qui doit être considérée comme une violation des exigences de l'article 12 est supposée lorsque la perturbation entraîne un déplacement à long terme dans une proportion élevée de la population d'une espèce.

Le troisième aspect, la détérioration ou la destruction des sites de reproduction ou des aires de repos, ne doit pas être pris en compte étant donné que de tels sites n'existent pas en pleine mer.

#### *ii. Capture ou mise à mort intentionnelle des spécimens, incluant les blessures*

Les niveaux de bruits des activités de dragage et des activités maritimes ne dépassent pas les bruits du trafic maritime habituel ambiant. Or ces niveaux sonores sont trop faibles pour causer une blessure ou pour détériorer, même temporairement, les capacités auditives.

Le battage des pieux de la plateforme de transformation émet des bruits sous-marins pouvant provoquer une perte d'audition permanente sur une distance de quelques centaines de mètres. En raison de la présence fréquente de marsouins communs dans la zone, ceci constitue un risque d'infliger une perte de l'audition permanente à cette espèce qui pourrait constituer une violation des obligations de l'art. 12. Le risque de provoquer une perte de l'audition permanente chez les marsouins communs doit ainsi être réduit par des mesures d'atténuation.

Comme décrit dans ce chapitre, les niveaux sonores susceptibles de provoquer une perte de l'audition permanente chez les marsouins communs atteignent 670 m lors du premier coup et augmente rapidement durant le processus de battage. Le rayon de la zone soumise à une émission sonore cumulée dépassant 180 dB ref  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$  passerait à 1,8 km en dix minutes et à 2,4 km en 30 minutes. Cela nécessiterait une vitesse de nage de 10 km/h et un éloignement immédiat de la source pour éviter une perte de l'audition permanente. Même si le marsouin commun est capable d'atteindre une telle vitesse, il faut présumer des vitesses plus faibles pour les couples mère-petit et il est également possible que le marsouin ne s'éloigne pas immédiatement de la source s'il ne peut pas la localiser de manière précise.

#### *iii. Perturbation intentionnelle*

Les émissions sonores provenant des activités de construction entraînent des perturbations à petite échelle. Les plages de perturbation provenant des navires de construction individuels devraient ne pas dépasser 1 à 2 km. Selon les niveaux sonores prévus provenant d'engins de dragage, la perturbation des marsouins communs se produira dans une plage de quelques centaines de mètres.

En conclusion, les travaux de construction ne provoqueront pas de perturbation significative de la population locale des marsouins communs dans la zone et les obligations de l'article 12 de la directive Habitats ne devront pas être enfreintes par ce projet.

#### *iv. Implication pour les incidences sonores*

En ce qui concerne l'impact du bruit, un dépassement du seuil de la perte d'audition permanente 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 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 sont pas toujours déterminantes pour le sort de l'animal (Lucke K. e., 2007).

Conformément à l'article 12 de la Directive « Habitats », le critère de blessure est associé à la perte d'audition permanente qui sera considérée comme un impact fort dans l'évaluation des impacts.

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 seuil de dommage

physiologique permanent et considéré comme une blessure physique. Un dépassement du seuil de dommage physiologique temporaire 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 (BioConsult, 2013)

#### V.2.2.b. Aspect réglementaire dans d'autres pays européens

Actuellement, des valeurs réglementaires concernant les niveaux sonores à ne pas dépasser pour les activités de battage de pieux, ont déjà été adoptées par quelques pays européens dont la France ne fait pas partie.

Parmi ces pays, la norme allemande stipule que le niveau d'exposition sonore ne doit pas dépasser 160 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$  à 750m de l'atelier et un niveau de pression sonore crête à crête de 190dB réf.  $1\mu\text{Pa}$  à 750m. La distance de 750 m semble avoir été définie pour des raisons pratiques, permettant un contrôle des niveaux acoustiques bien à l'écart des sites d'implantation.

Les normes belges préconisent, quant à elles, de ne pas dépasser un niveau de pression sonore crête à crête de 185 dB réf.  $1\mu\text{Pa}$ . Le seuil d'exposition sonore médian est défini de manière à éviter les niveaux acoustiques qui pourraient entraîner une perte temporaire d'audition. Dans ces pays, si les émissions de bruits dues au battage dépassent ces limites, des mesures de réduction doivent être mises en place.

D'autres pays, tels que le Royaume-Uni, ont décidé de ne pas fixer de seuils réglementaires pour le déploiement obligatoire de mesures de réduction à la source et préfèrent utiliser des répulsifs et un suivi de la zone afin de prévenir les espèces protégées de toutes blessures.

#### V.2.2.c. Méthode d'évaluation des risques

Il existe deux manières d'analyser les champs d'énergie sonore perçue, l'une relative, et l'autre absolue :

- ✓ La première estime les seuils de tolérance vis-à-vis de l'audiogramme de chaque espèce. Ainsi ces seuils sont **relatifs**. Il convient dans ce cas de connaître l'audiogramme de chaque espèce présente dans la zone d'étude et les différents seuils de tolérance associés. A ce jour, la connaissance reste limitée à quelques espèces de mammifère marins et pour des durées cumulées faibles (Erbe, 2000) (Popov, 2011), (Kastelein, 2012), (Gervaise, 2012) ;
- ✓ la seconde solution consiste à comparer les champs sonores à des valeurs **absolues** de seuil biologique définis par chaque classe d'espèce. Ces seuils sont listés dans la publication (Southall, et al., 2007) et constitue un consensus auprès d'un groupe d'experts internationaux, reconnue à ce jour comme seule référence existante sur laquelle il est possible de bâtir une étude d'impact.

A titre conservateur, Quiet-Oceans et BioConsult ont choisi la seconde approche afin de définir les seuils biologiques pour chaque classe d'espèce (Tableau 14). A ce jour, la bibliographie fournit des seuils biologiques en fonction des classes d'espèce relatifs d'une part aux bruits impulsifs intégrés sur une seconde et d'autre part des seuils biologiques associés au cumul d'énergie sonore des bruits continus pendant une période de 24 heures sans interruption (Southall, et al., 2007). Ces seuils sont listés dans le Tableau 14.

#### i. Critères de risques de dommages physiologiques

Dans les cas extrêmes, les tissus (auditif ou non) peuvent être altérés de manière définitive. Selon (Hammond, 2003) la caractéristique des sources sonores, l'intensité du signal et la durée de l'exposition peuvent influencer sur l'apparition d'un dommage physiologique temporaire et/ou permanent. Pour les sons impulsifs, 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 dommage physiologique (Southall, et al., 2007). Si les émissions sonores sont extrêmement fortes, un dommage physiologique ou une détérioration immédiate du tissu sont possibles.

Pour (Southall, et al., 2007), les seuils de déficience auditive pour les cétacés « haute-fréquence » ont été déduits à partir de ceux des cétacés moyenne-fréquence compte tenu du manque d'études. Le marsouin commun (espèce de la classe « haute fréquence ») fait l'objet d'études spécifiques depuis de nombreuses années en particulier lors des constructions offshore en Mer du Nord. Des expériences menées par (Lucke K. e., 2007) ont provoqué un dommage physiologique temporaire chez des marsouins communs suite à une exposition à des impulsions basse-fréquence similaires à celles produites par des opérations de battage. L'exposition d'un marsouin à une impulsion unique à partir d'un canon à air a démontré la possibilité de dommages physiologiques temporaires à un niveau de pression crête à crête reçu de 200dB réf.  $1\mu\text{Pa}$ , et une énergie de 164 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ . Des tests réalisés par (Kastelein R. A., 2002) (Kastelein R. A., 2006) indiquent un niveau similaire. Aussi, l'évaluation des risques de dommage physiologique temporaire vis-à-vis des marsouins communs, le seuil adopté dans cette étude est de 164 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ . Par déduction, et conformément aux préconisations de (Southall, et al., 2007), le seuil de dommage physiologique permanent vis-à-vis des marsouins communs est fixé 15 dB au-dessus de leur seuil temporaire, à savoir 180 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$  (Tableau 14).

#### ii. Critères de risques de modification du comportement

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. Le nombre d'animaux quittant une zone exposée est variable ainsi que leur retour sur zone. La réaction repose non seulement sur les niveaux de bruit, mais aussi sur les caractéristiques du signal. Des réactions ont été observées lors d'exposition à niveaux acoustiques faibles en captivité (Kastelein R. A., 2002) mais la transposition de ces résultats sur des animaux à l'état sauvage reste à confirmer.

Dans le cas spécifique du marsouin commun, des études reportent une réaction de fuite en réponse au bruit lié à des opérations de battage de pieux à partir d'une exposition sonore d'environ 145 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ . Ces réactions de fuite ont été mesurées sur les sites étudiés à de distances de l'ordre de 20 km du point de battage (Brandt, 2011), (Tougaard J, 2009). Dans le cadre de la construction de 40 fondations tripodes pour le parc éolien en mer de Trianel Borkum en Allemagne, (Pehlke, 2013) a observé une forte diminution d'environ 60% de la présence des marsouins communs à partir de niveaux d'exposition sonore d'environ 145 à 150 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$  lors des opérations de battage (Figure 41). L'effet de perturbation durerait entre 1 et 3 jours dans la zone proche, là où les niveaux acoustiques supérieurs à 160dB dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$ , et seulement quelques heures à des niveaux acoustiques plus faibles (Pehlke, 2013). (Diederichs *et al.* 2008) reporte une faible réaction aux bruits sous-marins provoqués par les activités de dragage.

(Richardson, Malme, Green, & Thomson, 1995) ont synthétisé la documentation publiée sur la réaction des mammifères marins au bruit d'un navire. De nombreux odontocètes 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.

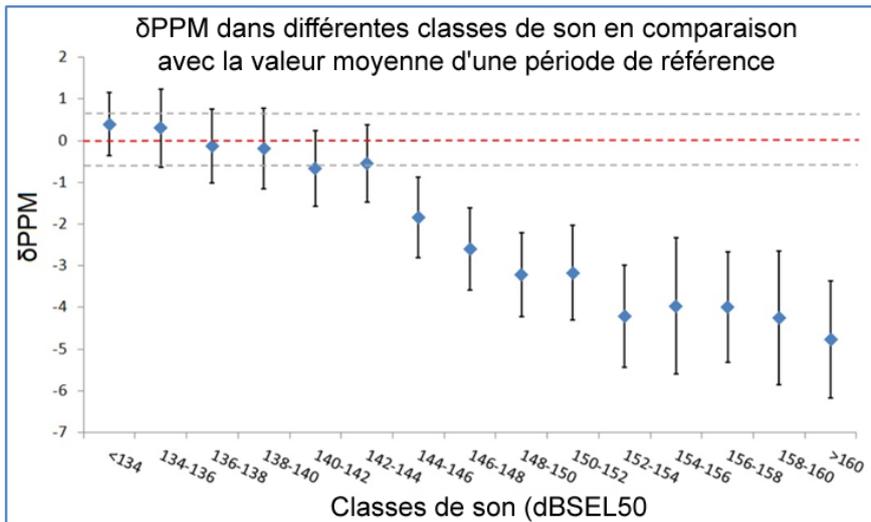


Figure 41 : Réaction des marsouins communs au battage de pieux. Les valeurs donnent la variation des détections de marsouins par rapport aux niveaux de bruit (Pehlke, 2013), (PPM (Porpoise Positive Minutes correspond aux minutes de présence de marsouins, c'est-à-dire les minutes comprenant au minimum un enregistrement de train de clics de marsouin commun. SEL<sub>50</sub> est le niveau d'exposition sonore médian en dB ref. 1µPa<sup>2</sup>s d'un nombre donné de sons impulsifs).

### iii. Critères de risques liés à une exposition cumulée

Du point de vue physique, le calcul de l'exposition sonore cumulée consiste à intégrer l'énergie sonore perçue sur la durée d'exposition. L'accumulation du bruit perçu est réalisé uniquement dans l'empreinte sonore de chaque atelier afin de s'affranchir d'une accumulation non réaliste de l'énergie sonore qui serait liée au bruit ambiant anthropique ou naturel (vagues, etc). Cette approche est conforme avec les préconisations de (Southall, et al., 2007).

Il n'existe pas encore de consensus au sein de la communauté scientifique sur la manière de dériver cette quantité physique aux différents effets sur les mammifères marins. Appréhender les effets d'une exposition prolongée est d'autant plus difficile que les effets de récupération entre deux événements sonores impulsifs sont méconnus.

Bien qu'il n'existe pas de relation établie entre l'évolution des seuils et la durée cumulée du bruit, des études récentes s'intéressent à l'évolution des seuils en fonction de la durée d'exposition (Kastelein, 2012), (Popov, 2011). Ces expériences ont été menées pour des durées limitées (respectivement 240 minutes et 30 minutes). Il est concevable qu'une exposition prolongée au-dessus d'un seuil de dommage physiologique temporaire puisse conduire, à terme, à atteindre un seuil de dommage physiologique permanent.

Pour estimer les valeurs manquantes de seuil de manière conservatrice aux temps cumulés (supérieurs à 1 seconde), le seuil à 1 seconde est augmenté de la quantité  $10 \cdot \log_{10}(T^{1/3})$  où T est le temps cumulé exprimé en seconde (Tableau 14). Actuellement cette évolution du seuil est utilisée dans le cadre de répétition de signaux « impulsifs » (Lurton, 2007). Concernant les données bibliographiques fournit par (Southall, et al., 2007), cette loi de progression décrit également le passage du seuil d'exposition sur 1 seconde au seuil d'exposition sur 24 heures, ce qui rend cette approche cohérente.

Aussi, dans le cadre de cette étude, les effets d'une exposition prolongée sont traités vis-à-vis des risques de blessure, c'est-à-dire que les niveaux d'exposition sonore cumulée sont exclusivement comparés aux seuils de dommage physiologique permanent.

Catégorie Acoustique	Espèce dans la zone d'étude concernée <sup>15</sup>	Gamme de Fréquences Approximatives de sensibilité <sup>16</sup>	Seuils de Niveau d'Énergie d'Exposition perçue (dB réf. 1µPa <sup>2</sup> 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	$T^{17} < 24h^{18}$	1 sec	$T^{17} < 24h^{18}$	1 sec	$T^{17} < 24h^{18}$
Marsouin Commun	Marsouin Commun	0,200-180kHz	<b>145</b> <sup>(19)</sup>	$145+10\log_{10}(T^{1/3})$	<b>164</b> <sup>(19)</sup>	$164+10\log_{10}(T^{1/3})$	<b>179</b> <sup>(20)</sup>	$179+10\log_{10}(T^{1/3})$ .
Cétacé Haute Fréquence	Aucune espèce	0,200-180kHz	Non défini	Non défini	<b>183</b> <sup>(21)</sup>	$183+10\log_{10}(T^{1/3})$	<b>198</b> <sup>(21)</sup>	$198+10\log_{10}(T^{1/3})$ .
Cétacé Moyenne Fréquence	Grand dauphin	0,150-160kHz	Non défini	Non défini	<b>183</b> <sup>(21)</sup>	$183+10\log_{10}(T^{1/3})$	<b>198</b> <sup>(21)</sup>	$198+10\log_{10}(T^{1/3})$ .
	Dauphin bleu et blanc							
	Dauphin commun							
	Globicéphale noir							
	Dauphin de Risso							
	Orque							
	Cachalot macrocéphale							
	Baleines à bec de Cuvier							
	Lagénorhynque à bec blanc							
Lagénorhynque à flanc								

<sup>15</sup> La correspondance avec les noms latins est proposée Tableau 11.

<sup>16</sup> 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.

<sup>17</sup> T est le temps d'exposition exprimé en seconde.

<sup>18</sup> (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.

<sup>19</sup> (Lucke, U., Paul A., & Marie-Anne, June 2009)

<sup>20</sup> 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)

<sup>21</sup> (Southall, et al., 2007) pour des bruits impulsifs

Catégorie Acoustique	Espèce dans la zone d'étude concernée <sup>15</sup>	Gamme de Fréquences Approximatives de sensibilité <sup>16</sup>	Seuils de Niveau d'Énergie d'Exposition perçue (dB réf. 1µPa <sup>2</sup> 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 <sup>17</sup> <24h <sup>18</sup>	1 sec	T <sup>17</sup> <24h <sup>18</sup>	1 sec	T <sup>17</sup> <24h <sup>18</sup>
	blanc Hypérodon boréal Mésoplodon de True Mésoplodon de Sowerby Mésoplodon de Blainville Mésoplodon de Gervais							
Cétacé Basse Fréquence	Petit Rorqual Rorqual boréal (de Rudolphi) Rorqual commun Rorqual bleu Baleine à bosse	0,007-22kHz	Non défini	Non défini	<b>183</b> <sup>(21)</sup>	183+10log <sub>10</sub> (T <sup>1/3</sup> )	<b>198</b> <sup>(21)</sup>	198+10log <sub>10</sub> (T <sup>1/3</sup> ).
Pinnipède	Phoque gris Phoque annelé Phoque barbu Phoque du Groënland Phoque à crête Phoque Veau-Marin	0,075-75kHz	Non défini	Non défini	<b>171</b> <sup>(21)</sup>	171+10log <sub>10</sub> (T <sup>1/3</sup> )	<b>186</b> <sup>(21)</sup>	186+10log <sub>10</sub> (T <sup>1/3</sup> ).

Tableau 14 : Synthèse des seuils de perturbation sonore par espèce susceptible d'être présente dans la zone d'étude acoustique. Synthèse d'après les données issues de (Southall, et al. 2007). Les seuils de modification du comportement et de dommage temporaire pour le marsouin commun sont issus de (Lucke, Siebert, Lepper, & Blanchet, June 2009).

#### V.2.2.d. Hypothèse comportementale

Il est particulièrement difficile de prédire le comportement des espèces potentiellement en présence sous l'effet de l'exposition sonore. Aussi, les estimations des risques proposées dans cette étude suppose que les espèces restent immobiles pendant la durée de l'exposition sonore effective considérée (hypothèse conservatrice en considérant que l'animal ne possède pas l'instinct de fuite).

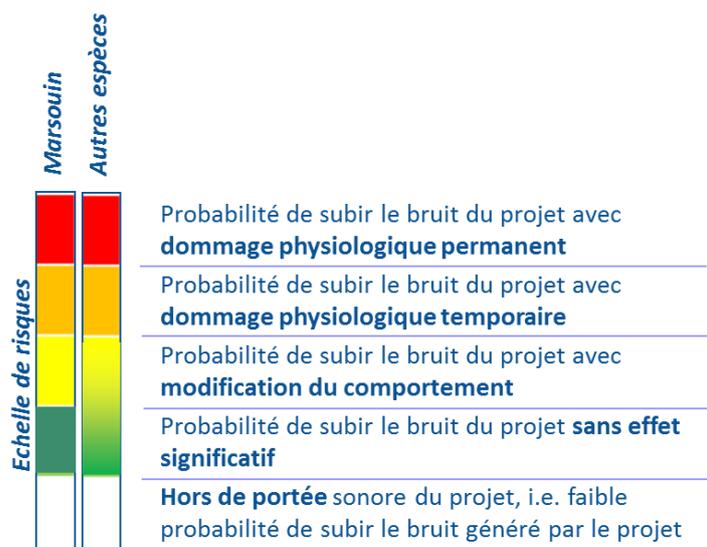
#### V.2.2.e. Représentation cartographique des niveaux de risques sonores

Les critères de dépassement des seuils sont définis de façon probabiliste sans considération de la fréquentation par les mammifères marins : pour chaque coordonnée géographique de la zone, lorsque qu'un seuil donné est dépassé avec une probabilité de plus de 50%, alors le seuil est considéré comme atteint.

Par convention, les zones d'impact potentielles sur les mammifères marins sont représentées par un code à cinq couleurs (Figure 42) :

- **blanc** correspond aux zones **en dehors du périmètre de l'empreinte acoustique**. En dehors de l'empreinte sonore du projet, un individu n'est pas susceptible de percevoir le bruit plus de la moitié du temps ;
- **vert** correspond aux zones pour lesquelles le bruit du projet est **susceptible d'être perçu**, tout en étant en dessous des seuils de modification comportementale des espèces, bien que; lorsque ce seuil n'est pas établi (espèces moyennes et basses fréquences et pinnipèdes), la zone de risques est un continuum entre le vert et le jaune proportionnellement à l'émergence du bruit du projet ;
- **jaune** correspond aux zones pour lesquels les niveaux sonores perçus sont **susceptibles de provoquer une modification du comportement** des espèces mais dont les niveaux sonores perçus sont inférieurs aux seuils de dommages physiologiques temporaires. Des effets de modification du comportement peuvent avoir lieu dans ces zones, mais en l'état actuel des connaissances, seul le seuil relatif au marsouin commun est connu (Lucke, Siebert, Lepper, & Blanchet, June 2009) ;
- **orange** correspond aux zones pour lesquelles les seuils de **dommages physiologiques temporaires** sont dépassés, mais restent inférieurs aux seuils de dommages physiologiques permanents ;

**rouge** correspond aux zones pour lesquelles les seuils de dommages physiologiques permanents sont dépassés. Figure 42 : 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 :

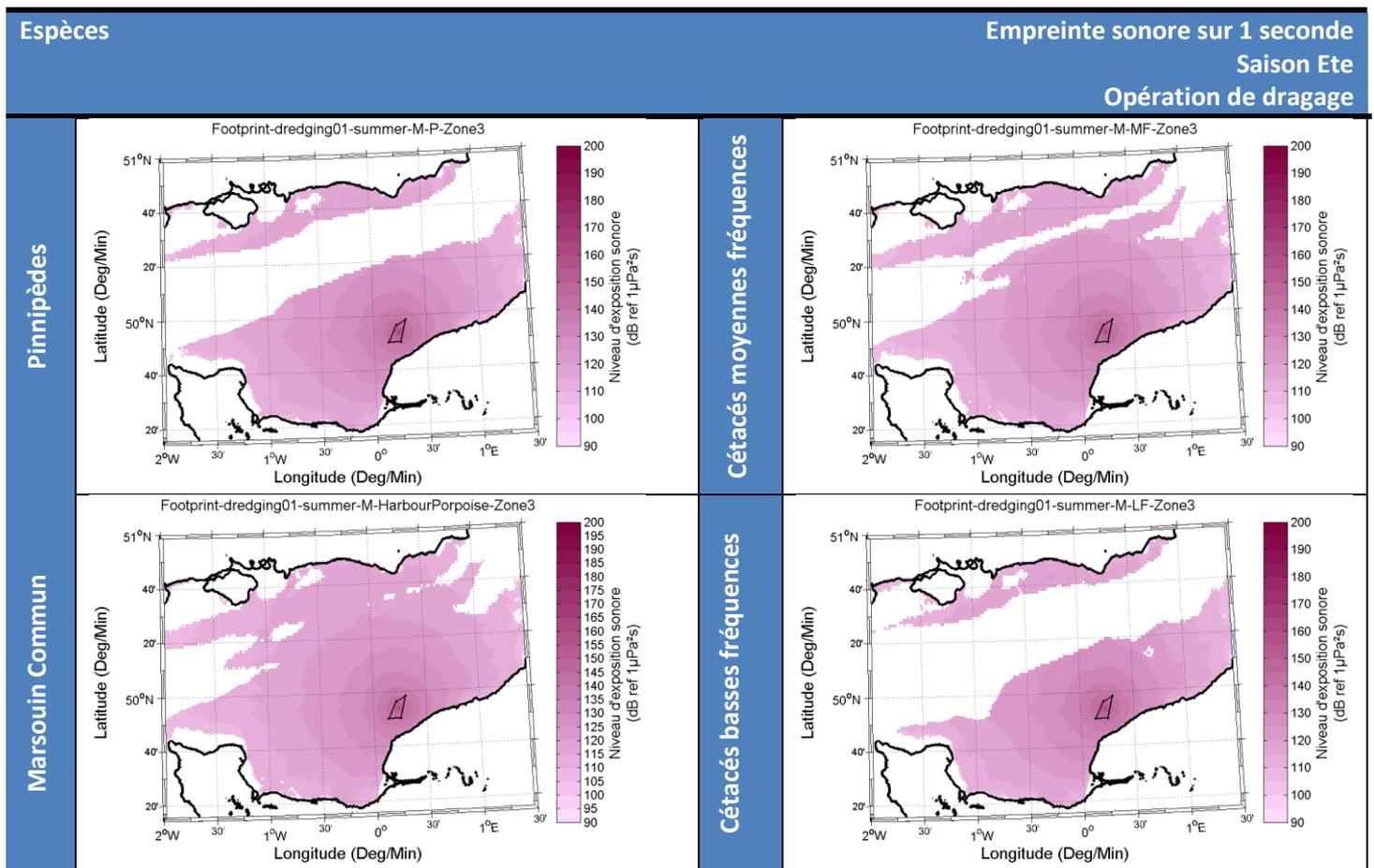
- ✓ description en dégradé de rose des empreintes sonores ;
- ✓ description des risques biologiques sonores pour une exposition d'une seconde ;
- ✓ description des risques biologiques sonores permanents pour une exposition cumulée des espèces dites « résidentes » en baie de Somme et en Baie des Veys ;
- ✓ description des risques biologiques sonores permanents pour une exposition cumulée dans l'empreinte sonore du projet ;

Toutes les distances sont exprimées en Milles Nautiques.

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

### V.3.1. Construction – opération de dragage

#### V.3.1.a. Empreintes sonores

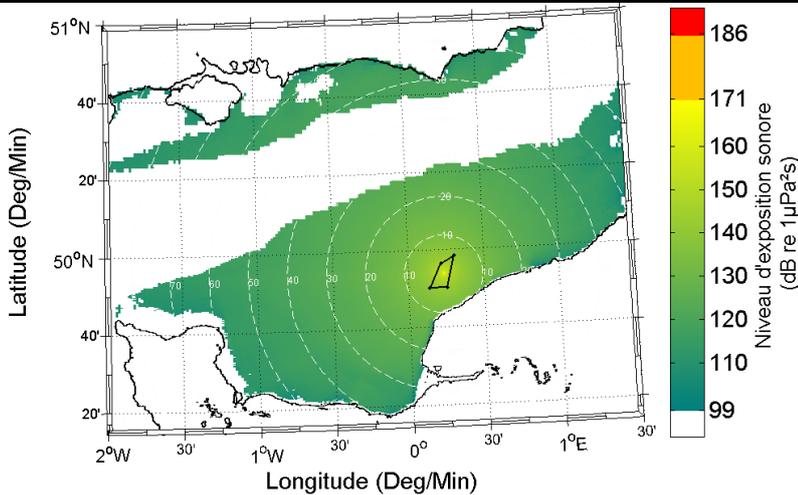


V.3.1.b. Risques biologiques

Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde  
Saison Ete  
Opération de dragage

Pinnipèdes



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

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

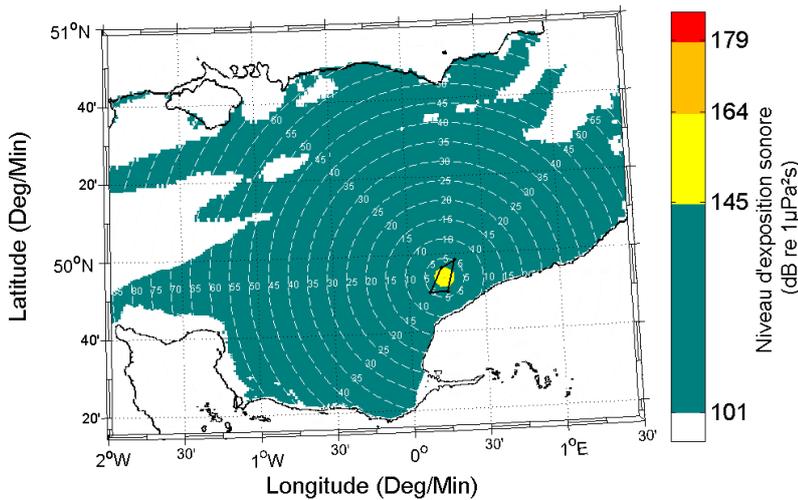
Probabilité de subir le bruit du projet avec **modification du comportement**

Probabilité de subir le bruit du projet **sans effet significatif**

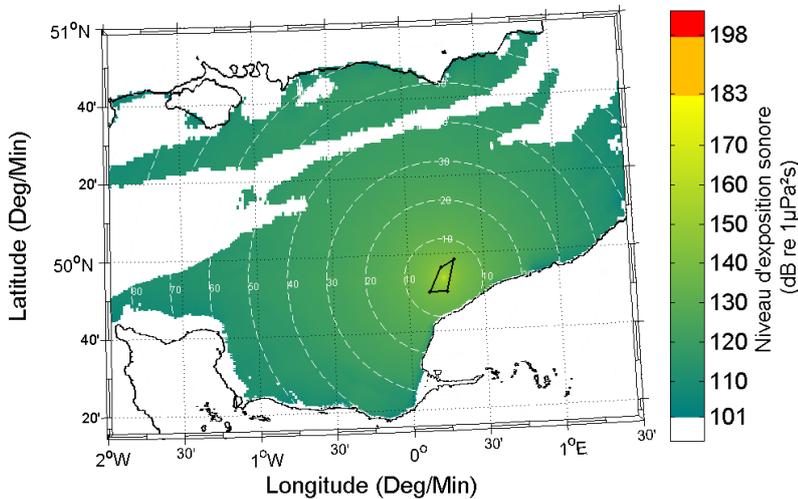
**Hors de portée sonore** du projet, i.e. faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

Marsouin Commun

Impact-INST-dredging01-summer-M-HarbourPorpoise-Zone3



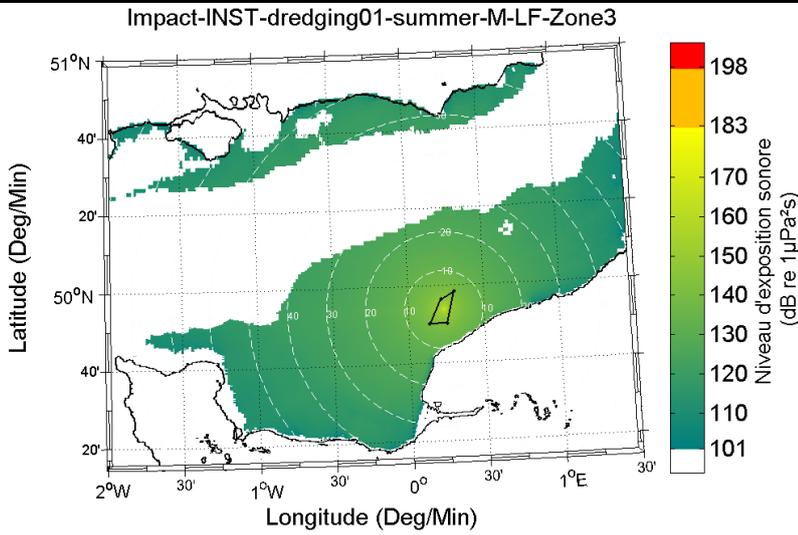
Moyennes fréquences



Espèces

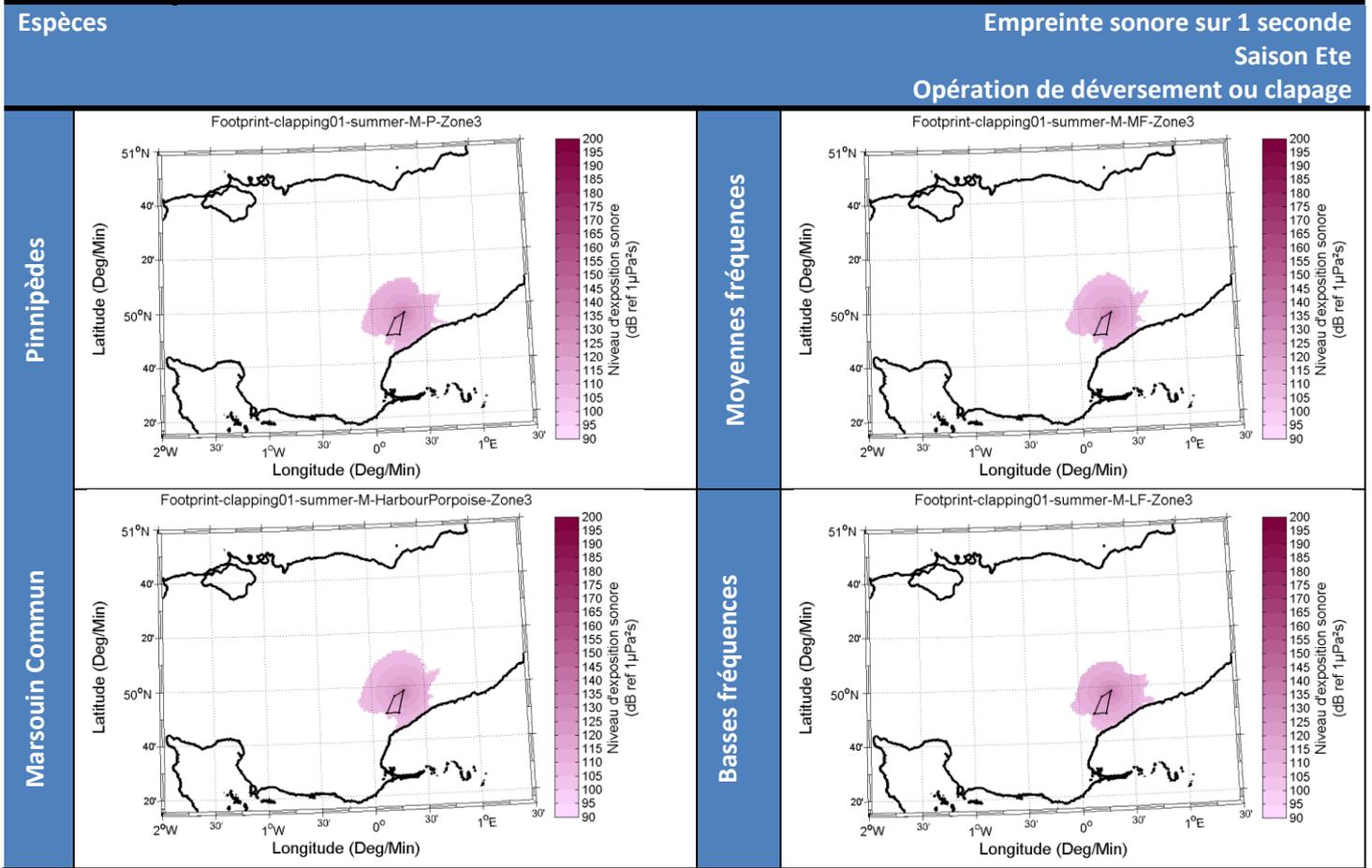
Estimation des risques cumulés sur 1 seconde  
Saison Ete  
Opération de dragage

Basses fréquences



V.3.2. Construction – opération de déversement de matériaux (clapage)

V.3.2.a. Empreintes sonores



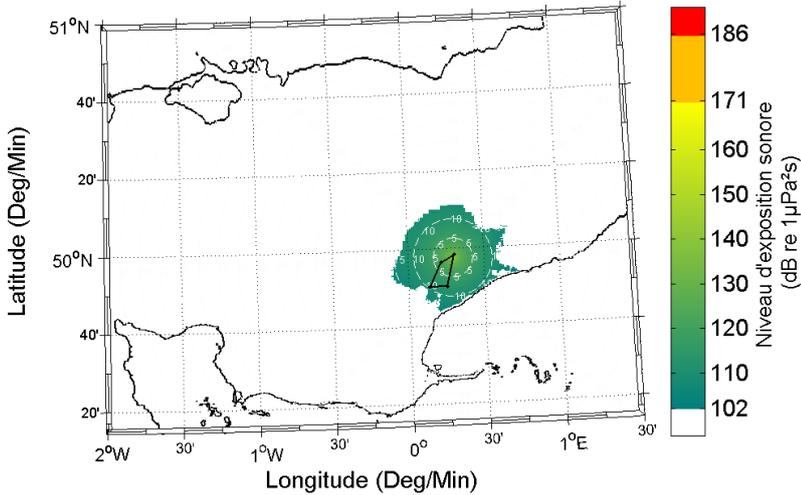
V.3.2.b. Risques biologiques

Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde  
Saison Ete  
Opération de déversement ou clapage

Pinnipèdes

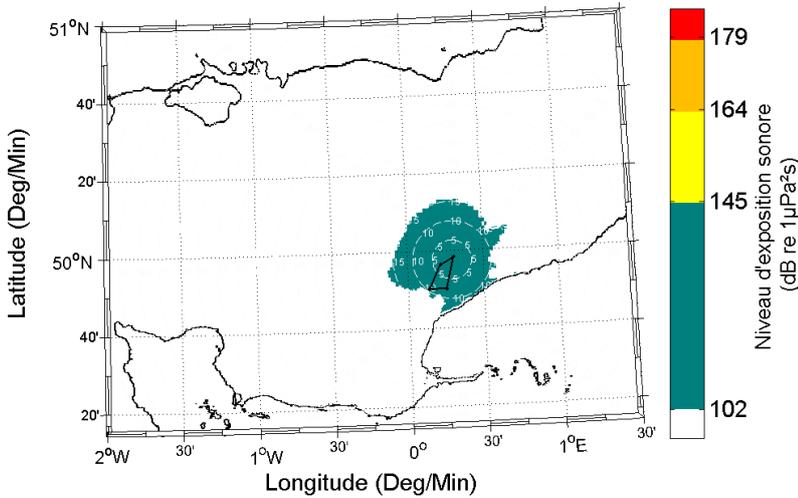
Impact-INST-clapping01-summer-M-P-Zone3



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 significatif**  
 Hors de portée sonore du projet, i.e. faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

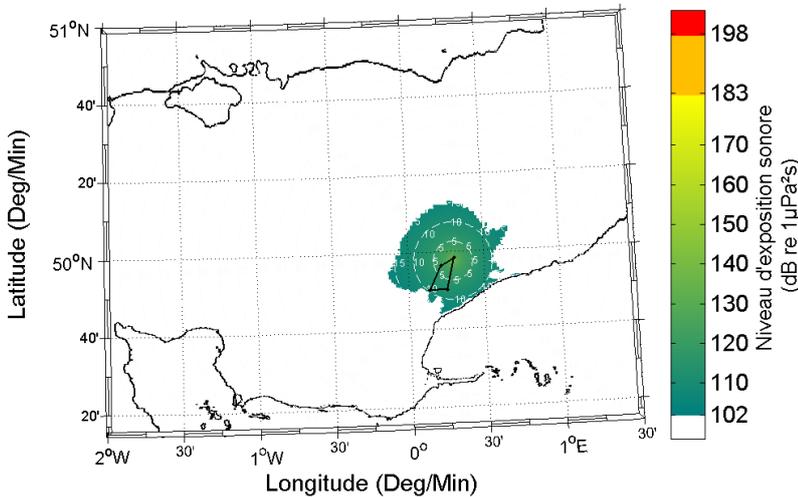
Marsouin Commun

Impact-INST-clapping01-summer-M-HarbourPorpoise-Zone3



Moyennes fréquences

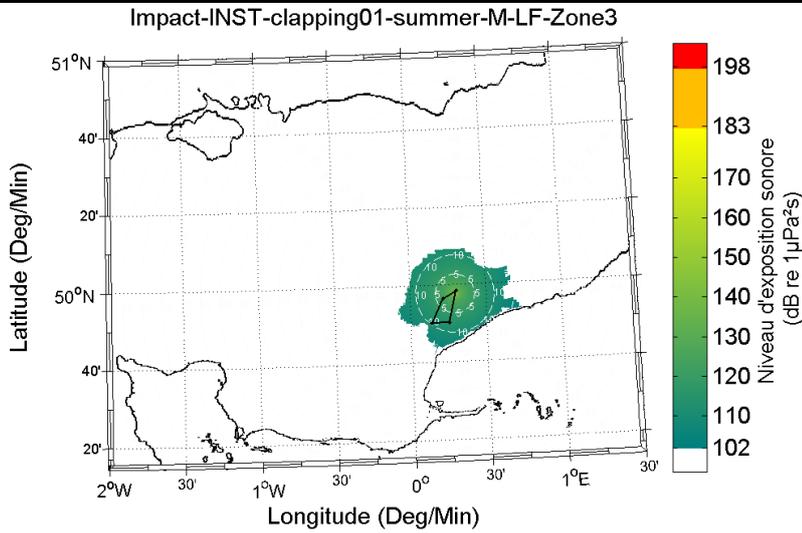
Impact-INST-clapping01-summer-M-MF-Zone3



Espèces

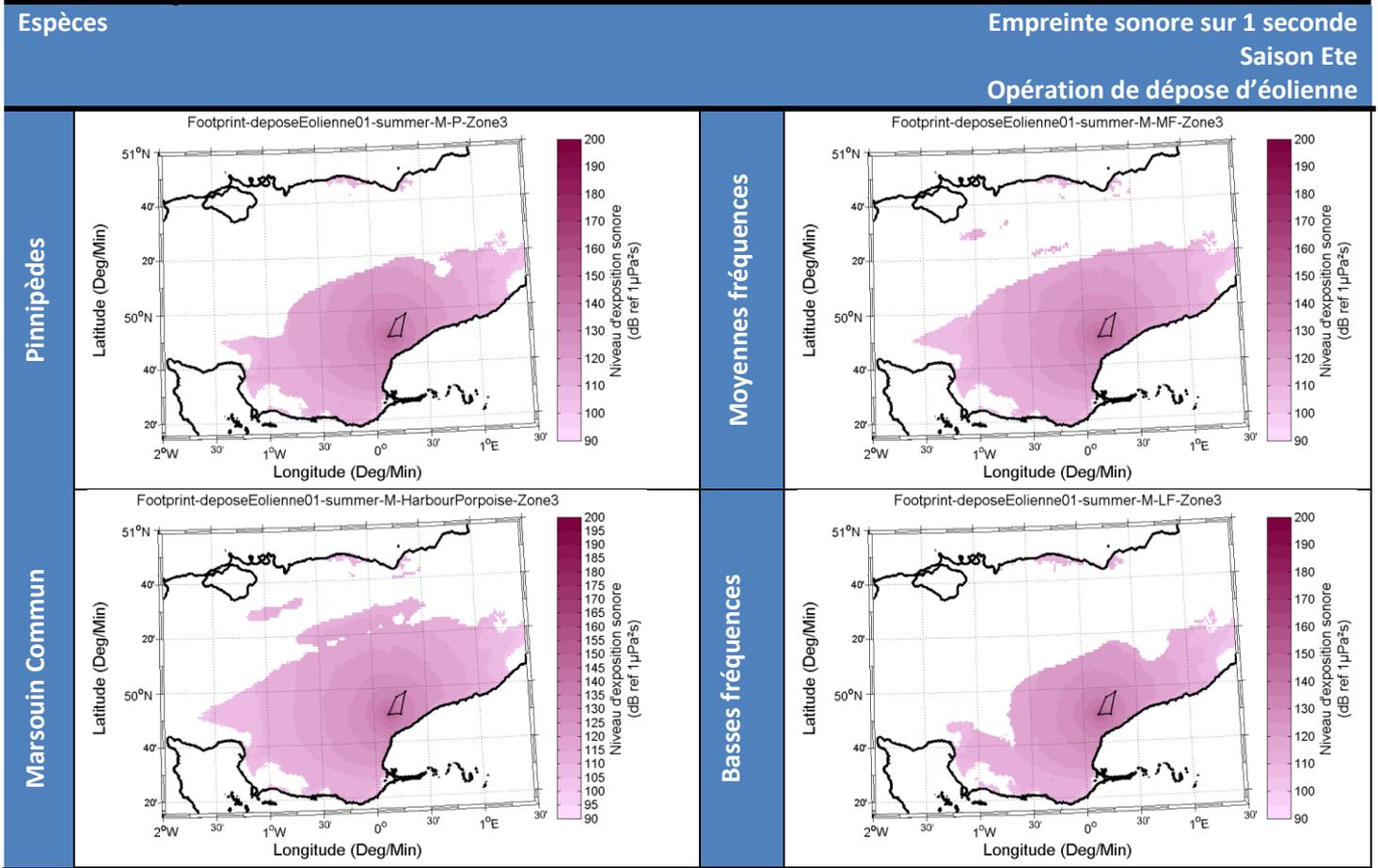
Estimation des risques cumulés sur 1 seconde  
Saison Ete  
Opération de déversement ou clapage

Basses fréquences



V.3.3. Construction - dépose d'éolienne

V.3.3.a. Empreintes sonores



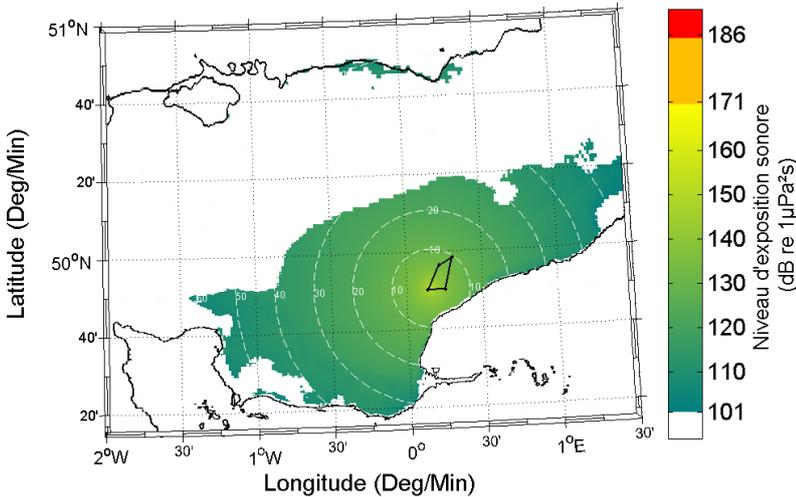
V.3.3.b. Risques biologiques

Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde  
Saison Ete  
Opération de dépose d'éolienne

Pinnipèdes

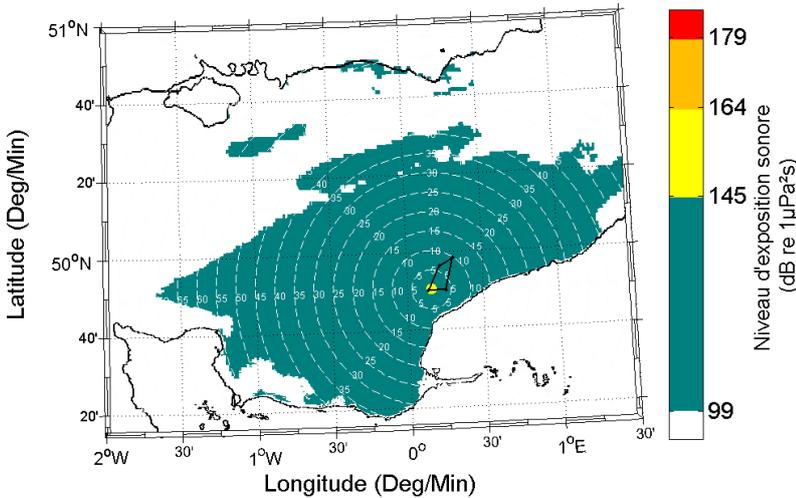
Impact-INST-deposeEolienne01-summer-M-P-Zone3



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 significatif**  
 Hors de portée sonore du projet, i.e. faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

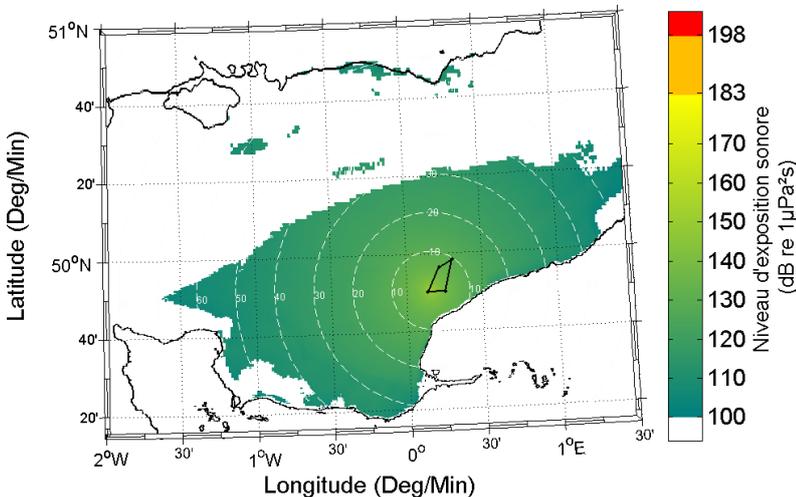
Marsouin Commun

Impact-INST-deposeEolienne01-summer-M-HarbourPorpoise-Zone3



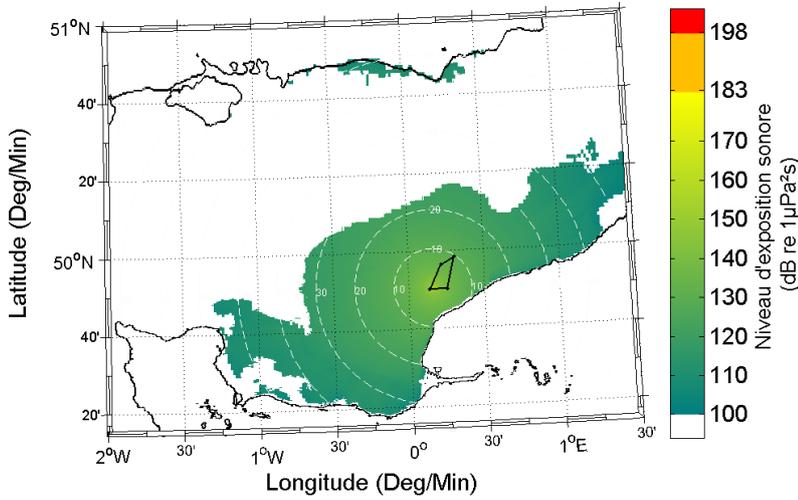
Moyennes fréquences

Impact-INST-deposeEolienne01-summer-M-MF-Zone3



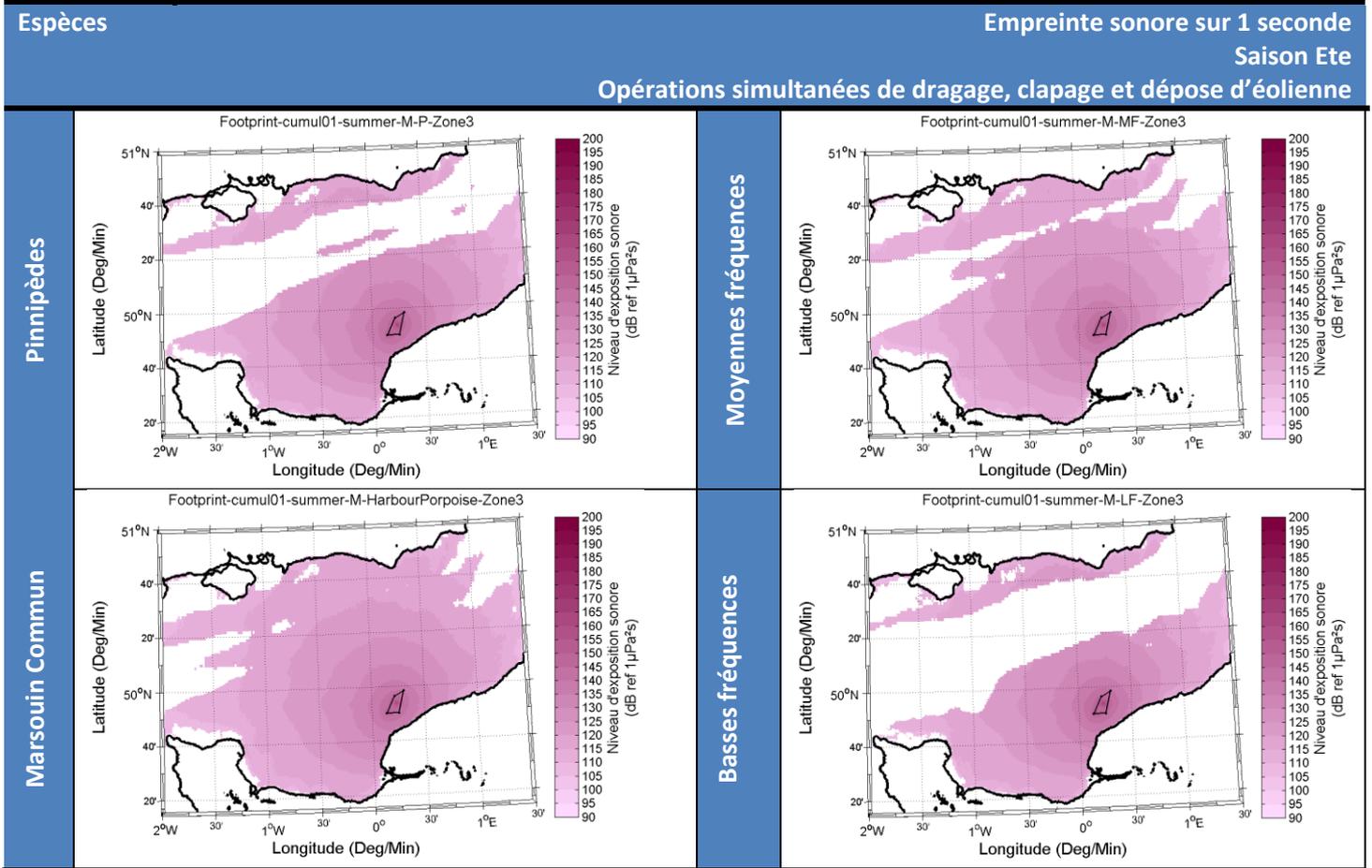
Basses fréquences

Impact-INST-deposeEolienne01-summer-M-LF-Zone3



V.3.4. Construction - opérations simultanées de dragage, clapage et dépose d'éolienne

V.3.4.a. Empreintes sonores



V.3.4.b. Risques biologiques

Espèces

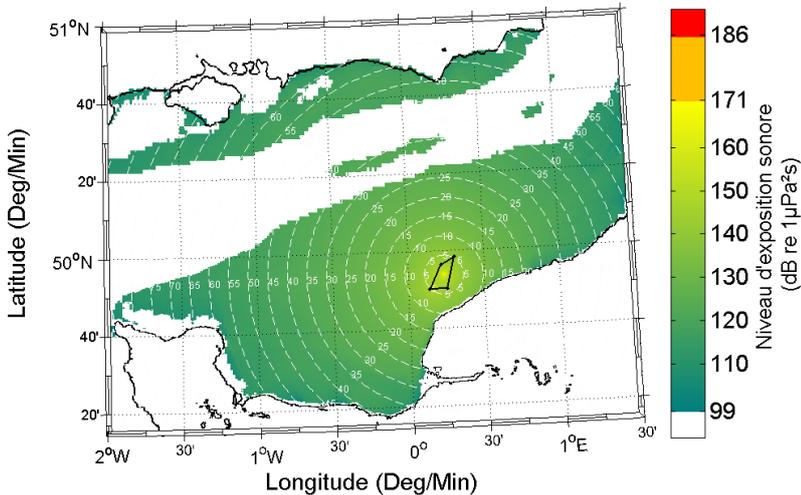
Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

Saison Ete

Opérations simultanées de dragage, clapage et dépose d'éolienne

Pinnipèdes

Impact-INST-cumul01-summer-M-P-Zone3



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

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

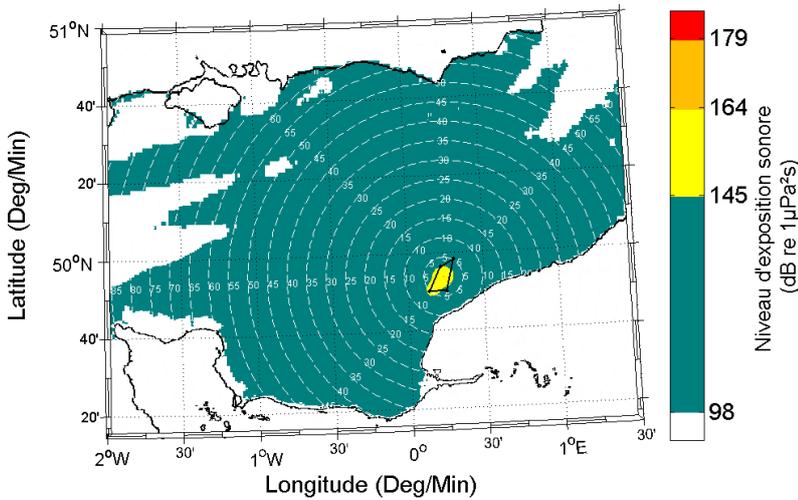
Probabilité de subir le bruit du projet avec **modification du comportement**

Probabilité de subir le bruit du projet **sans effet significatif**

Hors de portée sonore du projet, i.e. faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

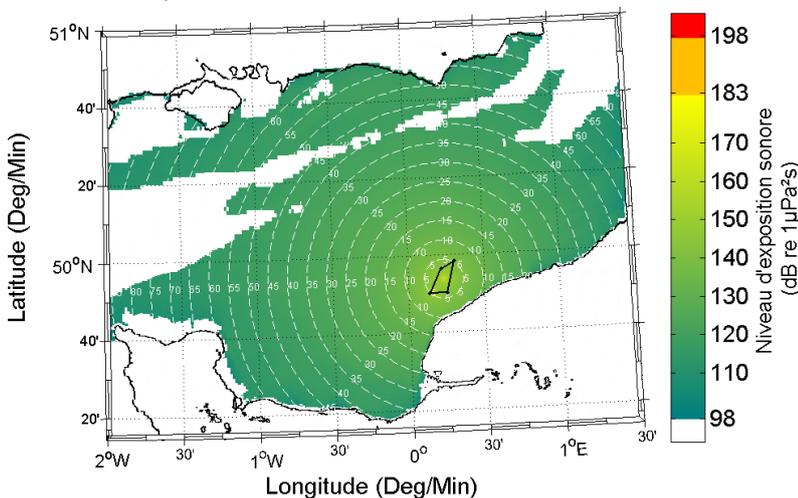
Marsouin commun

Impact-INST-cumul01-summer-M-HarbourPorpoise-Zone3



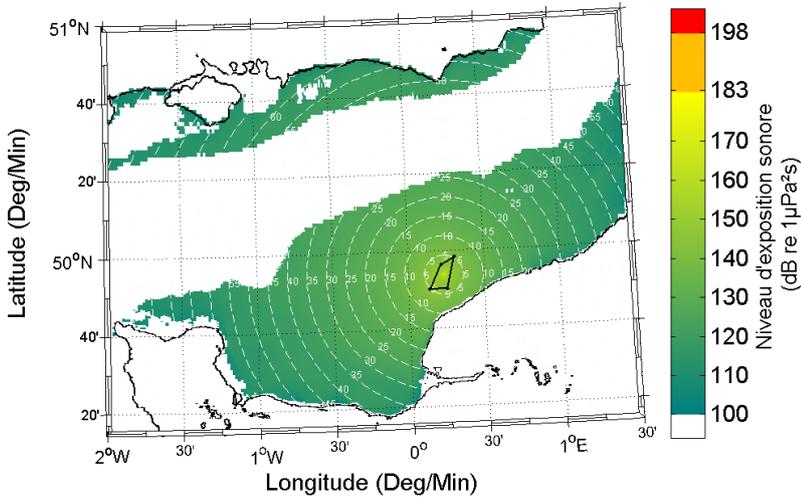
Moyennes fréquences

Impact-INST-cumul01-summer-M-MF-Zone3



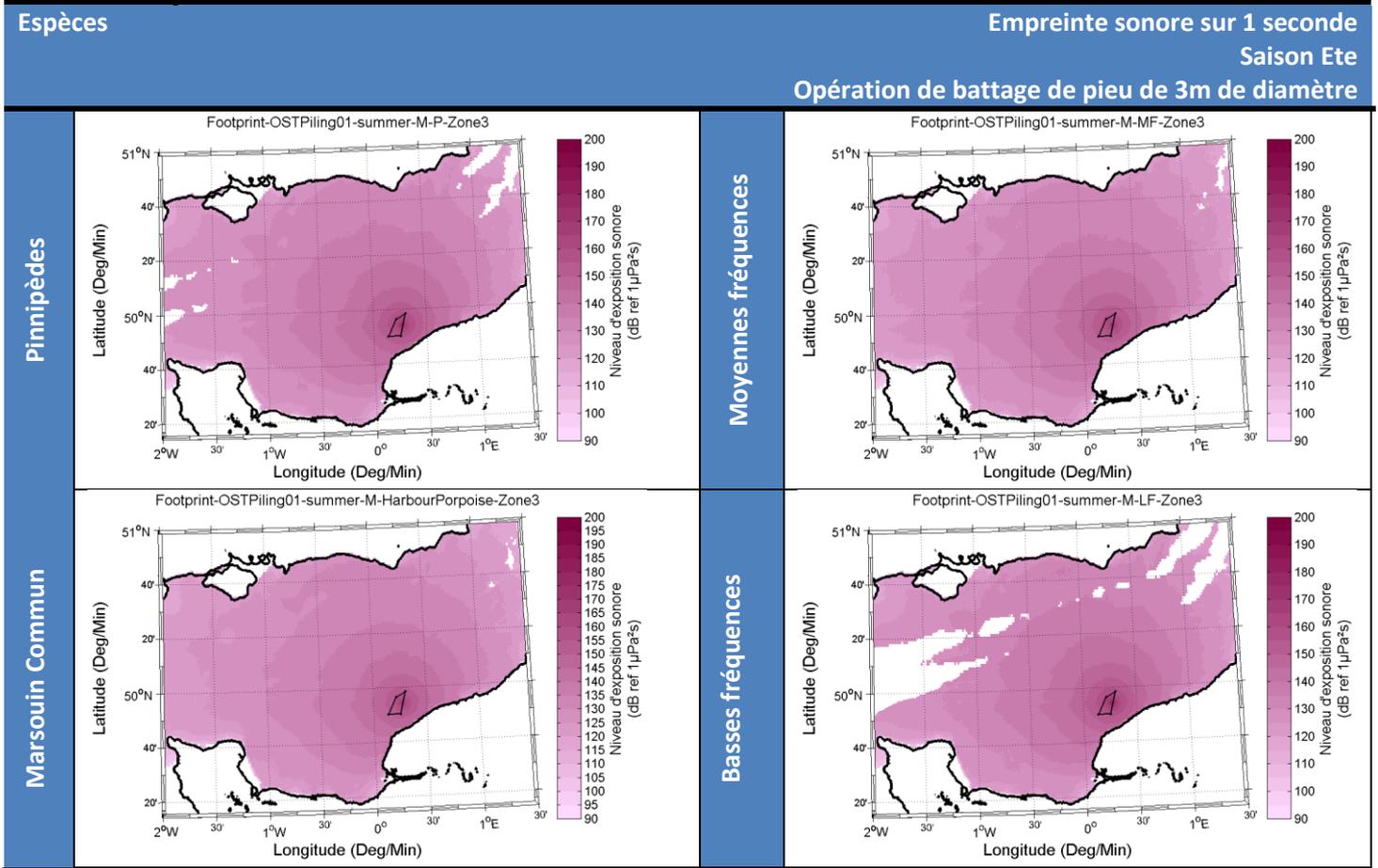
Basses fréquences

Impact-INST-cumul01-summer-M-LF-Zone3



V.3.5. Construction – OST - battage de pieu de 3m de diamètre

V.3.5.a. Empreintes sonores



V.3.5.b. Risques biologiques

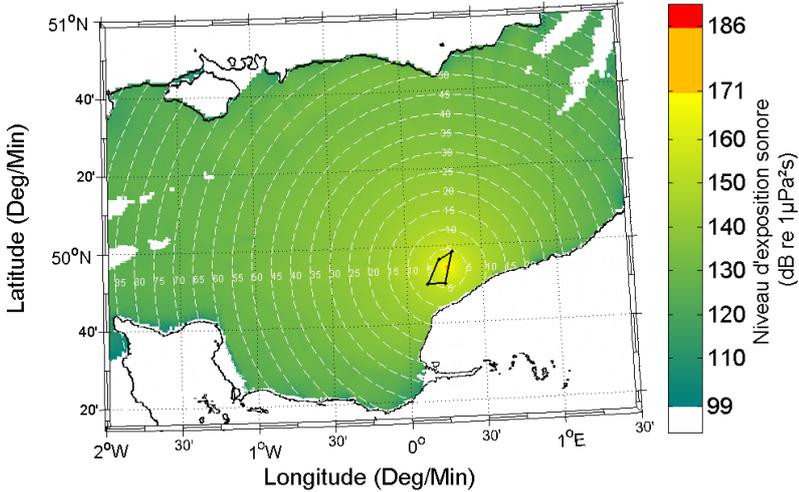
Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde  
Saison Ete

Opération de battage de pieu de 3m de diamètre

Pinnipèdes

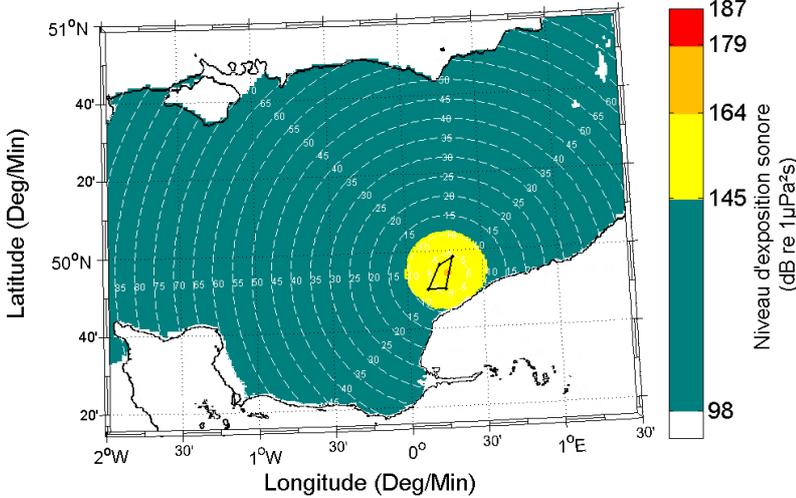
Impact-INST-OSTPiling01-summer-M-P-Zone3



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 significatif**  
 Hors de portée sonore du projet, i.e. faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

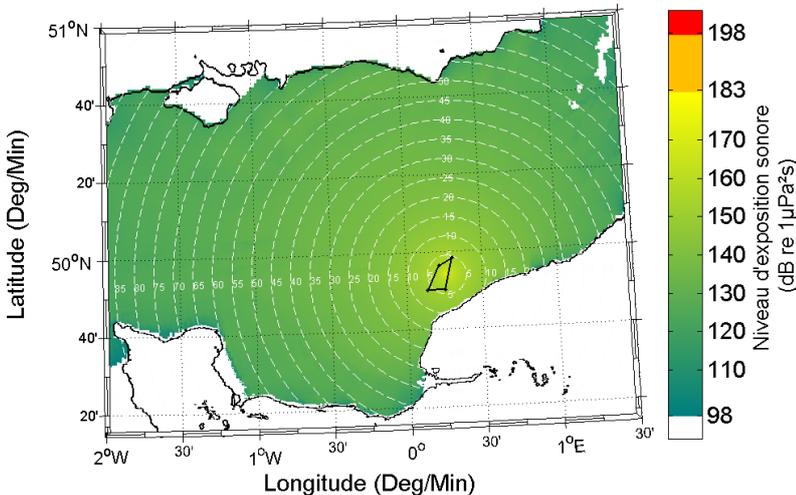
Marsouin commun

Impact-INST-OSTPiling01-summer-M-HarbourPorpoise-Zone3



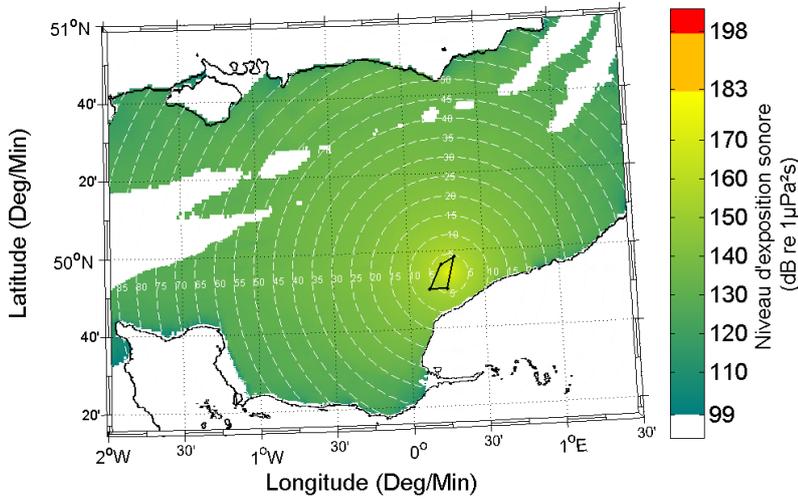
Moyennes fréquences

Impact-INST-OSTPiling01-summer-M-MF-Zone3



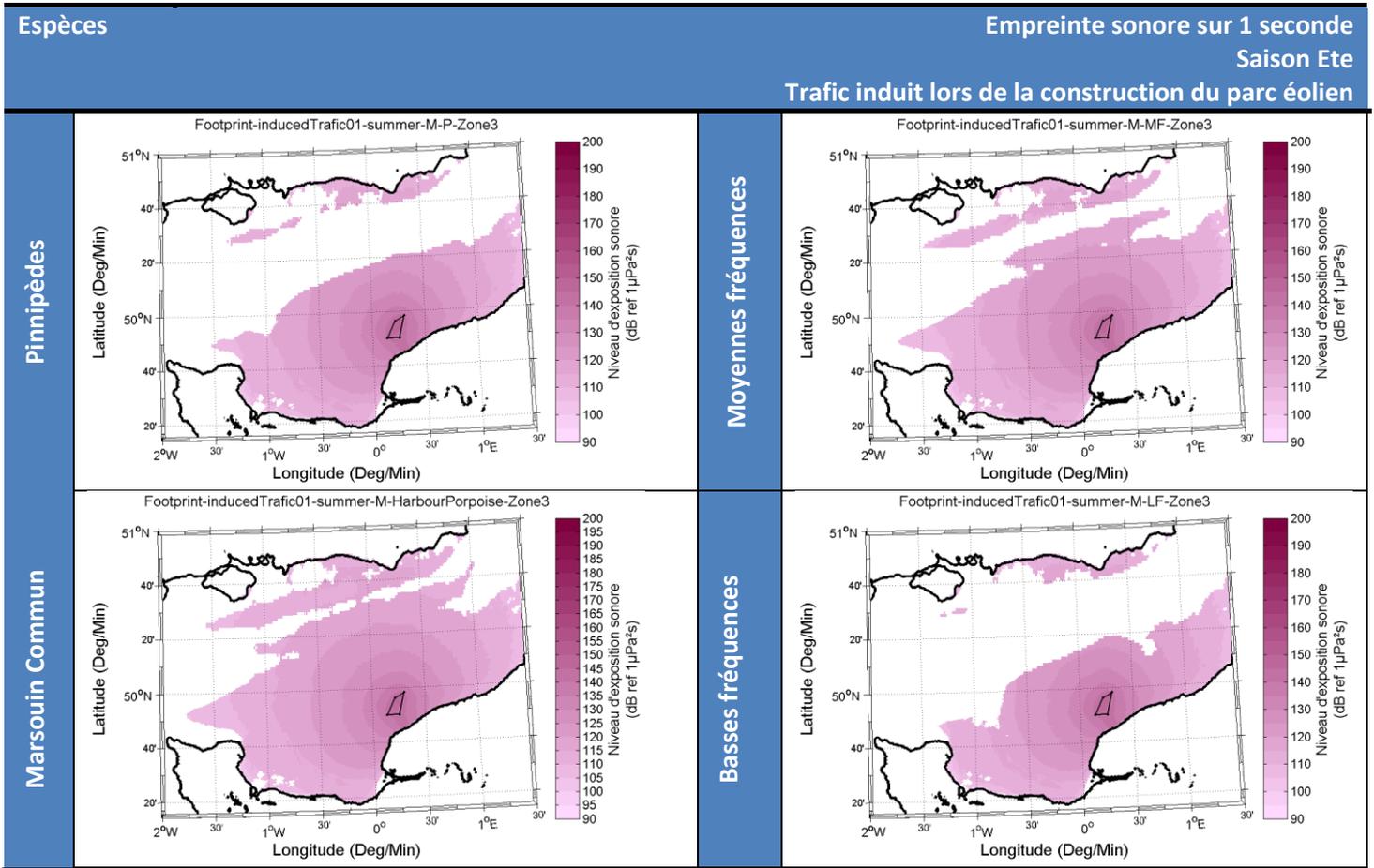
Basses fréquences

Impact-INST-OSTPiling01-summer-M-LF-Zone3



V.3.6. Construction - trafic induit

V.3.6.a. Empreintes sonores



V.3.6.b. Risques biologiques

Espèces

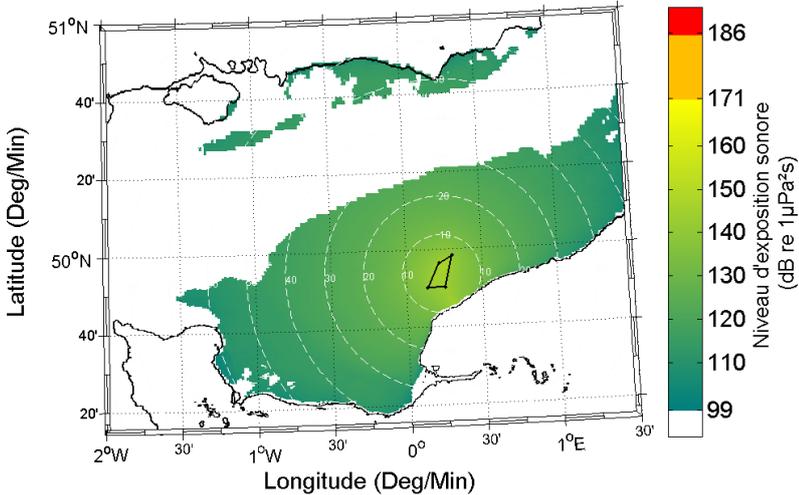
Estimation des risques cumulés sur 1 seconde

Saison Ete

Trafic induit lors de la construction du parc éolien

Pinnipèdes

Impact-INST-inducedTrafic01-summer-M-P-Zone3



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

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

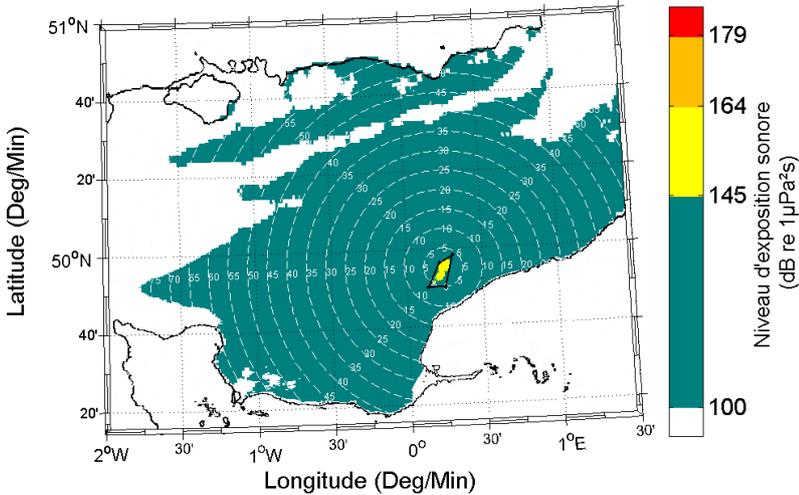
Probabilité de subir le bruit du projet avec **modification du comportement**

Probabilité de subir le bruit du projet **sans effet significatif**

**Hors de portée** sonore du projet, i.e. faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

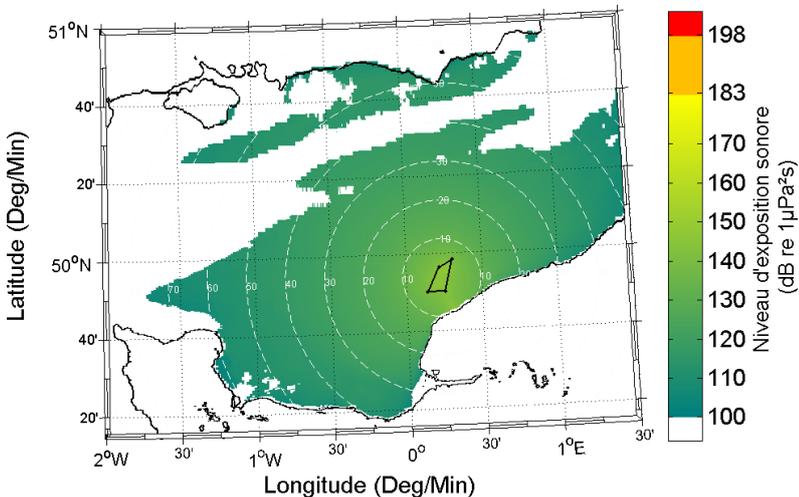
Marsouin Commun

Impact-INST-inducedTrafic01-summer-M-HarbourPorpoise-Zone3



Moyennes fréquences

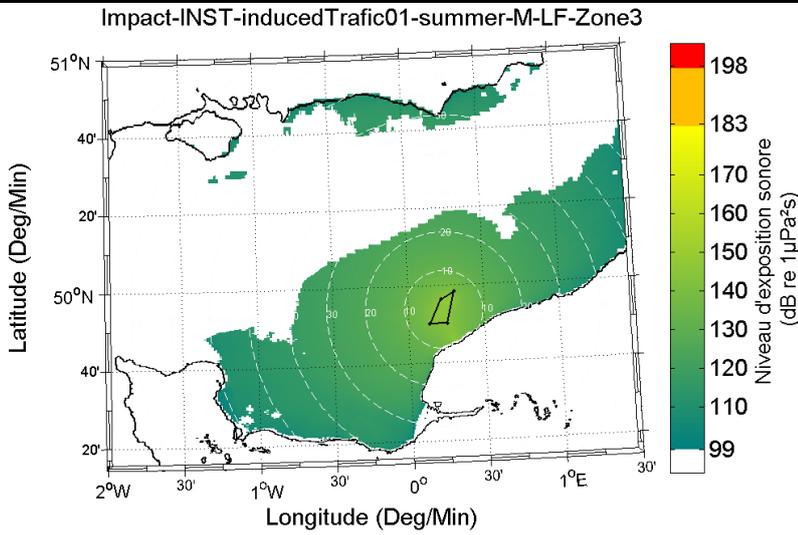
Impact-INST-inducedTrafic01-summer-M-MF-Zone3



Espèces

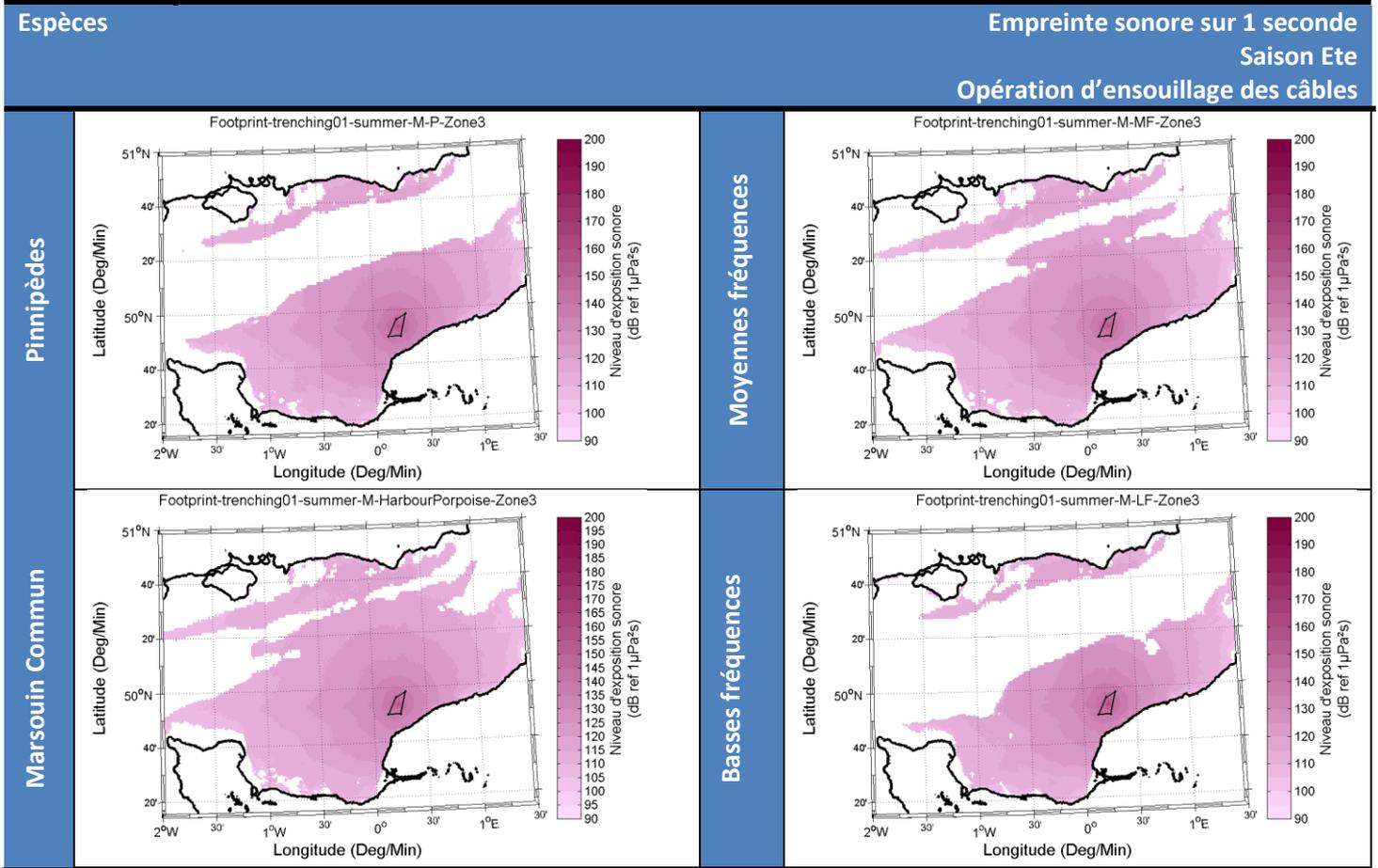
Estimation des risques cumulés sur 1 seconde  
Saison Ete  
Trafic induit lors de la construction du parc éolien

Basses fréquences



V.3.7. Construction – opération d'ensouillage des câbles

V.3.7.a. Empreintes sonores



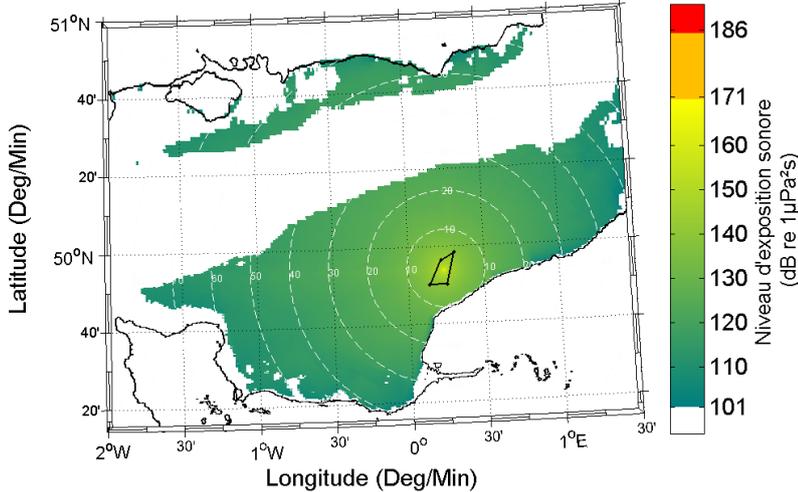
V.3.7.b. Risques biologiques

Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde  
Saison Ete  
Opération d'ensouillage des câbles

Pinnipèdes

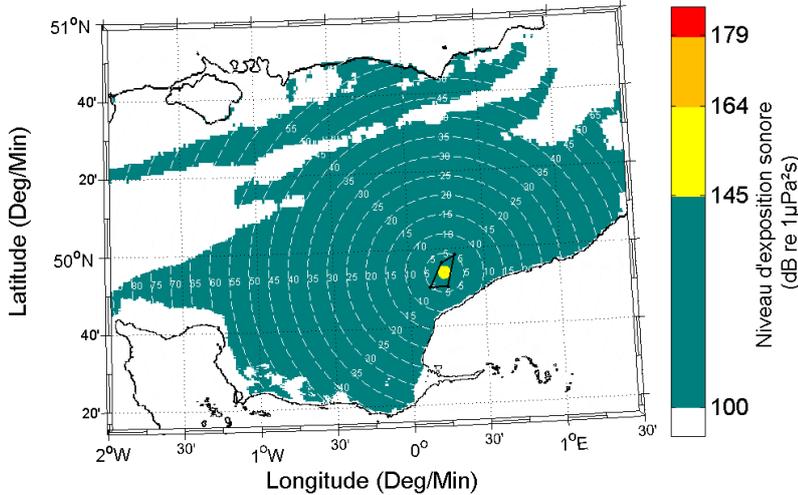
Impact-INST-trenching01-summer-M-P-Zone3



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 significatif**  
 Hors de portée sonore du projet, i.e. faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

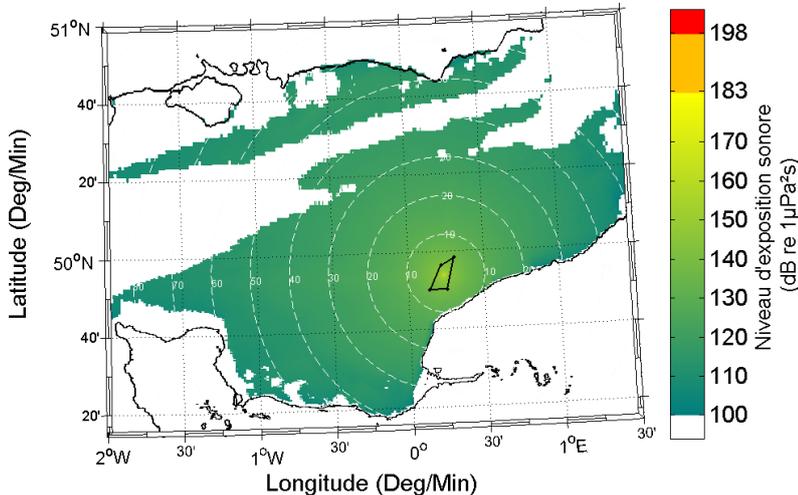
Marsouin Commun

Impact-INST-trenching01-summer-M-HarbourPorpoise-Zone3



Moyennes fréquences

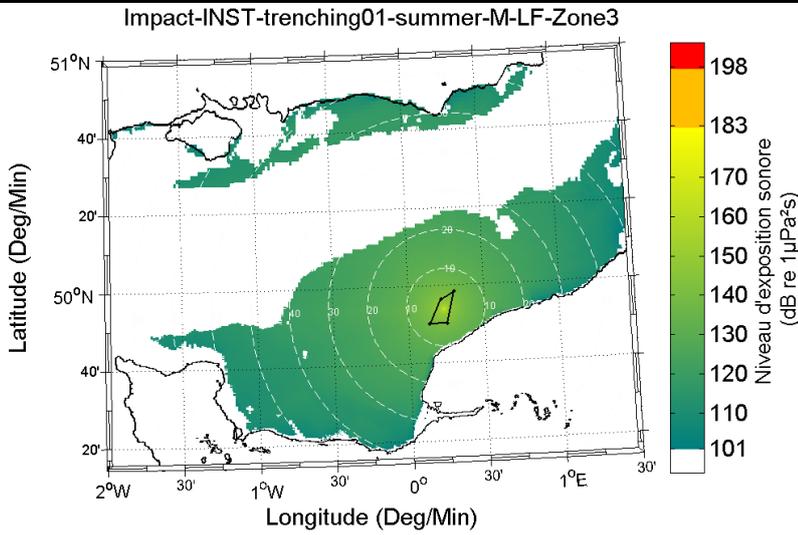
Impact-INST-trenching01-summer-M-MF-Zone3



Espèces

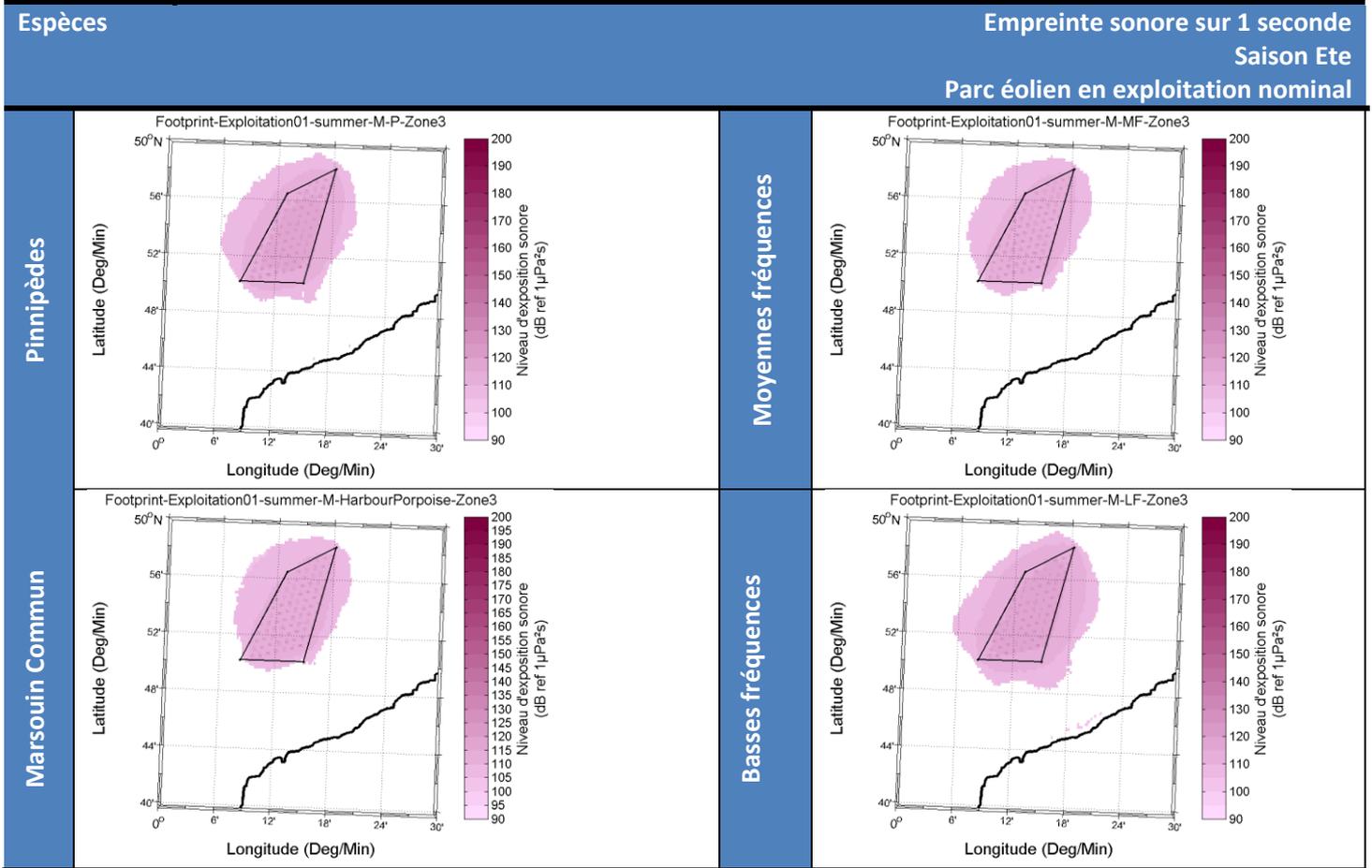
Estimation des risques cumulés sur 1 seconde  
Saison Ete  
Opération d'ensouillage des câbles

Basses fréquences



V.3.8. Exploitation du parc éolien

V.3.8.a. Empreintes sonores

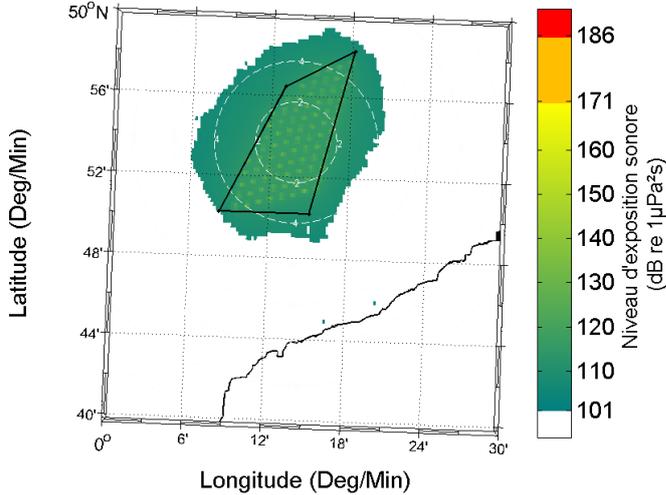


V.3.8.b. Risques biologiques

Espèces Estimation des risques cumulés sur 1 seconde  
Saison Eté  
Parc éolien en exploitation nominal

Pinnipèdes

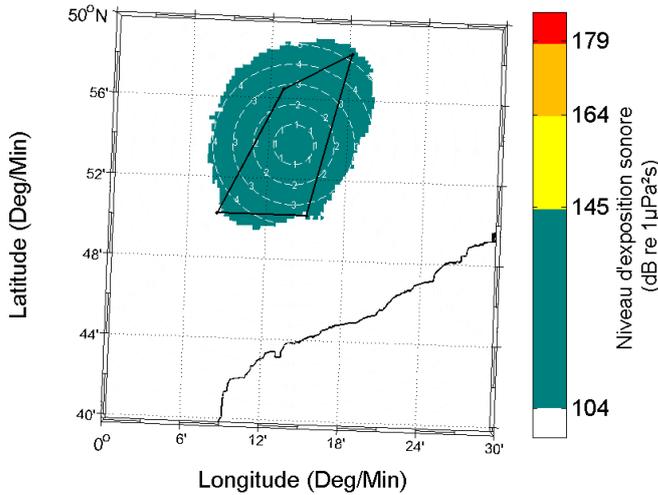
Impact-INST-Exploitation01-summer-M-P-Zone3



- 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 significatif**
- Hors de portée sonore du projet, i.e. faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

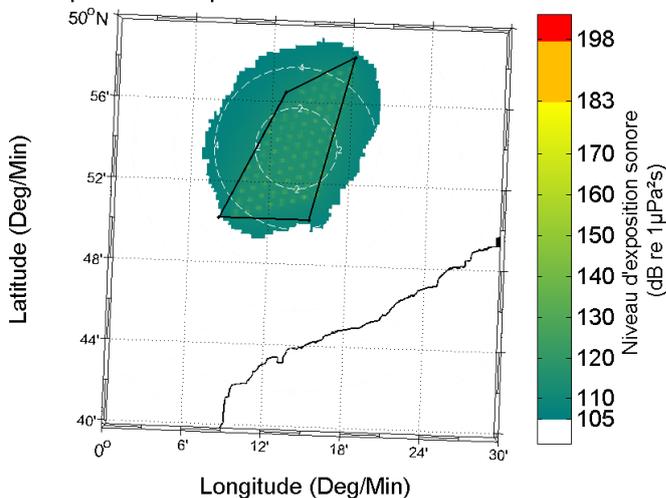
Marsouin Commun

Impact-INST-Exploitation01-summer-M-HarbourPorpoise-Zone3



Moyennes fréquences

Impact-INST-Exploitation01-summer-M-MF-Zone3

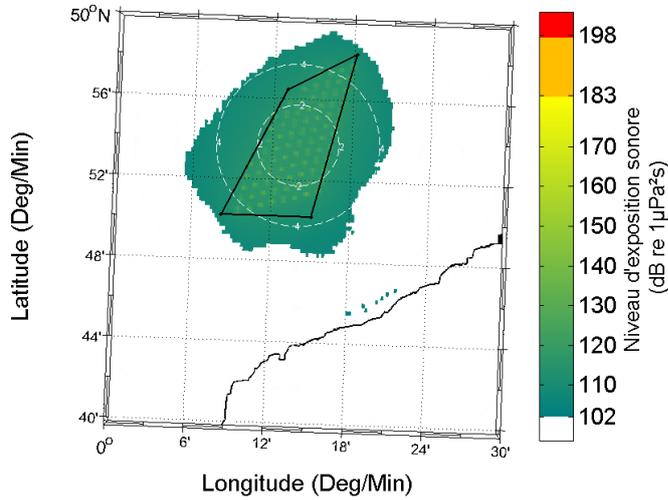


Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde  
Saison Eté  
Parc éolien en exploitation nominal

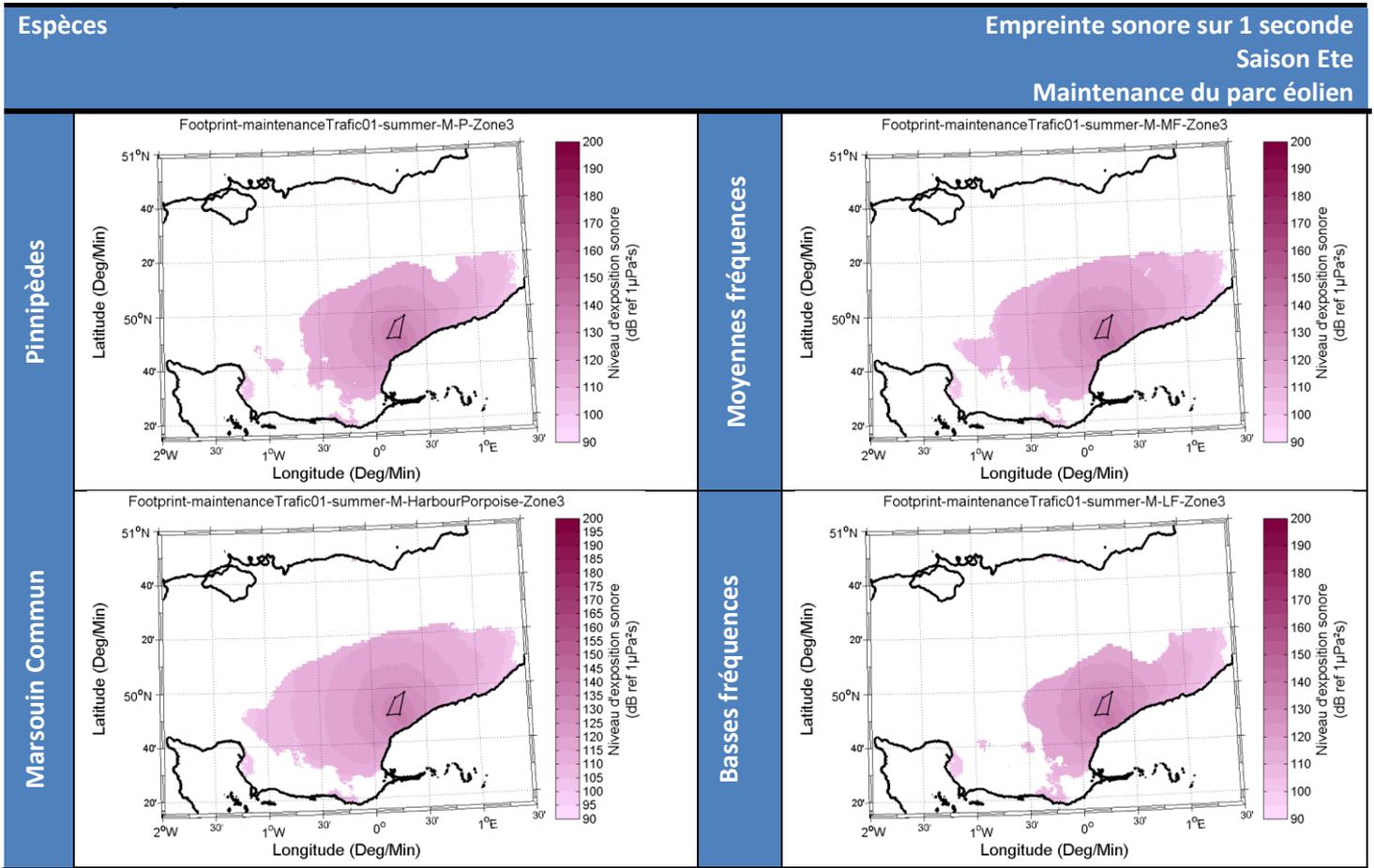
Basses fréquences

Impact-INST-Exploitation01-summer-M-LF-Zone3



V.3.9. Exploitation - maintenance du parc éolien

V.3.9.a. Empreintes sonores



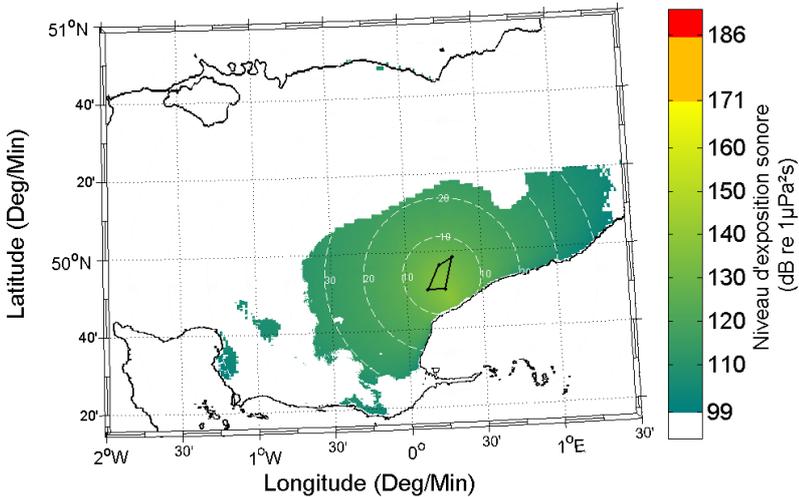
V.3.9.b. Risques biologiques

Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde  
Saison Ete  
Maintenance du parc éolien

Pinnipèdes

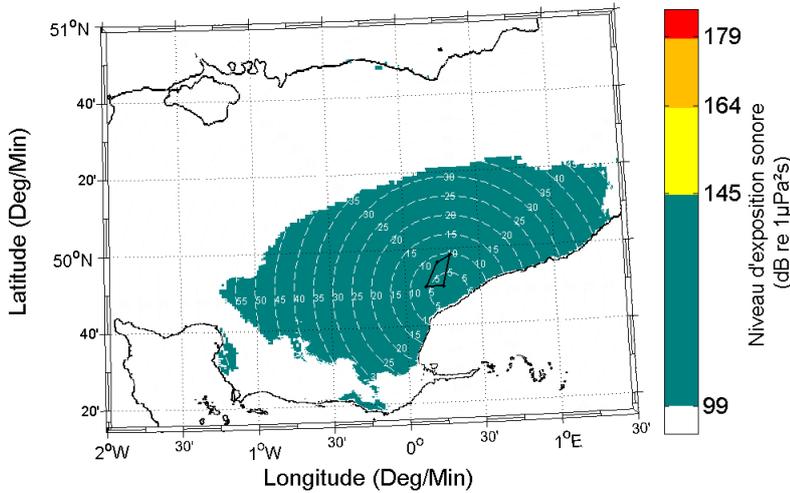
Impact-INST-maintenanceTrafic01-summer-M-P-Zone3



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 significatif**  
 Hors de portée sonore du projet, i.e. faible probabilité de subir le bruit généré par le projet

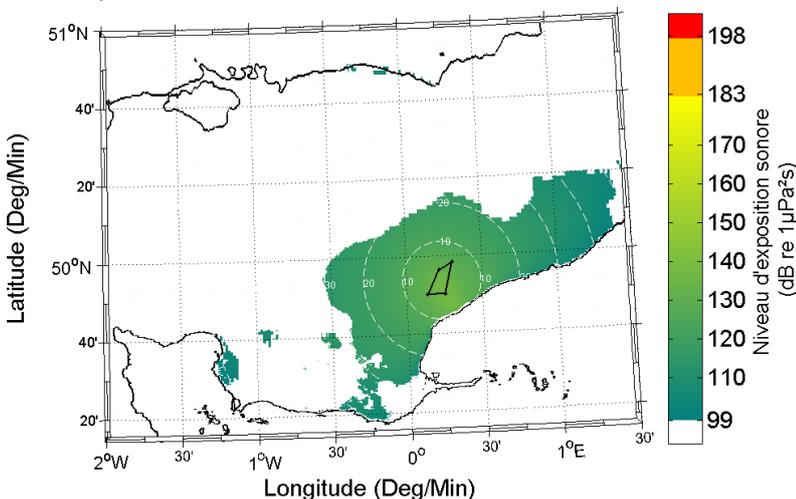
Marsouin Commun

Impact-INST-maintenanceTrafic01-summer-M-HarbourPorpoise-Zone3



Moyennes fréquences

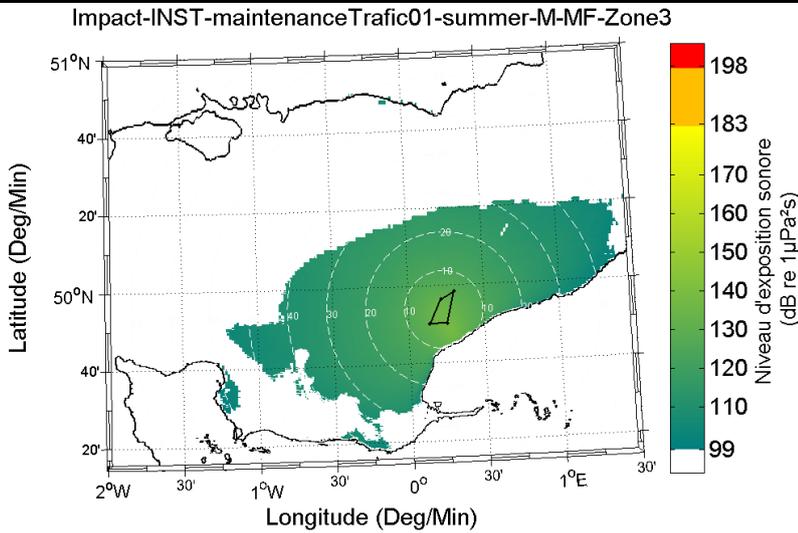
Impact-INST-maintenanceTrafic01-summer-M-LF-Zone3



Espèces

Estimation des risques cumulés sur 1 seconde  
Saison Ete  
Maintenance du parc éolien

Basses fréquences



## V.4. Analyse des risques d'impacts

### V.4.1. Analyse physique

Les distances représentatives 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 15 pour la saison été (très légèrement plus défavorable) :

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

Le dimensionnement des zones de risque est réalisé en considérant tous les azimuts autour de l'atelier 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 pas nécessairement 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 :

- ✓ l'atteinte des seuils de dommages physiologiques permanents concernent les pinnipèdes et le marsouin commun maximum à 500m des ateliers de battage des fondations de l'OST par jacket ;
- ✓ l'atteinte des seuils de dommages physiologiques temporaires concernent principalement le marsouin commun en phase de construction (battage de l'OST, dragage, ensouillage). Les distances maximales de risques varient entre une centaine de mètres et 2 km en fonction des scénarios et des espèces;
- ✓ Pour le marsouin commun, les zones potentielles de gêne ou de modification du comportement peuvent varier entre 1 km et une vingtaine de km au maximum en fonction des scénarios; Les distances maximales sont observées lors du battage de l'OST ou du scénario cumulé de dragage;
- ✓ les différences saisonnières ne sont pas significatives et n'induisent donc pas, du point de vue des émissions sonores, de saison privilégiée pour la tenue des travaux ;
- ✓ l'atelier de clavage, l'exploitation et la maintenance du parc éolien en mer n'entraînent pas d'enjeu particulier dans l'état actuel des scénarios. En phase d'exploitation nominale du parc éolien, les résultats obtenus dans cette étude sont en cohérence avec les premiers retours d'expériences des parcs actuellement en exploitation en Europe du nord.

On peut prévoir des risques potentiels plus importants pour les fondations jacket que pour les fondations gravitaires. La pertinence de la mise en œuvre de mesures de réduction ou d'évitement doit être définie par des experts biologistes en fonction de ces résultats et des niveaux de fréquentation des espèces.

	Atelier	Classe de mammifères marins	Durée d'exposition (sec)	Zone de modification du comportement			Zone de dépassement de dommage physiologique temporaire			Zone de dépassement de dommage physiologique permanent		
				(Kilomètre)			(Kilomètre)			(Kilomètre)		
				Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max
Ete	Dragage	Marsouin Commun	1sec	3,96	4,42	4,79	0,15	0,16	0,45	-	-	-
		Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Pinnipèdes		N/A			-	-	-	-	-	-
	Ensuillage	Marsouin Commun	1sec	2,59	2,89	3,20	-	0,14	1,33	-	-	-
		Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-
		Pinnipèdes		N/A			-	-	-	-	-	-
	Battage (3m)	Marsouin Commun	1sec	14,96	18,10	20,36	1,21	1,62	1,90	-	0,17	0,50
		Moyennes fréquences		N/A			-	0,14	0,44	-	-	-
		Basses fréquences		N/A			-	0,27	0,48	-	-	-
		Pinnipèdes		N/A			0,78	1,13	1,47	-	0,14	0,44
Scenario cumulé (clapage, dragage, dépose)	Marsouin Commun	1sec	4,13	5,41	11,00	-	0,16	0,45	-	-	-	
	Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-	
	Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-	
	Pinnipèdes		N/A			-	-	-	-	-	-	
Dépose eolienne	Marsouin Commun	1sec	1,99	2,32	2,59	-	-	-	-	-	-	
	Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-	
	Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-	
	Pinnipèdes		N/A			-	-	-	-	-	-	
Déversement de matériaux	Marsouin Commun	1sec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-	
	Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-	
	Pinnipèdes		N/A			-	-	-	-	-	-	
Trafic induit	Marsouin Commun	1sec	1,50	3,02	8,58	-	-	-	-	-	-	
	Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-	
	Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-	
	Pinnipèdes		N/A			-	-	-	-	-	-	
Exploitation	Marsouin Commun	1sec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-	
	Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-	
	Pinnipèdes		N/A			-	-	-	-	-	-	
Maintenance	Marsouin Commun	1sec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Moyennes fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-	
	Basses fréquences		N/A			-	-	-	-	-	-	
	Pinnipèdes		N/A			-	-	-	-	-	-	

Tableau 15 : Synthèse des étendues des zones d'impacts physiologiques et comportementaux potentiels en fonction de la nature des travaux, des espèces potentiellement en présence. 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 pour 1 seconde d'activité (troisième colonne). (N/A : A ce jour, le seuil de modification du comportement n'est connu que pour le marsouin commun. Les distances d'impact comportemental sont donc inférieures aux dimensions de l'empreinte sonore et supérieures aux distances de dommages physiologiques temporaires).

Atelier	Exposition Sonore Minimale	Exposition Sonore Médiane	Exposition Sonore Maximale
Clapage	163,7	164,7	165,9
Mise en place & immersion des GBS	152,3	153,3	154,4
Dragage	158,8	160,4	162,5
Battage (OST)	177,1	178,8	180,9
Ensouillage	157,6	158,8	160,2
Trafic induit	146,7	147,1	147,7
Trafic d'entretien	137,3	138,0	139,1

Tableau 16 : Niveau d'exposition sonore médian (dB ref 1µPa<sup>2</sup>s) attendu à la distance de 750m de l'atelier

#### V.4.2. Interprétation biologique

Le nombre d'animaux touché par le processus d'installation est difficile à évaluer avec précision, mais des données de plusieurs enquêtes sur le site de construction actuel sont disponibles (Biotope, 2013). Les chiffres suivants sont basés sur les données de dénombrement relevés par voie aérienne et maritime par le Groupe Mammalogique Normand (GMN) et le Groupe Ornithologique Normand (GON) en 2008, 2009, 2012 et 2013. Les interprétations proposées dans la suite de ce paragraphe sont issues de (BioConsult, 2013).

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

###### i. Impact du battage de pieux de l'OST

Selon le Tableau 15, l'impact du bruit du battage est critique pour la modification du comportement des marsouins communs à une distance pouvant aller jusqu'à 18 km de l'atelier, ce qui correspond à une surface de 1 018km<sup>2</sup>. En supposant une moyenne de 22 individus par quadrat<sup>22</sup> en hiver, on estime à 14 le nombre total des individus potentiellement présents dans cette zone si le battage avait lieu durant les mois d'hiver. Si le battage a lieu en été, ce nombre tombe à 0 ou 1 individu affecté.

En supposant la mise en œuvre de mesures d'évitement consistant à éloigner les individus ou groupes d'individus susceptibles d'être dans la zone de risque au démarrage des ateliers, on peut considérer qu'environ 60% des marsouins quitteraient la zone dont le seuil d'exposition sonore serait supérieur à 145dB réf. 1µPa<sup>2</sup>s. Les retours d'expérience sur le parc éolien en mer de Trianel Borkum en Allemagne suggèrent que la durée de la perturbation devrait s'étaler sur 1 à 3 jours après la fin du battage (Pehlke, 2013). Étant donné que la perturbation du battage sera due aux quatre pieux de l'OST uniquement, la perturbation globale des marsouins communs devrait être d'une durée assez courte et peut être considérée comme entièrement réversible (BioConsult, 2013)

La distance sur laquelle l'impact sonore du battage peut provoquer une perte de l'audition temporaire est estimée à 1,6 km ce qui équivaut à une surface d'environ 8 km<sup>2</sup>. Cela implique que 0 à 1 animal serait affecté par le battage aussi bien en hiver qu'en été (BioConsult, 2013)

La zone de dépassement potentiel du seuil de dommage physiologique permanent possède un rayon de 0,2 km au maximum pour un coup unique.

<sup>22</sup> 40km x 40km – 1 600km<sup>2</sup>

## *ii. Impacts liés aux autres sources de bruit*

Concernant les opérations de dragage et d'ensouillage, la zone d'impact pouvant être à l'origine d'une perte temporaire de l'audition chez les marsouins est estimée à un rayon d'environ 150 m, ce qui correspond à une surface de 0,07 km<sup>2</sup>. La nature du bruit étant continue, les marsouins et autres mammifères marins peuvent facilement éviter la zone réduite dans laquelle des dommages auditifs temporaires pourraient être créés. Contrairement au battage de pieux, il n'y a pas de risque d'une augmentation soudaine du niveau de bruit.

Les activités liées à la mise en place des fondations gravitaires et le trafic associé à ces opérations sont supposées entraîner des modifications comportementales dans un rayon de 2,3 à 5,4 km autour de la source de bruit. Ces distances induisent une surface de 19,6 à 91,6 km<sup>2</sup> dans laquelle des réactions comportementales peuvent apparaître.

Aucun effet n'est anticipé pendant la phase d'exploitation ou lors des travaux de maintenance post-construction.

Excepté le battage, aucune activité n'est supposée provoquer une perte de l'audition permanente quelle que soit la distance.

### *V.4.2.b. Pinnipèdes*

#### *i. Impact des opérations de battage de pieux de l'OST*

Pour les pinnipèdes (phoques veaux-marins (*Phoca vitulina*) et phoques gris (*Halichoerus grypus*), les effets du battage de pieux sur le comportement sont supposés être provoqués par les mêmes niveaux sonores que ceux occasionnant potentiellement une perte temporaire de l'audition (Southall, et al., 2007). Selon le Tableau 15, l'impact du bruit du battage induit des pertes temporaires de l'audition et des modifications comportementales à une distance pouvant aller jusqu'à 1,13 km, soit une surface de 4 km<sup>2</sup>.

Les niveaux de bruits provoquant une perte de l'audition permanente peuvent se produire jusqu'à une distance de 140 m autour de la source de bruit, ce qui correspond à une zone de 0,07 km<sup>2</sup>. En rapprochant cette surface aux données de densités de population, ceci équivaut à 0 à 1 individu de chaque espèce exposé aux niveaux de bruits occasionnant une perte d'audition temporaire ou permanente.

#### *ii. Impacts liés aux autres sources de bruit*

Tous les autres bruits émis par les activités sur le site d'implantation ne devraient pas atteindre les seuils de dommage physiologique. Aucune modification comportementale et aucun dommage auditif n'est à craindre pour les phoques au cours des phases d'exploitation, de construction et de maintenance du parc éolien.

### *V.4.2.c. Espèces sensibles aux moyennes fréquences*

#### *i. Impact du battage de pieux :*

Le globicéphale noir (*Globicephala melas*), le grand dauphin (*Tursiops truncatus*) et le dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*) sont tous classés comme espèces de moyenne fréquence. Les niveaux de bruits provoquant une perte de l'audition temporaire sont supposés se produire jusqu'à une distance de 140 m autour de la source de bruits, ce qui correspond à une zone de 0,06 km<sup>2</sup>. En raison du nombre très limité de dauphins et de baleines attendus dans la zone d'implantation, il est supposé que 0 à 1 individu soit susceptible d'être blessé par des coups individuels du battage (aucune perte d'audition permanente) (BioConsult, 2013)

ii. *Impacts d'autres sources de bruits :*

À part le battage, aucune activité n'est supposée atteindre des seuils 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.

**V.5. Analyse des risques d'impacts pour une exposition sonore cumulée**

Les risques d'impacts pour une exposition cumulée sont évalués :

- ✓ pour les espèces à proximité du site ;
- ✓ pour le cas des pinnipèdes de la Baie des Veys et en Baie de Somme.

**V.5.1. Risques biologiques liés à une exposition cumulée des espèces à proximité du site**

V.5.1.a. *Analyse physique*

Le Tableau 17 reporte l'évolution des distances de dépassement du seuil de dommage physiologique permanent autour de l'atelier de battage de pieu de l'OST pour différentes expositions sonores cumulées en été. Les temps d'exposition sonore sont supposés sans interruption pour les différentes espèces susceptibles d'être présentes sur la zone d'étude.

La distance de risque de dépassement du seuil de dommage physiologique permanent est supérieure à 1 km pour les pinnipèdes et le marsouin commun au-delà d'une durée d'exposition cumulée de 5 minutes. Pour les autres espèces, elles n'excèdent pas 0,74 kilomètre au bout de 3 heures de battage sans interruption.

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

Temps (min)	1	5	10	30	60	180
Pinnipèdes	0.54	1.13	1.45	1.89	2.13	2.27
Marsouin Commun	0.67	1.42	1.84	2.44	2.78	2.96
Espèces moyennes fréquences	0.00	0.18	0.22	0.27	0.30	0.31
Espèces basses fréquences	0.20	0.37	0.44	0.59	0.68	0.74

Tableau 17 : Estimation de la distance (en kilomètres) de dépassement du seuil de dommage physiologique permanent (PTS) pour différents temps d'exposition sonore. Saison été. Opération de battage de pieu de 3m de diamètre. Hypothèse statique.

V.5.1.b. *Interprétation biologique*

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

Comme indiqué dans le Tableau 17, le rayon dans lequel un seuil de bruit critique peut être atteint augmente au cours de l'opération de battage de 670 m pendant la première minute à 1,8 km après 10 min, 2,44 km après 30 min et jusqu'à 3 km après 3 heures.

Un marsouin commun exposé durant son déplacement de fuite est en mesure de rester en dessous des seuils de dommage physiologique permanent si (BioConsult, 2013):

- ✓ sa position initiale est au minimum à 1 km du point de battage ;
- ✓ il réalise un éloignement de 800 m dans les dix premières minutes ;
- ✓ il réalise un éloignement de 1,4km dans la première demi-heure.

La vitesse de nage nécessaire à ce comportement de fuite est d'environ 4,8km/h. Les marsouins communs sont tout-à-fait en mesure d'atteindre cette vitesse. En effet, des spécimens évoluant jusqu'à 16km/h ont été observés lors de l'utilisation d'émetteurs acoustiques (Culik, 2001).

#### *ii. Risque d'exposition cumulée vis-à-vis des pinnipèdes*

Comme indiqué dans le Tableau 17, le rayon dans lequel le seuil de dommage physiologique permanent pour les pinnipèdes peut être atteint augmente au cours de l'opération de battage de 540 m pendant la première minute à 1,45 km après 10 min, 1,89 km après 30 min et jusqu'à 2,3 km après 3 heures.

Un pinnipède exposé durant son déplacement de fuite est en mesure de rester en dessous des seuils de dommage physiologique permanent si (BioConsult, 2013):

- ✓ sa position initiale est au minimum à 1 km du point de battage ;
- ✓ il réalise un éloignement de 450 m dans les dix premières minutes ;
- ✓ il réalise un éloignement de 890 m dans la première demi-heure.

La vitesse de nage nécessaire à cet effet est d'environ 2,7 km/h. Les phoques sont tout-à-fait en mesure d'atteindre cette vitesse. En effet, des vitesses de fuite pouvant atteindre 18 km/h ont été observées par (Riedman, 1990).

#### *iii. Risque d'exposition cumulée vis-à-vis des espèces moyenne fréquence*

Comme indiqué dans le Tableau 17, le rayon dans lequel le seuil de dommage physiologique permanent peut être dépassé augmente au cours de l'opération de battage de 0 m pendant la première minute à 220 m après 10 min, 270 m après 30 min et jusqu'à 310 m après trois heures.

Un individu de la classe moyenne fréquence positionné au-delà de 1 km du point de battage ne présente donc pas de risque de dommage physiologique permanent.

### ***V.5.2. Cas des pinnipèdes en Baie des Veys ou en Baie de Somme***

Les figures ci-dessous démontrent que, bien que les zones de la Baie de Somme et de la baie des Veys soient dans l'empreinte sonore du projet perçue par les pinnipèdes lors de la construction de l'OST par battage de pieux de 3m de diamètres (empreinte la plus importante du cycle de vie du projet), les seuils cumulés dans ces zones sont très loin de dépasser les seuils de dommage physiologiques temporaires et, à fortiori, les seuils de dommages permanents.

Espèces Résidentes  
Pinnipèdes

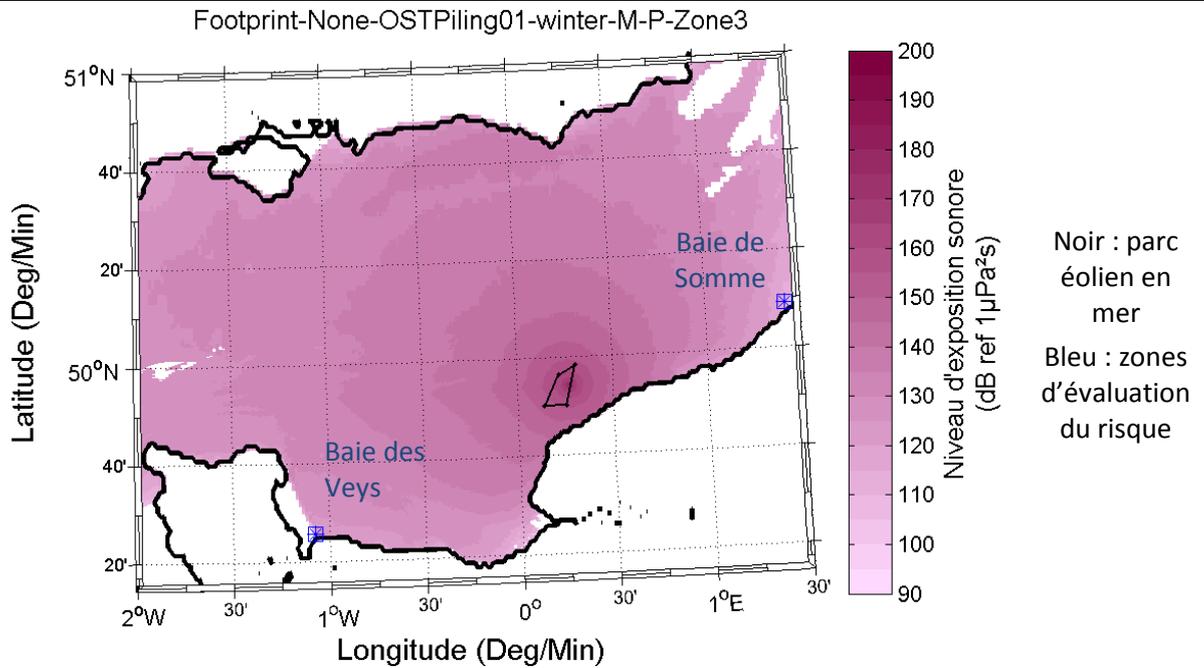
Estimation des risques cumulés pour 2 heures d'activité  
Saison Ete

Construction OST - Opération de battage de pieu de 3m de diamètre

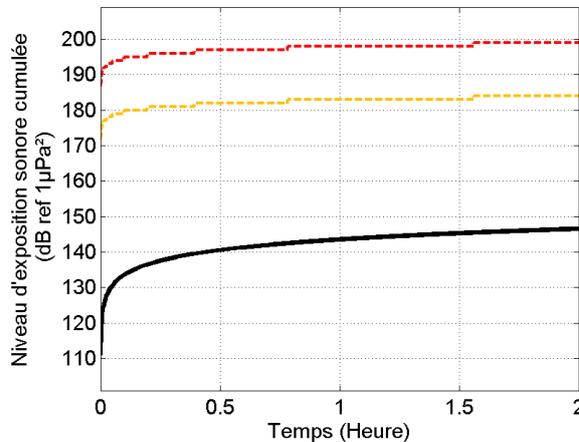
Empreinte sonore 1 seconde

Risques cumulés en fonction de la durée d'exposition sonore (Pinnipèdes en Baie de Somme)

Risques cumulés en fonction de la durée d'exposition sonore (Pinnipèdes en Baie des Veys)

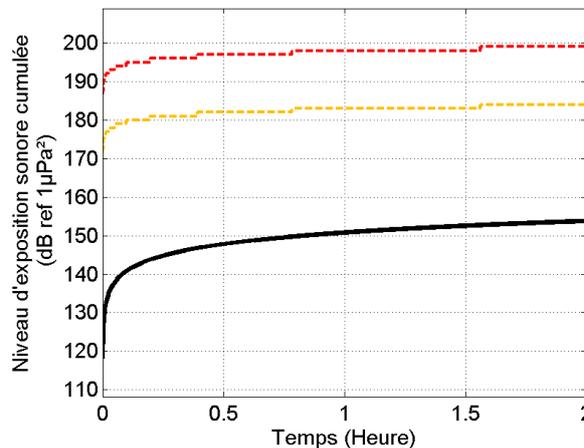


EvolRisk-None-inspect01-OSTPiling01-winter-M-P-Zone3



Noir : Niveau d'exposition cumulé  
Orange : Seuil de dommage temporaire  
Rouge : Seuil de dommage permanent

EvolRisk-None-inspect02-OSTPiling01-winter-M-P-Zone3



## V.6. Synthèse

Du point de vue des émissions sonores, les enjeux du projet de parc éolien au large de Fécamp ne concernent que la phase de construction (et potentiellement de démantèlement) du poste électrique ou OST. En effet, les opérations liées à la pose des fondations gravitaires pour les éoliennes n'entraînent pas de dépassement des seuils de dommage physiologique permanent.

L'ancrage de la fondation jacket du poste électrique, mettant en jeu du **battage** de pieu, présente un dépassement des seuils de **dommage physiologique permanent** :

- ✓ pour les pinnipèdes dans un rayon maximum de 450 m autour de l'atelier ;
- ✓ pour les marsouins communs dans un rayon maximum de 500 m autour de l'atelier.

L'ancrage de la fondation jacket du poste électrique, mettant en jeu du **battage** de pieu, présente un dépassement des seuils de **dommage physiologique temporaire** :

- ✓ pour les pinnipèdes dans un rayon maximum de 1,47 km autour de l'atelier ;
- ✓ pour les marsouins communs dans un rayon maximum de 1,9 km autour de l'atelier ;
- ✓ pour les autres mammifères marins dans un rayon maximum de 480 m autour de l'atelier.

Les opérations de **dragage** et **ensouillage** sont susceptibles de dépasser les seuils de **dommage physiologique temporaire** :

- ✓ pour les marsouins communs dans un rayon compris entre 450 m et 1,3 km selon la technique.

Des effets de modification de comportement du marsouin commun sont susceptibles de se produire pour toutes les techniques.

Les effets d'une exposition cumulée peuvent être évités pour le marsouin commun et les pinnipèdes sans mesure de réduction à la source des émissions sonores si une zone d'exclusion d'un rayon de 1 km est mise en œuvre.

A partir de l'ensemble des informations obtenues lors de cette étude, une synthèse des risques est présentée dans le Tableau 18. La pertinence de la mise en œuvre d'un plan d'évitement et/ou de réduction est évaluée. Les détails de ces plans sont décrits dans les paragraphes suivants.

Cycle de vie	Scénario	Activité	Risque biologique	Variation saisonnière de l'empreinte sonore	Plan d'évitement	Plan de réduction	
Construction	« Atelier individuel »	Dragage	Intermédiaire pour le marsouin Faible pour les autres	Faible	A considérer pour le marsouin	Non	
		Clapage	Faible	Faible	Non	Non	
		Dépose éolienne	Faible	Faible	Non	Non	
		Trafic induit	Faible	Faible	Non	Non	
	« Cumulé »	Dragage & Clapage & Dépose éolienne	Intermédiaire pour le marsouin Faible pour les autres	Faible	A considérer pour le marsouin	Non	
		Trafic induit	Faible	Faible	Non	Non	
	Connexion	Ensuillage des câbles	Intermédiaire pour le marsouin Faible pour les autres	Faible	A considérer pour le marsouin	Non	
	Poste électrique	Battage de pieu Jacket	Fort pour les marsouins et pinnipèdes Intermédiaire pour les autres espèces	Faible	Recommandé pour les marsouins et pinnipèdes A considérer pour les autres espèces	Non	
	Exploitation	Exploitation	Structure GBS	Faible	Faible	Non	Non
		Maintenance	Trafic induit	Faible	Faible	Non	Non

**Tableau 18 : Synthèse des risques et recommandations proposées réalisée à la seule lumière de la pression sonore engendrée par le projet et qui ne tient compte d'aucune considération biologique ou écologique du site.**

## Chapitre VI. Effets du bruit sur les poissons et autres invertébrés

A la différence des mammifères marins qui, à la lumière des connaissances actuelles, sont principalement sensibles à la composante de compression des ondes acoustiques, les invertébrés seraient sensibles soit à même onde de pression, soit au déplacement des particules d'eau autour de leur position au repos sous l'effet du passage de l'onde sonore, soit aux deux. Aussi, ces espèces sont regroupées en cinq classes :

- ✓ les espèces n'ayant pas vessie natatoire, sensibles au déplacement des particules d'eau sous l'effet de l'onde sonore ;
- ✓ les espèces ayant une vessie natatoire, sensibles au déplacement des particules d'eau sous l'effet de l'onde sonore et potentiellement à la pression acoustique ;
- ✓ les espèces ayant une vessie natatoire et des cils sensitifs, sensibles au déplacement des particules d'eau sous l'effet de l'onde sonore et à la pression acoustique ;
- ✓ les tortues marines ;
- ✓ les œufs et larves des poissons.

La plupart des études scientifiques menées sur l'effet du bruit sur les poissons et les autres invertébrés concernent l'exposition sonore à des explorations sismiques mettant en œuvre des canons à air. Ces sources sonores sont impulsives. On traitera donc du sujet principalement par analogie avec les sons impulsifs des opérations de battage de pieu de l'OST.

### VI.1. Effets de bruit sur les poissons

En comparaison aux connaissances accumulées par la recherche sur les effets du bruit sur les mammifères marins, la connaissance sur les effets du bruit sur les poissons est à un stade d'émergence (Popper & Hastings, 2009) (Slabbekorn, Bouton, van Opzeeland, Coers, ten Cate, & Popper, 2010). Toutefois, il est reconnu que les poissons marins présentent une graduation de sensibilité comparable à celle des mammifères marins, même si les principes de l'audition diffèrent quelque peu entre les deux groupes. Ces différences influencent la façon dont les évaluations d'impact de bruit doivent être effectuées. Autant les effets relatifs à un traumatisme physique et au comportement ont été étudiés en détail, autant il n'y a presque pas de données disponibles pour les effets du bruit ambiant sur le comportement des poissons. Pour les poissons, il est également important de considérer les effets du bruit sur les œufs et les larves.

#### VI.1.1. Dommages physiologiques sur les poissons

La plupart des études portant sur la perte d'audition chez les poissons ont été réalisées en laboratoire en utilisant différents types de sons et des durées d'exposition variables. Il n'y a que peu d'études cherchant à évaluer les effets du bruit sur le terrain impliquant des sources sonores anthropiques réelles. Les travaux de laboratoire sur deux espèces d'eau douce ont montré que la perte temporaire de l'audition peut se produire à des niveaux de pression acoustique de 140 à 170 dB réf. 1 $\mu$ Pa avec une récupération d'au moins deux semaines après l'exposition (Leis, Siebeck, & Dixon). Cependant, une étude terrain de la perte auditive chez quatre espèces de poissons de récifs coralliens au cours d'une exploration sismique n'a mis en évidence aucune perte d'audition jusqu'à une exposition sonore de 193 dB réf. 1 $\mu$ Pa (Hastings, Reid, Grebe, Hearn, & Colman, 2008).

##### VI.1.1.a. Espèces à vessies natatoires

La vessie natatoire du poisson est une cavité remplie de gaz qui est susceptible d'être endommagée par une exposition sonore. En effet, les oscillations du gaz induites par les ondes acoustiques de forte amplitude peuvent causer, à l'extrême, jusqu'à la déchirure de la vessie natatoire (Popper & Hastings, 2009). Les sonars basses fréquences peuvent endommager la vessie natatoire ou les tissus adjacents lorsque la fréquence émise correspond à la fréquence de résonance du poisson. Les fréquences de résonance de la plupart des poissons sont comprises entre 100 et 500 Hz (OSPAR Commission, 2009).

#### *VI.1.1.b. Espèces ayant des cellules ciliées*

La possibilité de dommages aux cellules ciliées sensorielles de l'oreille interne des poissons exposés a été rapportée dans quelques études (McCauley, Fewtrell, & Popper, 2003) (Hastings, Popper, Finneran, & Lanford, 1996), mais pas dans d'autres (Song, Mann, Cott, Hanna, & Popper, 2008).

#### *VI.1.1.c. Œufs et larves de poissons*

Les études sur l'effet des sons impulsifs (en particulier ceux des canons à air utilisés lors des levés sismiques) sur les œufs et les larves de poissons marins ont permis de mettre en évidence une diminution de la viabilité des œufs, une augmentation de la mortalité embryonnaire, et un ralentissement de la croissance des larves lorsqu'elles sont exposées à des niveaux sonores de 120 dB réf. 1µPa (Kostyuchenko, 1973). Il a aussi été observé des dommages aux cellules du cerveau et aux neuromastes<sup>23</sup> de larves de Turbot. Les neuromastes sont supposés jouer un rôle important dans les réactions d'échappement pour beaucoup de larves de poissons, et conditionnent donc leur capacité à éviter les prédateurs (Blaxter & Hoss, 1981). Sous l'effet de canons à air, des blessures et une mortalité accrue ont été observées à des distances inférieures à 5 m de la source sonore. Les blessures les plus fréquentes et les plus graves se produisent à moins de 1,5 m et pour les premiers stades de la vie lorsque les larves sont les plus vulnérables (Booman, Dalen, Leivestad, Levsen, van der Meeren, & Toklum, 1996). Les juvéniles et les alevins ont une résistance inertielle plus faible au passage d'une onde sonore, et sont donc potentiellement plus susceptible de subir des dommages aux tissus non-auditif que les poissons adultes (Popper & Hastings, 2009).

Par analogie, compte tenu du faible retour sur expérience, et indépendamment de la probabilité de présence, le risque de dommage ou de mortalité des œufs et larves de poissons devrait se situer dans un rayon de quelques mètres des ateliers de battage de pieu de l'OST.

#### **VI.1.2. Modification du comportement des poissons exposés au bruit**

A ce jour, il y a peu d'études sur les effets du bruit anthropique sur le comportement des poissons marins et peu de choses sont connues sur les effets à long terme de l'exposition aux ondes sonores ou sur les effets d'une exposition cumulée.

Un comportement d'évitement des navires, verticalement ou horizontalement dans la colonne d'eau, a été rapporté pour la morue et le hareng, et a été attribué au bruit des navires (Vabø, 2002) (Handegard, 2003). L'activité du navire est également susceptible de modifier le comportement d'un banc de poissons et la vitesse de nage des poissons, comme observé en Méditerranée pour le thon rouge (Sara, 2007). Des changements de vitesse de nage ou de fuite chez la morue et chez la sole ont aussi été observés à des niveaux relativement faibles d'exposition au bruit de battage émis de façon artificielle (Mueller-Blenkle, et al., 2010). Le comportement d'évitement à grande échelle a été déduit de l'étude des effets des levés sismiques sur les taux de capture dans les pêcheries à la palangre et au chalut. Des baisses importantes dans les captures de cabillaud et de l'églefin ont été enregistrées jusqu'à 25 miles nautiques de la source de bruit, qui était la distance maximale d'étude. Les taux de capture ne sont pas revenus à la normale jusqu'à cinq jours après la fin des émissions sismiques, ce qui était le temps maximum observé (Engås, Løkkeborg, Ona, & Soldal, 1996) (Engås & Løkkeborg, 2002).

Des comportements de plongée vers des profondeurs plus importantes d'espèces pélagiques comme le merlan bleu et des augmentations d'abondance dans des zones distantes de 30 à 50km des émissions sismiques ont été observés, suggérant que les poissons migrateurs éviteraient de pénétrer dans l'empreinte sonore d'un levé sismique (Slotte, Kansen, Dalen, & Ona, 2004). A l'inverse, une étude par

<sup>23</sup> Les neuromastes sont des cellules épidermiques faisant partie du système mécano-sensoriel superficiel ou système latéral, sensible aux mouvements de l'eau. Ils comprennent des cellules sensorielles ciliées, des cellules de soutien et des cellules basales de remplacement.

observation vidéo directe a montré que des poissons de récif tempéré non seulement sont restés proches de leur territoire même sous l'effet d'une exposition sonore à des canons à air, mais n'ont pas présenté de réaction comportementale significative (Wardle, et al., 2001).

Aussi, en l'état actuel des connaissances et en dehors de la zone de risque de dommage physiologique direct à quelques mètres de l'atelier de battage de l'OST, il est peu probable d'observer un impact réel sur des individus ou sur les populations ou encore des modifications substantielles (telle que le déplacement d'une alimentation ou d'un site de reproduction ou de perturbation des fonctions critiques) qui affectent la survie des espèces. Ceci est d'autant plus vrai que seul l'atelier de battage est générateur de bruits impulsifs de forte amplitude et que cet atelier est d'une durée relativement courte.

## VI.2. Effet du bruit sur les invertébrés

La plupart des invertébrés marins sont sensibles aux mouvements des particules d'eau sous l'effet du champ sonore à basses fréquences. Les crustacés semblent être les plus sensibles aux fréquences inférieures à 1 kHz (Budelmann, 1992). Certaines espèces sont cependant capables de détecter des bruits jusqu'à 3 kHz (Lovell, Findlay, Moate, & Yan, 2005).

Les céphalopodes sont sensibles aux stimuli de mouvement de l'eau dans une fourchette comprise entre quelques dizaines de Hz et 1500 Hz (Packard, Karlsen, & Sand, 1990) (Hu, Yan, Chung, Shiao, & Hwang, 2009). En plus d'être réceptifs aux ondes sonores, de nombreux invertébrés tels que les espèces de bernaches, les amphipodes, les crevettes, les crabes, les homards, les crevettes mantes, les oursins et les calmars sont également capables de produire des sons (Au & Banks, 1998) (Iversen, Perkins, & Dionne, 1963) (Radford, Jeffs, Tindle, & Montgomery, 2008) (Staaterman, Clark, Gallagher, deVries, Claverie, & Patek, 2011). Chez certaines espèces d'invertébrés les sons émis sont considérés comme écologiquement important en termes de communication acoustique entre individus d'une même espèce. Il a été suggéré que la communication acoustique et la perception des sons chez les invertébrés peuvent être aussi essentielles que chez les vertébrés marins (Richardson, Malme, Green, & Thomson, 1995). Des effets de masquages des communications sont susceptibles de se produire dans l'empreinte sonore du projet.

A notre connaissance, il n'y a pas pour l'instant pas d'étude scientifique cherchant à déterminer les effets de sources de bruit d'origine anthropique tels que le battage de pieux, les activités maritimes ou les sonars sur les invertébrés marins. Bien qu'il soit reconnu que les invertébrés sont sensibles aux ondes basses fréquences, il semblerait cependant qu'il n'y ait pas encore de données fiables à ce jour sur les dommages physiologiques chez les invertébrés exposés à des bruits anthropiques (OSPAR Commission, 2009). Toutefois, une augmentation significative des échouages de calmars géants en Espagne entre 2001 et 2003 coïncide avec la proximité des navires de levés sismiques mettant en œuvre des antennes de canons à air (Guerra, González, & Rocha, 2004). L'analyse pathologique des calmars brins a montré la présence de lésions dans les tissus et dans les organes suggérant qu'ils ont été causés par une exposition excessive aux ondes émises par des canons à air. De plus, une étude expérimentale récente a montré que des expositions modérément intenses à des ondes sonores basses fréquences sont susceptibles de causer des traumatismes graves pouvant entraîner la mort chez quatre espèces de céphalopodes (André, 2011).

## VI.3. Quantification des risques

Un consensus international sur les seuils de tolérance des invertébrés aux bruits sous-marins n'a pas encore été atteint. Un groupe de travail regroupant la communauté scientifique internationale spécialiste de ces espèces et de bioacoustique est en train de réaliser ce consensus (Popper, Carlson, Hawkins, & Southall, 2006). Lors de la dernière conférence internationale des effets du bruit sur la vie aquatique (Effects on Noise on Aquatic Life) qui s'est tenue à Budapest en août 2013, Dr. Art Popper, leader de ce groupe a annoncé que ce consensus devrait être atteint fin 2013 et qu'un rapport de référence serait publié au premier semestre 2014. Ce rapport, à l'instar de (Southall, et al., 2007) sera la base des études de risques sur ces espèces qui les classera en cinq catégories distinctes :

- ✓ les espèces n'ayant pas vessie natatoire, sensibles au déplacement des particules d'eau sous l'effet de l'onde sonore, telles que, par exemple, la Seiche ou la Limande ;
- ✓ les espèces ayant une vessie natatoire, sensibles au déplacement des particules d'eau sous l'effet de l'onde sonore et potentiellement à la pression acoustique, telles que, par exemple, le Rouget Barbet ;
- ✓ les espèces ayant une vessie natatoire et des cils sensitifs, sensibles au déplacement des particules d'eau sous l'effet de l'onde sonore et à la pression acoustique ;
- ✓ les tortues marines ;
- ✓ les œufs et larves des poissons.

Une approche similaire à celle adoptée dans le cadre de cette étude pour les mammifères marins pourra alors être conduite.

## Chapitre VII. Gestion des risques et recommandations

En ce qui concerne l'exposition des mammifères marins à des niveaux sonores élevés, il existe deux stratégies pour limiter les impacts sonores :

- ✓ Stratégie d'évitement : dissuader les mammifères marins de rester dans une zone dans laquelle ils sont susceptibles d'être exposés à des niveaux sonores délétères ;
- ✓ Stratégie de réduction : atténuer les émissions sonores de manière active pour réduire les rayons d'impact.

### VII.1. Gestion des risques

Une stratégie de réduction est nécessaire lorsque la stratégie d'évitement ne permet pas de minimiser de façon réaliste la probabilité de présence d'un individu ou d'un groupe d'individu dans la zone de risque de dommage physiologique ou si la perturbation sonore est susceptible de générer des effets à grande échelle.

Dans le cas du projet de construction, les étendues des zones de risques et les durées des opérations ne justifie pas la mise en œuvre de mesures de réduction si des mesures appropriées d'évitement sont mises en œuvre afin de minimiser la probabilité de présence d'un individu ou groupe d'individu dans un rayon de 1 km autour de l'atelier de battage de l'OST. Ces mesures devront être accompagnées d'un plan de suivi conformément aux pratiques internationales (Join Nature Conservation Committee, August 2010).

### VII.2. Solutions d'évitement

Plusieurs solutions d'évitement sont recommandées dans le cadre de ce projet :

- ✓ Mettre en œuvre des dispositifs de dissuasion acoustique (ADD<sup>24</sup>) spécialement conçus pour éloigner les mammifères marins (cf. Annexe). Ces dispositifs utilisent des sons sous-marins puissants et se distinguent par leur niveau sonore émis (SMRU, 2007). Ils sont classés dans deux catégories :
  - Émetteurs acoustiques (« pingers ») : dispositifs dont le niveau d'émission est inférieur à 185 dB re 1μPa @ 1m ;
  - Dispositifs pour effrayer les phoques (« sealscarers ») : dispositifs dont le niveau d'émission est supérieur à 185dB re 1μPa @ 1m.
- ✓ Effectuer une procédure de ramp-up: cette mesure consiste à émettre des bruits dont les niveaux sont contrôlés et croissants au préalable de chaque activité bruyante afin d'effaroucher les individus ou groupes d'individus potentiellement présents dans la zone de risque ;
- ✓ Effectuer une procédure de départ progressif: cette mesure consiste à démarrer les ateliers de façon progressive afin que l'augmentation lente des bruits associés puissent effaroucher les individus ou groupes d'individus potentiellement présents dans la zone de risque ;
- ✓ Détecter la présence des espèces par acoustique passive et par observation visuelle dans un rayon de 1 km autour de l'atelier de battage de l'OST: cette mesure permet, par détection temps-réel des vocalises et des clicks des individus au préalable et pendant les opérations, de vérifier l'absence d'un individu ou groupe d'individu dans la zone de risque autour de l'atelier de construction. Une procédure décisionnelle doit être mise en place afin d'adopter les actions appropriées en cas de présence avérée dans la zone de risque ;
- ✓ Enfin, la définition et la mise en œuvre d'un plan de veille, en complément des plans de suivis, consiste à activer, selon plusieurs niveaux d'alertes, un réseau opérationnel de professionnels formés au préalable aux risques et aux diagnostics sur les mammifères marins en cas d'événement. L'objectif de cette mesure est de fournir une réponse opérationnelle dans le cas

<sup>24</sup> *acoustic deterrent devices*

d'événements extrêmes permettant une gestion à tous les niveaux de décision pertinents (sous-traitance, maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage, institutionnels). Un tel dispositif permet de garantir la prise en compte des retours d'expérience et l'adaptation des mesures de gestion à la réalité du risque.

### **VII.3. Recommandations**

Ce paragraphe fournit les recommandations (ou bonnes pratiques) de Quiet-Oceans quant à la gestion des incidences sonores potentielles vis-à-vis des mammifères marins en phase travaux.

#### **VII.3.1. *Recommandations générales***

0. Etant donné la faible variabilité saisonnière des résultats, du point de vue des émissions sonores, aucune saison n'est privilégiée pour la conduite de la phase d'installation ;
1. La procédure et les événements associés doivent être documentés, toutes les heures devant être en fuseau GMT ;

#### **VII.3.2. *Recommandations préparatoires aux opérations de construction***

2. Afin d'assurer la qualité des observations visuelles, la procédure ne peut pas être initiée si la visibilité autour de l'atelier est inférieure à 1 km ;
3. Afin d'assurer la qualité des observations visuelles, la procédure doit être initiée au moins deux heures avant le coucher du soleil ;
4. Etant donné que les ateliers de construction peuvent se dérouler pendant la nuit et/ou par des conditions météorologiques défavorables pour l'observation visuelle, il est recommandé d'utiliser la surveillance par acoustique passive (ou PAM) afin de détecter la présence de mammifères marins dans un rayon de 1 km.

#### **VII.3.3. *Recommandations spécifiques aux opérations de battage***

5. Avant toute opération de construction de l'OST, conformément au standard OTAN (NATO Undersea Research Centre, 2004) et du Joint Nature Conservation Committee (Joint Nature Conservation Committee, August 2010) , il est préconisé de procéder au monitoring visuel et par acoustique passive de la présence d'activité de plongée récréative et de mammifères marins dans un rayon correspondant à la zone de risque permanent et/ou temporaire autour du lieu de chaque opération pendant une durée de 30 minutes ;
6. Dans la cadre de ce projet, une procédure de dissuasion doit être appliquée avant le début du battage des pieux. Cependant, une combinaison entre une activation intermittente d'un émetteur acoustique et d'un dispositif pour effrayer les phoques (« pinger » ou « seal scarer »), suivie d'une augmentation progressive du niveau sonore et d'un battage à énergie réduite sont recommandés comme procédure de dissuasion appropriée ;
7. Avant toute opération de construction de l'OST, il est préconisé de procéder à l'endroit des opérations de construction, à une série d'émissions acoustiques larges bandes dont l'intensité augmente progressivement et par paliers de 6dB toutes les 5 minutes à partir du niveau de bruit ambiant mesuré sur site et jusqu'à un minimum de 185dB réf. 1µPa sur la bande 100-15kHz (dérivé de la procédure de ramp-up standard, (NATO Undersea Research Centre, 2004)) ; Cette procédure permet d'avertir et/ou de repousser les animaux susceptibles d'être présents à proximité de l'atelier.

#### **VII.3.4. *Recommandations pendant chaque opération de construction***

8. En phase de construction de l'OST, de préparation du terrain et d'ensouillage des câbles, il est préconisé de surveiller et contrôler l'étendue et la vitesse de progression des niveaux d'exposition sonore cumulés associés aux espèces de cétacés et de pinnipèdes.
9. Pendant toute opération de construction, conformément au standard OTAN (NATO Undersea Research Centre, 2004) et JNCC (Join Nature Conservation Committee, August 2010), il est préconisé de procéder au monitoring visuel et acoustique dans un rayon correspondant aux zones de risque permanent autour du lieu de chaque opération ;

#### **VII.3.5.      *Recommandations consécutives à chaque opération de construction***

10. Après toute opération de construction, afin de s'assurer que l'opération n'a pas entraîné d'incident et de documenter un retour éventuel de mammifères marins à proximité du lieu de l'opération, il est recommandé de poursuivre la veille active visuelle et acoustique concernant la présence de mammifères marins dans un rayon de l'ordre de 1 km autour du lieu de chaque opération pendant une durée de 30 minutes. Actuellement, cette recommandation fait partie du protocole standard de l'OTAN (NATO Undersea Research Centre, 2004) ;

---

## 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.
- André, M. e. (2011). Low-frequency sounds induce acoustic trauma in cephalopods. *Front Ecol Environ*, 9, 489–493.
- Au, W. W., & Banks, K. (1998). The acoustics of snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. *J. Acoust. Soc. Am.*, 103, 41-47.
- 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, N. G. (2013). *Supplement "Etude d'Impact Acoustique du Parc Eolien en Mer de Fécamp, France"*.
- BIOTOPE. (2011). *ÉTUDE D'IMPACT DU PROJET EOLIEN OFFSHORE DES HAUTES FALAISES VOLET MAMMIFERES*.
- Biotope. (2013). *Etude d'impact (rapport provisoire) Mammifères du projet éolien en mer de Fécamp (76). Eoliennes offshore des Hautes Falaises*.
- Blaxter, J. H., & Hoss, D. E. (1981). Startle response in herring: The effect of sound stimulus frequency, size of fish and selective interference with the acoustico-lateralis system. *Journal of the Marine Biology Association*, 871-879.
- 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*.
- Booman, C., Dalen, J., Leivestad, H., Levsen, A., van der Meeren, T., & Toklum, K. (1996). *Effects from airgun shooting on eggs, larvae, and fry. Experiments at the Institute of Marine Research and Zoological Laboratory, University of Bergen*. Institute of Marine Research, Bergen.
- 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., S., L., H., G., 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.
- Budelmann, B. U. (1992). Hearing in crustacea. In D. B. Webster, R. R. Fay, & A. N. Popper (Eds.), *The Evolutionary Biology of Hearing*.
- 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., & Blacquiere, 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).
- Engås, A., & Løkkeborg, S. (2002). Effects of seismic shooting and vessel-generated noise on fish behaviour and catch rates. *Bioacoustics*, 12, 313–315.
- Engås, A., Løkkeborg, S., Ona, E., & Soldal, A. V. (1996). Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 53, 2238–2249.
- 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.
- Guerra, A., González, A. F., & Rocha, F. (2004). *A review of records of giant squid in the north-eastern Atlantic and severe injuries in Architeuthis dux stranded after acoustic exploration*. ICES.
- 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, 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*.
- Handegard, N. e. (2003). Avoidance behavior in cod, *Gadus morhua*, to a bottom trawling vessel. *Aqua. Liv. Res.*, 16.
- Hastings, M. C., & Popper, A. N. (2005). *Effects of sound on fish*. Report to Jones and Stokes for California Department of Transportation.
- Hastings, M. C., Popper, A. N., Finneran, J. J., & Lanford, P. J. (1996). Effect of low frequency underwater sound on hair cells of the inner ear and lateral line of the teleost fish *Astronotus ocellatus*. *Journal of the Acoustical Society of America*, 99, 1759-1766.
- Hastings, M. C., Reid, C. A., Grebe, C. C., Hearn, R. L., & Colman, J. G. (2008). The effects of seismic airgun noise on the hearing sensitivity of tropical reef fishes at Scott Reef, Western Australia. *Underwater Noise Measurement, Impact and Mitigation*. Proceedings of the Institute of Acoustics.
- 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. In J. e. Reynolds, *Marine mammal research: conservation beyond crisis* (pp. 101-124). Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press.
- Hu, M. Y., Yan, H. Y., Chung, W. S., Shiao, J. C., & Hwang, P. P. (2009). Acoustically evoked potentials in two cephalopods inferred using the auditory brainstem response (ABR) approach. *Comp. Biochem. Physiol. A.*, 153, 278-283.
- International Fund for Animal Welfare. (2008). *Ocean Noise: turn it down, a report on ocean noise pollution*. Yarmouth Port, Massachusetts, USA: IFAW International headquarters.
- International Maritime Organisation. (2009). *Noise from commercial shipping and its adverse effects on marine life*. Marine Environment Protection Committee.
- ITAP. (2008). *Measurement of wind turbine construction noise at Horns Rev II*. ITAP Report no.: 1256-08-a-KB.
- Iversen, R. T., Perkins, P. J., & Dionne, R. D. (1963). An indication of underwater sound production by squid. *Nature*, 199, 250-251.
- 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.
- Johnston, D. W. (2002). *The effect of acoustic harassment devices on harbour porpoises (Phocoena phocoena) in the Bay of Fundy, Canada*. *Biological Conservation* 108: 113-118.
- Join Nature Conservation Committee. (August 2010). *Statutory nature conservation agency protocol for minimising the risk of injury to marine mammals from piling noise*.
- 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).
- Kostyuchenko, L. P. (1973). Effects of elastic waves generated in marine seismic prospecting of fish eggs in the Black Sea. *Hydrobiological Journal*, 9(5), 45-48.
- Laboratory, A. P. (October 1994). *APL-UW High Frequency Ocean Environmental Models Handbook*. APL-UW TR 9407 AEAS 9501, University of Washington.

- Leis, J. M., Siebeck, U., & Dixon, D. (n.d.). How nemo finds homes: The neuroecology of dispersal and of population connectivity in larvae of marine fishes. *Integrative and Comparative Biology*, 51(5), 826-843.
- Lovell, J. M., Findlay, M. M., Moate, R. M., & Yan, H. Y. (2005). The hearing abilities of the prawn *Palaemon serratus*. *Comp. Biochem. Physiol. A-Molecular & Integrative Physiology*, 140, 89-100.
- 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).
- Lucke, K., U., S., Paul A., L., & Marie-Anne, B. (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.
- McCauley, R. D., Fewtrell, J., & Popper, A. N. (2003). High intensity anthropogenic sound damages fish ears. *Journal of the Acoutical Society of America*, 113, 638-642.
- 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. (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.
- Mueller-Blenkle, C., McGregor, P. K., Gill, A. B., Andersson, M. H., Metcalfe, J., Bendall, V., et al. (2010). *Effects of Pile-driving Noise on the Behaviour of Marine Fish*. COWRIE.
- MyOcean. (2011-2012). *Ocean monitoring and forecasting*. Retrieved from <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.
- Olesiuk, P. F. (2002). *Effect of the sound generated by an acoustic harassment device on the relative abundance and distribution of harbour porpoises (Phocoena phocoena) in retreat passage, British Columbia*.
- OSPAR Commission. (2009). *Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment*. London, UK.
- Packard, A., Karlsen, H. E., & Sand, O. (1990). Low frequency hearing in cephalopods. *J. Comp. Physiol. A.*, 166, 501-505.
- Parlement Europeen. (2000). *Cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau*. Brussel: Parlement Europeen.
- 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*.
- 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.
- Popper, A. N., & Hastings, M. C. (2009). The effects of anthropogenic sources of sound on fish. *Journal of Fish Biology*, 75:455.
- Popper, A. N., Carlson, T. J., Hawkins, A. D., & Southall, B. L. (2006). *Interim criteria for injury of fish exposed to pile driving operation: a white paper*.

- 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.
- Radford, C., Jeffs, A., Tindle, C., & Montgomery, J. (2008). Resonating sea urchin skeletons create coastal choruses. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 362, 37-43.
- 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.
- Robertson, F. C. (2004). *The effects of acoustic deterrent devices on Harbour porpoise (Phocoena phocoena) and seals in the vicinity of fish farms in the Orkneys, Scotland*. MRes Marine and Fisheries Science (University of Aberdeen).
- 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.
- Sara, G. e. (2007). Effect of boat noise on the behaviour of Bluefin tuna *Thunnus thynnus* in the Mediterranean Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 331, 243-253.
- Scheidat, M. A. (2003). *Erfassung von Meeressäugetieren in der deutschen AWZ der Nordsee*. Büsum, Kiel, BfN, Uni Kiel, FTZ: 26.
- Scheidat, M. A.-H. (2004). *Harbour porpoise (Phocoena phocoena) summer abundance and distribution in the German North and Baltic Seas*. Büsum, Hamburg, FTZ, Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Institut für Seefischerei: 10.
- Slabbekorn, H., Bouton, N., van Opzeeland, I., Coers, A., ten Cate, C., & Popper, A. N. (2010). A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fishes. *Trends in Ecology and Evolution*, 1243.
- Slotte, A., Kansen, K., Dalen, J., & Ona, E. (2004). Acoustic mapping of pelagic fish distribution and abundance in relation to a seismic shooting area off the Norwegian west coast. *Fisheries Research*, 67, 143-150.
- 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).
- Song, J., Mann, D., Cott, P. A., Hanna, B. W., & Popper, A. N. (2008). The inner ears of northern Canadian freshwater fishes following exposure to seismic air gun sounds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 124, 1360-1366.
- Southall, B., Bowles, A., Ellison, W., Finneran, J., Gentry, R., Greene, C., et al. (2007). Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations. *Aquatic Mammals*, 33: 411-521.
- Staaterman, E. R., Clark, C. W., Gallagher, A. J., deVries, M. S., Claverie, T., & Patek, S. N. (2011). Rumbling in the benthos: acoustic ecology of the California mantis shrimp *Hemisquilla californiensis*. *Aquat. Biol.*, 13, 97-105.
- 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.
- Tougaard J, J. C. (2009). Pile driving zone of responsiveness extends beyond 20 km for harbor porpoises (*Phocoena phocoena* (L.)). *J. Acoust. Soc. Am.* 126 (1), .
- University of St Andrews. (2006). *Small Cetaceans in the European Atlantic and North Sea, SCANS II final report*.
- Vabø, R. e. (2002). The effect of vessel avoidance of wintering Norwegian spring-spawning herring. *Fisheries Research, Fish. Res.*(58), 59-77.
- Vincent, C. B. (2010). *Winter habitat use of harbour seals (Phoca vitulina) fitted with Fastloc™ GPS/GSM tags in two tidal bays in France*. NAMMCO Scientific Publications 8: 285-302.
- 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).
- Wardle, C. S., Carter, T. J., Urquhart, G. G., Johnstone, A. D., Ziolkowski, A. M., Hampson, G., et al. (2001). Effects of seismic air guns on marine fish. *Continental Shelf Research*, 21, 1005–1027.
- 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. In 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'ADD 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).