

TERMINAL MARITIME EN RIVE NORD DU SAGUENAY

ÉVALUATION DES EFFETS DE L'ACCROISSEMENT DU TRAFIC MARITIME SUR L'AMBIANCE SONORE SUBAQUATIQUE DANS LE SAGUENAY

5 OCTOBRE 2017





TERMINAL MARITIME EN RIVE NORD DU SAGUENAY ÉVALUATION DES EFFETS DE L'ACCROISSEMENT DU TRAFIC MARITIME SUR L'AMBIANCE SONORE SUBAQUATIQUE DANS LE SAGUENAY

ADMINISTRATION PORTUAIRE DU SAGUENAY

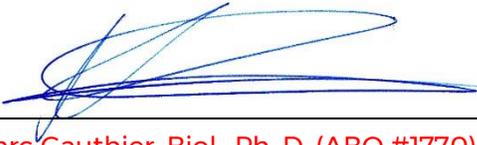
PROJET NO.: 151-05819-00-2900
DATE : OCTOBRE 2017

WSP CANADA INC.
171, RUE LÉGER
SHERBROOKE, QC
J1L 1M2

TÉLÉPHONE : +1 819-340-6124
TÉLÉCOPIEUR : +1 819-562-7888
WSP.COM

SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR



Marc Gauthier, Biol., Ph. D. (ABQ #1770)
Directeur - projets spéciaux
Environnement

2017/10/05

Date

RÉVISÉ PAR

Nom, titre (OIQ #XXXXX)
Poste

Date

Le présent rapport a été préparé par WSP Canada Inc. pour le compte de l'Administration portuaire du Saguenay conformément à l'entente de services professionnels. La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport incombe uniquement au destinataire prévu. Son contenu reflète le meilleur jugement de WSP Canada Inc. à la lumière des informations disponibles au moment de la préparation du rapport. Toute utilisation que pourrait en faire une tierce partie ou toute référence ou toutes décisions en découlant sont l'entière responsabilité de ladite tierce partie WSP Canada Inc. n'accepte aucune responsabilité quant aux dommages, s'il en était, que pourrait subir une tierce partie à la suite d'une décision ou d'un geste basé sur le présent rapport. Cet énoncé de limitation fait partie du présent rapport.

L'original du document technologique que nous vous transmettons a été authentifié et sera conservé par WSP pour une période minimale de dix ans. Étant donné que le fichier transmis n'est plus sous le contrôle de WSP et que son intégrité n'est pas assurée, aucune garantie n'est donnée sur les modifications ultérieures qui peuvent y être apportées.

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Malgré les caractéristiques acoustiques particulières du Saguenay et la présence saisonnière d'une espèce menacée dans ses eaux, à savoir la population du béluga du Saint-Laurent, nos résultats suggèrent que l'augmentation du trafic de grands navires découlant du projet de terminal en rive nord du Saguenay ne constitue pas, dans la mesure des connaissances actuelles, un risque important quant à l'exposition du béluga au bruit subaquatique.

Bien que les pressions sonores mesurées au passage d'un grand navire dépassent transitoirement la limite des 120 dB rms re 1 μ Pa (large bande) rapportés comme pouvant influencer le comportement du béluga, la durée perceptible du bruit de passage d'un navire par le béluga serait de 17 minutes en moyenne, dont la plus grande partie bien en dessous de 120 dB rms re 1 μ Pa. Sur une base annuelle, le scénario de la plus forte augmentation analysé, soit l'ajout de 410 navires transitant le long du Saguenay à l'horizon 2030, le Saguenay demeurerait annuellement exempt du bruit de grands navires 95,7% du temps où le béluga est présent entre mai et octobre. Ce scénario maximal inclut non seulement le trafic inhérent aux installations du terminal maritime en rive nord du Saguenay (TMRN), mais également celui émanant du quai de Grande-Anse, du Quai de Bagotville (Agéllisas-Lepage), des quais de Rio Tinto et, éventuellement des installations de GNL Québec (Énergie Saguenay).

Au maximum à l'horizon 2030, la contribution sonore du trafic lié aux seules installations du TMRN (140 navires) apparaît minime puisque, dans l'ensemble, l'ambiance sans bruit de grands navires, sur le tronçon entre ces installations et l'embouchure du Saguenay, prévaudrait 98,3% du temps en période de présence du béluga dans le Saguenay. Qui plus est, selon un protocole d'entente annoncé en janvier 2017, entre Ariane Phosphate et Rio Tinto, les deux entreprises envisagent le partage éventuel de services maritimes. En utilisant les mêmes navires pour acheminer les matières premières vers les installations de Rio Tinto et pour transporter au retour le concentré d'Ariane Phosphate aux marchés internationaux, cette hypothèse pourrait se traduire par aucune augmentation nette du trafic résultant des activités d'Ariane Phosphate au TMRN.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-----------|
| Sommaire exécutif..... | ix |
| 1 INTRODUCTION | 1 |
| 1.1 Mise en contexte | 1 |
| 1.2 Objectifs..... | 1 |
| 2 MÉTHODOLOGIE | 2 |
| 2.1 Étendue et description de la zone d'étude | 2 |
| 2.1.1 Zone inférieure (Secteur de l'embouchure du Saguenay) | 2 |
| 2.1.2 Zone médiane (Secteur de la Baie Sainte-Marguerite) | 2 |
| 2.1.3 Zone supérieure (Secteurs de l'Anse au Sable et de Cap Éternité)..... | 2 |
| 2.2 Fréquentation du Saguenay par le béluga | 5 |
| 2.3 Évaluation du trafic actuel sur le Saguenay | 5 |
| 2.4 Mesures <i>in-situ</i> | 5 |
| 2.4.1 Calendrier des prises de mesures et durée des enregistrements..... | 5 |
| 2.4.2 Mesures en direct du passage de navires | 5 |
| 2.4.3 Enregistrements aux stations fixes..... | 6 |
| 2.5 Notions d'acoustique subaquatique | 7 |
| 2.5.1 Métriques..... | 7 |
| 2.5.2 Analyse fréquentielle..... | 7 |
| 2.5.3 Pondérations M et C..... | 9 |
| 2.6 Analyse du bruit des navires | 12 |
| 2.6.1 Pré-traitement..... | 12 |
| 2.6.2 Niveaux acoustiques large bande | 13 |
| 2.6.3 Niveaux acoustiques en bandes fines..... | 13 |
| 2.6.4 Durée d'exposition au bruit généré par le passage de grands navires | 13 |
| 2.7 Contribution du trafic actuel au bruit subaquatique | 14 |
| 2.8 Contribution future des grands navires au bruit subaquatique | 14 |
| 3 RÉSULTATS | 15 |
| 3.1 Fréquentation du Saguenay par le béluga | 15 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.1.1 | Répartition annuelle | 15 |
| 3.1.2 | Portrait mensuel par secteur à l'étude | 15 |
| 3.2 | Évaluation du trafic actuel dans la zone à l'étude et sur le Saguenay | 16 |
| 3.2.1 | Types de navires circulant dans la zone à l'étude..... | 16 |
| 3.2.2 | Répartition des mouvements par types de navires..... | 16 |
| 3.2.3 | Répartition des mouvements par secteur | 19 |
| 3.3 | Évaluation du trafic futur selon différents scénarios d'augmentation..... | 20 |
| 3.3.1 | Scénarios évalués..... | 20 |
| 3.3.2 | Augmentations mensuelles prévues | 20 |
| 3.4 | Analyse des données acoustiques..... | 23 |
| 3.4.1 | Analyse qualitative..... | 23 |
| 3.4.2 | Analyse quantitative..... | 23 |
| 3.5 | Contribution des grands navires à l'intensité (SPL) et à l'exposition sonore (SEL) | 27 |
| 3.5.1 | Stations fixes | 27 |
| 3.5.2 | Stations dérivantes | 31 |
| 3.5.3 | Interprétation des résultats | 35 |
| 3.5.4 | Analyse tridimensionnelle..... | 35 |
| 3.6 | Durée d'exposition au bruit généré par le passage de grands navires | 36 |
| 3.6.1 | Stations fixes | 37 |
| 3.6.2 | Stations dérivantes..... | 37 |
| 3.6.3 | Interprétation des résultats..... | 41 |
| 3.7 | Contribution mensuelle actuelle des grands navires au bruit subaquatique..... | 41 |
| 3.8 | Contribution future des grands navires au bruit subaquatique | 43 |
| 3.8.1 | Scénario 1A : Ajout de 60 navires (horizon 2020)..... | 43 |
| 3.8.2 | Scénario 1B : Ajout de 140 navires (horizon 2030) | 43 |
| 3.8.3 | Scénario 2A : Ajout de 235 navires (horizon 2020)..... | 43 |
| 3.8.4 | Scénario 2B : Ajout de 410 navires (horizon 2030) | 43 |

| | | |
|---|---------------------------------------|----|
| 4 | IMPACT SUR LE BÉLUGA..... | 45 |
| 5 | CONCLUSION..... | 47 |
| 6 | REPONSES AUX QUESTIONS DE L'ACEE..... | 49 |
| | RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 57 |

TABLEAUX

| | | |
|-------------|---|----|
| TABLEAU 2-1 | GROUPES AUDITIFS DES MAMMIFÈRES MARINS SELON LE NMFS | 11 |
| TABLEAU 3-1 | TYPES DE NAVIRES ET NOMBRE DE CHACUN D'EUX AYANT CIRCULÉ DANS LA ZONE À L'ÉTUDE EN 2016. | 16 |
| TABLEAU 3-2 | PREVISION D'AUGMENTATION DU TRAFIC DE GRANDS NAVIRES SUR LE SAGUENAY SELON UN SCENARIO REALISTE ET MAXIMAL AUX HORIZONS 2020 ET 2030. | 21 |
| TABLEAU 3-3 | RÉSULTATS DES ANALYSES DU BRUIT LARGE BANDE [20 HZ ; 20 KHZ] POUR LES STATIONS FIXES (SEL ET SPL SANS PONDÉRATION). | 28 |
| TABLEAU 3-4 | RÉSULTATS DES ANALYSES DU NIVEAU DE BRUIT RÉSIDUEL (EN ABSENCE DE NAVIRE) DANS LES MINUTES PRÉCÉDANT ET SUIVANT LE PASSAGE DES NAVIRES ENREGISTRÉS SUR LA RIVIÈRE SAGUENAY (VALEURS NON PONDÉRÉES)..... | 29 |
| TABLEAU 3-5 | RÉSULTATS DES ANALYSES DU BRUIT LARGE BANDE [20 HZ ; 20 KHZ] POUR LES STATIONS DÉRIVANTES (SEL ET SPL SANS PONDÉRATION). | 32 |
| TABLEAU 3-6 | RÉSULTATS DES ANALYSES DU BRUIT RÉSIDUEL (SANS NAVIRES) SUR LA STATION DE MESURE DÉRIVANTE, POUR LES MESURES PRISES LE 22 JUIN 2017 ENTRE 00 H 10 ET 01 H 45 (VALEURS NON PONDÉRÉES). | 33 |
| TABLEAU 3-7 | RÉSULTATS DES ANALYSES DU BRUIT LARGE BANDE [20 HZ ; 20 KHZ] (AVEC PONDÉRATION C) POUR LES STATIONS FIXES : ESTIMATION DES DURÉES D'EXPOSITION LORS DU PASSAGE DES NAVIRES ET DE LA DISTANCE INSONIFIÉE..... | 38 |
| TABLEAU 3-8 | RÉSULTATS DES ANALYSES DU BRUIT LARGE BANDE [20 HZ ; 20 KHZ] (AVEC PONDÉRATION C) POUR LES STATIONS DÉRIVANTES : ESTIMATION DES DURÉES D'EXPOSITION LORS DU PASSAGE DES NAVIRES ET DE LA DISTANCE INSONIFIÉE..... | 39 |

| | | |
|--------------|--|----|
| TABLEAU 3-9 | CONTRIBUTION MENSUELLE ACTUELLE DU TRAFIC DE GRANDS NAVIRES AUX BRUITS SUBAQUATIQUES DANS LE SAGUENAY (AVEC PONDÉRATION C)..... | 42 |
| TABLEAU 3.10 | CONTRIBUTION MENSUELLE DU TRAFIC DE GRANDS NAVIRES AU BRUIT SUBAQUATIQUE DANS LE SAGUENAY EN FONCTION DE SCÉNARIOS RÉALISTES ET MAXIMAUX D'AUGMENTATION DU TRAFIC (AVEC PONDÉRATION C)..... | 44 |

FIGURES

| | | |
|-------------|---|----|
| FIGURE 2-1: | COMPARAISON D'AUDIOGRAMMES DE BÉLUGAS SAUVAGES ET EN CAPTIVITÉ | 9 |
| FIGURE 2-2: | NIVEAU MINIMUM MESURÉ POUR UN AUDIOGRAMME DE BÉLUGA..... | 10 |
| FIGURE 2-3: | COURBES DE PONDÉRATION M ET C OBTENUES À PARTIR DES ÉQUATIONS 10 ET 11. | 12 |
| FIGURE 3-1: | MOUVEMENTS DES TRAVERSIERS ENTRE TADOUSSAC ET BAIE-SAINTE-CATHERINE DU 1 ^{ER} JANVIER AU 31 DÉCEMBRE 2016..... | 17 |
| FIGURE 3-2: | RÉPARTITION MENSUELLE MOYENNE DU TRAFIC DE GRANDS NAVIRES LE LONG DU SAGUENAY ENTRE 2004 ET 2016..... | 18 |
| FIGURE 3-3: | ACTIVITÉ MARITIME RELATIVE (EXCLUANT LES TRAVERSIERS) SUR L'ENSEMBLE DES 4 SECTEURS DE MESURES..... | 18 |
| FIGURE 3-4: | RÉPARTITION DU TRAFIC ENREGISTRÉ DURANT L'ANNÉE 2016 DANS NOS QUATRE SECTEURS À L'ÉTUDE..... | 19 |
| FIGURE 3-5: | EFFET DE L'AJOUT DE NAVIRES SUR LE TRAFIC MENSUEL DE GRANDS NAVIRES LE LONG DU SAGUENAY SELON DIVERS SCÉNARIOS..... | 22 |
| FIGURE 3-6: | ÉVOLUTION DU NIVEAU DE BRUIT AMBIANT PENDANT 6 H À LA STATION DE MESURE FIXE P1 (ANSE À LA BOULE)..... | 24 |
| FIGURE 3-7: | 100 ^E PERCENTILE (EN HAUT) ET 95 ^E PERCENTILE (EN BAS) DES DSP DE | |

| | | |
|-------------|---|----|
| | 7 PASSAGES DE NAVIRES MESURÉS PAR L'HYDROPHONE μ AURAL #7004..... | 26 |
| FIGURE 3-8: | EXEMPLE DE L'ÉVOLUTION DE LA PRESSION SONORE MOYENNE LARGE BANDE, AVANT, PENDANT ET APRÈS LE PASSAGE DU NAVIRE PANASIATIC LE 21 JUIN 2017. | 36 |

ANNEXES

- A-1** Permis de recherche et de collecte de l'agence parcs Canada
- A-2** Cartes
- A-3** Spécifications des Hydrophones utilisés
- A-4** Reportage photographique
- A-5** Signature acoustique des navires enregistrés
- A-6** Résultats des analyses large bande avec et sans pondération
- A-7** Liste des navires ayant fréquenté la zone d'étude entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2016

1 INTRODUCTION

1.1 MISE EN CONTEXTE

Devant l'augmentation des bruits générés par les activités humaines en mer, notamment celles découlant de la navigation, des activités portuaires et de la construction et de la réfection d'infrastructures côtières, les scientifiques se préoccupent de plus en plus de l'impact des bruits subaquatiques sur le comportement et la santé de la faune marine. Dans le cadre du projet de construction du terminal maritime en rive nord du Saguenay (TMRN), il est attendu que la construction de ces infrastructures et l'augmentation du trafic de grands navires qui suivra généreront du bruit supplémentaire dans les eaux du Saguenay.

En outre, la rivière Saguenay est un écosystème qui présente des conditions océanographiques particulières. Ses eaux sont très stratifiées verticalement, avec une couche d'eau saumâtre près de la surface jusqu'à la thermo-halocline, située entre 10 et 20 m environ, et des eaux froides et salées en dessous et jusqu'au fond, qui peuvent atteindre plus de 250 m. Son long bassin glaciaire en U, avec des parois verticales rocheuses et un épais fond de sédiments, est large de quelque 1 à 2 km. Toutes ces conditions font de cet environnement un milieu potentiellement particulier pour la propagation des ondes sonores sous-marines.

Avec le phoque commun (*Phoca vitulina*), le béluga (*Delphinapterus leucas*) est l'une des espèces de mammifères marins qu'on rencontre le plus souvent dans la rivière Saguenay. Ce dernier fait partie des espèces en voie de disparition au Canada (COSEPAC, 2014; Gouvernement du Canada, 2017). Les sons et l'environnement sonore sont essentiels à la réalisation de ses fonctions vitales comme la communication, la navigation et l'alimentation. Le béluga utilise des sons audibles, de basse et moyenne fréquences (quelques centaines de Hz jusqu'à 15 000 Hz), pour communiquer (Simard et coll., 2014). Il utilise aussi des ultrasons, inaudibles par l'homme, appelés clics ou buzz, de quelques 10 kHz à 100 kHz, pour l'écholocalisation et l'échographie (Roy et coll., 2010). Ce mammifère marin utilise donc l'acoustique sur une très large bande de fréquences, de 10^2 à 10^5 Hz. Son audiogramme montre qu'il perçoit également des sons sur une bande de fréquences aussi large, avec une sensibilité plus grande pour les ultrasons. Conséquemment, le bruit anthropique dans toute cette large bande de fréquences peut affecter les fonctions acoustiques (Gervaise et coll., 2012). De plus, on considère que le béluga utilise potentiellement complètement les trois dimensions du Saguenay, d'amont en aval et de la surface jusqu'au fond.

C'est dans ce contexte particulier que WSP a été mandaté pour évaluer l'impact du bruit généré par l'augmentation potentielle du trafic de grands navires dans le Saguenay résultant de l'opération des infrastructures portuaires prévues.

1.2 OBJECTIFS

Conformément aux attentes du ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO) pour ce projet, l'objectif principal de cette étude était de documenter l'accroissement du bruit que le béluga pourrait entendre, suite à la construction du nouveau TMRN, de même que les effets cumulatifs découlant des activités maritimes existantes, de l'augmentation de trafic prévue et des autres projets portuaires en préparation dans le Saguenay. Cette empreinte y est décrite par les niveaux sonores mesurés à plusieurs positions et plusieurs profondeurs, lors du passage de navires remontant ou descendant le Saguenay, ainsi que par ses caractéristiques dans le temps et dans un espace tridimensionnel.

Ainsi l'augmentation de l'empreinte sonore découlant de certains navires typiques des activités de navigation commerciale dans le Saguenay a été documentée en termes :

- de niveaux sonores produits par les navires aux différentes fréquences,
- de durée d'exposition des bélugas au bruit et d'étendue spatiale 3D et
- d'augmentation des périodes de temps bruyant pour les bélugas liées à la navigation.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 ÉTENDUE ET DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Les points de mesure considérés pour évaluer le bruit capté par les mammifères marins au passage de grands navires ont été répartis dans la portion « Saguenay » du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent, c'est-à-dire de la baie des Ha! Ha!, en amont, jusqu'à Tadoussac en aval (carte 1). Étant donné que ni le trafic maritime ni les mammifères marins, dont le béluga, ne se distribuent uniformément le long de ce tronçon, long d'environ 90 km, celui-ci a été découpé en trois secteurs décrits ci-après. Comme cette zone d'étude se trouve à l'intérieur des limites du Parc marin du Saguenay–Saint-Laurent, un permis de recherche et de collecte de l'agence Parcs Canada a été demandé. Une copie de ce permis-ci est présentée à l'annexe A-1.

2.1.1 ZONE INFÉRIEURE (SECTEUR DE L'EMBOUCHURE DU SAGUENAY)

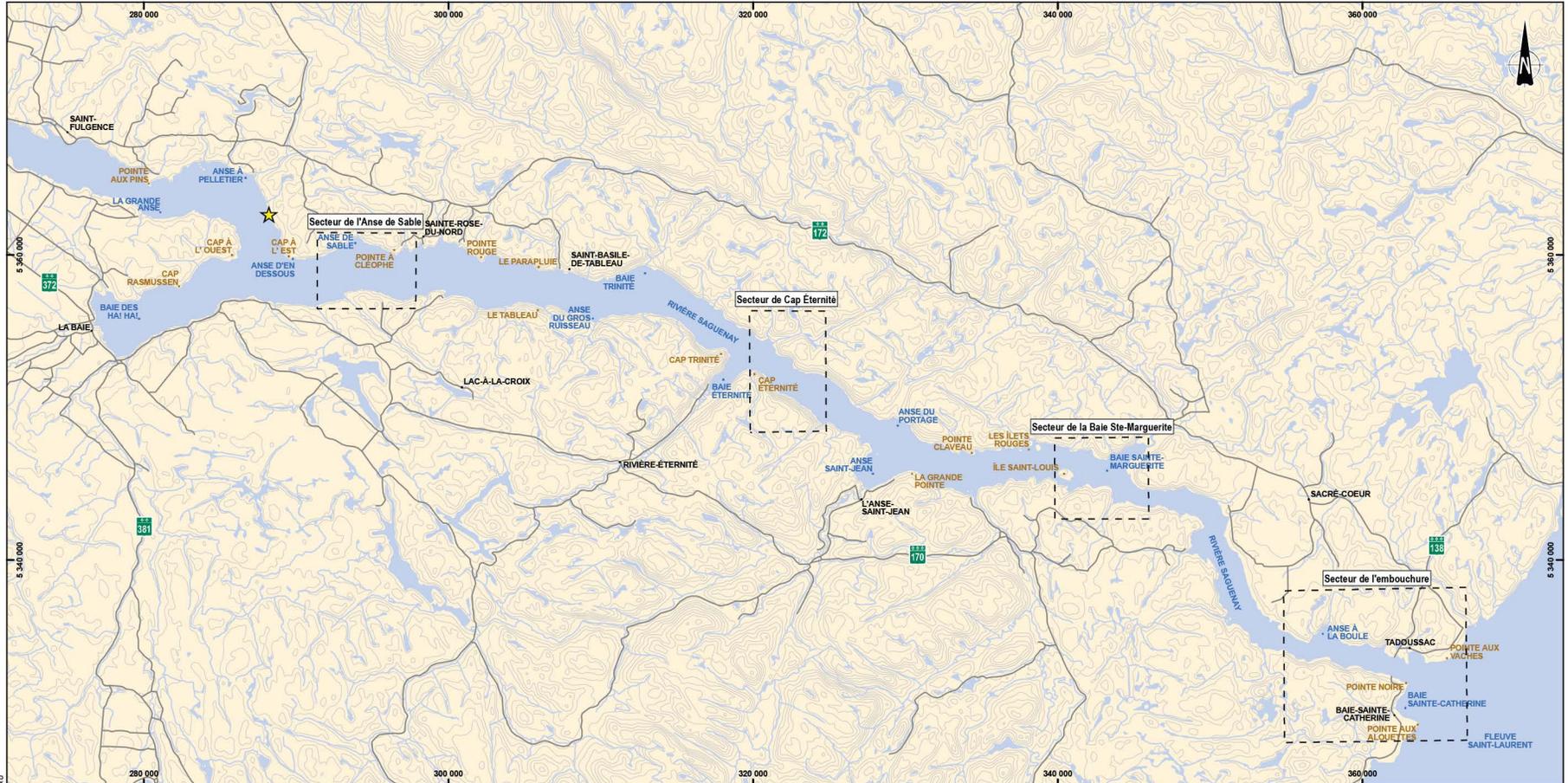
Ce premier tronçon, d'une vingtaine de kilomètres, constitue le dernier droit du Saguenay (portion aval), entre l'Anse à la Boule et Pointe Noire. Cette zone est notamment exposée au bruit des traversiers et des bateaux d'excursion, qui est particulièrement intense et constant à l'embouchure du Saguenay. Une station fixe d'enregistrement (P1; voir section 2.4.3) y a été installée à l'extrémité du Cap-à-la-boule (N 48.14999, W 69.79935), soit 5,5 km en amont du trajet des traversiers reliant Baie-Sainte-Catherine à Tadoussac (cartes A-1 et A-2 en annexe). Celle-ci fut mouillée du 13 juin à 12 h 15 au 14 juin à 14 h, à 103 m de profondeur. La profondeur face à cette station atteint les 240 m et la largeur du Saguenay y est d'environ 3 km.

2.1.2 ZONE MÉDIANE (SECTEUR DE LA BAIE SAINTE-MARGUERITE)

Ce tronçon intermédiaire, d'environ 25 km entre L'Anse-Saint-Jean et L'Anse-de-Roche, inclut la baie Sainte-Marguerite, qui est un site d'intérêt pour le béluga. Celui-ci la fréquente en été, notamment pour l'alimentation. Comparativement à l'embouchure du Saguenay, le trafic maritime y est relativement faible. Une station fixe d'enregistrement (P2) y a été installée à 3 km en amont de la baie Sainte-Marguerite, à 150 m des berges de la Grosse-Île (N 48.25132, W 70.01508; cartes A-1 et A-3 en annexe). Celle-ci y fut mouillée du 11 juin à 11 h 15 au 12 juin à 16 h 30, à 35 m de profondeur. La profondeur face à cette station approche les 180 m et la largeur du Saguenay y est d'environ 1,3 km.

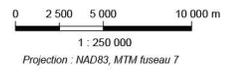
2.1.3 ZONE SUPÉRIEURE (SECTEURS DE L'ANSE AU SABLE ET DE CAP ÉTERNITÉ)

Ce tronçon du Saguenay, de près de 45 km, va de L'Anse-à-la-Croix à L'Anse-St-Jean. Il constitue la portion supérieure du parc marin du Saguenay-Saint-Laurent. C'est un secteur où le béluga est considéré très faiblement présent, voire absent, et où le trafic maritime est relativement faible. La profondeur moyenne y dépasse les 240 m et la largeur varie d'environ 1,5 à près de 4 km. Dans ce secteur, une première station fixe (P3) fut mouillée du 14 juin à 20 h 20 au 16 juin à 16 h, à une profondeur de 92 m face à l'Anse Aimable (N 48,28282, W 70,23752), soit 4,5 km en aval du Cap Éternité (cartes A-1 et A-4 en annexe). La seconde station fixe (P4) fut pour sa part installée à 2 km en amont de l'Anse de Sable (N 48,37647, W 70.67630), du 17 juin à 19 h au 22 juin à 17 h 30, à une profondeur de 82 m (cartes A-1 et A-5 en annexe).



Fichier : 151_05819_00_AS_C1_SecteursMesures_170919.mxd

- Secteur de mesures du bruit de navigation
- ★ Site du TMRN



| | |
|--|--|
| <p>ADMINISTRATION PORTUAIRE DU SAGUENAY</p> | <p>ÉVALUATION DES EFFETS DE L'ACCROISSEMENT DU TRAFIC MARITIME SUR L'AMBIANCE SONORE SUBAQUATIQUE DANS LE SAGUENAY</p> <p>Rivière Saguenay (Qc)</p> |
| <p>Carte 1</p> <p>Secteurs de mesures du bruit de navigation</p> | |
| | |
| <p>Préparée par : M. Dubois Dessinée par : F.-X. Lafortune Validée par : M. Gauthier</p> | |
| <p>151-05819-00 19 septembre 2017</p> | |

Sources :
 Carte :
 - RNCan, BMDT 250K, feuillets 22C et 22D
 - RNCan, CanVec 50K, v10

2.2 FRÉQUENTATION DU SAGUENAY PAR LE BÉLUGA

Depuis 1973, plusieurs efforts ont été menés en vue d'estimer l'abondance et de caractériser l'aire de répartition des bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent, dont la plus récente (Conversano et coll. 2017, en préparation) cumule des données d'observation couvrant les années 2003 à 2016 dans les secteurs fréquentés de l'embouchure du Saguenay et de la baie Sainte-Marguerite. Nous nous sommes essentiellement référés à ces études pour établir la fréquentation mensuelle par le béluga de nos quatre secteurs de mesures, afin d'y évaluer leur risque d'exposition au bruit de navires.

2.3 ÉVALUATION DU TRAFIC ACTUEL SUR LE SAGUENAY

Afin de caractériser le trafic actuel le long du Saguenay, nous avons utilisé les coordonnées enregistrées du passage de bateaux de toutes catégories entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2016 inclusivement. Ces données, fournies par la compagnie *Marine Traffic* (Exmile Solutions Ltd, London, UK), comprennent les coordonnées AIS (transmises par satellite ou par voie terrestre) de tous les bateaux dont le passage a été enregistré en 2016 dans les limites de nos quatre secteurs de mesures (carte 1). Ces enregistrements de bateaux en mouvement incluent notamment l'identification, le type et les caractéristiques de chacun, ses coordonnées, son cap et sa vitesse et ce, à intervalle de deux à trois minutes en général. Ces données AIS ont été utilisées pour évaluer le trafic d'une année typique de la navigation actuelle sur le Saguenay et la contribution des différentes catégories de bateaux. Ce portrait visait notamment à quantifier l'effet du trafic supplémentaire de grands navires résultant des infrastructures futures selon divers scénarios. Les bateaux non équipés de système AIS ne sont pas pris en compte dans ces analyses, mais les petites embarcations (jauge brute < 300 tonnes) qui en sont équipées, même si elles n'en ont pas l'obligation, ont été considérées dans nos calculs.

2.4 MESURES IN-SITU

2.4.1 CALENDRIER DES PRISES DE MESURES ET DURÉE DES ENREGISTREMENTS

Incluant la période de rodage du matériel et les tests de mise à l'eau, la campagne de terrain a été réalisée du 8 au 22 juin 2017 inclusivement. Globalement, cette campagne a permis d'enregistrer le passage en direct de six navires en montée et de quatre navires en descente. Outre ces enregistrements en direct, réalisés par le biais d'une batterie de trois hydrophones laissés à la dérive peu de temps avant le passage de chaque navire, ces mêmes navires ont aussi été enregistrés par un hydrophone fixe, mouillé successivement dans chacun des quatre secteurs de mesures répartis le long du Saguenay (cartes 1 et A-1). Au total, les quatre hydrophones cumulent près de 500 heures d'enregistrements.

2.4.2 MESURES EN DIRECT DU PASSAGE DE NAVIRES

La configuration particulière du Saguenay empêche l'application rigoureuse de la norme ANSI S12.64 qui donne les directives à suivre pour mesurer le bruit des navires. Parmi les conditions qu'il n'est pas possible de respecter dans le Saguenay, la propagation en champ libre, l'absence de réverbération et la mesure dans un bassin profond (profondeur de 1 à 3 fois la longueur des navires). Par conséquent, afin de mesurer le bruit des navires à plusieurs profondeurs et sous différents angles, trois hydrophones ont été utilisés simultanément sur une même ligne de mouillage. Plutôt que d'être ancrée au fond, celle-ci fut utilisée de manière dérivante afin de réduire au minimum les bruits de turbulence (*flownoise*) sur les instruments.

Le premier hydrophone (SM3M, Wildlife Acoustics, Maynard, MA, USA; fiches techniques à l'annexe A-3 et photos à l'annexe A-4) se trouvait dans les 15 premiers mètres de la colonne d'eau. Cet hydrophone était muni d'un micro ultrasonique (sensibilité de -165 ± 1 dB re 1 V/ μ Pa) et d'une carte d'acquisition opérant à une fréquence d'échantillonnage de 192 kHz et une quantification sur 16 bits. Ces enregistrements ont été réalisés avec un gain de 0 dB, sur la bande fréquentielle [0 Hz – 96 kHz], afin de couvrir au maximum la plage d'audition du béluga.

Les deux autres hydrophones (μ Aural, Micro-Électronique inc., Rimouski, Qc, Canada) se trouvaient pour leur part à 35 m et environ 100 m de profondeur respectivement. Ceux-ci étaient munis d'un micro HTI-96-MIN (High Tech Inc., Gulfport,

MS, USA) avec un gain de 9 dB et échantillonnaient à 48 kHz avec une quantification sur 16 bits. La sensibilité de ces hydrophones est de -164 ± 1 dB re 1 V/ μ Pa dans la bande de fréquences inférieures à 6 kHz (tel que spécifié par le fabricant) et décroît de 1 dB par la suite.

Ces appareils enregistraient en continu et créaient un fichier au format WAV toutes les 15 minutes. La bouée de surface était munie d'une balise GPS permettant d'en enregistrer le parcours et de déterminer la distance entre les hydrophones et le navire enregistré, dont la position était pour sa part établie par le système AIS. Deux sondes multiparamètres (RBR duet; RBR Limited, Ottawa, Ont. Canada et Exo1; YSI Inc., Yellow Springs, OH USA), fixées à l'hydrophone le plus profond, permettaient d'établir les profils de température et de salinité lors de sa descente, de même que la pression et la profondeur réelle de l'instrument durant son parcours.

À partir de l'horaire prévu du passage des navires dans chacun des quatre secteurs de mesure, cette batterie d'hydrophones était mise à l'eau de 30 à 45 minutes avant l'arrivée attendue d'un navire et récupérée de 30 à 45 minutes après le passage de celui-ci. Une fois les enregistrements récupérés, leur analyse a été réalisée selon la méthodologie décrite à la section 2-6.

2.4.3 ENREGISTREMENTS AUX STATIONS FIXES

Une station de mesure fixe a été mouillée successivement dans les quatre secteurs répartis dans les trois zones d'étude, et ce, pour des périodes continues d'au moins 24 heures pour mesurer le bruit de fond naturel (bruit résiduel), le niveau de bruit généré par le passage des navires transitant dans le Saguenay à des moments où nous étions absents, ainsi que pour compléter l'information fournie par les stations mobiles. La profondeur de l'hydrophone variait de 35 m à 103 m selon le site. Cette station de mesure était constituée d'un hydrophone SM3M similaire à celui utilisé sur la batterie dérivante, muni également d'un micro ultrasonique (sensibilité de -165 ± 1 dB re 1 V/ μ Pa) et d'une carte d'acquisition enregistrant à une fréquence d'échantillonnage de 192 kHz et une quantification sur 16 bits. Les enregistrements aussi ont été réalisés avec un gain de 0 dB, sur la bande fréquentielle [0 Hz – 96 kHz], afin de couvrir au maximum la plage d'audition du béluga. Les données étaient enregistrées en continu dans des fichiers WAV d'une durée de 15 minutes chacun. Seules les données associées au passage des navires ont été analysées pour ce rapport.

2.5 NOTIONS D'ACOUSTIQUE SUBAQUATIQUE

2.5.1 MÉTRIQUES

LE DÉCIBEL

Le décibel (dB) est l'unité la plus couramment utilisée en acoustique pour exprimer l'amplitude du niveau de pression sonore mesuré. L'échelle des décibels est une échelle logarithmique qui exprime une quantité (dans notre cas la pression sonore) relativement à un niveau de référence prédéfini. La pression sonore exprimée en dB est donc définie comme suit :

$$L_p = 20 \log_{10}(P/P_{ref}) \quad (1)$$

Où P est l'amplitude de la pression sonore et P_{ref} est la pression de référence. En acoustique sous-marine, la pression de référence est $1 \mu\text{Pa}$.

LE NIVEAU DE PRESSION SONORE MOYEN

La pression sonore mesurée $p(t)$ varie instantanément et en permanence en fonction du temps. Il est donc d'usage de calculer le niveau moyen de la pression instantanée $p(t)$ sur une période de temps donné T . Ce niveau de pression sonore moyen est calculé en termes de moyenne quadratique comme suit :

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p(t)^2}{P_{ref}^2} dt \right) \quad (2)$$

LE NIVEAU D'EXPOSITION SONORE

Le niveau d'exposition sonore (SEL) mesure la quantité totale d'énergie acoustique reçue à l'hydrophone sur un intervalle de temps donné T . Cet intervalle de temps T correspond généralement à la durée d'un événement acoustique venant « perturber » le niveau de pression sonore qui a cours en absence d'événement. Cet événement peut être une explosion, un impact de battage de pieux ou, dans le cadre de la présente étude, le bruit du passage d'un bateau. Le niveau d'exposition sonore est exprimé comme suit :

$$SEL = 10 \log_{10} \left(\int_0^T \frac{p(t)^2}{P_{ref}^2} dt \right) \quad (3)$$

2.5.2 ANALYSE FRÉQUENTIELLE

ANALYSE FRÉQUENTIELLE DU SIGNAL ACOUSTIQUE

Les signaux acoustiques sous-marins couvrent une large gamme de fréquences allant de quelques hertz à plusieurs dizaines de kilohertz. Une majorité de ces sons sont inaudibles pour l'homme, soit parce qu'ils sont aux très basses fréquences (séismes sous-marins, bas du spectre des bruits de bateaux), soit parce qu'ils se situent dans les ultrasons (clics de mammifères marins). L'analyse fréquentielle des signaux acoustiques sous-marins permet donc de connaître le contenu fréquentiel de ces signaux aux fréquences inaudibles pour l'homme et, dans une certaine mesure, pour les mammifères marins. Ces analyses permettent de calculer notamment le spectre d'énergie, la densité spectrale de puissance et le spectrogramme. Dans le cadre de cette étude, les analyses ont été principalement réalisées à l'aide du logiciel Matlab (The MathWorks, Inc., Natick, MA, USA).

L'outil de base de l'analyse fréquentielle est la transformée de Fourier, qui s'exprime selon l'équation suivante :

$$P(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(t)e^{-2\pi ift} dt \quad (4)$$

Où $p(t)$ est la pression sonore mesurée.

Dans la pratique, la fonction Matlab fft , est utilisée pour calculer la transformée de Fourier en temps discret. Cette fonction est adaptée à l'analyse des signaux numériques et calcule la transformée de Fourier sur des signaux de durée finie.

LA DENSITÉ SPECTRALE D'ÉNERGIE

À partir du résultat de la transformée de Fourier, on calcule la densité spectrale d'énergie (DSE) du signal. La DSE permet de connaître le niveau d'énergie du signal dans chaque bande de fréquence. D'un point de vue théorique, la DSE se calcule comme suit :

$$DSE(f) = 10 \log_{10}(|P(f)|^2) \quad (5)$$

Dans la pratique, comme nous travaillons avec des signaux numériques de durée finie, la DSE exprimée en dB se calcule comme suit :

$$P_{rms}(f) = 10 \log_{10} \left(2 \times \left| \frac{P(f)_{f \in [1/f_e; f_e/2]}}{N} \right|^2 \right) \quad (6)$$

Où $P(f)$ est le résultat de la fonction fft de Matlab, N est le nombre d'échantillons du signal analysé, et f_e est la fréquence d'échantillonnage du signal. La DSE ainsi obtenue, exprime la pression sonore moyenne (rms) dans chaque bande de fréquence. Par conséquent, si le signal mesuré est un cosinus pur, de moyenne quadratique 120 dB à la fréquence f_0 , alors la valeur de $P_{rms}(f)$ calculée par l'équation ci-dessus sera de 120 dB pour $f = f_0$ et sera nulle pour toutes les autres fréquences.

L'intérêt du calcul de la DSE réside dans la relation qui existe entre l'énergie instantanée du signal calculé dans le domaine temporel et la DSE. Cette relation, connue sous le nom de théorème de Parseval-Plancherel assure que :

$$W = \int_{-\infty}^{+\infty} p(t)^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |P(f)|^2 df \quad (7)$$

Où W est l'énergie totale du signal, $p(t)$ est la pression sonore instantanée et $P(f)$ est la transformée de Fourier de la pression sonore.

Dans le cas de signaux numériques de durée finie contenant N échantillons, le théorème de Parseval-Plancherel permet de lier les équations (2) et (6) comme suit :

$$W_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_1^N \frac{p(t)^2}{p_{ref}^2} \right) = 10 \log_{10} \left(\int_{1/f_e}^{f_e/2} 2 \times \left| \frac{P(f)}{N} \right|^2 df + \left| \frac{P(f=0)}{N} \right|^2 \right) \quad (8)$$

Dans le cadre de cette étude, nous avons calculé le niveau de pression sonore moyen (rms) dans des bandes de fréquences $[f_1; f_2]$. Pour effectuer ce calcul, nous avons additionné les valeurs de la DSE données par l'équation (6) entre ces fréquences.

LA DENSITÉ SPECTRALE DE PUISSANCE

La densité spectrale de puissance (DSP) permet de quantifier la répartition fréquentielle de la puissance d'un signal suivant les fréquences qui le composent. Plusieurs techniques permettent de l'estimer. Dans notre cas, nous avons utilisé la méthode du périodogramme, qui s'appuie elle aussi sur la transformée de Fourier selon l'équation suivante :

$$DSP(f) = 10 \log_{10} \left(2 \times \frac{1}{N \times f_e} \left| P(f)_{f \in [1/f_e; f_e/2]} \right|^2 \right) \quad (9)$$

Où f_e est la fréquence d'échantillonnage et N est le nombre d'échantillons. La DSP normalise donc la puissance du signal dans des bandes fréquentielles de 1 Hz. La DSP est exprimée en Pa^2/Hz .

2.5.3 PONDÉRATIONS M ET C

Il est connu que les mammifères marins ne captent pas toutes les fréquences émises dans l'eau. C'est pourquoi nous avons utilisé deux modèles de sensibilité auditive connus, soit la pondération M, établie pour les odontocètes¹ de moyenne-fréquence (NMFS, 2016) et la pondération C, ou pondération de Finneran (Finneran et coll., 2005; Finneran et coll., 2012), basée sur les capacités auditives du grand dauphin (*Tursiops truncatus*).

AUDIOGRAMME DES BÉLUGAS

Les capacités auditives des bélugas ont principalement été mesurées sur des animaux en captivité, mais aussi chez des animaux sauvages en milieu naturel. Ainsi, de nombreuses études montrent que les bélugas sont capables d'entendre une très large gamme de fréquences et qu'ils font partie des odontocètes ayant la meilleure audition (Awbrey et Stewart., 1983; Finneran et coll., 2005; Finneran et coll., 2002a; Finneran et coll., 2002b; Klishin et coll., 2000; Mooney et coll., 2008; Ridgway et coll., 2001; Erbe, 2000; Erbe et Farmer, 1998; Finneran et coll., 2000; Johnson, 1991; Schlundt et coll., 2000; Castellote et coll., 2014, White, 1978; Ridgway 2001; Popov, 1990).

Plusieurs techniques de mesure, allant du potentiel évoqué auditif aux tests impliquant une réponse comportementale à la réception d'un stimulus sonore, ont permis d'estimer l'audiogramme de cette espèce. La figure 2-1 présente les audiogrammes obtenus par ces différentes études. La figure 2-2 présente un audiogramme moyen tel qu'estimé dans Erbe 2016.

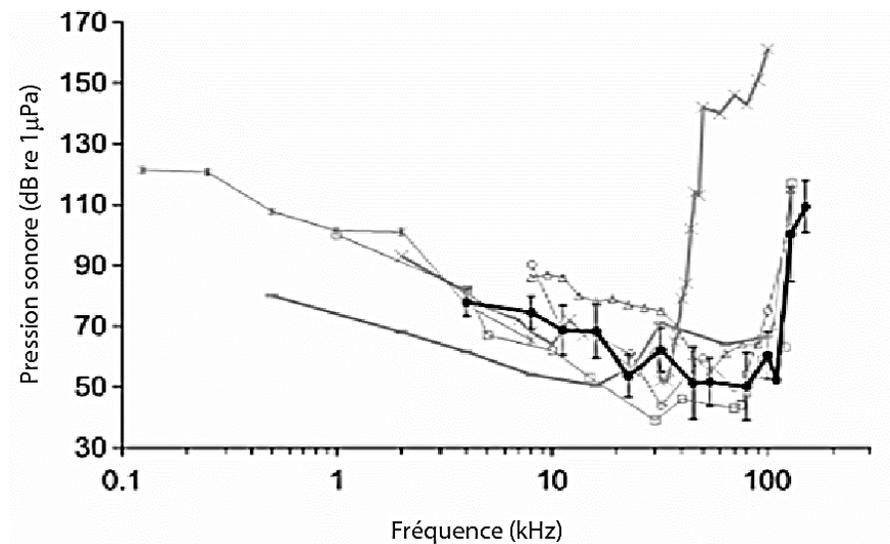


Figure 2-1: Comparaison d'audiogrammes de bélugas sauvages et en captivité (extrait de Castellote et coll., 2014).

Points noirs : Castellote 2014; carrés : White et al. 1978; étoiles : Awbrey et Stewart. 1983; cercles : Mooney et coll. 2008; triangles : Klishin et coll. 2000; croix : Finneran et coll. 2005; tirets : Ridgway et coll. 2001.

¹ Les odontocètes, ou cétacés à dents, sont le sous-ordre auquel appartiennent les bélugas.

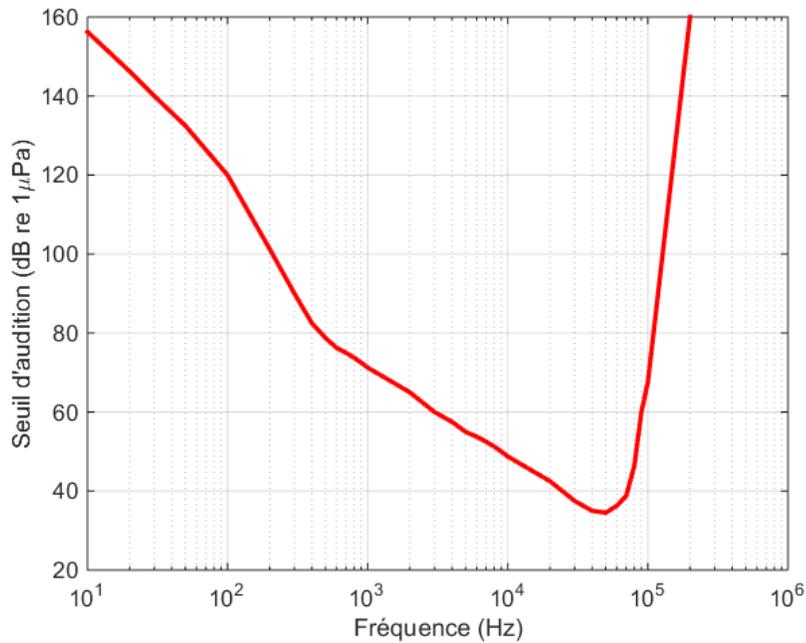


Figure 2-2: Niveau minimum mesuré pour un audiogramme de béluga (extrait de Erbe 2016).

Dans les pages qui suivent, nous serons amenés à comparer les DSP des bruits de navires enregistrés à l'audiogramme des bélugas, de manière similaire à McQuinn et coll. (2011) et Erbe (2016).

PONDÉRATION M

Le guide technique du National Marine Fisheries Service (NMFS) et de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), relatif à l'évaluation des effets des bruits anthropiques sur l'audition des mammifères marins, recommande de tenir compte de la capacité des animaux à entendre certaines fréquences lors de l'évaluation des impacts du bruit anthropique sur ces derniers (NMFS 2016).

Ce guide répartit les mammifères marins (cétacés et pinnipèdes) en cinq catégories, en fonction de la gamme de fréquences qu'ils sont le plus susceptibles d'entendre. Le tableau 2-1 résume ces catégories, les animaux concernés et la gamme de fréquences associée. À chacune de ces catégories est attribuée une fonction de pondération, qui comme son nom l'indique, pondère le niveau acoustique reçu par l'animal en fonction de la fréquence. Chaque fréquence a donc un poids différent. Cette fonction de pondération est généralement appelée pondération M.

La fonction de pondération a pour formule générale :

$$W_M(f) = C + 10 \log_{10} \left\{ \frac{(f/f_1)^{2a}}{[1+(f/f_1)^2]^a [1+(f/f_2)^2]^b} \right\} \quad (10)$$

Les valeurs données aux paramètres a , b , C , f_1 et f_2 , varient pour chacun des cinq groupes auditifs décrits au tableau 2-1. Les bélugas font partie de la catégorie 2 (moyennes fréquences). Pour cette catégorie, les paramètres prennent les valeurs suivantes : $a = 1,6$, $b = 2$, $C = 1,2$, $f_1 = 8,8 \text{ kHz}$ et $f_2 = 110 \text{ kHz}$. La fonction de pondération obtenue avec ces paramètres est illustrée à la figure 2-3.

Tableau 2-1 Groupes auditifs des mammifères marins selon le NMFS (NMFS 2016)

| GROUPES AUDITIFS | GAMME D'AUDITION GÉNÉRALISÉE ¹ |
|---|---|
| Groupe 1 : Cétacés basses fréquences (baleines) | 7 Hz — 35 kHz |
| Groupe 2 : Cétacés moyennes fréquences (dauphins, baleines à dents, baleines à bec) | 150 Hz — 160 kHz |
| Groupe 3 : Cétacés hautes fréquences (marsouins, dauphins de rivière) | 275 Hz — 160 kHz |
| Groupe 4 : Pinnipèdes de la famille des phoques (vrais phoques) | 50 Hz — 86 kHz |
| Groupe 5 : Pinnipèdes de la famille des otaries (lions de mer, phoques à fourrure) | 60 Hz — 39 kHz |

1. Représente la gamme d'audition généralisée pour l'ensemble du groupe, pris comme groupe composite (c'est-à-dire toutes les espèces appartenant au groupe sans distinction), où les gammes auditives des espèces prises individuellement ne sont généralement pas aussi larges. La gamme d'audition généralisée choisie est basée sur un seuil auditif de ~ 65 dB à partir d'un audiogramme composite normalisé, à l'exception des limites inférieures pour les cétacés basses fréquences (Southall et coll., 2007) et les Pinnipèdes de la famille des phoques (approximation).

PONDÉRATION C

Les recherches spécifiques, menées sur les capacités auditives du grand dauphin, ont également permis d'obtenir une fonction de pondération spécifique pour cette espèce (Finneran, 2011). L'estimation des paramètres de cette fonction de pondération est faite à partir des courbes isosoniques subjectives obtenues sur de grands dauphins captifs. Cette fonction de pondération est basée sur la fonction de pondération C de l'être humain et a pour équation :

$$W_C(f) = K + 20 \log_{10} \left\{ \frac{a_1^2 f^2}{(a_1^2 + f^2)(a_2^2 + f^2)} \right\} \quad (11)$$

Les paramètres a_1 , a_2 et K sont estimés pour une courbe isotonique expérimentale utilisant un niveau source de référence de 115 dB re 1 μ Pa, et normalisé à 0 dB à 10 kHz. Ces paramètres prennent alors les valeurs suivantes : $a_1 = 4,62$, $a_2 = 3,382 \cdot 10^{30}$ et $K = 1,68$. La fonction de pondération obtenue avec ces paramètres est illustrée à la figure 2-3.

Comme mentionné dans McQuinn et coll. (2011), cette fonction de pondération est la première à être estimée spécifiquement pour une espèce de cétacé du groupe 2 du NMFS, à partir de mesures isosoniques sur un animal vivant. Bien que ces paramètres aient été estimés pour le grand dauphin, la grande similarité existante entre l'audiogramme de cette espèce et celui du béluga suggère que l'utilisation de cette fonction de pondération est actuellement l'approximation la plus appropriée pour décrire la sensibilité auditive du béluga (McQuinn 2011).

Dans le cadre du présent rapport, ce sont principalement les données pondérées avec la fonction C qui ont été utilisées pour quantifier l'exposition sonore des bélugas et la durée des périodes insonifiées par le passage des navires. Les résultats non pondérés ont toutefois été utilisés pour évaluer la fréquence d'exposition des bélugas aux pressions sonores supérieures à 120 dB rms re 1 μ Pa, considérées comme le seuil au-delà duquel des modifications comportementales peuvent être notées chez les cétacés. Comme ce seuil n'est pas une valeur pondérée en fonction de l'audiogramme du béluga, nous ne pouvons le comparer directement aux valeurs pondérées.

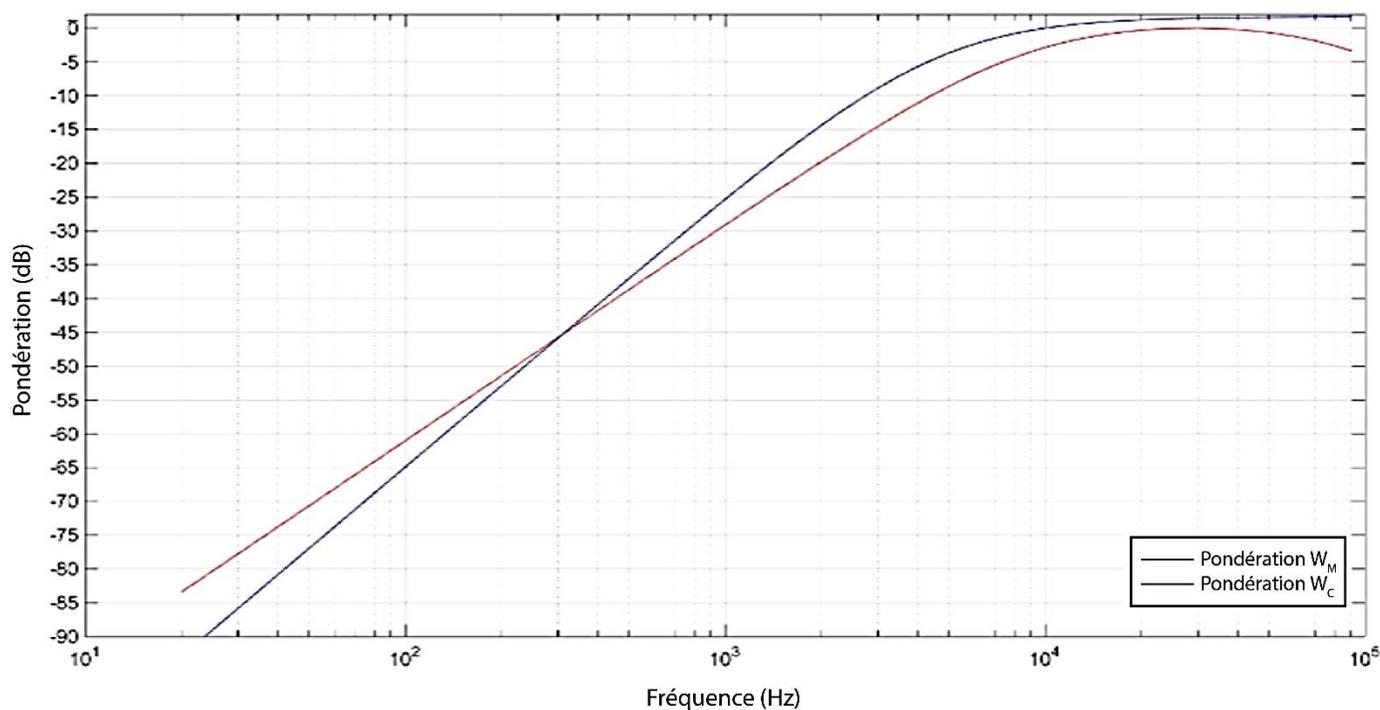


Figure 2-3: Courbes de pondération M et C obtenues à partir des équations 10 et 11.

2.6 ANALYSE DU BRUIT DES NAVIRES

2.6.1 PRÉ-TRAITEMENT

Dans un premier temps, les fichiers WAV associés au passage des navires ont été extraits de chacun des hydrophones, en prenant soin d'inclure des périodes de bruit ambiant de quelques minutes, avant et après le passage du navire. Les fichiers WAV ont ensuite été analysés dans le logiciel MATLAB.

L'analyse des signaux reçus par chacun des hydrophones a consisté au calcul de la transformée de Fourier du signal acoustique, avec une résolution temporelle de 0,5 s et fréquentielle de 2 Hz. Il n'y avait pas de recouvrement entre les fenêtres d'analyse de 0,5 s successives.

Le résultat de la transformée de Fourier a par la suite été normalisé selon les équations (6) et (9) afin d'obtenir la DSE (dB rms 1 μ Pa) et la DSP (dB re 1 μ Pa²/Hz), respectivement.

Par la suite, les amplitudes de chaque bande de fréquence de la DSE et de la DSP ont été pondérées selon la fonction $W_c(f)$ donnée par l'équation (11).

Les DSE et DPS ont ensuite été post-traitées pour extraire les statistiques du signal. Ces statistiques concernent d'une part les niveaux acoustiques globaux (large bande) reçus au cours du passage des navires et, d'autre part, les niveaux acoustiques dans chaque bande de fréquence (bandes fines).

2.6.2 NIVEAUX ACOUSTIQUES LARGE BANDE

Le niveau de pression sonore moyen (rms) large bande reçu pendant toute la durée du passage d'un navire, a été estimé pour chacune des fenêtres d'analyse de 0,5 s décrites précédemment. Ce niveau a été obtenu en sommant les bandes de la DSE dans la plage fréquentielle $[f_1 ; f_2]$ souhaitée.

Bien que les plages de fréquences enregistrées par les appareils utilisés s'étendaient de 20 Hz à 24 kHz pour les hydrophones μ Aural et de 20 Hz à 96 kHz pour les hydrophones SM3M, nous avons limité les analyses quantitatives à des plages plus étroites pour lesquelles les données n'étaient pas affectées par le bruit électronique inhérent aux appareils. Ainsi, dans le cadre de la présente étude, les pressions sonores large bande enregistrées par les hydrophones μ Aural et sur l'hydrophone SM3M de la station dérivante n'ont été analysées en détail qu'entre 20 Hz et 20 kHz. Les pressions sonores large bande enregistrées par l'hydrophone SM3M de la station ont pour leur part été analysées entre 20 Hz et 20 kHz, de même qu'entre 20 Hz et 60 kHz.

Les résultats obtenus pour la bande étendue jusqu'à 60 kHz ne sont présentés qu'à titre informatif, sous forme graphique à l'annexe A-5, du fait que nous les avons jugés trop biaisés par le bruit électronique haute fréquence de l'appareil et, par conséquent, inappropriées à une analyse quantitative fiable. D'un point de vue qualitatif toutefois, ces plages étendues ont été considérées pour le calcul de la durée du bruit perceptible lors du passage des navires.

Les percentiles des niveaux acoustiques large bande de chacun des hydrophones ont aussi été calculés. On s'est intéressé en particulier aux 5^e, 25^e, 50^e (médiane), 75^e, 95^e et 100^e percentiles. Les fenêtres de 0,5 s associées à des bruits de mouillage ou du zodiac de WSP ont été supprimées préalablement au calcul des percentiles.

2.6.3 NIVEAUX ACOUSTIQUES EN BANDES FINES

L'analyse statistique de la DSP associée au passage de chaque navire a également été effectuée. Cette analyse consiste à calculer, pour chacune des bandes fréquentielles de la DSP, les percentiles de la puissance acoustique reçue tout au long du passage du navire.

Par la suite, en prenant le p^{e} percentile de chacune des bandes fréquentielles, on obtient une densité spectrale composite qui représente le pourcentage de temps p pendant lequel la DSP des bruits associés au passage du navire était supérieure à cette DSP composite (et réciproquement le pourcentage de temps $1-p$ pendant lequel la DSP associée au passage du navire était inférieure à cette DSP). Les 5^e, 25^e, 50^e, 75^e, 95^e et 100^e percentiles ont été calculés dans le cadre de cette analyse statistique.

2.6.4 DURÉE D'EXPOSITION AU BRUIT GÉNÉRÉ PAR LE PASSAGE DE GRANDS NAVIRES

Une section de ce rapport est consacrée à l'évaluation de la durée d'exposition au bruit d'un navire, pour un récepteur situé à une position donnée, dans chacun de nos quatre secteurs à l'étude.

La variation de pression sonore large bande a été utilisée pour détecter le moment où le bruit généré par un navire en approche entraîne une augmentation du niveau du bruit ambiant mesuré, de même que le moment où ce navire s'éloignant des stations de mesure n'affecte plus le niveau de bruit ambiant. La durée écoulée entre ces deux instants représente la durée de détection du bruit du navire par nos instruments. La durée effective d'exposition du béluga à ce bruit a, quant à elle, été estimée avec la pondération C. Les temps d'ambiance sonore naturelle et insonifiés par le passage de grands navires ont été calculés pour la situation actuelle (année 2016) et pour les divers scénarios d'augmentation du trafic.

La distance entre le navire et les stations de mesure a été estimée en utilisant d'une part la position GPS des stations dérivantes et des stations fixes et, d'autre part la position GPS fournie par le système AIS des navires lorsque disponible. Ces distances ont été calculées pour :

- le moment où le bruit du navire émerge du bruit ambiant;
- le moment où le navire arrive à son point le plus rapproché de la station de mesure;
- le moment où le bruit du navire disparaît du bruit ambiant après son passage.

2.7 CONTRIBUTION DU TRAFIC ACTUEL AU BRUIT SUBAQUATIQUE

Cette section de l'étude visait à évaluer l'exposition des bélugas au bruit du passage de navires à l'emplacement de nos points de mesure et à y établir la durée relative des périodes avec et sans bruit de navigation au cours de l'année.

Afin d'obtenir un indice du bruit actuel de navigation sur le Saguenay, nous avons utilisé 1) les résultats des mesures acoustiques réalisées sur le terrain et 2) les données AIS couvrant l'année 2016 (du 1^{er} janvier au 31 décembre) pour la rivière Saguenay, incluant le passage de navires circulant sur le fleuve Saint-Laurent, devant l'embouchure de la rivière, sans toutefois y pénétrer. Ces informations ont principalement été analysées pour établir le trafic mensuel dans chacun de nos quatre secteurs de mesures, identifier les caractéristiques des navires impliqués et établir leur contribution au bruit ambiant.

2.8 CONTRIBUTION FUTURE DES GRANDS NAVIRES AU BRUIT SUBAQUATIQUE

Les prévisions d'augmentation du trafic présentées en réponse à la question 99A de la demande d'information no 1 de l'ACEE (WSP / GCNN, 2017) ont été reprises pour déterminer la réduction des périodes sans bruit résultant de divers scénarios couvrant les horizons 2020 et 2030.

3 RÉSULTATS

3.1 FRÉQUENTATION DU SAGUENAY PAR LE BÉLUGA

3.1.1 REPARTITION ANNUELLE

Les bélugas du Saint-Laurent ont fait l'objet d'un grand nombre de recherches et d'inventaires au cours des dernières décennies, notamment pour en recenser la population et caractériser leur utilisation de leur aire de répartition (Michaud et coll., 1990 ; Michaud, 1993 ; Lemieux-Lefebvre et coll., 2012 ; Gosselin et coll., 2014 ; COSEPAC, 2014; MPO, 2017). Contrairement au phoque commun, qui est plus fréquemment observé assez haut dans le Saguenay, jusqu'à Sainte-Rose-du-Nord, le béluga se concentre principalement dans le secteur aval, entre l'embouchure et la baie Sainte-Marguerite, quoiqu'on note occasionnellement des incursions beaucoup plus haut dans la rivière Saguenay (Gosselin et coll., 2014).

Le type d'habitat utilisé par les bélugas varie selon les saisons (COSEPAC, 2014). L'été, ils ont notamment tendance à se concentrer dans des estuaires peu profonds (Sergeant, 1973; Pippard, 1985; Smith et Martin, 1994; Moore et coll., 2000) ou dans d'autres milieux relativement chauds où la température de l'eau à la surface peut atteindre 15 à 17 °C (St. Aubin et coll., 1990; Smith et Martin, 1994; Boily, 1995). Pour les bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent, cela se traduit par une répartition de bélugas qui varie en été en fonction de l'âge et du sexe : 1) les femelles accompagnées de veaux et de juvéniles se rassemblant dans l'estuaire moyen, entre Battures-aux-Loups-Marins et la rivière Saguenay, dans des eaux relativement peu profondes, 2) les adultes de grande taille, présumément des mâles, se concentrant dans les eaux profondes du chenal Laurentien, où l'on observe rarement des femelles avec veaux et juvéniles en été et 3) les troupes mixtes formés d'adultes et d'adultes avec veaux et juvéniles, se réunissant dans un secteur intermédiaire englobant la rivière Saguenay, la tête du chenal Laurentien et la portion sud de l'estuaire maritime située à l'est, presque jusqu'à Saint-Fabien (Michaud, 1993).

L'hiver, les bélugas se rencontrent soit dans l'estuaire maritime, soit dans le nord-ouest du golfe du St-Laurent, lequel demeure partiellement libre de glace tout au long de cette saison (Sears et Williamson, 1982; Boivin et INESL, 1990; Michaud et coll., 1990; Lesage et coll., 2007). Ils sont ainsi absents du Saguenay en hiver.

3.1.2 PORTRAIT MENSUEL PAR SECTEUR À L'ÉTUDE

C'est essentiellement de juin à octobre que l'embouchure et la portion aval du Saguenay sont fréquentées par le béluga, où l'habitat essentiel correspond aux lieux de rassemblement des femelles, des veaux et des juvéniles (Michaud, 1993; Lemieux et coll., 2012; COSEPAC, 2014; Conversano et coll., 2017 en préparation). Les caractéristiques de l'habitat qui y sont considérées comme essentielles aux fonctions vitales du béluga sont la disponibilité de la nourriture, les processus océanographiques favorisant les remontées d'eaux froides et productives riches en minéraux, un milieu acoustique convenable et des eaux peu profondes (MPO, 2012). Devant la variété des méthodes d'inventaire utilisées et les durées variables de ceux-ci, il n'existe pas vraiment de portrait général permettant de quantifier précisément la répartition et les densités mensuelles du béluga dans les divers secteurs du Saguenay. Nous pouvons néanmoins établir que la population fréquentant le Saguenay, de son embouchure jusqu'à la baie Sainte-Marguerite, croît graduellement à compter du mois de mai, pour décroître ensuite au cours du mois octobre. Les incursions en amont de la baie Sainte-Marguerite sont peu fréquentes, même si des observations surviennent exceptionnellement jusqu'à Sainte-Rose-du-Nord (Gosselin et coll., 2014) ou même jusqu'à La Baie tel que le cas d'un individu observé en septembre 2016 (Rainville, 2016).

3.2 ÉVALUATION DU TRAFIC ACTUEL DANS LA ZONE À L'ÉTUDE ET SUR LE SAGUENAY

Afin de caractériser le trafic maritime le long du Saguenay durant une année typique du trafic actuel, nous avons principalement utilisé les coordonnées AIS enregistrées lors du passage des bateaux munis de balises AIS dans nos quatre secteurs de mesures pour la période du 1^{er} janvier au 31 décembre 2016 inclusivement. Ces données cumulent 137 392 coordonnées et couvrent 968 navires différents, dont la très vaste majorité n'est toutefois passée que devant l'embouchure sans pénétrer le Saguenay (liste à l'annexe A-7). Ces navires influencent néanmoins l'ambiance sonore dans l'habitat du béluga, dans un secteur déjà abondamment fréquenté par la navigation de plaisance, d'excursions aux baleines et par la circulation des traversiers.

Si on ne considère toutefois que les grands navires (navires-cargo et de croisière) qui circulent véritablement sur le Saguenay, en le remontant au-delà de la baie Sainte-Marguerite, on parle de 225 navires environ (WSP / GCNN, 2017). Comme ceux-ci proviennent du fleuve Saint-Laurent et y retournent, leur influence se fait sentir tout au long du Saguenay en passant par nos quatre secteurs à l'étude. On peut donc en déduire qu'ils contribuent assez uniformément à l'ambiance sonore le long du cours d'eau, mais que l'embouchure se démarque par un trafic beaucoup plus élevé que les trois secteurs en amont.

3.2.1 TYPES DE NAVIRES CIRCULANT DANS LA ZONE À L'ÉTUDE

Les données de navigation couvrant l'année 2016 comprennent plus d'une trentaine de catégories de navires ayant circulé sur le Saguenay ou étant passés devant son embouchure (annexe A-7). Pour les fins de nos analyses, nous les avons regroupées en cinq catégories (tableau 3-1), soit les navires-cargo (incluant notamment les vraquiers et les navires-citernes), les navires de croisière (locales et internationales), les bateaux de plaisance et d'observation des baleines, les traversiers, ainsi que les navires de services (incluant notamment les remorqueurs, les navires de recherche et ceux de la garde côtière).

Tableau 3-1 Types de navires et nombre¹ de chacun d'eux ayant circulé dans la zone à l'étude en 2016.

| REGROUPEMENTS UTILISÉS | N | REGROUPEMENTS UTILISÉS | N |
|--|-----|------------------------|------------------|
| NAVIRES-CARGO | 817 | NAVIRES DE CROISIÈRE | 25 |
| BATEAUX DE SERVICES ET AUTRES | 64 | TRAVERSIERS | 6 |
| BATEAUX DE PLAISANCE ET D'OBSERVATION DES BALEINES | 56 | | |
| | | Total | 968 ² |

1. Ce nombre ne représente pas le nombre de passages, mais plutôt le nombre de navires différents qui ont circulé dans la zone d'étude en 2016.
2. Sur ce nombre, seuls 225 grands navires environ ont réellement remonté le Saguenay (WSP / GCNN, 2017).

3.2.2 RÉPARTITION DES MOUVEMENTS PAR TYPES DE NAVIRES

TRAVERSE TADOUSSAC - BAIE-SAINTE-CATHERINE

En considérant l'ensemble des données de trafic maritime sur le Saguenay, il ressort clairement que le passage des traversiers entre Tadoussac et Baie-Sainte-Catherine est l'activité de loin la plus intense, quel que soit le mois de l'année. Ainsi, selon la Société des traversiers du Québec (comm. pers. de Christian Guay, directeur de la traverse Tadoussac - Baie-Sainte-Catherine), les deux traversiers en service en 2016 ont cumulé 41 992 passages.

Bien que la contribution relative des traversiers au trafic total soit plus élevée en hiver, étant donné l'absence de navigation de plaisance et d'activités d'observation des baleines, l'activité des traversiers s'avère malgré tout plus importante durant les mois d'été, avec un maximum en juillet ayant atteint 4 154 passages en 2016 (fig. 3-1).

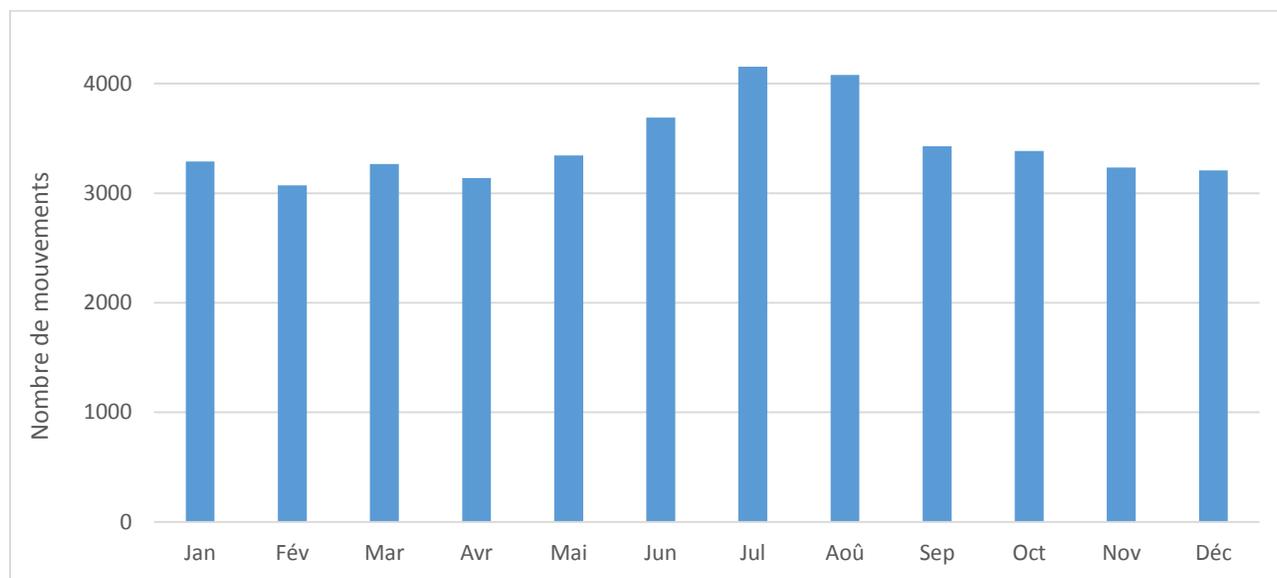


Figure 3-1: Mouvements des traversiers entre Tadoussac et Baie-Sainte-Catherine du 1^{er} janvier au 31 décembre 2016.

TRAFIC DE GRANDS NAVIRES

Le trafic de grands navires circulant le long du Saguenay est celui qui nous intéresse plus particulièrement dans le cadre de cette étude. Afin d'estimer le trafic mensuel typique de la situation actuelle, nous nous sommes référés au trafic moyen de tels navires qui a prévalu sur le Saguenay entre 2004 et 2016 (WSP / GCNN, 2017). Ainsi, le portrait annuel des mouvements de navires-cargo et de croisière révèle que, de 2004 à 2016, le nombre mensuel moyen de mouvements s'est établi à $37,3 \pm 8,6$ (tableau 3-2 et fig. 3-2) sur le Saguenay, pour un total annuel moyen (2005 à 2015) de $450,4 \pm 20,9$. On y remarque un trafic supérieur en été, avec un pic en octobre correspondant à la haute saison des navires de croisière. Par ailleurs, comme les navires-cargo qui s'engagent dans le Saguenay se rendent nécessairement aux ports situés en amont de nos quatre secteurs de mesures, ils contribuent uniformément au bruit subaquatique dans chacun de nos secteurs de mesures. Ce n'est toutefois pas le cas de tous les navires de croisière, dont certains ne font pas escale à La Baie, ni de la quasi-totalité des autres catégories de bateaux, qui se concentrent principalement près de l'embouchure.

NAVIGATION DE PLAISANCE ET D'EXCURSIONS AUX BALEINES

Pour bien faire ressortir la contribution relative de la navigation de plaisance et d'excursions aux baleines, qui culmine simultanément avec la présence des bélugas dans le Saguenay, nous avons illustré la contribution relative au trafic mensuel des différents types de navires pour l'année 2016 en excluant les traversiers pour les 4 secteurs confondus (fig. 3-3). On y remarque notamment que l'activité relative culmine en juillet et que le trafic dominant, excluant celui des traversiers, provient de la navigation de plaisance et d'excursion aux baleines. Il est à noter que la navigation de plaisance est probablement sous-estimée ici, puisqu'on ne considère que les embarcations dotées d'un système AIS. En comparaison, le trafic cargo est beaucoup moins important et plus stable durant la même période, bien qu'il inclut ici les navires ayant passé devant l'embouchure sans pénétrer le Saguenay.

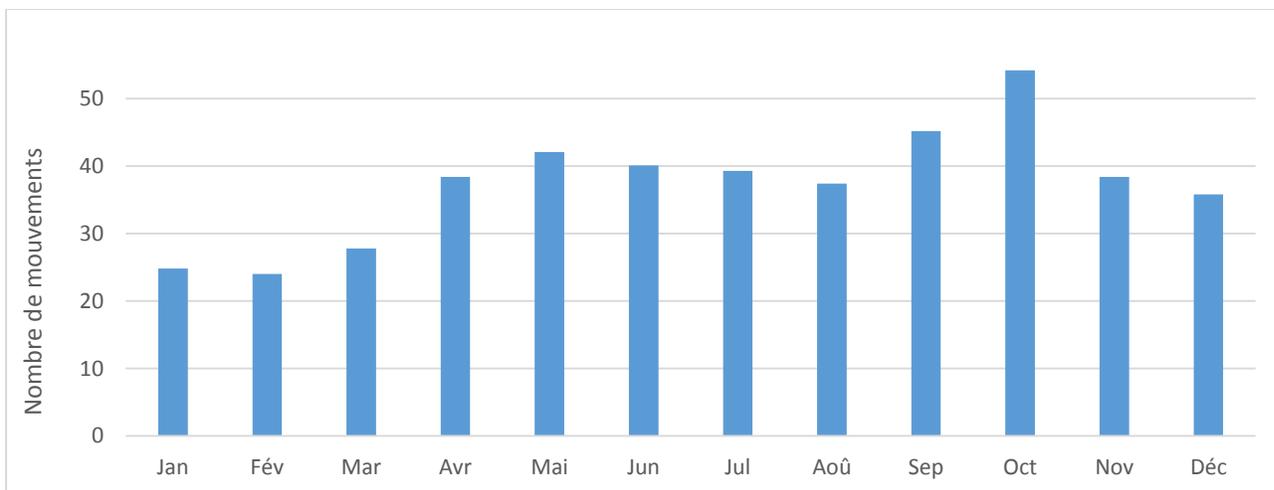


Figure 3-2: Répartition mensuelle moyenne du trafic de grands navires le long du Saguenay entre 2004 et 2016 (WSP / GCNN, 2017).

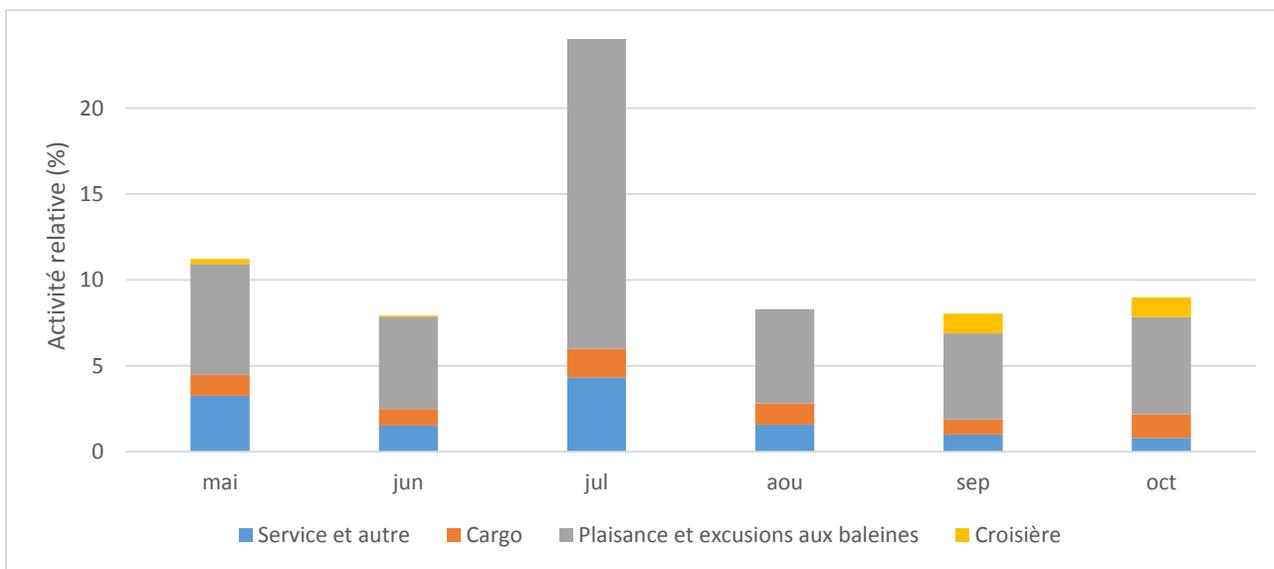


Figure 3-3: Activité maritime relative (excluant les traversiers) sur l'ensemble des 4 secteurs de mesures (informations tirées des données AIS, du 1er mai au 31 octobre 2016).

3.2.3 RÉPARTITION DES MOUVEMENTS PAR SECTEUR

Comme on pouvait s'y attendre, compte tenu de l'activité des traversiers et des bateaux de plaisance et d'excursions aux baleines, qui se concentre à l'embouchure du Saguenay, ainsi que de l'important trafic de grands navires sur le Saint-Laurent, ce secteur s'avère de loin le plus achalandé avec 74% des mouvements enregistrés en 2016 (fig. 3-4). À l'opposé, c'est le secteur de la baie Sainte-Marguerite qui s'avère le plus calme en matière de navigation, avec 6% des mouvements enregistrés.

Bien que beaucoup plus calmes que le secteur de l'embouchure, nos deux secteurs de mesures en amont, près de l'Anse de Sable et du Cap Éternité s'avèrent relativement plus occupés que celui de la baie Ste-Marguerite, avec chacun 10% des mouvements enregistrés en 2016, ce que nous attribuons en partie aux embarcations de plaisance et d'excursion qui circulent notamment entre La Baie et l'Anse-St-Jean.

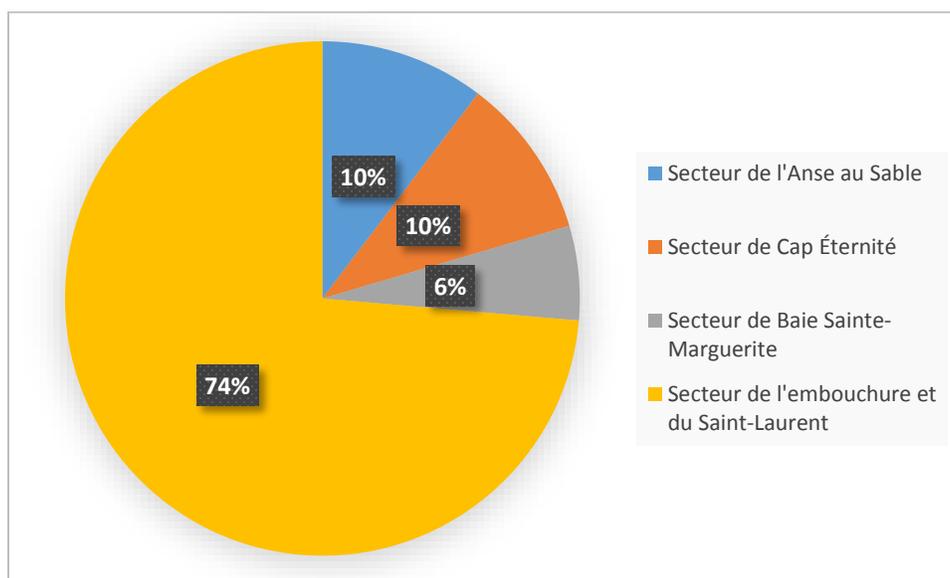


Figure 3-4: Répartition du trafic enregistré durant l'année 2016 dans nos quatre secteurs à l'étude (basé sur les données AIS enregistrées du 1er janvier au 31 décembre 2016 inclusivement).

3.3 ÉVALUATION DU TRAFIC FUTUR SELON DIFFÉRENTS SCÉNARIOS D'AUGMENTATION

3.3.1 SCÉNARIOS ÉVALUÉS

Les prévisions d'augmentation du trafic présentées en réponse à la question 99A de la demande d'information no 1 de l'ACEE (WSP / GCNN. 2017) ont été reprises pour déterminer la réduction des périodes sans bruit résultant de divers scénarios couvrant les horizons 2020 et 2030. (tableau 3-2) Ces scénarios prévoient la visite de 60 navires au TMRN en 2020 (scénario 1A, scénario réaliste) et de 140 en 2030 (scénario 1B, scénario maximal), à pleine capacité du TMRN.

En ajoutant à ce trafic l'accroissement prévu aux installations voisines de Grande-Anse, de Bagotville, de Rio Tinto et éventuellement de GNL Québec (Énergie Saguenay), les scénarios réaliste (horizon 2020) et maximal (horizon 2030) porteraient le trafic supplémentaire, par rapport à la situation actuelle, à 235 (scénario 2A) et 410 navires (scénario 2B) respectivement. On doit ici rappeler que ces prévisions sont très optimistes et représentent les valeurs extrêmes maximales d'augmentation de trafic de grands navires.

Il est aussi à noter que, selon un protocole d'entente annoncé en janvier 2017 entre Ariane Phosphate et Rio Tinto, les deux entreprises envisagent le partage éventuel de services maritimes. Ainsi, les navires servant à acheminer les matières premières dans les installations de Rio Tinto pourraient repartir de la rivière Saguenay chargés du concentré d'apatite d'Ariane Phosphate. Les Installations portuaires de Rio Tinto accueillent annuellement environ 120 navires chargés de matières premières comme la bauxite et l'alumine. En utilisant ces mêmes navires pour acheminer le concentré d'Ariane Phosphate aux marchés internationaux, les deux parties contribueraient à réduire leur empreinte environnementale en optimisant leurs activités de transport sur la rivière Saguenay. Cette hypothèse « optimale » pourrait donc se traduire par aucune augmentation nette du trafic résultant des activités d'Ariane Phosphate au nouveau terminal maritime.

3.3.2 AUGMENTATIONS MENSUELLES PRÉVUES

Selon le scénario 1A (réaliste pour l'horizon 2020), il est prévu que 60 navires par année, soit un aux six jours, d'une capacité nominale de 50 000 tpl, seront nécessaires pour l'expédition de concentré d'apatite d'Ariane Phosphate vers ses clients. Étant donné que Port de Saguenay n'a pas d'autres clients identifiés pour le moment, c'est cette hypothèse (hypothèse réaliste) de 60 navires par année que nous avons d'abord considérée pour l'évaluation du bruit de navigation supplémentaire résultant de ce projet dans le Saguenay. Comme chaque chargement représente deux mouvements, soit un vers le port et un vers le large, ces 60 navires représentent 120 mouvements qui s'ajouteraient au trafic actuel (en ne considérant aucun partenariat entre la minière et Rio Tinto). On parle donc d'un trafic mensuel moyen qui passerait de 37,3 à 47,3 ± 8,6 mouvements par mois, pour un maximum de 64,2 en octobre (tableau 3-2 et fig. 3-5).

Tableau 3-2 Prédiction d'augmentation du trafic de grands navires sur le Saguenay selon un scénario réaliste et maximal aux horizons 2020 et 2030.

| MOIS | NOMBRE DE MOUVEMENTS MENSUELS | | | | |
|--------------------|-------------------------------|---|--|--|--|
| | MOYENNE DE 2005 À 2016 | SCÉNARIO 1A HORIZON 2020 + 60 NAVIRES | SCÉNARIO 1B HORIZON 2030 + 140 NAVIRES | SCÉNARIO 2A HORIZON 2020 + 235 NAVIRES | SCÉNARIO 2B HORIZON 2030 + 410 NAVIRES |
| JAN | 24,8 | 34,8 | 48,1 | 64,0 | 93,1 |
| FÉV | 24 | 34 | 47,3 | 63,2 | 92,3 |
| MAR | 27,8 | 37,8 | 51,1 | 67,0 | 96,1 |
| AVR | 38,4 | 48,4 | 61,7 | 77,6 | 106,7 |
| MAI | 42,1 | 52,1 | 65,4 | 81,3 | 110,4 |
| JUN | 40,1 | 50,1 | 63,4 | 79,3 | 108,4 |
| JUL | 39,3 | 49,3 | 62,6 | 78,5 | 107,6 |
| AOU | 37,4 | 47,4 | 60,7 | 76,6 | 105,7 |
| SEP | 45,2 | 55,2 | 68,5 | 84,4 | 113,5 |
| OCT | 54,2 | 64,2 | 77,5 | 93,4 | 122,5 |
| NOV | 38,4 | 48,4 | 61,7 | 77,6 | 106,7 |
| DÉC | 35,8 | 45,8 | 59,1 | 75,0 | 104,1 |
| MOY. ± ÉT | 37,3 ± 8,6 | 47,3 ± 8,6 | 60,6 ± 8,6 | 76,5 ± 8,6 | 105,6 ± 8,6 |
| NOMBRE DE NAVIRES | 225 | 285 | 365 | 460 | 635 |
| MOUVEMENTS ANNUELS | 450 | 570 | 730 | 920 | 1 270 |

Source : WSP / GCNN (2017)

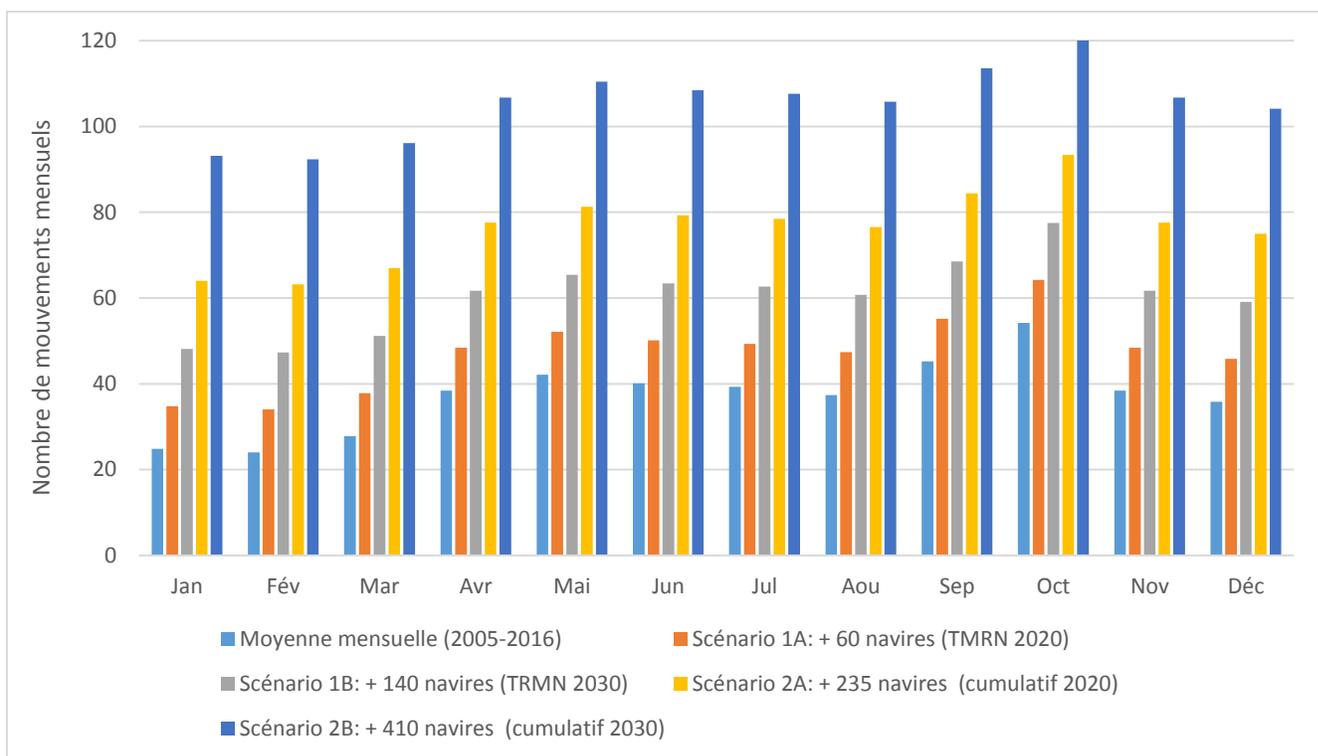


Figure 3-5: Effet de l'ajout de navires sur le trafic mensuel de grands navires le long du Saguenay selon divers scénarios.

Si nous considérons plutôt l'hypothèse « maximale » présentée comme scénario 1B (pour l'horizon 2030), qui prévoit une fréquentation supplémentaire de 140 navires au terminal maritime de Port de Saguenay à pleine capacité, la moyenne mensuelle du trafic de grands navires serait de l'ordre de $60,6 \pm 8,6$ mouvements par mois, pour un maximum de 77,5 en octobre (tableau 3-2 et fig. 3-5).

En considérant finalement l'effet cumulatif d'une augmentation du trafic de grands navires pour les horizons 2020 et 2030 aux installations maritimes voisines, les scénarios 2A (réaliste) et 2B (maximum) prévoient respectivement un trafic supplémentaire de 235 navires en 2020 et de 410 navires en 2030. Ces valeurs maximales se traduiraient par un trafic mensuel moyen de l'ordre de 76,5 et 105,6 mouvements par mois respectivement aux horizons 2020 et 2030 (tableau 3-2 et figure 3-4). Les nombres de mouvements mensuels maximaux seraient atteints dans les deux derniers scénarios en octobre avec respectivement 93,4 et 122,5 mouvements.

3.4 ANALYSE DES DONNÉES ACOUSTIQUES

3.4.1 ANALYSE QUALITATIVE

Les données acoustiques enregistrées lors des passages des navires ont été analysées qualitativement (écoute et visualisation du spectrogramme) sur le logiciel Audacity (Softonic International, Barcelone, Espagne). Les spectrogrammes associés à chaque passage de navire sont présentés à l'annexe A-5. L'analyse montre que lors du passage des navires, les fréquences inférieures à 100 Hz sont perceptibles plusieurs dizaines de minutes avant le passage du navire devant les hydrophones. À mesure que le navire se rapproche, la gamme des fréquences enregistrées s'étend progressivement vers les hautes fréquences. De telles observations sont tout à fait normales, du fait que les ondes de basses fréquences s'atténuent moins vite dans l'eau que les ondes de hautes fréquences, ce qui leur permet de se propager plus loin.

Lorsque le navire est au plus proche des stations d'écoute, nous notons que le contenu fréquentiel aux hautes fréquences varie fortement d'un navire à l'autre. Ainsi, les navires Panasiatic (le 21 juin) et Riogrita (le 12 juin) ont émis des sons mesurables jusqu'à la fréquence de 90 kHz. Le navire Anmare a émis des sons perceptibles jusqu'à 40 Hz, alors que les navires Nautical Hilary et Lowlands Saguenay en ont produit jusqu'à 24 kHz.

Nous observons également que pour un même navire, l'étendue du spectre varie fortement d'un passage à un autre. Par exemple, pour l'Acadia Desgagnés, une différence de 15 dB est observée dans la gamme de fréquence 4 - 10 kHz entre le passage du 21 juin en montée et celui du 22 juin en descente. Une observation similaire peut être faite pour le navire Riogrita entre ses passages du 12 juin et du 15 juin.

En raison du faible nombre de navires mesurés et de l'absence de données AIS pour certains d'entre eux, il est difficile de juger si ces variations d'un passage à l'autre sont uniquement dues à des différences de distance entre le navire et les stations de mesure, ou si d'autres paramètres ont une influence. Il semblerait cependant que les navires remontant le Saguenay aient systématiquement émis plus de hautes fréquences que ceux le descendant. Nous n'avons toutefois pas suffisamment d'information pour identifier les paramètres responsables de ces différences, qui pourraient tout aussi bien être liées à la puissance du moteur, à la vitesse ou au tirant d'eau du navire, en combinaison avec les conditions de navigation liées aux vents, aux courants et aux marées.

Enfin, lors de l'écoute qualitative, la réverbération des sons des navires sur les parois rocheuses immergés était facilement perceptible, en particulier aux hautes fréquences.

3.4.2 ANALYSE QUANTITATIVE

RÉSULTATS EN LARGE BANDE DU BRUIT RÉSIDUEL

Les résultats relatifs au bruit résiduel mesuré aux différents points de mesure sont présentés plus loin aux tableaux 3-4 et 3-6. Le 5^e percentile des niveaux de bruit résiduels large bande, entre 20 Hz et 20 kHz, mesurés par la station de mesure fixe mouillée près de l'embouchure (Anse à la Boule) en absence de navires identifiables et de traversiers en mouvement, est de 98,7 dB [20Hz-20kHz] rms re 1 µPa et la médiane est de 99,8 dB [20Hz-20kHz] rms re 1 µPa. Ce niveau est proche des niveaux médians de bruit ambiant de 100 dB [10 Hz-14,3 kHz] rms re 1 µPa mesurés par le MPO à Cacouna (Simard, 2014) et du bruit naturel de 96 dB [1 kHz et 20 kHz] rms re 1 µPa estimé dans Gervaise (2012) au site de pointe Noire. Il est important de noter qu'au site de l'Anse à la Boule, les bruits des traversiers de Tadoussac sont parfaitement perceptibles et qu'ils entraînent une augmentation de la pression sonore moyenne, calculée à chaque 0,5 s, de l'ordre de 25 dB [20Hz-20kHz] re 1 µPa relativement aux périodes en absence de traversier (fig. 3-6).

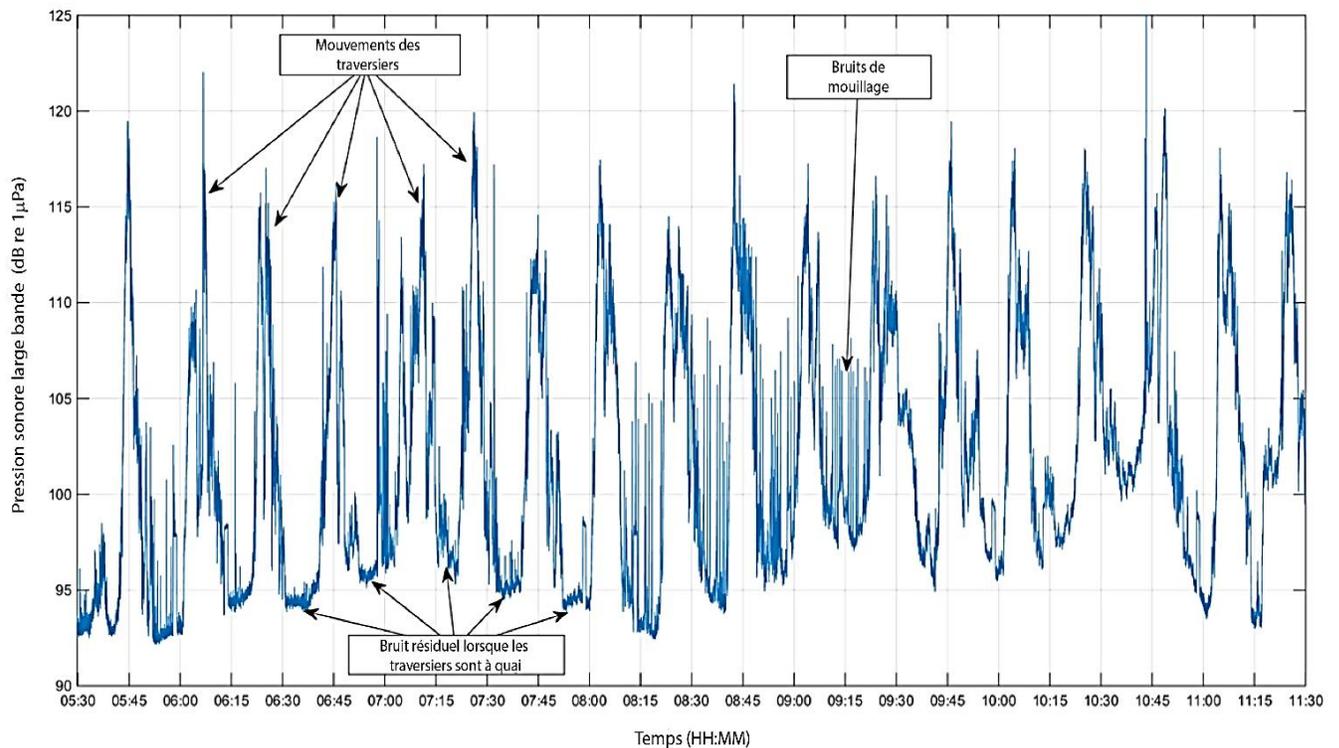


Figure 3-6: Évolution du niveau de bruit ambiant pendant 6 h à la station de mesure fixe P1 (Anse à la Boule). On distingue le mouvement des traversiers à toutes les 20 minutes.

Aux points de mesure fixes P2, P3 et P4, le 5^e percentile des niveaux de bruit résiduel, entre 20 Hz et 20 kHz, varie de 89,6 à 93,2 dB rms re 1 µPa selon les sites et le moment des mesures. La médiane du bruit résiduel varie pour sa part de 89,7 à 94 dB rms re 1 µPa. Ces niveaux sont uniformes aux trois sites de mesure, malgré la grande distance qui les sépare. Ils sont de 10 dB inférieurs aux niveaux mesurés à l’embouchure (P1).

Cette différence s’explique en grande partie par la distance qui sépare les stations P2 à P4 de l’embouchure du Saguenay et de l’estuaire du Saint-Laurent, dans lesquels se concentre la majorité des sources sonores de forte puissance (navires marchands, traversiers). Si l’on ajoute à cela la sinuosité du Saguenay, ces stations de mesures sont relativement isolées des bruits anthropiques qui prévalent dans l’estuaire. Les niveaux de bruit résiduel mesurés par les deux hydrophones µAural (station mobile D8 à proximité de P4) sont de 88,5 et 89,3 dB rms re 1 µPa pour le 5^e percentile et de 95 et 96,6 dB rms re 1 µPa pour la médiane.

RÉSULTATS EN LARGE BANDE DU BRUIT DES NAVIRES

Les niveaux de bruit large bande des bateaux devaient initialement être calculés entre 20 Hz et 96 kHz, afin d'inclure toute la gamme des fréquences audibles par les bélugas. Cependant, au-delà de 20 kHz, les hydrophones SM3M ont produit un bruit électronique trop important, particulièrement entre 30 kHz et 40 kHz, pour quantifier précisément les niveaux acoustiques reçus. On constate notamment la présence de raies spectrales et de bruits stationnaires large bande aux hautes fréquences, sur les spectrogrammes et les percentiles de DSP établis lors du passage des navires (annexe A-5). On ne peut donc exploiter pleinement les données au-delà de 20 kHz, sauf pour constater qualitativement la présence ou l'absence de bruit de navires à ces fréquences, tel que présenté à la section 3.4.1.

À titre informatif, nous avons superposé les niveaux de bruit large bande dans la bande 20 Hz-20 kHz avec ceux dans la bande 20 Hz-60 kHz. Les figures à l'annexe A-5 montrent que lorsque le navire est au plus proche des stations de mesure, les niveaux acoustiques sans pondération dans ces deux bandes de fréquences sont similaires (moins de 0,3 dB de différence). Cela montre donc que, bien que les navires émettent des sons aux hautes fréquences, la majorité de l'énergie se concentre aux basses fréquences. On peut donc considérer que l'énergie émise aux hautes fréquences est plutôt négligeable relativement à l'énergie émise aux basses fréquences. L'analyse en bandes fines et les percentiles de la DSP permettent de quantifier cette répartition fréquentielle de la puissance acoustique des navires.

RÉSULTATS EN BANDES FINES

Les densités spectrales de puissance obtenues pour chacun des navires sont conformes aux attentes, avec des niveaux acoustiques maximums atteints entre 40 et 100 Hz, atteignant 100 à 130 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ (fig. 3-7). Compte tenu des distances estimées entre les navires et les stations d'enregistrement au point le plus rapproché, ces niveaux sont similaires à ceux présentés pour un porte-conteneurs mesuré à 1 710 m par McQuinn et coll. (2011).

Au-dessus de 100 Hz, nous constatons des variations distinctes pour le 100^e percentile. Un premier groupe de navires (Riogrita le 12 juin, Acadia Desgagnés et Panasiatic le 21 juin) présente une décroissance linéaire de la puissance acoustique entre 100 Hz et 3 kHz. Un second groupe de navires (Nautical Hilary et Lowlands Saguenay le 15 juin, Anmare le 22 juin, Acadia Desgagnés le 22 juin) présente une première atténuation des puissances acoustiques de l'ordre de 5 à 10 dB entre 90 Hz et 150 Hz, avant d'avoir une décroissance beaucoup plus douce aux fréquences supérieures, entre 150 Hz et 3 kHz. Ceci a pour conséquence que les navires du second groupe ont systématiquement des niveaux aux hautes fréquences de 10 à 20 dB inférieurs à ceux du premier groupe.

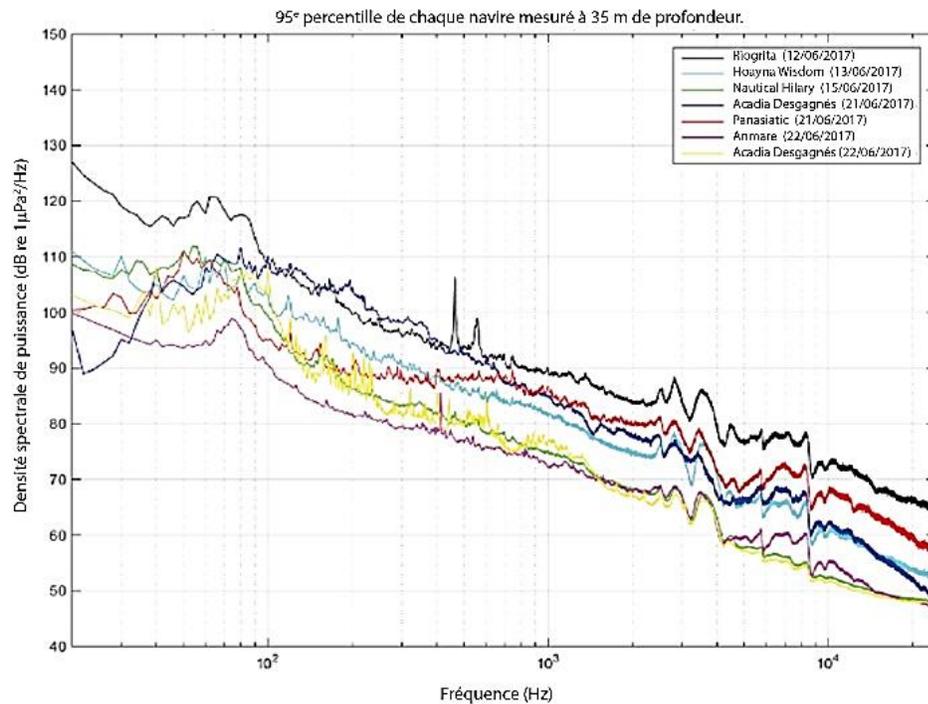
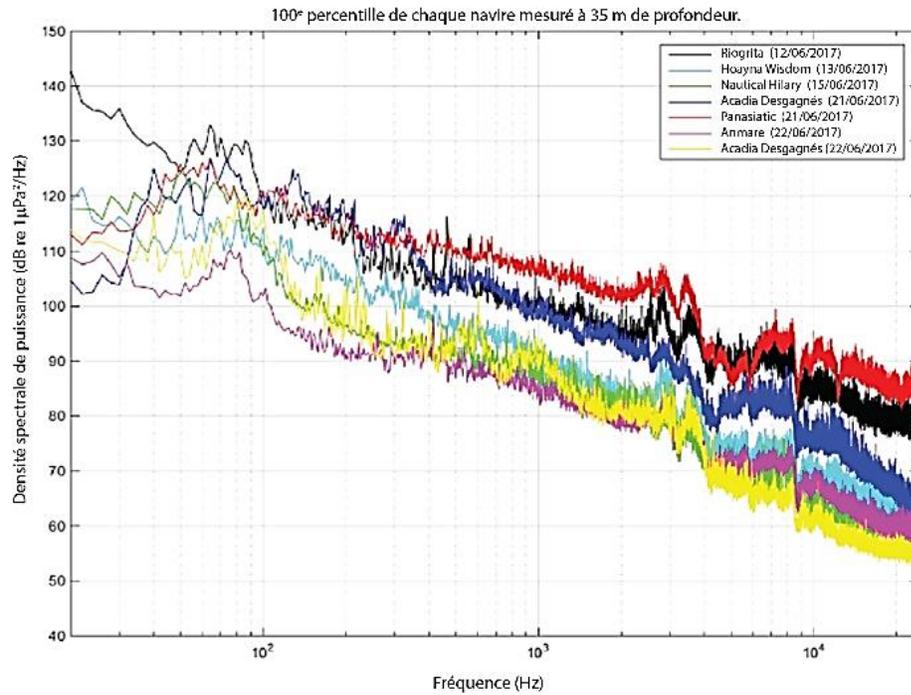


Figure 3-7: 100^e percentile (en haut) et 95^e percentile (en bas) des DSP de 7 passages de navires mesurés par l'hydrophone μAural #7004.

3.5 CONTRIBUTION DES GRANDS NAVIRES À L'INTENSITÉ (SPL) ET À L'EXPOSITION SONORE (SEL)

Le passage de navires dans la rivière Saguenay entraîne des variations de la pression sonore moyenne (rms estimée par période de 0,5 s). Cette pression sonore augmente progressivement lorsqu'un navire se rapproche de la station de mesure, jusqu'à atteindre une valeur maximale lorsque la distance entre le navire et la station de mesure est la plus courte. Par la suite, la pression sonore moyenne décroît à mesure que le navire s'éloigne. L'objectif de cette section est de calculer et de comparer la contribution des navires à la variation des niveaux de pression sonore et d'exposition sonores associés à leurs passages. Étant donné que les pressions sonores mesurées doivent éventuellement être comparées au seuil de 120 dB rms re 1µPa considéré comme pouvant induire des modifications comportementales chez les cétacés, nous référons principalement aux résultats non pondérés dans cette section. En effet, le seuil de 120 dB n'est pas une valeur pondérée.

3.5.1 STATIONS FIXES

Le [tableau 3-3](#) présente le niveau d'exposition sonore (SEL) calculé avec et sans pondération, ainsi que les percentiles des niveaux de pression sonore (SPL) moyens mesurés (rms sur 0,5 s) sans pondération pour neuf (9) passages de navires associés à sept (7) navires différents. Le [tableau 3-4](#) présente pour sa part les percentiles des niveaux de pression sonore moyens (rms sur 0,5 s) enregistrés en absence de navires dans les heures précédant ou suivant le passage des navires mesurés dans le cadre de cette étude. Ces dernières mesures sont considérées comme étant le niveau de bruit résiduel aux stations P1 à P4, c'est-à-dire en absence de toute source sonore anthropique identifiable.

L'examen du [tableau 3-3](#) montre que les percentiles des pressions sonores mesurées pour chacun des passages de navire sont très similaires d'un navire à l'autre. La moyenne du 100^e centile des niveaux de pression sonore pour les 9 passages est de 124,6 ± 6,6 dB rms re 1 µPa (min : 112,2 dB, max : 135 dB). Ces similitudes peuvent s'expliquer par l'uniformité relative des trajectoires et des distances des navires par rapport aux stations d'enregistrements, ainsi que par la réverbération dans la rivière Saguenay, qui tend à générer un champ acoustique diffus.

Le calcul de la différence entre le 100^e percentile du niveau de pression sonore, mesuré lors du passage des navires, et du 5^e percentile, mesuré en absence de navire dans le périmètre d'étude ([tableaux 3-3 et 3-4](#)), permet d'évaluer l'augmentation maximale du niveau de bruit pour chaque passage de navire. En moyenne, l'augmentation maximale de la pression sonore mesurée est de 37,4 dB rms re 1 µPa pour les 9 passages de navire.

Tableau 3-3 Résultats des analyses du bruit large bande [20 Hz ; 20 kHz] pour les stations fixes (SEL et SPL sans pondération).

| NOM DU NAVIRE | CATÉGORIE CAPACITÉ (TPL) LONGUEUR (m) | POINT DE MESURE [DIRECTION] (DATE) | SEL CUMULÉ (dB re 1µPa ² .s) | SPL rms [20 HZ ; 20 KHZ] (dB re 1µPa) | | | | | |
|--|---|---|--|---------------------------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | PERCENTILES | | | | | |
| | | | | 5° | 25° | 50° | 75° | 95° | 100° |
| Riogrita | Vraquier 75 378 225 | P1 [Montée] (12/06/2017) | 154 | 91 | 94,4 | 99,8 | 109,5 | 126 | 135 |
| Hoayna Wisdom | Vraquier 21 118 153 | P3 [Descente] (13/06/2017) | 147,3 | 99,7 | 104,1 | 108,6 | 112,3 | 122,3 | 126,5 |
| Acadia Desgagnés | Vraquier 10 396 120 | P3 [Descente] (14/06/2017) | 146 | 89,9 | 93,3 | 97,8 | 105,9 | 117,1 | 123,1 |
| Nautical Hilary et Lowlands Saguenay | Vraquiers 63 531 / 37 152 200 / 180 | P3 [Montée] (15/06/2017) | 146,3 | 90,3 | 92,2 | 95,9 | 110,5 | 116,8 | 120,9 |
| Riogrita | Vraquier 75 378 225 | P3 [Descente] (15/06/2017) | 147,1 | 90,7 | 91,6 | 98,9 | 109,7 | 117,9 | 125,7 |
| Acadia Desgagnés | Vraquier 10 396 120 | P4 [Montée] (21/06/2017) | 146,4 | 90,7 | 96,8 | 100 | 104,3 | 114,9 | 124,2 |
| Panasiatic | Vraquier 82 962 229 | P4 [Montée] (21/06/2017) | 150,9 | 92,7 | 96,4 | 97,9 | 102,7 | 117,1 | 129,2 |
| Anmare | Vraquier 3 689 88 | P4 [Montée] (22/06/2017) | 139,4 | 91,8 | 94 | 96 | 100,7 | 108,9 | 112,2 |
| Acadia Desgagnés | Vraquier 10 396 120 | P4 [Descente] (22/06/2017) | 148,4 | 91,9 | 97,3 | 103,5 | 109,4 | 118,3 | 125,4 |
| Moy. ± É.T | | | 147,3 ± 4,0 | 92,1 ± 3,0 | 95,6 ± 3,8 | 99,8 ± 4,0 | 107,2 ± 4,0 | 117,7 ± 4,7 | 124,6 ± 6,6 |

Tableau 3-4 Résultats des analyses du niveau de bruit résiduel (en absence de navire) dans les minutes précédant et suivant le passage des navires enregistrés sur la rivière Saguenay (valeurs non pondérées).

| NOM DU NAVIRE | CATÉGORIE CAPACITÉ (TPL) LONGUEUR (m) | POINT DE MESURE [DIRECTION] (DATE) | SPL rms [20 HZ ; 20 KHZ] (dB re 1µPa) | | | | | |
|---|---|--|---------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | | | PERCENTILES | | | | | |
| | | | 5 ^e | 25 ^e | 50 ^e | 75 ^e | 95 ^e | 100 ^e |
| Riogrita | Vraquier 75 378 225 | P1 [Montée] (12/06/2017) | 90,12 | 90,25 | 90,48 | 90,71 | 91,16 | 91,93 |
| Hoayna Wisdom | Vraquier 21 118 153 | P3 [Descente] (13/06/2017) | 98,7 | 99,2 | 99,8 | 100,5 | 101,2 | 101,5 |
| Acadia Desgagnés | Vraquier 10 396 120 | P3 [Descente] (14/06/2017) | 89,62 | 89,68 | 89,7 | 89,76 | 89,8 | 89,9 |
| Nautical Hilary et Lowlands Saguenay | Vraquiers 63 531 / 37 152 200 / 180 | P3 [Montée] (15/06/2017) | 89,93 | 90,06 | 90,16 | 90,27 | 90,36 | 90,39 |
| Riogrita | Vraquier 75 378 225 | P3 [Descente] (15/06/2017) | 90,37 | 90,58 | 90,75 | 91,02 | 91,54 | 91,80 |
| Acadia Desgagnés | Vraquier 10 396 120 | P4 [Montée] (21/06/2017) | 89,62 | 89,72 | 89,84 | 89,99 | 90,15 | 90,19 |
| Panasiatic | Vraquier 82 962 229 | P4 [Montée] (21/06/2017) | 91,37 | 91,63 | 91,87 | 92,07 | 92,333 | 92,40 |
| Anmare | Vraquier 3 689 88 | P4 [Montée] (22/06/2017) | 92,02 | 92,22 | 92,36 | 92,53 | 92,72 | 92,80 |
| Acadia Desgagnés | Vraquier 10 396 120 | P4 [Descente] (22/06/2017) | 93,17 | 93,67 | 94,00 | 94,28 | 94,52 | 94,60 |
| Moy. ± É.T | | | 91,7 ± 3,0 | 91,9 ± 3,2 | 92,1 ± 3,4 | 92,3 ± 3,6 | 92,6 ± 3,7 | 92,8 ± 3,8 |

3.5.2 STATIONS DÉRIVANTES

Le tableau 3-5 présente le niveau d'exposition sonore (SEL) calculé avec pondération et sans pondération, ainsi que les percentiles des niveaux de pression sonore (SPL) moyens mesurés (rms sur 0,5 s) sans pondération pour 8 passages de navires associés à sept navires différents. Le tableau 3-6 présente pour sa part les percentiles des niveaux de pression acoustique moyens (rms sur 0,5 s) enregistrées par les trois hydrophones en absence de navire, tels que mesurés le 22 juin 2017 entre 0 h 10 et 1 h 45. Ces dernières mesures sont considérées comme étant le niveau de bruit résiduel en absence de toute source sonore anthropique identifiable. De même que pour les stations de mesure fixe, la comparaison des tableaux 3-5 et 3-6 permet de quantifier l'augmentation du niveau de pression sonore lors du passage des navires.

De manière générale, l'examen du tableau 3-5 montre que les niveaux mesurés par les hydrophones μ Aural #7003 et μ Aural #7004 sont très proches et ce, pour la majorité des percentiles. Les niveaux de pression sonore, en particulier quand le navire est au plus proche des stations de mesure, diffèrent généralement par moins de 2 dB. La forte réverbération dans le Saguenay, qui tend à générer un champ acoustique diffus peut expliquer ces résultats, car les profondeurs auxquelles étaient immergés les deux hydrophones μ Aural (35 et 98 m) ne semblent pas influencer fortement les niveaux reçus. Une plus grande différence entre les niveaux acoustiques est toutefois observée entre les hydrophones μ Aural et l'appareil SM3M, ce que nous attribuons aux cartes d'acquisition de ces hydrophones de modèles différents.

L'étude du 100^e percentile permet d'évaluer les niveaux reçus les plus élevés lors du passage des navires. La moyenne des 100^es percentiles mesurés (non pondérés) est de $137,4 \pm 8,0$ dB rms re 1 μ Pa pour les trois hydrophones (min : 114,1 dB, max : 146,7 dB). Étant donné que ces résultats correspondent aux pressions acoustiques reçues et non aux pressions acoustiques à la source (c.-à-d. à 1 m du navire), la valeur du 100^e percentile aurait été supérieure si les navires étaient passés plus proches des hydrophones. En effet, les niveaux de pression sonore à 1 m des navires marchands peuvent être supérieurs à 197 dB rms re 1 μ Pa à 1 m (Simard, 2016).

Le calcul de la différence entre le 100^e percentile du niveau de pression sonore mesuré lors du passage des navires (tableau 3-5) et du 5^e percentile du niveau de pression sonore mesuré en absence de navire (tableau 3-6), permet de connaître l'augmentation maximale du niveau de bruit à chacun des hydrophones et pour chaque passage de navire. En moyenne, l'augmentation maximale de la pression sonore mesurée est de 43,6 dB rms re 1 μ Pa pour tous les hydrophones. La moyenne pour chaque hydrophone est : 40,4 dB rms re 1 μ Pa pour le SM3M, 44,7 dB rms re 1 μ Pa pour le μ Aural #7004, et 44,6 dB rms re 1 μ Pa pour le μ Aural #7003.

Les niveaux d'expositions sonores obtenus pour les huit passages de navires sont en moyenne de 157,7 dB re 1 μ Pa².s en absence de pondération.

Tableau 3-5 Résultats des analyses du bruit large bande [20 Hz ; 20 kHz] pour les stations dérivantes (SEL et SPL sans pondération).

| NOM DU NAVIRE | CATÉGORIE CAPACITÉ (TPL) LONGUEUR (m) | POINT DE MESURE [DIRECTION] (DATE) | SEL CUMULÉ (dB re 1µPa².s) | SPL rms [20 HZ ; 20 KHZ] (dB re 1µPa) | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | | | | PERCENTILES | | | | | |
| | | | | 5 ^e | 25 ^e | 50 ^e | 75 ^e | 95 ^e | 100 ^e |
| Riogrita | Vraquier | D1 Montée (12/06/2017) | 163,5 ¹ | 113 | 119,5 | 123,9 | 128,6 | 134,3 | 144,9 |
| | 75 378 | | 165,0 | 117,2 | 123,3 | 128,5 | 133 | 137,7 | 146,7 |
| | 225 | | 163,2 | 117,9 | 124,1 | 127,1 | 130,2 | 136,7 | 141,8 |
| Hoayna Wisdom | Vraquier | D2 Descente (13/06/2017) | 146,9 | 105,7 | 112,1 | 115,2 | 117,4 | 120,6 | 123,9 |
| | 21 118 | | 151,5 | 111,8 | 117,4 | 119,9 | 121,9 | 124,9 | 128,6 |
| | 153 | | 152,0 | 110,7 | 117,2 | 119,9 | 122,4 | 125,7 | 130,4 |
| Nautical Hilary et Lowlands Saguenay | Vraquiers | D3 Montée (15/06/2017) | 148,4 | 95,3 | 99,3 | 103,1 | 111,7 | 117,9 | 130,2 |
| | 63 531 / 37 152 | | 154,3 | 100,3 | 106,6 | 111,3 | 117,2 | 123,8 | 127,2 |
| | 200 / 180 | | 153,7 | 100,2 | 105,2 | 109,8 | 116,7 | 123,3 | 127,9 |
| Riogrita | Vraquier | D4 Descente (15/06/2017) | 151,5 | 95 | 98,9 | 109,5 | 116,4 | 121,3 | 128,8 |
| | 75 378 | | 157,4 | 104,3 | 111,9 | 116,2 | 121,5 | 126,8 | 132,7 |
| | 225 | | 157,5 | 101,4 | 108,6 | 115,0 | 121,5 | 127,1 | 134,3 |
| Acadia Desgagnés | Vraquier | D5 Montée (21/06/2017) | 156,6 | 89,5 | 100,4 | 116,6 | 121,1 | 127,5 | 136,0 |
| | 10 396 | | 158,6 | 92,8 | 104,8 | 119,1 | 122,5 | 130,9 | 134,9 |
| | 120 | | 159,7 | 92,5 | 105,7 | 120,1 | 124,0 | 131,1 | 136,3 |
| Panasiatic | Vraquier | D7 Montée (21/06/2017) | 151,8 | 95,7 | 100,1 | 105,5 | 114,3 | 119,7 | 127,7 |
| | 82 962 | | 159,8 | 100,0 | 107,1 | 111,5 | 117,8 | 125,7 | 138,9 |
| | 229 | | 158,8 | 99,2 | 106,4 | 109,8 | 118,6 | 124,5 | 139,1 |
| Anmare | Vraquier | D6 Montée (22/06/2017) | 141,1 | 93,5 | 95,5 | 98,7 | 103,8 | 109,5 | 114,1 |
| | 3 689 | | 147,9 | 96,9 | 103,8 | 107,9 | 111,6 | 115,1 | 121,8 |
| | 88 | | 146,2 | 96,4 | 101,5 | 105,5 | 109,3 | 114,1 | 117,8 |
| Acadia Desgagnés | Vraquier | D8 Descente (22/06/2017) | 148,0 | 95,6 | 103,2 | 107,3 | 112,2 | 118,0 | 135,9 |
| | 10 396 | | 152,8 | 104,7 | 110,1 | 113,4 | 117,3 | 122,7 | 127,4 |
| | 120 | | 153,0 | 103,3 | 109,4 | 112,5 | 117,2 | 123,1 | 126,7 |
| Moy. ± É.T | | | 151 ± 6,8 | 97,9 ± 7,6 | 106,6 ± 8,1 | 110,0 ± 8,2 | 115,7 ± 7,3 | 121,1 ± 7,3 | 130,2 ± 9,2 |
| | | | 155,9 ± 5,4 | 103,5 ± 7,9 | 110,6 ± 6,7 | 116,0 ± 6,5 | 120,4 ± 6,2 | 126 ± 6,5 | 132,3 ± 7,9 |
| | | | 155,5 ± 5,3 | 102,7 ± 8,1 | 109,8 ± 7,4 | 115,0 ± 7,0 | 120,0 ± 6,1 | 125,7 ± 6,6 | 131,8 ± 7,7 |

1. La première ligne d'une même case correspond aux données de l'hydrophone SM3M, la deuxième ligne à l'hydrophone µAural #7004 et la troisième ligne l'appareil µAural #7003.

Tableau 3-6 Résultats des analyses du bruit résiduel (sans navires) sur la station de mesure dérivante, pour les mesures prises le 22 juin 2017 dans le secteur de l'Anse de Sable, entre 00 h 10 et 01 h 45 (valeurs non pondérées).

| Hydrophone Profondeur (m) | SPL rms [20 HZ ; 20 KHZ] (dB re 1µPa) | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| | PERCENTILES | | | | | |
| | 5° | 25° | 50° | 75° | 95° | 100° |
| SM3M (15) | 91,3 | 92,8 | 93,7 | 95,0 | 98,2 | 111,9 |
| µAural #7004 (35) | 88,5 | 92,4 | 96,6 | 100,4 | 105,1 | 110,3 |
| µAural #7003 (100) | 89,3 | 92,2 | 95,0 | 97,5 | 101,3 | 107,8 |
| Moy. ± É.T | 89,7 ± 1,4 | 92,5 ± 0,3 | 95,1 ± 1,5 | 97,6 ± 2,7 | 101,5 ± 3,5 | 110,0 ± 2,1 |

3.5.3 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Afin d'estimer l'impact des sons continus sur les cétacés, le seuil de 120 dB rms re 1 µPa est souvent pris comme niveau de pression sonore au-delà duquel des modifications comportementales peuvent être notées chez les espèces telles que le béluga (Southall 2007, Lesage 2014). Les tableaux 3-3 et 3-5 montrent que ce seuil de 120 dB est systématiquement atteint lors du passage des navires (données sans pondération). Ce seuil doit cependant être pris avec précaution, en raison de la forte disparité des niveaux sonores susceptibles d'entraîner des modifications comportementales (Southall 2007). Il s'agit par ailleurs d'un bruit transitoire, du fait que le navire est en mouvement, contrairement à une source fixe de bruit continu.

Sur la station de mesure fixe, la valeur 120 dB rms re 1 µPa se situe entre les 95^e et 100^e percentiles des niveaux de pression sonore mesurés selon les navires (tableaux 3-3). Cela signifie que pour des animaux qui se trouveraient à la position des hydrophones et qui verraient passer des navires à des distances similaires à celles observées pendant notre campagne de mesures, l'élévation du niveau de pression sonore lors du passage des navires entraînerait des modifications comportementales dans moins de 5 % des cas en raison des niveaux sonores atteints. De la même façon, sur la station de mesure dérivante, la valeur 120 dB rms re 1 µPa se situe, selon les bateaux, entre les 50^e et 95^e percentiles des niveaux de pression sonore mesurés (tableau 3-5). Cela signifie donc que pour des animaux qui se trouveraient à la position des hydrophones et qui verraient passer des navires à des distances similaires à celles observées pendant notre campagne de mesures, le niveau de pression sonore pourrait entraîner des modifications comportementales entre 5 % et 50 % des cas. Nous attribuons les différences de résultats entre les stations fixes et la station dérivante au fait que les navires sont généralement passés plus près de la station dérivante que des stations fixes.

Finalement, les niveaux d'expositions sonores mesurés aux stations fixes et aux stations dérivantes sont nettement inférieurs au seuil de 198 dB re 1 µPa².s sur 24h pouvant générer des pertes auditives temporaires (NMFS, 2016).

3.5.4 ANALYSE TRIDIMENSIONNELLE

La rivière Saguenay représente un environnement acoustique particulier. Bien que ses eaux soient profondes, ses fortes pentes rocheuses et sa largeur de 1 à 2 km font en sorte que le bruit s'y propage différemment qu'en milieu aquatique complètement ouvert, où il peut se disperser librement dans toutes les directions. La configuration du Saguenay favoriserait plutôt la canalisation du son. Dans l'axe horizontal, cela se traduit par la réception du bruit d'un navire bien avant son arrivée et bien après son passage en un point donné. En distance, nos mesures montrent que le bruit d'un navire peut être détecté par les hydrophones alors qu'il se trouve aussi loin qu'une trentaine de kilomètres. Il va sans dire que, malgré la forte profondeur du Saguenay, le bruit du passage d'un navire se propage facilement jusqu'au fond.

Étant donné la configuration particulière du Saguenay, les modèles et outils de modélisation conventionnels ne permettent pas de cartographier de façon fiable la propagation sonore dans un tel environnement, notamment sur de longues distances horizontales et, plus particulièrement, dans l'axe vertical. Le modèle de dispersion sphérique ne peut s'appliquer, pas plus que le modèle de dispersion cylindrique. Pour simuler adéquatement la propagation particulière du son dans l'environnement du Saguenay, il faudra éventuellement développer des modèles basés sur une connaissance plus détaillée de la bathymétrie et des autres caractéristiques pouvant influencer la propagation du son dans l'environnement particulier du Saguenay, notamment sa réflexion sur les rives rocheuses, de même que sur des mesures *in situ* beaucoup plus nombreuses et prolongées de cette propagation. Il n'en demeure pas moins que les données récoltées dans le cadre de ce projet suggèrent que la réverbération par les parois du Saguenay facilite la propagation du bruit et ce, tant dans l'axe horizontal que vertical. La propagation verticale particulière est notamment suggérée par le peu d'atténuation du bruit mesurée par nos instruments à différentes profondeurs (tableau 3-5).

Il résulte aussi de la configuration du Saguenay que les bélugas peuvent difficilement s'éloigner latéralement ou verticalement de la trajectoire des navires. Cependant, la sinuosité de la rivière, notamment entre son embouchure et le secteur de la baie Sainte-Marguerite, contribue à isoler ce dernier du bruit des traversiers entre Tadoussac et Baie Sainte-Catherine et du trafic important dans l'estuaire du Saint-Laurent. Cette sinuosité devrait également être prise en compte pour modéliser adéquatement la propagation du son dans le Saguenay.

3.6 DURÉE D'EXPOSITION AU BRUIT GÉNÉRÉ PAR LE PASSAGE DE GRANDS NAVIRES

Lorsqu'un bateau monte ou descend le Saguenay, celui-ci génère un bruit perceptible par les hydrophones bien avant et bien après qu'il ne soit à proximité des instruments. Pour mesurer la durée de ce bruit, la variation de pression sonore large bande a été utilisée pour détecter le moment où le bruit généré par un navire en approche entraîne une augmentation du niveau du bruit ambiant mesuré, de même que le moment où ce navire s'éloignant des stations de mesure n'affecte plus le niveau de bruit ambiant (fig. 3-8). La durée écoulée entre ces deux instants représente la durée de détection du bruit du navire par nos instruments. La durée effective d'exposition du béluga à ce bruit a, quant à elle, été estimée avec la pondération C, l'objectif étant de quantifier le son perçu par les bélugas et non l'intégralité de celui capté par nos instruments, tel que discuté à la section 2.5.3.

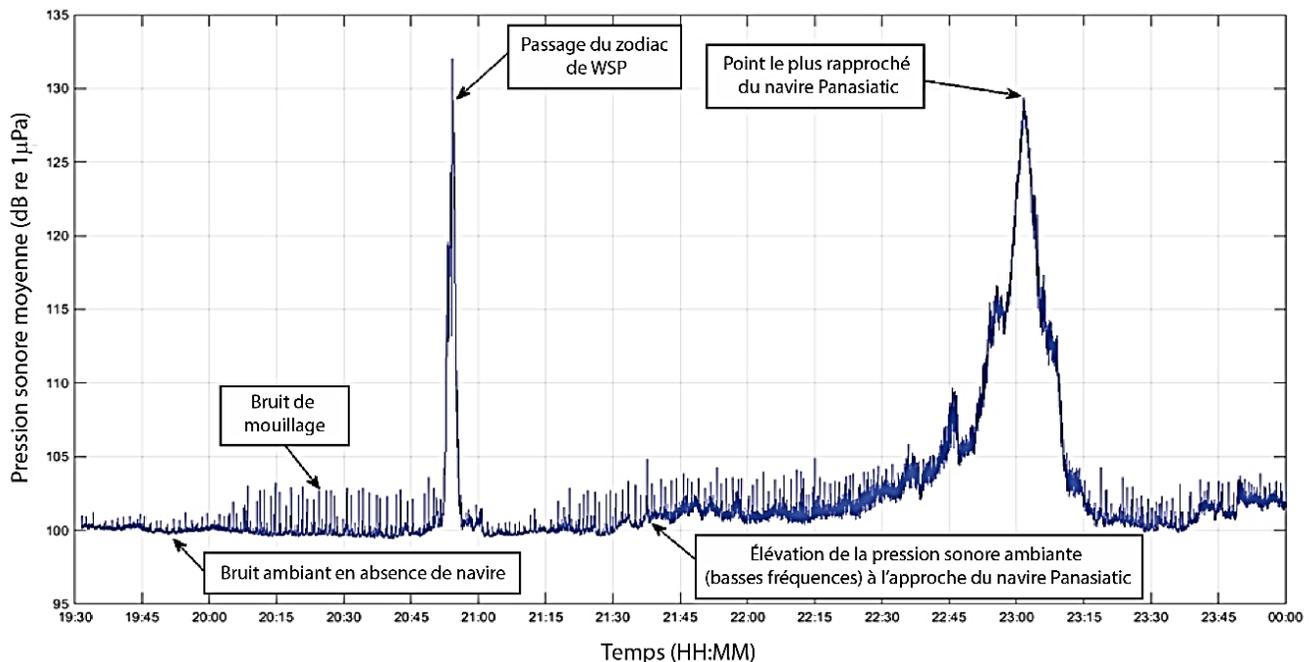


Figure 3-8: Exemple de l'évolution de la pression sonore moyenne large bande, avant, pendant et après le passage du navire Panasiatic le 21 juin 2017.

3.6.1 STATIONS FIXES

Les résultats des calculs de la contribution des navires à l'interruption des périodes sans bruit pour neuf (9) passages de navires, associés à sept (7) navires différents, sont résumés au tableau 3-7. Les résultats détaillés (évolution de la pression sonore moyenne en fonction du temps, percentiles de la DSP, spectrogramme, etc.) de chaque passage sont présentés à l'annexe A-5. Lors de l'un de ces passages, deux navires se suivaient à quelques minutes d'intervalle et n'ont pu être séparés acoustiquement. La durée d'exposition a donc été calculée en considérant ces deux navires simultanément.

Les résultats obtenus montrent une durée d'exposition moyenne de $17,2 \pm 8,4$ min avec la pondération C (tableau 3-7). Cette durée d'exposition se traduit, en termes de distance insonifiée, par une détection des navires à une distance moyenne de 3,4 km (min : 1,9 km, max : 5,4 km) avant leur passage devant la station et une distance moyenne de 4,4 km (min : 3,2 km, max : 6,5 km) après leur passage. Les distances de détection les plus courtes correspondent aux navires qui sont passés devant la station P4 en provenance ou en direction de Grande Anse, et qui étaient masqués de l'hydrophone par le Cap à l'Est. La distance moyenne la plus courte entre les stations d'enregistrement et les navires en mouvement a été de 1,4 km (min : 0,8 km, max : 2,2 km). Les cartes A-7, A-8, A-9, A-10, A-12, A-14 et A-15 en annexe présentent la trajectoire des navires dans la rivière Saguenay et la position des stations de mesure fixe.

3.6.2 STATIONS DÉRIVANTES

L'objectif des mesures avec la station de mesure dérivante munie de trois hydrophones à des profondeurs différentes, était de calculer et de comparer la durée d'exposition et l'étendue spatiale insonifiée par le bruit des navires à différentes profondeurs dans chacun de nos quatre secteurs à l'étude. Les résultats obtenus pour huit (8) passages de navires, associés à sept (7) navires différents sont résumés dans le tableau 3-8. Les résultats détaillés (évolution de la pression sonore moyenne en fonction du temps, percentiles de la DSP, spectrogramme, etc.) de chaque passage sont disponibles à l'annexe A-5. Les résultats montrent que l'évolution du niveau de bruit large bande [20 Hz ; 20 kHz] est très similaire aux trois hydrophones à 15 m, 35 m et 98 m de profondeur (annexe A-5). Par conséquent, nous considérons que la durée d'exposition lors du passage du navire ainsi que les distances auxquelles les navires peuvent être détectés en phase d'approche et en phase d'éloignement sont les mêmes aux trois profondeurs (tableau 3-8). Comme pour les stations fixes, le passage de deux navires qui se suivaient à quelques minutes d'intervalles et n'ont pu être séparés acoustiquement. La durée d'exposition a donc été calculée en considérant ces deux navires simultanément.

Les résultats obtenus montrent une durée d'exposition moyenne de $24,3 \pm 12,4$ min avec la pondération C. Cette durée d'exposition se traduit, en termes de distance insonifiée, par une détection des navires à une distance moyenne de 3,8 km (min : 2,8 km, max : 4,4 km) avant leur passage devant la station dérivante et une distance moyenne de 6,8 km (min : 4,6 km, max : 10 km) après leur passage. La distance moyenne la plus courte entre les stations d'enregistrement et les navires en mouvement a été de 1,0 km (min : 0,3 km, max : 1,5 km).

Les cartes A-6, A-11, A-13 et A-16 présentent la trajectoire des navires dans la rivière Saguenay et la position des stations de mesure dérivantes.

Tableau 3-7 Résultats des analyses du bruit large bande [20 Hz ; 20 kHz] (avec pondération C) pour les stations fixes : estimation des durées d'exposition lors du passage des navires et de la distance insonifiée.

| NOM DU NAVIRE | CATÉGORIE CAPACITÉ (TPL) LONGUEUR (m) | POINT DE MESURE [DIRECTION] (DATE) | VITESSE (kn) | POINT LE PLUS PROCHE (m) | DURÉE D'EXPOSITION SONORE (min) | DISTANCE AU NAVIRE AU DÉBUT DE LA RÉCEPTION (m) | DISTANCE AU NAVIRE À LA FIN DE LA RÉCEPTION (m) |
|--|---|---|-----------------|--------------------------------|--|--|--|
| Riogrita | Vraquier 75 378 225 | P1 [Montée] (12/06/2017) | n-d | n-d | 30 | n-d | n-d |
| Hoayna Wisdom | Vraquier 21 118 153 | P3 [Descente] (13/06/2017) | n-d | n-d | 11 | n-d | n-d |
| Acadia Desgagnés | Vraquier 10 396 120 | P3 [Descente] (14/06/2017) | n-d | n-d | 11 | n-d | n-d |
| Nautical Hilary et Lowlands Saguenay | Vraquiers 63 531 / 37 152 200 / 180 | P3 [Montée] (15/06/2017) | 10,7 | 1 289 1 500 | 30 | n-d | 6 502 3 685 |
| Riogrita | Vraquier 75 378 225 | P3 [Descente] (15/06/2017) | 13 | 1 209 | 17 | 3 482 | 3 163 |
| Acadia Desgagnés | Vraquier 10 396 120 | P4 [Montée] (21/06/2017) | 12,2 | 856 | 9 | n-d | n-d |
| Panasiatic | Vraquier 82 962 229 | P4 [Montée] (21/06/2017) | 10,6 | 830 | 23 | 5 359 | 4 166 |
| Anmare | Vraquier 3 689 88 | P4 [Montée] (22/06/2017) | 11 | 2 203 | 12 | 1 880 | 4 454 |
| Acadia Desgagnés | Vraquier 10 396 120 | P4 [Descente] (22/06/2017) | 13,2 | 1 794 | 12 | 2 910 | 4 582 |
| Moy. ± É.T. | | | 11,8 ± 1,2 | 1 383± 496 | 17,2 ± 8,4 | 3 408± 1 460 | 4 425 ± 1 144 |

n-d : Valeurs non déterminées en raison de l'absence de données AIS pour le navire à cette position

Tableau 3-8 Résultats des analyses du bruit large bande [20 Hz ; 20 kHz] (avec pondération C) pour les stations dérivantes : estimation des durées d'exposition lors du passage des navires et de la distance insonifiée.

| NOM DU NAVIRE | CATÉGORIE CAPACITÉ (TPL) LONGUEUR (m) | POINT DE MESURE [DIRECTION] (DATE) | VITESSE (kn) | POINT LE PLUS PROCHE (m) | DURÉE D'EXPOSITION SONORE (min) | DISTANCE AU NAVIRE AU DÉBUT DE LA RÉCEPTION (m) | DISTANCE AU NAVIRE À LA FIN DE LA RÉCEPTION (m) |
|--------------------------------------|---|------------------------------------|--------------|--------------------------|---------------------------------|---|---|
| Riogrita | Vraquier 75 378 225 | D1 [Montée] (12/06/2017) | n-d | n-d | 26 | n-d | n-d |
| Hoayna Wisdom | Vraquier 21 118 153 | D2 [Descente] (13/06/2017) | n-d | n-d | 6 | n-d | n-d |
| Nautical Hilary et Lowlands Saguenay | Vraquiers 63 531 / 37 152 200 / 180 | D3 [Montée] (15/06/2017) | 10,7 | n-d | 38 | n-d | n-d |
| Riogrita | Vraquier 75 378 225 | D4 [Descente] (15/06/2017) | 12,4 | 1 536 | 27 | n-d | n-d |
| Acadia Desgagnés | Vraquier 10 396 120 | D5 [Montée] (21/06/2017) | n-d | | 15 | n-d | n-d |
| Panasiatic | Vraquier 82 962 229 | D7 [Montée] (21/06/2017) | 9,9 | 306 | 42 | 4 269,9 | 10 055,2 |
| Anmare | Vraquier 3 689 88 | D6 [Montée] (22/06/2017) | 10,7 | 1 209 | 25 | 4 417,9 | 4 621,6 |
| Acadia Desgagnés | Vraquier 10 396 120 | D8 [Descente] (22/06/2017) | 13,7 | 1 078 | 15 | 2 783,5 | 5 602,2 |
| Moy. ± É.T | | | 11,5 ± 1,5 | 1 045 ± 537 | 24,3 ± 12,1 | 3 824 ± 904 | 6 760 ± 2 896 |

n-d : Valeurs non déterminées en raison de l'absence de données AIS pour le navire à cette position.

3.6.3 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Les durées d'exposition mesurées par la station dérivante sont généralement plus courtes que celles mesurées par les stations fixes. Ceci est en particulier le cas pour les mesures du Riogrita le 12 juin 2017 et pour le Hoayna Wisdom le 13 juin 2017. Cela s'explique par le fait que la station de mesure dérivante était souvent mise à l'eau alors que les très basses fréquences du bateau (inférieures à 100 Hz) étaient déjà détectables et qu'elles étaient retirées alors qu'elles l'étaient encore. Comme le montrent les spectrogrammes et les DSP en annexe A-5, les navires émettent leurs sons les plus forts aux basses fréquences, avec un pic entre 50 et 100 Hz. En outre, les ondes basses fréquences s'atténuent dans l'eau beaucoup moins rapidement que les ondes hautes fréquences, ce qui les rend détectables à de plus grandes distances. Le cumul de ces deux facteurs rend les navires détectables à de très grandes distances.

Nous constatons néanmoins que la station de mesure dérivante a, en moyenne, permis de détecter les bateaux à de plus grandes distances que les stations de mesure fixes. Nous attribuons cette situation à la position des stations fixes plus près de la rive, qui a pu favoriser le masquage des sons par les caps situés à proximité, alors que la station dérivante était généralement mouillée plus au large. L'estimation des distances auxquelles sont captés les sons, ainsi que de la distance la plus courte entre le navire et les hydrophones ont aussi une certaine marge d'erreur, liée au léger décalage pouvant exister entre l'enregistrement AIS/GPS du positionnement des navires et l'horloge interne des hydrophones.

L'ensemble des calculs qui précèdent s'est limité à la bande de fréquences 20 Hz – 20 kHz. Elle ne prend donc pas en compte les fréquences supérieures audibles par le béluga. Cependant, les fréquences supérieures à 20 kHz se propagent sur de plus courtes distances que les basses fréquences, elles n'ont pas d'influence sur nos estimations des distances insonifiées par le passage des navires. Les spectrogrammes présentés en annexe A-5 montrent d'ailleurs que nous ne détectons les hautes fréquences que lorsque le navire est relativement rapproché des stations de mesure.

3.7 CONTRIBUTION MENSUELLE ACTUELLE DES GRANDS NAVIRES AU BRUIT SUBAQUATIQUE.

Dans une étude réalisée à l'embouchure du Saguenay, Gervaise et coll. (2012) rapportent que la navigation dans ce secteur, notamment l'opération continue de la ligne de traversiers, résulte en une réduction importante des périodes sans bruit en mai et en juin. Ainsi, durant cette période, l'ambiance sonore naturelle ne prévaut que 9,4 % du temps, principalement de nuit, alors que l'activité des traversiers est réduite et que les excursions d'observations des baleines sont à l'arrêt. Le trafic des traversiers ajoute de 30 à 35 dB au bruit ambiant lors de leurs passages, pour une contribution moyenne horaire de 8 à 14 dB. Quant aux bateaux d'excursions d'observation des baleines, ils contribuent selon Gervaise et coll. (2012) à une augmentation sonore de 5,6 dB durant les périodes achalandées.

Afin d'établir la contribution future du trafic de grands navires sur l'ambiance sonore le long du Saguenay, nous avons utilisé les données de trafic mensuel présentées au tableau 3-2. À cette fin, nous avons multiplié le nombre de mouvements mensuels par la durée moyenne de perceptibilité du bruit du passage des navires enregistrés aux stations fixes, en juin 2017, à divers points du Saguenay. Ces calculs ont été réalisés avec la pondération C, car il s'agit de l'approche la plus représentative du bruit réellement capté par les bélugas. Les résultats non pondérés sont présentés à l'annexe A-6.

En prenant comme base actuelle un trafic estimé à 450 mouvements par année et une durée moyenne de perceptibilité (avec pondération) du bruit de ces navires à 17 minutes, selon les durées établies aux stations fixes, nous pouvons estimer annuellement à 127 h la durée du bruit perceptible en un point du Saguenay résultant du passage des grands navires (tableau 3-9) De ce temps découle une période annuelle sans bruit de grands navires couvrant 98,6% du temps dans les conditions actuelles de navigation. Cette proportion du temps d'ambiance sonore sans bruit de grands navires est à son minimum à 97,9% (15 h) en octobre, au moment où le trafic de ces navires (trafic marchand et de croisière) est à son plus haut (tableau 3-9).

Si on se limite à la période où les bélugas sont les plus présents dans la rivière Saguenay, soit de mai à octobre inclusivement, la durée cumulée du bruit de passage des grands navires s'établirait à 73 h, pour une proportion de 98,3 % de temps sans bruit de grands navires (tableau 3-9).

Tableau 3-9 Contribution mensuelle actuelle du trafic de grands navires¹ aux bruits subaquatiques dans le Saguenay² (avec pondération C).

| MOIS | PÉRIODE BRUYANTE | | % DE TEMPS D'AMBIANCE SANS BRUIT DE GRANDS NAVIRES |
|---|------------------|------------|--|
| | (min) | (h) | |
| Jan | 422 | 7 | 99.1 |
| Fév | 408 | 7 | 99.0 |
| Mar | 473 | 8 | 98.9 |
| Avr | 653 | 11 | 98.5 |
| Mai | 716 | 12 | 98.4 |
| Jun | 682 | 11 | 98.4 |
| Jul | 668 | 11 | 98.5 |
| Aou | 636 | 11 | 98.6 |
| Sep | 768 | 13 | 98.2 |
| Oct | 921 | 15 | 97.9 |
| Nov | 653 | 11 | 98.5 |
| Déc | 609 | 10 | 98.6 |
| Total annuel | 7 608 | 127 | 98,6 |
| Moyenne mensuelle ± ÉT | 634 ± 146 | 10,6 ± 2,4 | 98,6 ± 0,3 |
| Total annuel en période de présence du béluga (mai à octobre) | 4 391 | 73 | 98,3 |

1. Période bruyante estimée en un point fixe situé sur le parcours des navires, en considérant une durée moyenne de 17 minutes de bruit perçu par les bélugas (pondération C).
2. Selon le trafic moyen de 2005 à 2016 (WSP / GCNN, 2017).

3.8 CONTRIBUTION FUTURE DES GRANDS NAVIRES AU BRUIT SUBAQUATIQUE.

3.8.1 SCENARIO 1A : AJOUT DE 60 NAVIRES (HORIZON 2020)

Tel que mentionné précédemment, il est prévu que 60 navires par année, soit un aux six jours, seront nécessaires d'ici 2020 pour l'expédition de concentré d'apatite d'Arianne Phosphate vers ses clients. Étant donné que Port de Saguenay n'a pas d'autres clients identifiés pour le moment, c'est cette hypothèse que nous avons d'abord considérée pour l'évaluation du bruit de navigation supplémentaire résultant de ce projet dans le Saguenay. Comme chaque chargement représente deux mouvements, soit un vers le port et un vers le large, ces 60 navires représentent 120 mouvements (en considérant que l'entente citée en 2.8 entre Arianne et Rio Tinto ne fonctionnerait pas) qui s'ajouteraient au trafic actuel estimé à 450 mouvements par année.

En fonction de cette hypothèse réaliste, nous estimons annuellement à 161 h la durée du bruit détectable en un point du Saguenay résultant du passage de grands navires en 2020, pour une proportion de temps sans bruit de grands navires de 98,2%, comparativement aux 98,6% qui prévalent actuellement (tableau 3-10). Si on ne considère que la période de mai à octobre où le béluga est présent dans le Saguenay, la durée mensuelle moyenne du bruit de passage des grands navires s'établirait à 90 h, pour une proportion de 97,9 % du temps sans bruit de tels navires (tableau 3-10).

3.8.2 SCENARIO 1B : AJOUT DE 140 NAVIRES (HORIZON 2030)

Si nous considérons plutôt l'hypothèse « maximale » présentée comme scénario pour l'horizon 2030 (WSP / GCNN, 2017), qui prévoit une fréquentation de 140 navires au terminal maritime en rive nord du Saguenay à pleine capacité, nous pouvons estimer à 206 h la durée du bruit détectable en un point du Saguenay résultant du passage de grands navires, pour une proportion d'ambiance sans bruit de grands navires de 97,6%, comparativement aux 98,6% qui prévalent actuellement (tableau 3-10). Si on ne considère que la période de mai à octobre où le béluga est présent dans le Saguenay, la durée mensuelle moyenne du bruit de passage des grands navires s'établirait à 113 h, pour une proportion de 97,4% du temps sans bruit de tels navires (tableau 3-10).

3.8.3 SCENARIO 2A : AJOUT DE 235 NAVIRES (HORIZON 2020)

En considérant l'effet cumulatif d'une augmentation du trafic de grands navires pour l'horizon 2020 aux installations maritimes voisines de Grande-Anse, du quai de Bagotville, de Rio Tinto et, éventuellement de GNL Québec, le scénario réaliste prévoit un trafic supplémentaire annuel atteignant 235 navires en 2020 (tableau 3-2 et fig. 3-8). Selon cette hypothèse, nous pouvons estimer à 260 h annuellement la durée du bruit détectable en un point donné résultant du passage de grands navires, pour une proportion annuelle d'ambiance sans bruit de grands navires de 97,0%, comparativement aux 98,6% qui prévalent actuellement (tableau 3-10). Si on ne considère que la période de mai à octobre où le béluga est présent dans le Saguenay, la durée mensuelle moyenne du bruit de passage des grands navires s'établirait à 139 h, pour une proportion de 96,8 % du temps sans bruit de tels navires (tableau 3-10).

3.8.4 SCENARIO 2B : AJOUT DE 410 NAVIRES (HORIZON 2030)

Finalement, en considérant l'effet cumulatif d'une augmentation du trafic grands navires aux installations maritimes voisines pour l'horizon 2030, le scénario maximum prévoit un trafic supplémentaire annuel atteignant 410 navires (tableau 3-2 et fig. 3-5). Selon cette hypothèse, nous pouvons estimer à 359 h annuellement la durée du bruit détectable en un point donné résultant du passage de grands navires, pour une proportion annuelle d'ambiance sans bruit de grands navires de 95,9% (tableau 3-10), comparativement aux 98,6% qui prévalent actuellement.

En ne considérant que de la période de mai à octobre où les bélugas sont présents dans la rivière Saguenay et à son embouchure, la durée cumulée du bruit de passage de grands navires circulant sur le Saguenay s'établirait à 189 h, pour une proportion de 95,7 % du temps sans bruit de tels navires (tableau 3-12).

Tableau 3-10 Contribution mensuelle du trafic de grands navires¹ au bruit subaquatique dans le Saguenay en fonction de scénarios réalistes et maximaux d'augmentation du trafic (avec pondération C).

| MOIS | DURÉE DES PÉRIODES BRUYANTE ² (h) | | | | |
|--------------|--|---|--|--|--|
| | SITUATION ACTUELLE ² | SCÉNARIO 1A AJOUT DE 60 NAVIRES AU TMRN (HORIZON 2020) | SCÉNARIO 1B AJOUT DE 140 NAVIRES AU TMRN (HORIZON 2030) | SCÉNARIO 2A EFFET CUMULATIF DE TOUS LES PROJETS (AJOUT DE 235 NAVIRES À L'HORIZON 2020) | SCÉNARIO 2B EFFET CUMULATIF DE TOUS LES PROJETS (AJOUT DE 410 NAVIRES À L'HORIZON 2030) |
| Jan | 7 | 10 | 14 | 18 | 26 |
| Fév | 7 | 10 | 13 | 18 | 26 |
| Mar | 8 | 11 | 14 | 19 | 27 |
| Avr | 11 | 14 | 17 | 22 | 30 |
| Mai | 12 | 15 | 19 | 23 | 31 |
| Jun | 11 | 14 | 18 | 22 | 31 |
| Jul | 11 | 14 | 18 | 22 | 30 |
| Aou | 11 | 13 | 17 | 22 | 30 |
| Sep | 13 | 16 | 19 | 24 | 32 |
| Oct | 15 | 18 | 22 | 26 | 35 |
| Nov | 11 | 14 | 17 | 22 | 30 |
| Déc | 10 | 13 | 17 | 21 | 30 |
| Total annuel | 126,8 | 160,8 | 206,1 | 260,0 | 359,1 |
| Moy. ± ÉT | 10,6 ± 2,4 | 13,4 ± 2,4 | 17,2 ± 2,4 | 21,7 ± 2,4 | 29,9 ± 2,4 |

| | | | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Durée annuelle sans bruit de grands navires(h) | 8 633 (98,6 %) | 8 599 (98,2 %) | 8 554 (97,6 %) | 8 500 (97,0 %) | 8 401 (95,9 %) |
| Durée sans bruit de grands navires en période de présence du béluga (h) (mai à octobre) | 4 443 (98,3 %) | 4 326 (97,9 %) | 4 303 (97,4 %) | 4 277 (96,8 %) | 4 227 (95,7 %) |

1. Selon le trafic moyen de 2005 à 2016 (WSP / GCNN, 2017).
2. Période bruyante estimée en un point fixe situé sur le parcours des navires, en considérant une durée moyenne de 17 minutes de bruit perçu par passage, c'est-à-dire en pondérant en fonction de l'audiogramme du béluga.

4 IMPACT SUR LE BÉLUGA

Malgré les caractéristiques acoustiques particulières inhérentes au Saguenay et la présence saisonnière d'une espèce menacée dans ses eaux, à savoir la population du béluga du Saint-Laurent, nos résultats suggèrent que l'augmentation du trafic de grands navires découlant du projet de terminal en rive nord du Saguenay ne constitue pas, dans la mesure des connaissances actuelles, un risque important quant à l'exposition du béluga au bruit subaquatique. D'une part, même à très courte distance, le bruit de navigation se situe bien en dessous des seuils susceptibles d'affecter directement la santé ou la survie des mammifères marins. Des effets comportementaux sont néanmoins rapportés à des pressions sonores dépassant les 120 dB (large bande), quoique ces effets et leur signification pour la survie des animaux ne fassent pas l'unanimité. Le MPO (2014) soulève d'ailleurs que la principale source d'incertitude concernant l'effet de l'exposition au bruit sur les mammifères marins est la variabilité de la gravité de la réaction rapportée entre les études. Les réactions comportementales varient de nulle à brèves, ou à un comportement d'évitement prolongé face à des sources semblables, rendant toute généralisation difficile. En outre, toute la population de bélugas du Saint-Laurent ne sera pas nécessairement affectée par le bruit généré par le trafic de grands navires supplémentaire sur le Saguenay. Michaud (1993) estime en effet qu'en moyenne, à tout instant, on peut s'attendre à retrouver dans le Saguenay environ 5 % des effectifs de la population. Il estime aussi, à partir des données recueillies de bélugas reconnaissables individuellement, que ce ne sont pas toujours les mêmes individus qu'on retrouve dans le Saguenay, mais qu'entre 33 et 66 % des bélugas du Saint-Laurent le fréquentent régulièrement (Michaud, 2016). Il précise que l'on ignore la proportion de bélugas exposés sur lesquels le bruit pourrait avoir des répercussions négatives au point de compromettre leur reproduction, leur santé ou leur survie, tout en admettant que l'on sait déjà que le Saguenay est considérablement plus calme que le chenal nord où se concentre la majorité du trafic maritime du Saint-Laurent (McQuinn et coll., 2011; Roy et Simard, 2015).

Bien entendu, la rivière Saguenay représente un environnement acoustique particulier. Bien que ses eaux soient profondes, ses fortes pentes rocheuses et sa largeur de 1 à 3 km font en sorte que le bruit s'y propage différemment qu'en milieu aquatique complètement ouvert, où il peut se disperser librement dans toutes les directions. La configuration du Saguenay favoriserait plutôt la canalisation du son. Dans l'axe horizontal, cela se traduit par la réception du bruit d'un navire bien avant son arrivée et bien après son passage en un point donné. En distance, nos mesures montrent que le bruit d'un navire peut être détecté par les hydrophones alors qu'il se trouve aussi loin qu'une trentaine de kilomètres. Il va sans dire que, malgré la forte profondeur du Saguenay, le bruit du passage d'un navire se propage facilement jusqu'au fond.

Néanmoins, étant donné la configuration particulière du Saguenay, les modèles et outils de modélisation conventionnels ne permettent pas de cartographier de façon fiable la propagation sonore dans un tel environnement, notamment sur de longues distances horizontales et, plus particulièrement, dans l'axe vertical. Pour ce faire, il faudra éventuellement développer des modèles basés sur une connaissance plus détaillée de la bathymétrie et des autres caractéristiques pouvant influencer la propagation du son dans l'environnement particulier du Saguenay, de même que sur des mesures *in situ* beaucoup plus nombreuses et prolongées de cette propagation. À notre connaissance, aucun projet de recherche n'a encore produit de données relatives à la propagation tridimensionnelle du bruit subaquatique dans le Saguenay. Il n'en demeure pas moins que les données récoltées dans le cadre de ce projet suggèrent que la réverbération par les parois du Saguenay facilite la propagation du bruit et ce, tant dans l'axe horizontal que vertical.

Il résulte aussi de la configuration du Saguenay que les bélugas peuvent difficilement s'éloigner latéralement ou verticalement de la trajectoire des navires. Cependant, la sinuosité de la rivière, notamment entre son embouchure et le secteur de la baie Sainte-Marguerite, contribue à isoler ce dernier du bruit des traversiers entre Tadoussac et Baie Sainte-Catherine et du trafic important dans l'estuaire du Saint-Laurent.

Nos enregistrements confirment par ailleurs l'émission de hautes fréquences par les navires, même si nous n'avons pu en quantifier la contribution précise dans la signature sonore des navires analysés. Ici encore, il s'agit d'un domaine en pleine évolution et aucun projet de recherche n'a encore produit de données relatives à la propagation des ultrasons générés par les navires dans le Saguenay. Toutefois, comme les ultrasons se propagent dans l'eau plus difficilement que les basses fréquences, leur audibilité par les bélugas se limite vraisemblablement à la proximité immédiate des navires.

Dans l'état des connaissances actuelles, les pressions sonores mesurées au passage de grands navires dépassent transitoirement les 120 dB (large bande), rapportés comme pouvant influencer le comportement du béluga. Cependant, même selon les hypothèses maximales d'augmentation du trafic de grands navires dans le Saguenay, il s'agirait là d'événements ponctuels et de courte durée, sans comparaison avec le trafic qui existe à l'embouchure et dans le chenal de

l'estuaire du Saint-Laurent. Nous évaluons qu'avec ce trafic, incluant celui découlant des installations maritimes voisines de Grande-Anse, du Quai de Bagotville, de Rio Tinto et, éventuellement de GNL Québec, le Saguenay demeurerait relativement silencieux la plupart du temps. Bien que les périodes d'ambiance sonore naturelle soient déjà restreintes dans le secteur de l'embouchure, la contribution supplémentaire au bruit ambiant par le passage de grands navires le long du Saguenay apparaît plutôt faible. Ainsi, dans le scénario de la plus forte augmentation évalué, le cours du Saguenay serait généralement exempt du bruit de grands navires plus de 95% du temps en considérant l'audiogramme du béluga.

Finalement, dans leurs efforts de réduire leur empreinte environnementale en optimisant leurs activités de transport sur la rivière Saguenay, Arianne Phosphate et Rio Tinto envisagent le partage éventuel de services maritimes. Ainsi, les navires servant à acheminer les matières premières dans les installations de Rio Tinto pourraient repartir de la rivière Saguenay, chargés du concentré d'apatite d'Arianne Phosphate. En utilisant ces mêmes navires pour acheminer le concentré d'Arianne Phosphate aux marchés internationaux cette possibilité pourrait ne se traduire par aucune augmentation nette du trafic de grands navires résultant des activités d'Arianne Phosphate au nouveau terminal maritime.

5 CONCLUSION

Conformément aux attentes du ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO) pour ce projet, l'objectif principal de cette étude était de documenter l'accroissement du bruit que le béluga pourrait entendre, suite à la construction du nouveau TMRN, de même que les effets cumulatifs découlant des activités maritimes existantes, de l'augmentation de trafic prévue et des autres projets portuaires en préparation dans le Saguenay. À cette fin, l'ambiance sonore en différents points du Saguenay a été mesurée à différentes profondeurs lors du passage de navires remontant ou descendant le Saguenay en juin 2017. Combinées aux prévisions de trafic estimées pour les horizons 2020 et 2030, les données récoltées nous ont permis d'estimer l'augmentation de l'empreinte sonore découlant de navires typiques des activités de navigation commerciale dans le Saguenay et ce, en termes :

- de niveaux sonores produits par les navires aux différentes fréquences,
- de durée d'exposition des bélugas au bruit et d'étendue spatiale 3D et
- d'augmentation des périodes de temps bruyant pour les bélugas liées à la navigation.

Afin de tenir compte des caractéristiques particulières du Saguenay et de l'intensité variable de la navigation le long de son cours, les mesures sonores réalisées ont été réparties entre quatre secteurs, soit, de l'aval vers l'amont, celui de l'embouchure, l'extrémité du Cap-à-la-boule, celui de la Baie-Ste-Marguerite, celui du Cap Éternité et, finalement, celui l'Anse Aimable.

Étant donné que cette étude visait spécifiquement à documenter l'exposition du béluga au bruit généré par le passage de grands navires, les pressions sonores mesurées ont notamment été présentées avec la fonction de pondération C, qui permet de prendre en considération les capacités auditives de l'espèce. Les résultats non pondérés ont aussi été utilisés pour évaluer la fréquence d'exposition des bélugas aux pressions sonores supérieures à 120 dB rms re 1 μ Pa, considérées comme le seuil au-delà duquel des modifications comportementales peuvent être notées chez les cétacés.

Quatre scénarios d'augmentation du trafic ont été considérés dans cette étude, soit la visite de 60 navires au TMRN en 2020 (scénario réaliste) et de 140 en 2030 (scénario maximal), à pleine capacité du TMRN. En ajoutant à ce trafic l'accroissement prévu aux installations voisines de Grande-Anse, de Bagotville, de Rio Tinto et éventuellement de GNL Québec (Énergie Saguenay), les scénarios réaliste (horizon 2020) et maximal (horizon 2030) porteraient l'augmentation du trafic annuel à 235 navires supplémentaires en 2020 et à 410 navires en 2030 respectivement. Il s'agit là de prévisions optimistes, qui représentent les valeurs extrêmes maximales d'augmentation de trafic de grands navires.

Malgré les scénarios retenus, celui supposant la plus forte hausse de trafic, soit une augmentation de 410 navires transitant le long du Saguenay à l'horizon 2030, ce dernier demeurerait exempt du bruit de grands navires 95,7% du temps où le béluga y est présent entre mai et octobre. La contribution sonore du trafic lié aux seules installations du TMRN (140 navires) apparaît minime puisque ce trafic n'ajouterait que 113 heures de bruit transitoire dans le Saguenay de mai à octobre inclusivement. Autrement-dit, l'ambiance sans bruit de ces navires prévaudrait 97,4% du temps en période de présence du béluga dans le Saguenay.

En termes d'intensité, les pressions sonores mesurées au passage d'un grand navire dépassent transitoirement la limite des 120 dB rms re 1 μ Pa (large bande) rapportés comme pouvant influencer le comportement du béluga. La durée perceptible du bruit de passage d'un navire par le béluga ne serait que de 17 minutes en moyenne, dont la plus grande partie bien en dessous de 120 dB rms re 1 μ Pa. Par conséquent, à moins de suivre un navire à courte distance, le béluga serait peu exposé aux bruits découlant du trafic lié aux installations du TMRN.

Dans l'espace tridimensionnel, les données récoltées dans le cadre de ce projet suggèrent que la réverbération par les parois immergées du Saguenay facilite la propagation du bruit et ce, tant dans l'axe horizontal que vertical. Il résulte aussi de la configuration du Saguenay que les bélugas peuvent difficilement s'éloigner latéralement ou verticalement de la trajectoire des navires. Cette exposition se limite toutefois à un temps très court, se limitant en moyenne à 17 minutes par passage de grand navire. Nos enregistrements confirment l'émission de hautes fréquences par les navires, même si nous n'avons pu en quantifier la contribution précise dans la signature sonore des navires analysés. Toutefois, comme les ultrasons se propagent dans l'eau plus difficilement que les basses fréquences, leur audibilité par les bélugas se limite vraisemblablement à la proximité immédiate des navires.

Pour conclure, le trafic découlant des futures installations du TMRN, réparti au rythme d'un mouvement de navire aux six jours, n'apparaît pas préoccupant comparativement au trafic actuel. L'exposition supplémentaire au bruit qui en résultera demeure bien en dessous de celle qui prévaut déjà dans le chenal maritime du Saint-Laurent, qui chevauche également l'habitat essentiel du béluga. Par conséquent, nous ne recommandons pas de mesure particulière visant à réduire le bruit de navigation attendu dans le Saguenay.

6 REPONSES AUX QUESTIONS DE L'ACEE

QUESTION ACEE 99

Lignes directrices, Partie 2, section 6.6.3, Étude d'impact, section 11, Mammifères marins

MESURES D'ATTÉNUATION - BRUIT SUBAQUATIQUE

La rivière Saguenay est un écosystème marin qui présente des conditions océanographiques particulières (stratification verticale, parois verticales rocheuses, épais fond de sédiments, étroit de quelques 1 à 2 km) pour la propagation des ondes sonores sous-marines. Ces conditions doivent être prises en compte dans tout travail d'acoustique sous-marine dans le fjord du Saguenay.

Le béluga est une espèce de mammifères marins considérée comme une des plus loquaces. Les sons et l'environnement sonore sont essentiels à la réalisation de ses fonctions vitales. Toute étude de l'impact de bruits anthropiques sur le béluga doit considérer les effets tant dans la bande de fréquences audibles, que dans la bande de fréquences des clics ultrasoniques. De plus, le béluga utilise complètement les trois dimensions du fjord, d'amont en aval et de la surface jusqu'au fond. Par conséquent, les mesures, les estimations et les impacts des sources de bruit doivent couvrir toute la colonne d'eau et être représentatifs des variations longitudinales amont-aval et latérales.

Section 12.6.1 (p. 12-36) de l'étude d'impact: « Le seuil à partir duquel le comportement des mammifères marins commence à être influencé correspond à une intensité de bruit de 120 dB re 1 μ Pa (GENIVAR 2013). ». Le promoteur réfère à de seconde et troisième sources. Le promoteur doit référer aux sources originales et à la littérature scientifique primaire lorsque cela est possible. Le promoteur doit appuyer ses seuils sur des références scientifiques primaires.

Page 12-40 de l'étude d'impact: « Actuellement identifiée comme le secteur le plus bruyant dans l'estuaire maritime, l'embouchure du Saguenay sera particulièrement touchée par cette hausse de l'ambiance sonore sous-marine. » Le promoteur devra considérer les résultats de Gervaise et coll. (2012) qui indique que, 50% du temps, le potentiel de communication du béluga est réduit à moins de 30% de ce qu'il serait sous des conditions sans bruit anthropique (Gervaise, C., Simard, Y., Roy, N., Kinda, B., & Menard, N. 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: 76-89).

Page 12-40 de l'étude d'impact : « Des effets de réverbération des ondes sonores pourraient également être présents dans la rivière Saguenay en raison de la présence de falaises granitiques, et ce, de façon plus marquée dans ses parties étroites en raison de la plus faible distance d'atténuation naturelle du bruit. » Le promoteur, dans son analyse des effets cumulatifs, doit tenir compte de l'incertitude concernant la propagation du son dans le Saguenay qui est pour l'instant mal connue et que des études pour la caractériser sont en cours.

Le promoteur doit :

- a) Documenter l'accroissement de l'exposition des bélugas au bruit lié à la navigation qu'auront dans le Saguenay les navires typiques de ses activités, dans les différentes régions du fjord, incluant l'habitat essentiel. L'exposition au bruit se décrit par les niveaux sonores aux différentes fréquences et ses caractéristiques dans le temps et dans l'espace tridimensionnel. Le promoteur devra donc quantifier à l'aide de mesures prises sur le terrain :
 - les niveaux sonores produits par les navires aux différentes fréquences,
 - la durée d'exposition des bélugas au bruit et l'étendue spatiale 3D, et

- l'augmentation des périodes de temps bruyant pour les bélugas liées à la navigation (par rapport aux périodes sans bruit lié à la navigation).
- c) Documenter les risques de mortalité pour le béluga reliés aux collisions avec les navires.

RÉPONSES :

99a)

Le présent rapport visait en bonne partie à répondre à cette question. Nous y concluons notamment que l'accroissement de l'exposition des bélugas au bruit lié à la navigation qu'auront dans le Saguenay les navires typiques des activités du TMRN, incluant l'habitat essentiel du béluga, sera relativement faible. Ainsi, en tenant compte de l'audiogramme du béluga, l'ambiance sans bruit de grands navires prévaudrait, à l'horizon 2030 pour le TMRN, 97,4 % du temps en période de présence du béluga dans le Saguenay. Qui plus est, selon un protocole d'entente annoncé en janvier 2017, entre Ariane Phosphate et Rio Tinto, les deux entreprises envisagent le partage éventuel de services maritimes. En utilisant les mêmes navires pour acheminer les matières premières vers les installations de Rio Tinto et pour transporter au retour le concentré d'Ariane Phosphate aux marchés internationaux, cette hypothèse pourrait se traduire par aucune augmentation nette du trafic résultant des activités d'Ariane Phosphate au TMRN.

Comme il s'agit de sources sonores en mouvement, l'exposition des bélugas au bruit de ces navires dépasserait transitoirement la limite des 120 dB rms re 1µPa (large bande) rapportés comme pouvant influencer son comportement du béluga. La durée perceptible du bruit de passage d'un navire par le béluga ne serait cependant que de 17 minutes en moyenne, dont la plus grande partie bien en dessous de 120 dB rms re 1µPa.

Au niveau de sa dispersion tridimensionnelle, nos données suggèrent que la propagation du son, tant dans l'axe vertical qu'horizontal, est accentuée par la réverbération sur les parois rocheuses du Saguenay, ce qui n'en permet pas la simulation par les outils conventionnels. Dans l'axe horizontal, le bruit des grands navires enregistrés est perceptible sur 3,2 km en moyenne à l'approche d'un point fixe et sur 4,4 km en s'en éloignant (données en pondération C). Cette propagation se limite toutefois aux basses fréquences, les ondes de fréquences élevées se propageant plus difficilement dans l'eau.

Nos mesures montrent que les navires émettent effectivement des fréquences élevées susceptibles d'être entendues par le béluga. Cependant, la majorité de l'énergie se concentre aux basses fréquences. Combiné au fait que les hautes fréquences ne se propagent pas sur de longues distances, nous n'en prévoyons pas d'impact important sur le béluga.

99c)

Problématique

L'augmentation des déplacements de navires dans le Saguenay pourrait potentiellement résulter en une hausse des collisions avec les mammifères marins, notamment le béluga du Saint-Laurent. Lors de leur déplacement, les navires peuvent occasionner des blessures directes lors de collision avec des mammifères marins, pouvant entraîner de la mortalité (ROMM, 2014; MPO, 2015; Innovation maritime, 2014). Ces collisions sont plus fréquentes là où se concentrent les mammifères marins, mais également le trafic maritime. La vitesse des navires est étroitement corrélée avec la gravité des blessures ainsi que l'occurrence de mortalité chez les individus (voir section suivante sur les collisions). Les bélugas sont donc probablement plus à risque de collision avec les embarcations touristiques et de plaisance, qui se déplacent à des vitesses et dans des directions variables.

L'embouchure du Saguenay et la tête du chenal laurentien ainsi que la zone d'embarquement des pilotes aux Escoumins présentent les plus fortes densités de trafic maritime (Chion et coll., 2009). Rappelons que dans le Saguenay la population du béluga visite essentiellement une portion limitée, entre son embouchure et la baie Sainte-Marguerite et quelle serait absente du Saguenay en hiver. L'utilisation du Saguenay par les bélugas présente une grande variabilité intra et interannuelle; absents lors de certains relevés, jusqu'à 94 individus ont été observés dans le secteur aval du Saguenay (Mosnier et coll., 2016). La proportion des bélugas observée est en moyenne de 4,9 % dans la rivière Saguenay (Michaud, 1993), ce qui veut dire qu'en moyenne, à tout instant (sauf en hiver où il est absent), on peut s'attendre à retrouver dans le

Saguenay environ 5 % des effectifs de la population. Par ailleurs, tel que déjà signalé dans l'ÉIE, il y aurait possiblement entre 33 et 66 % des bélugas du Saint-Laurent qui utiliseraient régulièrement le Saguenay.

Contraintes de la navigation

Les navires marchands fonctionnent habituellement avec une vitesse de révolution du moteur constante et les variations de la vitesse doivent être minimisées (Chion *et al.* 2012). Compte tenu du tonnage des navires marchands, pour conserver une manœuvrabilité du navire sécuritaire en tout temps, notamment dans les secteurs où les courants sont puissants, les forces inertielles doivent être anticipées et compensées au moyen de la puissance motrice et de la vitesse sur l'eau (Chion et coll., 2012).

Collisions

Une collision entre un navire et un mammifère marin peut, selon l'angle et la force de l'impact, blesser ou tuer l'animal. Le plus souvent, les cétacés vont subir des entailles ou des sectionnements en raison d'un contact avec les hélices des navires. D'autres types de blessures, telles des ecchymoses et des fractures, peuvent également se produire lors d'un contact avec la coque. Les collisions sont susceptibles de se produire davantage là où l'on observe des concentrations d'espèces dans le temps et l'espace ainsi qu'une concentration du trafic maritime (MPO, 2015). Il demeure toutefois que ces incidents sont globalement peu documentés. Par ailleurs, les navires silencieux pourraient être plus dangereux pour les bélugas puisqu'ils seraient davantage ardues à détecter par les animaux (Savaria et coll., 2003).

Selon Parcs Canada (2014), depuis 1992 plus de 45 incidents de collision et de baleines blessées dans le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent et les eaux environnantes ont été répertoriés et le nombre réel de collisions pourrait être plus élevé.

Selon l'examen des carcasses de béluga, les mortalités attribuables aux collisions varient entre 4 et 6 % :

4 % entre 1983 et 2012 (Lair et coll., 2014).

6 % (des carcasses adultes) 1983 et 2002 (Mesures, 2008).

9 % entre 1983 et 2009 (Chion et coll., 2012).

Au niveau des risques de collisions, il faut considérer que le risque est plus grand en hiver, car il y a moins d'espace pour les bélugas, considérant la présence de glaces (Lawson et Lesage, 2013). À cet égard, soulignons cependant que le béluga serait absent du Saguenay en hiver. Lawson et Lesage (2013) ont mis en place un cadre général d'analyse pour permettre de déterminer les effets cumulatifs du transport maritime sur une population de mammifères marins dans un milieu avec beaucoup de glaces. Cependant, pour être utilisable, leur approche nécessiterait des données très précises sur la densité et la répartition des bélugas dans divers secteurs du Saguenay, en toutes saisons, en plus du nombre de fois qu'ils remontent en surface dans ces secteurs. Ces données ne sont pas disponibles actuellement.

Dans certaines zones, telles que dans le parc marin du Saguenay - Saint-Laurent, il est obligatoire, par voie réglementaire, de rapporter toute collision avec un cétacé.

Vitesse des navires

Une étude effectuée par Laist *et al.* (2001) évoque que la plupart des blessures mortelles ou graves chez les cétacés sont causées par des navires d'une longueur minimale de 80 m de même que par des navires se déplaçant à des vitesses supérieures à 14 noeuds (environ 26 km/h). Malgré cela, des collisions infligeant des blessures peuvent être associées à des navires de toutes tailles. Selon l'avis scientifique du MPO (MPO 2014), il est peu probable qu'un béluga entre en collision avec de grands navires se déplaçant lentement étant donné sa grande agilité et son ouïe très fine.

La documentation scientifique confirme que la probabilité que la collision d'un mammifère marin avec un navire soit mortelle augmente en fonction de la vitesse du navire. La probabilité de blessure mortelle sur des baleines a fait l'objet d'une analyse statistique (Vanderlaan et Taggart, 2007). Cette probabilité passe de 80 % à 15 noeuds (27,8 km/h) à approximativement 20 % à une vitesse de 8,6 noeuds (15,9 km/h). C'est à partir d'une vitesse de 11,8 noeuds (21,8 km/h) que la probabilité de blessure létale fléchit sous la barre des 50 %. Il est aussi probable qu'une trajectoire erratique augmente les risques d'impact par rapport à une trajectoire linéaire (Vanderlaan et Taggart, 2007).

Autres facteurs qui augmentent les risques de collision

Outre la vitesse des navires et la superposition entre les habitats des mammifères marins avec les routes de navigation, le réseau d'observation de mammifères marins (ROMM, 2014) a établi quelques autres facteurs qui ont une influence sur la fréquence et la gravité des collisions. Bien que cette étude ait été réalisée pour les baleines de l'Atlantique Nord-Ouest, les grandes lignes sont aussi applicables aux cétacés en général.

Les conditions météorologiques défavorables.

Un temps brumeux, de fortes vagues ou des précipitations abondantes limitent la visibilité des gens sur la passerelle (observateurs), pouvant ainsi augmenter les risques de collision.

La taille des navires

Le taux de mortalité des cétacés frappés augmente avec la taille des navires, particulièrement ceux ayant une longueur de 80 m et plus, tels des navires de la marine marchande. Par contre, selon les données issues de la Commission baleinière internationale (CBI), la majorité des navires impliqués dans des cas de collision (fatals ou non) ne dépassaient pas 50 m de longueur.

Le comportement, l'âge et le sexe des cétacés

Des études ont démontré que les victimes de collisions entre navires et cétacés sont le plus souvent des nouveau-nés, des juvéniles ou des femelles gestantes.

Les facteurs acoustiques

Il n'est pas évident pour une baleine de détecter la présence de navires en déplacement malgré le son qu'ils émettent, entre autres en raison du masquage des sons par le bruit ambiant et de l'affaiblissement de l'audition liée à l'exposition à long terme, particulièrement dans les zones à fort trafic maritime. La principale source sonore est l'hélice, qui se trouve à l'arrière du navire ; lorsque le cétacé est à l'avant, cette source sonore est moins marquée. En effet, la coque du navire impose un obstacle physique à la propagation du son de l'hélice vers l'avant du navire, créant ainsi une zone insonorisée devant la proue, là où le danger de collision est le plus important.

Les zones à haut risque

Les zones à haut risque se définissent comme étant des secteurs où se trouvent dans un même espace un trafic maritime important et une grande densité de baleines. L'estuaire du Saint-Laurent en est un exemple.

Pistes de solution

Quelques solutions ont été mises en œuvre à travers le monde dans le but de réduire les risques de collision bateau-mammifère marin. D'une façon générale, il est possible de classer les solutions existantes en trois catégories (Chion et coll., 2012; ROMM, 2014) :

1. Systèmes d'information ou de détection de la présence des mammifères marins;
2. Systèmes de répulsion des mammifères marins;
3. Modification des procédures de navigation.

1 Systèmes d'information ou de détection

Un des outils de détection efficace pour réduire les risques de collision entre les navires et les cétacés serait la technologie anticollision de type REPCET². Ce système de repérage en temps réel des cétacés (REPCET) permet de mettre en commun les observations de cétacés entre les navires équipés du système, pour ainsi prendre les meilleures mesures d'évitement. Le principe est simple et se base sur les éléments suivants : chaque observation de grand cétacé réalisée par le personnel

² <http://www.repcet.com/repcet>

de quart depuis un navire utilisateur de REPCET est transmise en temps quasi-réel par satellite à un serveur situé à terre. Le serveur centralise les données et diffuse des alertes aux navires équipés et susceptibles d'être concernés par un signalement. Les alertes sont alors cartographiées à bord sur un écran dédié.

Certains facteurs pourraient limiter l'efficacité d'un tel système, comme la distance de détection des cétacés, la fiabilité du système autant par beau temps que par mauvais temps et les coûts élevés pour l'acquisition puis le fonctionnement de l'équipement par les compagnies maritimes (ROMM, 2014). De plus, la détection par le personnel de navire est efficace uniquement de jour et avec de bonnes conditions de visibilité, et pour les animaux en surface.

2) Systèmes de répulsion

Le principe est d'atteindre les mammifères marins dans le voisinage d'un navire par un signal pour les éloigner en dehors des zones où le risque de collision est élevé. Il s'agit de systèmes acoustiques actifs embarqués à bord des navires. Les principaux désavantages de ces systèmes seraient l'habituation des animaux, l'effet attracteur indésirable chez certains individus ou certaines espèces, ou encore l'augmentation du niveau de pollution sonore dans l'habitat des mammifères marins (Chion et coll., 2012).

3) Modification des procédures de navigation

Pour permettre de réduire les risques de collision navire-baleine, il y a principalement deux types de modification des procédures de navigation :

1. La modification des routes de navigation pour éviter les aires de concentration des mammifères marins.
2. La réduction de vitesse des navires dans les aires de concentration des mammifères marins.

Modification de la route de navigation

Cette mesure permet de diminuer le nombre de cooccurrences bateau-baleine et donc en principe de réduire les risques de collision. La réduction de la vitesse des navires serait propice pour réduire la probabilité de mortalité d'un animal qui aurait été frappé et aussi pour réduire les risques de collision (Chion et coll., 2012). D'après Silber *et al.* (2012) le fait de déplacer les routes de navigation en dehors des zones de concentration de baleines est le moyen le plus efficace pour réduire les risques de collision.

Bien que la modification de routes de navigation ait fait ses preuves en termes d'efficacité pour limiter les collisions, cette alternative, qui peut sembler simple de prime abord, nécessite au préalable une étude scientifique justifiant la mesure, qui sera complétée par une analyse complète des implications sur le plan opérationnel (ROMM, 2014). Ensuite, ces modifications doivent être entérinées par l'Organisation maritime internationale et l'information doit être ajoutée sur les cartes de navigation.

Réduction de la vitesse des navires

Cette mesure permet à un mammifère marin de disposer de plus de temps pour détecter un bateau et ainsi de l'éviter. Réciproquement, un pilote dispose également de plus de temps pour détecter et éviter une baleine.

Un groupe de travail constitué d'experts de la navigation, d'experts sur les mammifères marins, de représentants de l'industrie maritime, de représentants d'organismes gouvernementaux et non-gouvernementaux, de scientifiques et d'universitaires a été constitué en 2011. Ainsi, le Groupe de Travail sur le Trafic Maritime et la Protection des Mammifères Marins dans l'estuaire du Saint-Laurent (G2T3M) s'est donné pour mandat général d'identifier des pistes de solution pour réduire les risques encourus par les mammifères marins dans l'estuaire du Saint-Laurent, tout en permettant les activités de la marine marchande et sans compromettre la sécurité.

Après examen des limites de vitesse fixées pour les navires dans d'autres régions du monde, après estimation des risques de mortalité des baleines en cas de collision et après considération des contraintes de manœuvrabilité des navires, le G2T3M s'est accordé pour proposer des solutions visant à réduire le nombre de cooccurrences navire-baleine à plus de 10 nœuds dans la région d'étude, en favorisant, lorsque souhaitable et possible, des interactions à des vitesses inférieures à cette valeur dans des secteurs particulièrement sensibles pour les baleines.

Selon la relation vitesse-risque (Vanderlaan et Taggart, 2007), à 10 nœuds (18,5 km/h) la probabilité de mortalité lors d'une collision avec un navire serait de 30 %.

QUESTION ACEE 103d

Lignes directrices, Partie 2, section 6.3.1, Étude d'impact, sections 7.11, 7.12, 8.5 et 8.6, Poisson et son habitat, Mammifères marins.

EFFETS SUR LE POISSON ET SON HABITAT - BRUIT

L'information technique présentée dans l'étude d'impact concernant l'augmentation des niveaux sonores subaquatiques causée par le dynamitage ou les travaux en milieu aquatique est insuffisante. Les niveaux sonores « à la source » utilisés sont théoriques et on ne sait pas s'ils tiennent compte des matériaux qui seront utilisés lors de la construction. Les simulations réalisées sont partielles et trop peu détaillées pour une évaluation adéquate des effets sur la faune aquatique qui incluent la mortalité et les changements de comportement. Afin de pallier le manque de précision des simulations, davantage de données techniques sont nécessaires.

La méthodologie utilisée pour définir le modèle de propagation sur le terrain n'est pas adéquate. La formule utilisée pour le calcul de l'atténuation sonore n'est pas fournie. Les commentaires du ministère des Pêches et des Océans concernant les simulations et la méthodologie pour évaluer l'augmentation des niveaux sonores ambiants sont fournis à l'annexe II.

Le promoteur doit :

- a) Préciser la période prévue pour les travaux bruyants associés à la construction du terminal tels le forage et le vibrofonçage de pieux et palplanches ainsi que le dynamitage en berge et comment ce calendrier tient compte des périodes critiques de la faune aquatique.
- b) Indiquer, sous forme de tableau, quel sera le niveau de bruit émis à la source lors des activités bruyantes tels le forage et le vibrofonçage des pieux et palplanches en considérant le type de matériau et la grosseur des pieux et palplanches utilisés pour la construction du quai (temporaire ou permanent).
- c) Fournir, pour le dynamitage réalisé en berge, l'information suivante : le nombre de petites charges, la charge totale, le nombre de charges/jour, l'intervalle entre les petites charges ainsi que la distance entre la localisation des charges en milieu terrestre et le milieu aquatique.
- d) **Fournir la formule utilisée pour le calcul de l'atténuation sonore ainsi que les variables qui vont permettre de définir le périmètre de surveillance des mammifères marins lors de la réalisation de travaux bruyants en milieu aquatique.**

RÉPONSE :

Cette question concerne essentiellement l'étape de construction des infrastructures portuaires, durant laquelle une zone de surveillance des mammifères marins pourrait être instaurée. Étant donné que les mesures réalisées à différents points jusqu'à une profondeur d'une centaine de mètres démontrent clairement que de la réverbération existe sur les parois du Saguenay, il apparaît clair que le modèle de propagation sphérique n'est pas approprié pour la zone à l'étude. Ce modèle

suppose en effet que l'onde sonore se propage uniformément dans toutes les directions (fig. 4-1), ce qui est typiquement le cas en eau profonde.

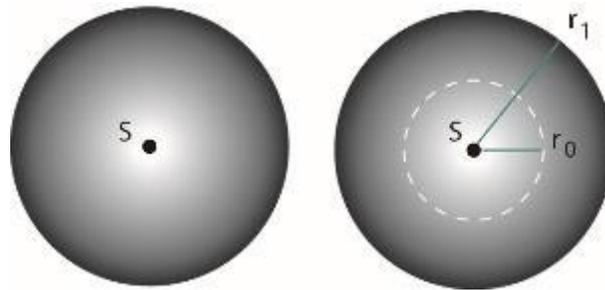


Figure 4-1: Propagation sphérique d'une onde sonore dans l'eau.

La perte de transmission PT pour la propagation sphérique peut être estimée par l'équation :

$$PT = 20 \log r$$

où r est la distance de la source (Richardson et coll., 1999; Au et Hastings, 2008).

Dans le cas du Saguenay, qui constitue un cours d'eau profond, mais relativement étroit (1 à 3 km), on se rapprocherait plutôt du modèle de propagation cylindrique, qui s'avère représentatif des eaux peu profondes. Dans ces situations, l'onde sonore atteint rapidement la surface de l'eau et le fond, où elle peut être en partie absorbée et/ou réfléchi. Une approximation de la perte de transmission pour la propagation cylindrique peut être obtenue en assumant que le son se distribue uniformément à l'intérieur d'un cylindre de rayon r , correspondant à la distance de la source, et de hauteur correspondant à la profondeur de l'eau (fig. 4-2).

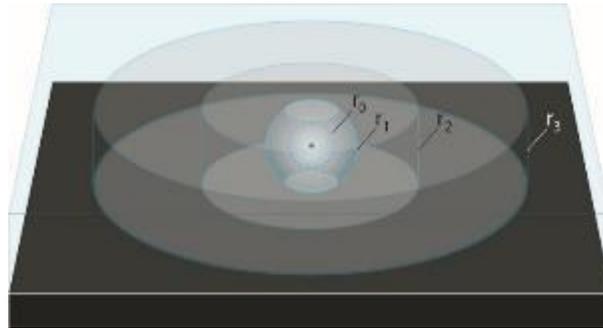


Figure 4-2: Propagation cylindrique d'une onde sonore dans l'eau.

La perte de transmission pour la propagation cylindrique peut être estimée par l'équation :

$$PT = 10 \log r$$

Par conséquent, nous considérons prudent d'utiliser le modèle de propagation cylindrique pour évaluer le périmètre de surveillance des mammifères marins lors de la réalisation de travaux bruyants en milieu aquatique, dans la mesure où ceux-ci se dérouleraient en période où des mammifères marins sont susceptibles de fréquenter la zone de travaux. Le cas échéant, le périmètre sera calculé en fonction des méthodes de travail retenues pour la construction du terminal, notamment pour le fonçage des pieux.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Au, W.W.L. & M.C. Hastings. 2008. Principles of marine bioacoustics. Springer Science+Business media, New York. 679 p.
- Awbrey, F.T. et, Stewart, B.S., 1983. Behavioral responses of wild beluga whales (*Delphinapterus leucas*) to noise from oil drilling. J. Acoust. Soc. Am. 74, S54–S54.
- Boily, 1995. Theoretical heat flux in water and habitat selection of phocid seals and beluga whales during the annual molt. Journal of Theoretical Biology 172:235-244.
- Boivin, Y. & INESL. 1990. Survol aérien pour l'estimation de la distribution saisonnière et des déplacements des bélugas, INESL. Institut national d'écotoxicologie du Saint-Laurent. 91 p.
- Castellote, M., Mooney, T.A., Quakenbush, L., Hobbs, R., Goertz, C. & Gaglione, E. 2014. Baseline hearing abilities and variability in wild beluga whales (*Delphinapterus leucas*). The Journal of Experimental Biology. Vol. 217, pp: 1682-1691.
- Chion, C, L. Parrott & J-A Landry. 2012. Collisions et cooccurrences entre navires marchands et baleines dans l'estuaire du Saint-Laurent – Évaluation de scénarios de mitigation et recommandations. Rapport présenté au Groupe de travail sur le trafic maritime et la protection des mammifères marins, Parcs Canada et Pêches et Océans Canada. Université de Montréal et École de technologie supérieure : Montréal. 80 p.
- Chion, C., S. Turgeon, R. Michaud, J.-A Landry & L. Parrott. 2009. Portrait de la navigation dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent. Caractérisation des activités sans prélèvement de ressources entre le 1er mai et le 31 octobre 2007. Présenté à Parcs Canada. 86 pages.
- COSEPAC. 2014. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le béluga (*Delphinapterus leucas*), population de l'estuaire du Saint-Laurent, au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. xiv + 73 p. (www.registrelep.sararegistry.gc.ca/default_f.cfm).
- Erbe, C. 2000. Detection of whale calls in noise: performance comparison between a beluga whale, human listeners, and a neural network. J. Acoust. Soc. Am. 108, 297-303.
- Erbe, C. and Farmer, D. M. 1998. Masked hearing thresholds of a beluga whale (*Delphinapterus leucas*) in icebreaker noise. Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr. 45, 1373-1388.
- Erbe, C., Reichmuth, C., Cunningham, K., Lucke, K., & Dooling, R. 2016. Communication masking in marine mammals: A review and research strategy. *Marine pollution bulletin*, 103(1), 15-38.
- Finneran J.J., D.A. Carder, R. Dear, T. Belting, J. McBain, L. Dalton & S.H. Ridgway. 2005. Pure tone audiograms and possible aminoglycoside-induced hearing loss in belugas (*Delphinapterus leucas*). J. Acoust. Soc. Am. 117, 3936-3943.
- Finneran, J. J., Schlundt, C. E., Carder, D. A. and Ridgway, S. H. 2002a. Auditory filter shapes for the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) and the white whale (*Delphinapterus leucas*) derived with notched noise. J. Acoust. Soc. Am. 112, 322-328.
- Finneran, J. J., Schlundt, C. E., Carder, D. A., Clark, J. A., Young, J. A., Gaspin, J. B. and Ridgway, S. H. 2000. Auditory and behavioral responses of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) and a beluga whale (*Delphinapterus leucas*) to impulsive sounds resembling distant signatures of underwater explosions. J. Acoust. Soc. Am. 108, 417-431.
- Finneran, J. J., Schlundt, C. E., Dear, R., Carder, D. A. and Ridgway, S. H. 2002b. Temporary shift in masked hearing thresholds in odontocetes after exposure to single underwater impulses from a seismic watergun. J. Acoust. Soc. Am. 111, 2929-2940.
- Gervaise, C., Y. Simard, N. Roy, B. Kinda & N. Ménard. 2012. Shipping noise in whale habitat: Characteristics, sources, budget, and impact on belugas in Saguenay–St. Lawrence Marine Park hub. The Journal of the Acoustical Society of America 132:76-89.
- Gosselin, J.-F., M.O. Hammill & A. Mosnier. 2014. Indices d'abondance d'été du béluga (*Delphinapterus leucas*) de l'estuaire du Saint-Laurent obtenus à partir d'un relevé photographique en 2009 et de 28 relevés en ligne de 2001 à 2009. MPO. Secrétariat canadien de consultation scientifique. Document de recherche 2014/021. 55 p.)
- Gouvernement du Canada, 2017. Registre canadien des espèces en péril. [En ligne], [http://www.sararegistry.gc.ca/species/speciesDetails_f.cfm?sid=102].

- Innovation Maritime. 2014. Bilan des connaissances, Transport maritime des hydrocarbures. Rapport présenté au ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles. 66 p.
- Johnson, C. S. 1991. Hearing thresholds for periodic 60-kHz tone pulses in the beluga whale. *J. Acoust. Soc. Am.* 89, 2996-3001.
- Klishin, V. O., Popov, V. V. and Supin, A. Y. 2000. Hearing capabilities of a beluga whale, *Delphinapterus leucas*. *Aquatic Mammals* 26, 212-228.
- Lair, S., D. Martineau, et L.N. Measures. 2014. Causes of mortality in St. Lawrence Estuary beluga (*Delphinapterus leuca*) from 1983 to 2012. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/119. iv + 37 p.
- Laist, D.W., A. R. Knowlton, J. G. Mead, A. S. Collet & M. Podesta. 2001. Collisions between ships and whales. *Marine Mammal Science*, 2001. 17(1): p. 35-75.
- Lawson, J.W. & V. Lesage. 2013. A draft framework to quantify and cumulate risks of impacts from large development projects for marine mammal populations: A case study using shipping associated with the Mary River Iron Mine project. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res.
- Lemieux Lefebvre, S., R. Michaud, V. Lesage & D. Berteaux. 2012. Identifying high residency areas of the threatened St. Lawrence beluga whale from fine-scale movements of individuals and coarse-scale movements of herds. *Marine Ecology Progress Series* 450:243-257. DFO, 2012
- Lesage, V., J.-F. Gosselin, M.O. Hammill, M.C.S. Kingsley & J.W. Lawson. 2007. Ecologically and Biologically Significant Areas (EBSAs) in the Estuary and Gulf of St. Lawrence – A marine mammal perspective. CSAS Research Document 2007/046. Iii + 92 p.
- Lesage, V., McQuinn, I.H., Carrier, D., Gosselin, J.-F., & Mosnier, A. 2014. Exposure of the beluga (*Delphinapterus leucas*) to marine traffic under various scenarios of transit route diversion in the St. Lawrence Estuary. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/125. iv + 28 p.
- Lesage, V., Measures, L., Mosnier, A., Lair, S., Michaud, R. & Béland, P. 2014. Mortality patterns in the St. Lawrence Estuary beluga (*Delphinapterus leucas*), inferred from the carcass recovery data, 1983-2012. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/118. iv + 23 p.
- McQuinn, I.H., V. Lesage, D. Carrier, G. Larrivière, Y. Samson, S. Chartrand, R. Michaud & J. Theriault. 2011. A threatened beluga (*Delphinapterus leucas*) population in the traffic lane: Vessel-generated noise characteristics of the Saguenay-St. Lawrence Marine Park, Canada. *Journal of the Acoustical Society of America* 130 (6): 3661-3673.
- Measures, L. 2008. Les causes de mortalité du béluga du Saint-Laurent. *Le Naturaliste canadien*, vol. 132, no 2, 75-79.
- Michaud, R. 1993. Distribution estivale du béluga du Saint-Laurent; synthèse 1986 à 1992. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 1906. Vi + 28 p.
- Michaud, R. 1993. Distribution estivale du béluga du Saint-Laurent : synthèse 1986 à 1992. *Can Tech Rep Fish Aquat Sci.* No 1906.
- Michaud, R. 2016. Commentaires soumis à l'agence canadienne des évaluations environnementales (ACEE). Projet de terminal maritime en rive nord du Saguenay. Port Saguenay. Préparés par Robert Michaud, Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (GREMM), le 18 octobre 2016. 11 p.
- Michaud, R., A. Vézina, N. Rondeau & Y. Vigneault. 1990. Distribution annuelle et caractérisation préliminaire des habitats du béluga (*Delphinapterus leucas*) du Saint-Laurent. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques no 1757. 27 p. et annexe.
- Ministère des Pêches et des Océans du (MPO). 2014. Répercussions de la déviation du trafic maritime dans l'estuaire du Saint-Laurent sur le béluga (*Delphinapterus leucas*) : le Secteur des sciences à l'appui de la gestion des risques. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2014/004.
- Ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO). 2012. Programme de rétablissement du béluga (*Delphinapterus leucas*), population de l'estuaire du Saint-Laurent au Canada. Série de Programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril. Ottawa. 93 + XI p.
- Ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO). 2014. Répercussions de la déviation du trafic maritime dans l'estuaire du Saint-Laurent sur le béluga (*Delphinapterus leucas*) : le Secteur des sciences à l'appui de la gestion des risques. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2014/004. 9 p.

- Ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO). 2015. Séquences des effets du transport maritime : un aperçu. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2014/059.
- Ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO). 2017. Mise à jour de l'abondance du béluga (*Delphinapterus leucas*) et des morts signalées dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent. Secr. can. de consul. sci. du MPO. Avis sci. 2017/015.
- Mooney, A.T., P.E. Nachtigall, M. Castellote, K.A. Taylor, A.F. Pacini & J.-A. Esteban. 2008. Hearing pathways and directional sensitivity of the beluga whale, *Delphinapterus leucas*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 362: 108-116.
- Moore, S.E., K.E.W. Shelden, L.K. Litzky, B.A. Mahoney & D.J. Rugh. 2000. Beluga, *Delphinapterus leucas*, habitat associations in Cook Inlet, Alaska. *Marine Fisheries Review* 62: 60-80.
- Mosnier, A., R. Larocque, M. Lebeuf, J.-F. Gosselin, S. Dubé, V. Lapointe, V. Lesage, D. Lefavre, S. Senneville & C. Chion. 2016. Définition et caractérisation de l'habitat du béluga (*Delphinapterus leucas*) de l'estuaire du Saint-Laurent selon une approche écosystémique. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2016/052. vi + 93 p.
- National Marine Fisheries Service (NMFS) 2016. Technical guidance for assessing the effects of anthropogenic sound on marine mammal hearing. Underwater acoustic thresholds for onset of permanent and temporary threshold shifts. U.S. Dept. of Commer., NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-55, 178 p.
- Parcs Canada. 2014. La géomatique à l'Agence Parcs Canada. Volume 2. Utilisation du SIG pour réduire les risques de collisions entre les baleines et les navires au parc marin du Saguenay-Saint-Laurent. Pp. 4-8.
- Pippard, L. 1985. Patterns of movements of the St. Lawrence white whales. Canadian Wildlife Service & Parks Canada. 309 p.
- Popov, V.V., Supin, A.Y., 1990. Electrophysiological studies on hearing in some cetaceans and a manatee. In: Thomas, J.A., Kastelein, R.A. (Eds.), *Sensory Abilities of Cetaceans: Laboratory and Field Evidence*. Plenum Press, New York, pp. 405-415.
- Rainville, P. 2016. Un Béluga aperçu à La Baie. *Le Quotidien*, 2 sept. 2016. [En ligne], [<http://www.lapresse.ca/le-quotidien/actualites/201609/01/01-5016409-un-beluga-apercu-a-la-baie.php>].
- Réseau d'Observation de Mammifères Marins (ROMM). 2014. Navires et baleines de l'Atlantique Nord-Ouest. Guide à l'intention de l'industrie maritime. Rivière-du-Loup, Québec. Fédération maritime du Canada et Université Dalhousie. 74 p.
- Richardson, W.J., G.W. Miller & C.R. Greene, Jr. 1999. Displacement of migrating bowhead whales by sounds from seismic surveys in shallow waters of the Beaufort Sea. *Journal of the Acoustical Society of America* 106 (4): 2281.
- Ridgway, S. H., Carder, D. A., Kamolnick, T., Smith, R. R., Schlundt, C. E. and Elsberry, W. R. 2001. Hearing and whistling in the deep sea: depth influences whistle spectra but does not attenuate hearing by white whales (*Delphinapterus leucas*) (Odontoceti, Cetacea). *J. Exp. Biol.* 204, 3829-3841.
- Roy, N., & Y. Simard . 2015. Bruit ambiant et fréquentation de la région de Cacouna par le béluga du Saint-Laurent à l'été 2014 par monitoring acoustique continu. *Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat.* 3141: vi+22 p.
- Roy, N., Y. Simard, & C. Gervaise. 2010. 3D tracking of foraging belugas from their clicks : Experiment from a coastal hydrophone array. *Appl. Acoust.* 71 : 1050-1056
- Savaria, J.-Y., G. Cantin, L. Bossé, R. Bailey, L. Provencher & F. Proust. 2003. Compte rendu d'un atelier scientifique sur les mammifères marins, leurs habitats et leurs ressources alimentaires, tenu à Mont-Joli (Québec) du 3 au 7 avril 2000, dans le cadre de l'élaboration du projet de zone de protection marine de l'estuaire du Saint-Laurent. *Rapp. Manus. Can. Sci. Halieut. Aquat.* 2647. v + 127 p.
- Schlundt, C. E., Finneran, J. J., Carder, D. A. and Ridgway, S. H. 2000. Temporary shift in masked hearing thresholds of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, and white whales, *Delphinapterus leucas*, after exposure to intense tones. *J. Acoust. Soc. Am.* 107, 3496-3508.
- Sears, R. & J. M. Williamson. 1982. A preliminary aerial survey of marine mammals for the Gulf of St. Lawrence to determine their distribution and relative abundance. Mingan Island Cetacean Study-Station de recherche des îles Mingan (MICS), Falmouth (Massachusetts) et Sept-Îles (Québec).
- Sergeant, D.E. 1973. Biology of white whales (*Delphinapterus leucas*) in western Hudson Bay. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 30:1065-1090.

- Silber, G.K., S. M. A.S.M Vanderlaan, A.T. Arceredillo, L. Johnson, C.T Taggart, M.W. Brown, S. Bettridge & R. Sagarminaga. 2012. The role of the International Maritime Organization in reducing vessel threat to whales: Process, options, action and effectiveness. *Marine Policy*, 38(6): p. 1221-1233.
- Simard, Y., Roy, N., Gervaise, C., & Giard, S. 2016. Analysis and modeling of 255 source levels of merchant ships from an acoustic observatory along St. Lawrence Seaway J. *Acoust. Soc. Am.* 140(3): 2002-2018
- Smith, T.G. & A.R. Martin. 1994. Distribution and movements of belugas, *Delphinapterus leucas*, in the Canadian High Arctic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51:1653-1663.
- Southall, B.L., A.E. Bowles, W.T. Ellison, J.J. Finneran, R.L. Gentry, C.R. Greene, Jr., D. Kastak, D.R. Ketten, J.H. Miller, P.E. Nachtigall, W.J. Richardson, J.A. Thomas & P.L. Tyack. 2007. Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations. *Aquatic Mammals* 33 (4): 411-522.
- St. Aubin, D.J., T.G. Smith & J.R. Geraci. 1990. Seasonal epidermal molt in beluga, *Delphinapterus leucas*. *Canadian Journal of Zoology* 68:359-367.
- Vanderlaan, A.S.M. & C.T. Taggart. 2007. Vessel collisions with whales: The probability of lethal injury based on vessel speed. *Marine Mammal Science*, 23(1): p. 144-156.
- White, J. M. J., Norris, J. C., Ljungblad, D. K., Barton, K. & di Sciara, G. N. 1978. Auditory thresholds of two beluga whales (*Delphinapterus leucas*). In Hubbs/Sea World Research Institute Technical Report, pp. 78-109. San Diego, CA: Hubbs Marine Research Institute.
- WSP / GCNN. 2017. Terminal maritime en rive nord du Saguenay. Étude d'impact environnemental. Réponses à la demande d'information no 1 de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale. Rapport produit pour l'Administration portuaire du Saguenay. 418 p. + annexes.