

PORT DE QUÉBEC

ÉTUDE ACOUSTIQUE  
SUBAQUATIQUE DANS LE  
CADRE DE L'ÉTUDE D'IMPACT  
POUR L'AGRANDISSEMENT  
DU PORT DE QUÉBEC

SECTEUR BEAUPORT

FÉVRIER 2016



# ÉTUDE ACOUSTIQUE SUBAQUATIQUE DANS LE CADRE DE L'ÉTUDE D'IMPACT POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE QUÉBEC

SECTEUR BEAUPORT

**Port de Québec**

Projet n° : 151-09831-00  
Date : Février 2016



—  
**WSP Canada Inc.**  
5355, boul. des Gradins  
Québec (Québec) G1J1C8

Téléphone : +1 418-623-2254  
Télécopieur : +1 418-623-1857  
[www.wspgroup.com](http://www.wspgroup.com)

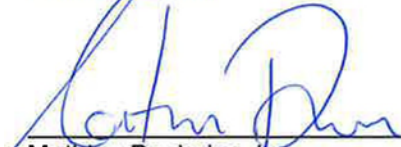




---

# SIGNATURES

PRÉPARÉ PAR



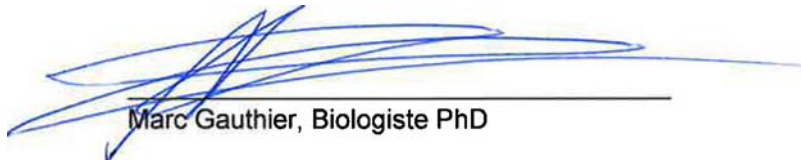
---

Mathieu Deshaies, ing.



---

Marc Deshaies, ing.



---

Marc Gauthier, Biologiste PhD

RÉVISÉ PAR



---

Patrick Lafrance, biologiste, M.Sc.  
Directeur – Service milieu marin

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.



---

# ÉQUIPE DE RÉALISATION

## PORT DE QUÉBEC

Directrice adjointe Environnement      Nancy Hudon

## WSP CANADA INC.

Directeur de projet      Patrick Lafrance

Expert en acoustique – Modélisation      Marc Deshaies

Relevés de terrain      Mathieu Deshaies

Évaluation des impacts      Marc Gauthier

Cartographie      Pierre Cordeau

Traitement de texte et édition      Linette Poulin

### Référence à citer :

WSP 2016. *Étude acoustique subaquatique dans le cadre de l'étude d'impact pour l'agrandissement du port de Québec – Secteur Beauport*. Rapport produit pour le Port de Québec. 53 pages et annexes.



# TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1	MISE EN CONTEXTE .....	1
1.2	OBJECTIFS.....	1
<b>2</b>	<b>MÉTHODOLOGIE.....</b>	<b>5</b>
2.1	ÉTAT DE RÉFÉRENCE DU BRUIT SUBAQUATIQUE.....	5
2.2	ATTÉNUATION SONORE .....	5
2.3	MODÉLISATION DU BRUIT SUBAQUATIQUE.....	7
2.3.1	INTRANTS POUR LA MODÉLISATION.....	8
2.3.2	VALIDATION ET CALIBRATION DU MODÈLE .....	8
2.3.3	SCÉNARIOS MODÉLISÉS POUR L'ÉVALUATION DES IMPACTS.....	11
<b>3</b>	<b>RÉSULTATS.....</b>	<b>13</b>
3.1	ÉTAT DE RÉFÉRENCE DU BRUIT SUBAQUATIQUE.....	13
3.1.1	CONTEXTE GÉNÉRAL .....	13
3.1.2	AMBIANCE SONORE DE LA ZONE À L'ÉTUDE .....	14
3.2	ATTÉNUATION SONORE .....	17
3.3	MODÉLISATION DU BRUIT SUBAQUATIQUE GÉNÉRÉ PAR LES TRAVAUX.....	19
3.3.1	VALIDATION ET CALIBRATION DU MODÈLE .....	19
3.3.2	SCÉNARIOS MODÉLISÉS.....	23
<b>4</b>	<b>DISCUSSIONS .....</b>	<b>33</b>
4.1	SENSIBILITÉ DES POISSONS AUX BRUITS SOUS-MARINS .....	33
4.2	SEUILS DE SENSIBILITÉ DES POISSONS AUX BRUITS SOUS- MARINS.....	35
4.3	BRUITS GÉNÉRÉS PAR LA CONSTRUCTION D'UN QUAI .....	35
4.3.1	BRUITS D'IMPACTS .....	35

4.3.2	BRUITS CONTINUS.....	35
4.3.3	BATTAGE VS VIBROFONÇAGE.....	36
4.3.4	BRUITS DE DRAGAGE.....	37
4.3.5	BRUITS DE NAVIRES.....	38
<b>4.4</b>	<b>ÉVALUATIONS DES IMPACTS DU BRUIT SUR LES POISSONS .....</b>	<b>40</b>
4.4.1	PHASE CONSTRUCTION.....	40
4.4.2	PHASE EXPLOITATION .....	41
<b>4.5</b>	<b>RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>MESURES D'ATTÉNUATION .....</b>	<b>43</b>
<b>5.1</b>	<b>MÉTHODES ALTERNATIVES AU BATTAGE .....</b>	<b>43</b>
5.1.1	VIBROFONÇAGE.....	43
<b>5.2</b>	<b>MÉTHODES DE CONFINEMENT OU DE RÉDUCTION DU BRUIT.....</b>	<b>43</b>
5.2.1	RIDEAU DE BULLES .....	44
5.2.2	CAISSONS ET COFFRAGES .....	44
5.2.3	GAINES ISOLANTES .....	45
5.2.4	COUSSINS AMORTISSEURS .....	45
	<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>47</b>

## TABLEAUX

TABLEAU 2.1	PRESSION SONORE À LA SOURCE DE CHACUN DES TIMBRES DE RÉFÉRENCE ÉMIS PAR LE PROJECTEUR DE SON LORS DES MESURES D'ATTÉNUATION SONORE DANS LA ZONE D'ÉTUDE .....	6
TABLEAU 2.2	SCÉNARIOS MODÉLISÉS POUR L'ÉVALUATION DES IMPACTS .....	11
TABLEAU 3.1	PRESSIONS SONORES MINIMALE, MAXIMALE, MOYENNE ET MÉDIANE MESURÉES SUR TOUTE LA DURÉE DES ENREGISTREMENTS DU 11 AU 17 SEPTEMBRE 2015. DONNÉES LARGE-BANDE (10-16 000 HZ) COMPILÉES SUR DES DURÉES D'UNE MINUTE (SPL <sub>(1MIN)</sub> ) ET D'UNE HEURE (SPL <sub>(1H)</sub> ). .....	17
TABLEAU 3.2	COMPARAISON DES PRESSIONS SONORES MESURÉES LORS DES TESTS D'ATTÉNUATION RÉALISÉS SUR LE TERRAIN LE 29 SEPTEMBRE 2015 ET LES VALEURS PRÉDITES PAR LE LOGICIEL DBSEA (DBSEA, VERSION 1.3; MARSHALL DAY ACOUSTICS, AUSTRALIE)* .....	19
TABLEAU 4.1	SEUILS DE SÉCURITÉ PROPOSÉS À L'ÉGARD DES EFFETS PHYSIOLOGIQUES ET COMPORTEMENTAUX POTENTIELS DES BRUITS DE NATURE IMPULSIVE OU CONTINUE GÉNÉRÉS PAR LES TRAVAUX SUR LES POISSONS .....	40

## FIGURES

FIGURE 2.1	INSTALLATION TYPIQUE DU MODULE D'ENREGISTREMENT .....	6
FIGURE 3.1	PRESSIONS SONORES SUBAQUATIQUES (SPL <sub>1 MIN</sub> LARGE BANDE) MESURÉES SELON L'HEURE DU JOUR DU 11 AU 17 SEPTEMBRE 2015 AU PORT DE QUÉBEC. ....	15
FIGURE 3.2	PRESSIONS SONORES SUBAQUATIQUES MESURÉES (LARGE BANDE) DU 11 AU 17 SEPTEMBRE 2015 AU PORT DE QUÉBEC. ....	16
FIGURE 3.3	ATTÉNUATION SONORE MESURÉE AU LARGE DU PORT DE QUÉBEC EN COMPARAISON AVEC LES PRÉDICTIONS DES MODÈLES DE DISPERSION SPHÉRIQUE ET CYLINDRIQUE. MESURES RÉALISÉES PAR BANDES D'UN TIERS D'OCTAVE (200 À 5 000 HZ) LE 17 ET LE 29 SEPTEMBRE 2015. ....	18
FIGURE 4.1	ZONES D'EFFETS DIRECTS DES BRUITS FORTS SUR LA FAUNE AQUATIQUE (ADAPTÉ DE BAPE, 2004).....	34
FIGURE 4.2	PROPAGATION DES ÉMISSIONS SONORES RÉSULTANT DU BATTAGE D'UN PIEU (ADAPTÉ DE ELMER, 2010).....	37
FIGURE 4.3	EXEMPLES DE CHEVAUCHEMENT DES FRÉQUENCES DE CERTAINS BRUITS D'ORIGINE ANTHROPIQUE AVEC CELLES DE LA FAUNE MARINE (ADAPTÉ DE FUTURA-SCIENCES 2012).....	39

## CARTES

CARTE 1	ZONE D'ÉTUDE.....	3
CARTE 2	LOCALISATION DU SITE D'ENREGISTREMENT DE L'AMBIANCE SONORE SUBAQUATIQUE .....	9
CARTE 3	SIMULATION DE LA PROPAGATION SUBAQUATIQUE DU SON .....	21
CARTE 4A	PROPAGATION DU BRUIT GÉNÉRÉ PAR LE BATTAGE D'UNE PALPLANCHE .....	25
CARTE 4B	PROPAGATION DU BRUIT GÉNÉRÉ PAR LE VIBROFONÇAGE D'UNE PALPLANCHE .....	27
CARTE 4C	PROPAGATION DU BRUIT GÉNÉRÉ PAR DES TRAVAUX DE DRAGAGE .....	29
CARTE 4D	PROPAGATION DU BRUIT GÉNÉRÉ PAR UN NAVIRE À FORT TONNAGE.....	31

---

## ANNEXES

ANNEXE A	REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE
ANNEXE B	FICHES TECHNIQUES DES INSTRUMENTS DE MESURE
ANNEXE C	PRESSIONS SONORES ET ANALYSES PAR TIERS D'OCTAVE DE BRUITS ENREGISTRÉS DANS LE PORT DE QUÉBEC DU 11 AU 17 SEPTEMBRE 2015
ANNEXE D	DESCRIPTIONS DES MODÈLES DE PROPAGATION SPHÉRIQUE ET CYLINDRIQUE
ANNEXE E	PRESSIONS SONORES MESURÉES AU LARGE DU PORT DE QUÉBEC EN FONCTION DE LA DISTANCE DE LA SOURCE POUR UN POINT D'ÉMISSION FIXE ET UN POINT D'ÉMISSION MOBILE
ANNEXE F	ATTÉNUATIONS SONORES ESTIMÉES ET MESURÉES PAR BANDE D'UN TIERS D'OCTAVE
ANNEXE G	ATTÉNUATIONS SONORES ESTIMÉES PAR BANDE D'OCTAVE ENTRE L'EMPLACEMENT PRÉVU DU PROLONGEMENT DU QUAI ET LA RIVE OPPOSÉE
ANNEXE H	CARACTÉRISTIQUES DU BRUIT SOUS-MARIN ÉMIS PAR DIFFÉRENTES ACTIVITÉS HUMAINES



# 1 INTRODUCTION

## 1.1 MISE EN CONTEXTE

Le port de Québec prévoit un agrandissement de ses installations dans le secteur de Beauport. Le projet propose le prolongement de la ligne de quai actuelle de 610 mètres (m), dotée d'une profondeur d'eau de 16 m à marée basse, la création de 16,9 hectares (ha) de nouveaux terrains en arrière-quai, ainsi que la consolidation et le réaménagement de la plage existante (Port de Québec, 2015). Cet agrandissement nécessitera les travaux suivants en eau :

- prolongement d'un quai en caissons de béton de 610 m de longueur;
- construction (optionnelle) d'un quai en rideau de palplanches de 310 m;
- construction d'une digue de retenue de 480 m (plus de 200 000 tonnes [t] de matériau de remblai);
- construction d'un brise-lame de 239 m (89 000 t de matériau de remblai);
- dragage de 900 000 m<sup>3</sup> de sédiments, dont 220 000 m<sup>3</sup> pour la recharge de la plage.

Le port de Québec réalise présentement une étude d'impact environnemental pour le projet. Dans ce contexte, un des aspects à évaluer pour rencontrer les exigences des autorités gouvernementales, notamment l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (ACEE), est le bruit subaquatique généré par les travaux mentionnés ci-dessus. Il est à noter que, dans le cadre de cette étude, le bruit subaquatique représente essentiellement les ondes sonores se déplaçant dans l'eau. La zone d'étude considérée couvre une superficie d'environ 36 km<sup>2</sup> de milieu aquatique adjacent au port de Québec (carte 1 / photos 1 et 2; annexe A).



## 1.2 OBJECTIFS

Les objectifs de cette étude sont les suivants :








- établir l'état de référence du bruit subaquatique dans la zone prévue pour les travaux;
- modéliser la propagation du bruit sous-marin durant les travaux en eau et évaluer les impacts des travaux;
- proposer des mesures d'atténuation pour réduire l'impact des travaux sur le bruit sous-marin;
- proposer un programme de suivi à mettre en place durant la réalisation des travaux.



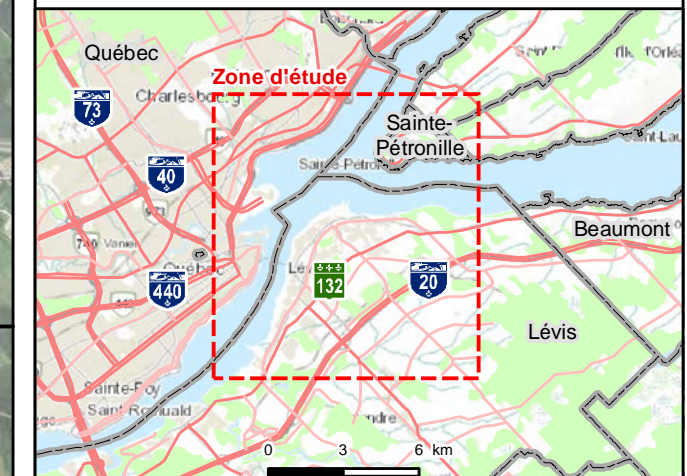


-  Zone d'étude
-  Infrastructure projetée

**Bathymétrie**

	10 à 0 m
	0 à -10 m
	-10 à -20 m
	-20 à -30 m
	-30 à -40 m
	-40 à -50 m
	-50 à -60 m

0 450 900 1800 m  
 1 : 45 000  
 Projection : NAD83, MTM fuseau 7




**ÉTUDE D'IMPACT  
 POUR L'AGRANDISSEMENT  
 DU PORT DE QUÉBEC -  
 SECTEUR DE BEAUPORT -  
 Étude acoustique sous-marine  
 Québec, Qc**

**Carte 1  
 Zone d'étude**

**Sources :**  
 Image satellite : © Communauté Métropolitaine de Québec (2013-05-31), tirée de Google Earth Pro  
 Cartes : - RNCan, BNDT 1 : 250 000, feuillet 21L - ESRI World topographic Map  
 Limites de municipalités : SDA20K 2010-01  
 Infrastructure projetée : Port de Québec, fichier : 615534-0000-4LD2-0002\_02.dwg (2015-09-17)  
 16 novembre 2015 151-09831-00

Préparée par : M. Gauthier  
 Dessinée par : P. Cordeau  
 Approuvée par : P. Lafrance





## 2 MÉTHODOLOGIE

### 2.1 ÉTAT DE RÉFÉRENCE DU BRUIT SUBAQUATIQUE

L'ambiance sonore subaquatique a été enregistrée inclusivement du 11 septembre 2015 à 13 h au 17 septembre 2015 à 16 h. À cette fin, un module d'enregistrement sous-marin (Aural M2, Multi-Électronique, Rimouski, Qc, Canada; fiche technique annexe B-1) a été ancré sur le lit du fleuve, dans les eaux du port de Québec, à une distance d'environ 250 m à l'est de la berge (carte 2). L'appareil était suspendu sous une bouée et ancré de manière à ce qu'il se maintienne à la verticale et que l'hydrophone se trouve à environ 2 m au-dessus du fond (figure 2.1 / photos 3 à 5; annexe A). Les enregistrements ont été faits en continu, à un taux d'échantillonnage de 32 kHz et une résolution de 16 bits. La sensibilité de l'hydrophone utilisé est de -165 dB re: 1 V/ $\mu$ Pa.

Les données récoltées par le module d'enregistrement sous-marin ont été analysées avec le logiciel SpectraPro-SC (ST Spectra Group, Seattle, USA). L'ambiance sonore à long terme a été compilée à intervalles de 60 secondes et de 60 minutes pour toute la durée des enregistrements, de manière à en tirer d'éventuelles corrélations avec l'heure du jour, les activités humaines et le cycle des marées. Pour certaines des sources ponctuelles identifiées (p. ex. le passage de navires), les niveaux de pression sonore moyens (SPL) et maximaux (SPL<sub>peak-peak</sub>) ont été analysés à large bande (0 – 16000 Hz), ainsi que par bandes d'un tiers d'octave.

### 2.2 ATTÉNUATION SONORE

L'évaluation de l'atténuation sonore dans la zone d'étude a été réalisée in situ le 17 septembre 2015 et le 29 septembre 2015 en vue, notamment, de valider et d'ajuster les simulations de propagation des bruits générés par les travaux de construction des infrastructures portuaires. À cette fin, des timbres sonores de référence, de fréquence et d'intensité connues ont été émis à partir de divers points situés dans la zone d'étude (carte 2). Ces timbres étaient émis à l'aide d'un projecteur de sons (LL9162T; Lubell Labs Inc., Columbus, OH, États-Unis; annexe B-2) suspendu sous une embarcation à une profondeur de 5 m. Le projecteur était relié à un amplificateur (Planet Audio AC2500.1M, Oxnard, CA, États-Unis; annexe B-3) et à un ordinateur, en vue de générer un signal sonore constitué d'une série de 15 timbres purs, centrés sur les bandes d'un tiers d'octave de 200 à 5 000 Hz. Ces fréquences se situent dans la plage pour laquelle le projecteur est omnidirectionnel. Chaque timbre sonore était émis pour une durée de deux secondes, suivi d'une seconde de silence, puis du timbre suivant pour un total de 45 secondes par séquence. Ce signal sonore a été répété en boucle pour toute la durée de chaque prise de mesures. L'intensité à la source de chaque timbre de référence est présentée au tableau 2.1.

Dans un premier temps, les mesures de pressions sonores générées par le projecteur de son ont été prises et enregistrées à l'aide du module Aural M2, préalablement installé pour l'enregistrement de l'ambiance sonore des lieux. Comme mentionné précédemment, celui-ci était ancré sur le lit du fleuve et suspendu sous une bouée, de manière à ce que l'hydrophone se trouve à environ 2 m au-dessus du fond (figure 2.1).

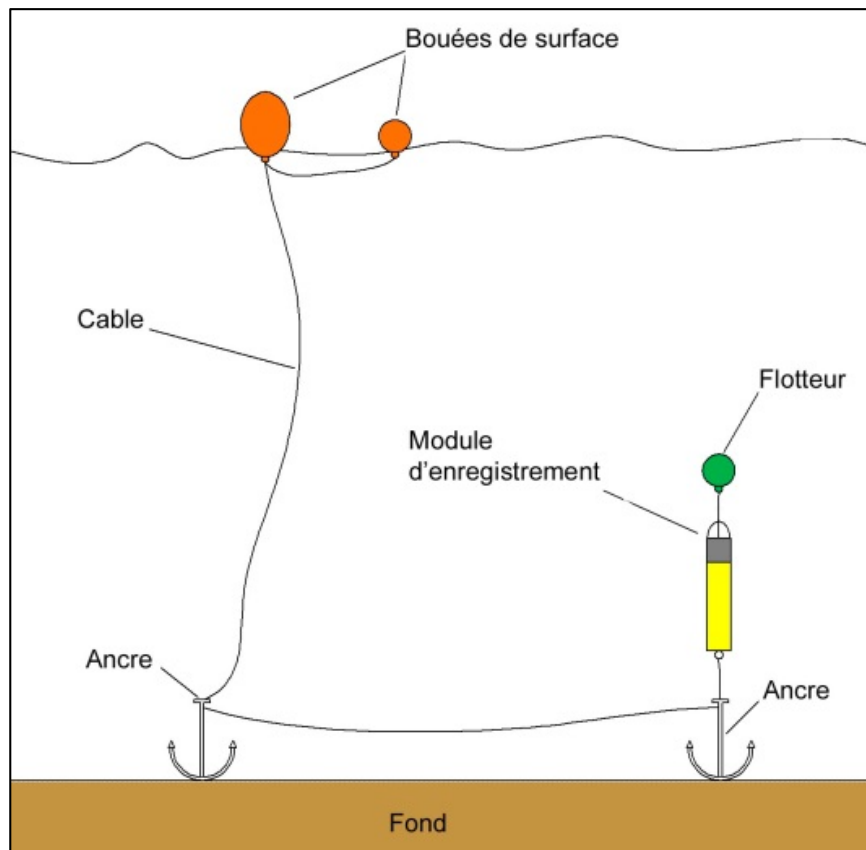


Figure 2.1 Installation typique du module d'enregistrement

Lors de ces mesures réalisées le 17 septembre 2015, le module d'enregistrement est demeuré fixe et le projecteur de son a été déplacé d'environ 100 m à 1 200 m de celui-ci (carte 2), pour une durée d'émission d'une vingtaine de minutes à chaque point. Le projecteur était alors suspendu à 5 m sous une embarcation, qui était ancrée avec le moteur à l'arrêt.

Tableau 2.1 Pression sonore à la source de chacun des timbres de référence émis par le projecteur de son lors des mesures d'atténuation sonore dans la zone d'étude

FRÉQUENCE (Hz) CENTRE DE LA BANDE D'UN TIERS D'OCTAVE	PRESSION SONORE À LA SOURCE (dB re 1 $\mu$ Pa @ 1 m)	FRÉQUENCE (Hz) CENTRE DE LA BANDE D'UN TIERS D'OCTAVE	PRESSION SONORE À LA SOURCE (dB re 1 $\mu$ Pa @ 1 m)
200	132,3	1 250	174,3
250	151,8	1 600	172,1
315	157,1	2 000	180,1
400	161,6	2 500	174,9
500	163,2	3 150	154,9
630	162,6	4 000	160,9
800	174,4	5 000	171,5
1 000	176,0		

Lors des mesures du 29 septembre 2015, avec point d'émission fixe, le projecteur de son était également suspendu à 5 m sous l'embarcation, mais celle-ci est demeurée amarrée au quai pour toute la durée des prises de mesures. Le module d'enregistrement était alors déplacé d'un point de mesure à l'autre (carte 2). Comme pour les mesures d'atténuation sonore avec point d'émission mobile et l'enregistrement de l'ambiance sonore, l'appareil était suspendu sous une bouée, de manière à ce que l'hydrophone se trouve à environ 2 m au-dessus du fond. Une fois le module d'enregistrement installé, l'embarcation était déplacée et ancrée, le moteur à l'arrêt, pour une vingtaine de minutes avant de récupérer et de déplacer l'appareil au point de mesure suivant.

Les prises de mesures de l'atténuation sonore se sont étendues de 16 h 15 à 17 h 50 le 17 septembre 2015, en période de marée basse, alors que celles du 29 septembre 2015 se sont étendues de 9 h 30 à 13 h, en période de marée descendante.

### 2.3 MODÉLISATION DU BRUIT SUBAQUATIQUE

Dans le cadre de ce projet, le logiciel de simulation de propagation sonore dBSea (version 1.3, Marshall Day Acoustics, Australie) a été le principal outil utilisé pour simuler la propagation du bruit subaquatique dans la zone d'étude, ainsi que pour estimer et cartographier les niveaux de bruit générés par les divers travaux de construction prévus pour l'agrandissement des installations portuaires. À partir de paramètres de base influençant la propagation subaquatique du son (bathymétrie, salinité et température, type de sédiment, etc.), ce logiciel calcule, notamment, l'atténuation du bruit en fonction de la distance le long de rayons établis à partir des sources sonores et se propageant dans toutes les directions. Les calculs sont ainsi réalisés sur une base tridimensionnelle pour l'ensemble de la masse d'eau à l'étude, tout en intégrant les effets de réflexion de l'interface eau/air ainsi que ceux causés par le fond selon sa topographie et sa texture. Les calculs du coefficient de réflexion sont réalisés selon la méthode de Jensen et coll. (2011).

Les résultats des simulations peuvent être présentés sous forme cartographique (isocontours de bruit superposés à la zone d'étude) ou sous forme de tableau de valeurs des pressions sonores à divers points récepteurs.

Les simulations de propagation du bruit ont été établies aux fins suivantes :

- validation des prévisions du modèle à partir des mesures *in situ* réalisées à l'aide de l'hydrophone et du projecteur de son ;
- simulation de la propagation des bruits générés par divers travaux en eau prévus pour l'agrandissement des installations.

Pour chacun des scénarios, les niveaux de bruit ont été calculés sur une grille tridimensionnelle de maille de 6 m x 6 m x 6 m et une carte illustrant la propagation du bruit a été préparée. Les iso-contours correspondent à des niveaux sonores compris entre 90 et 210 dB re 1  $\mu$ Pa, avec un intervalle de 5 dB re 1  $\mu$ Pa entre chaque courbe.

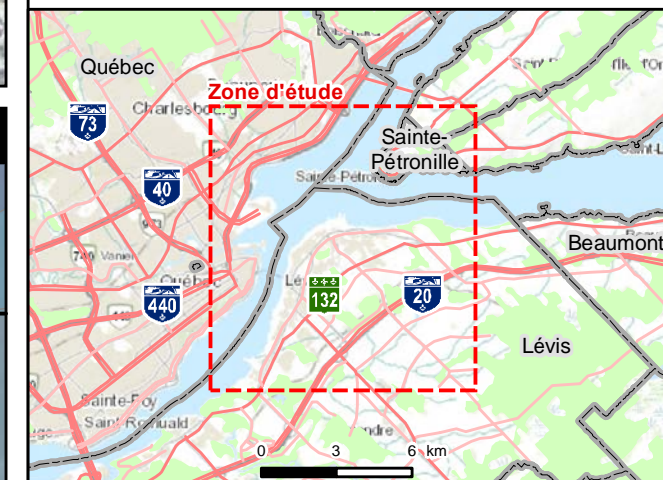
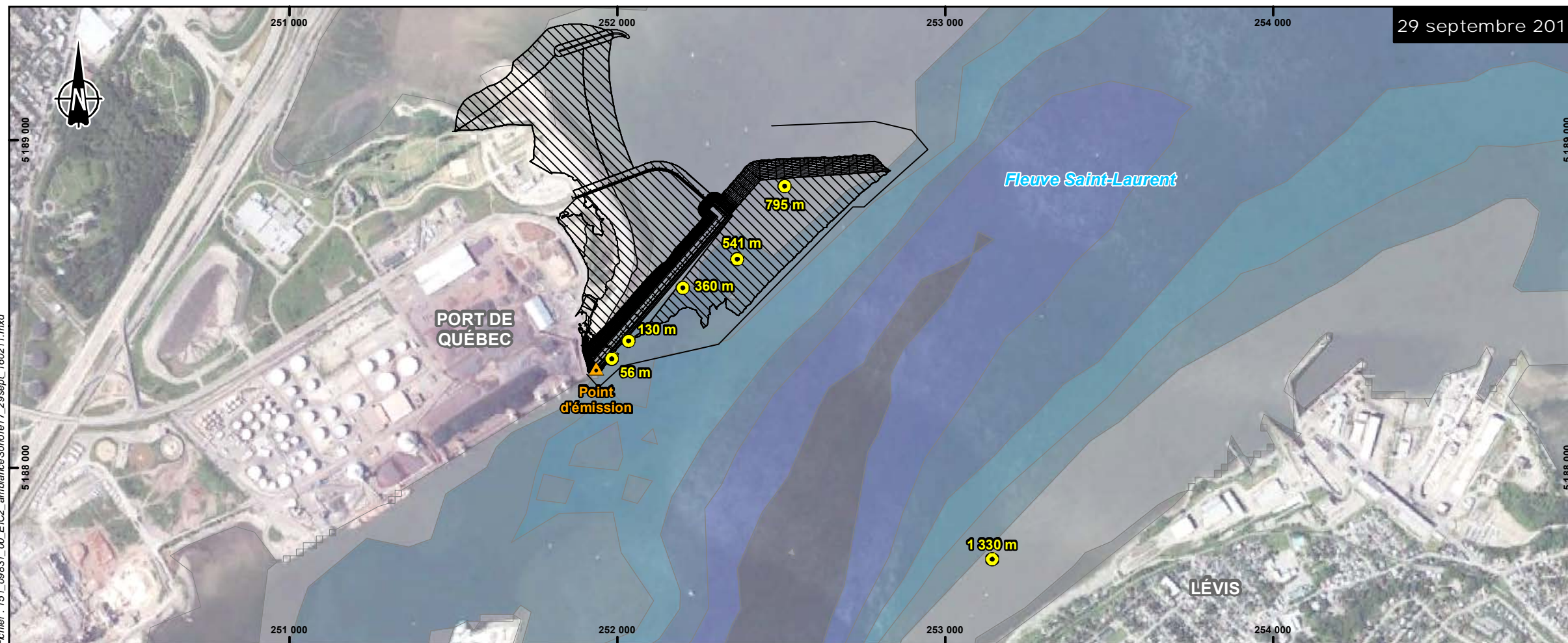
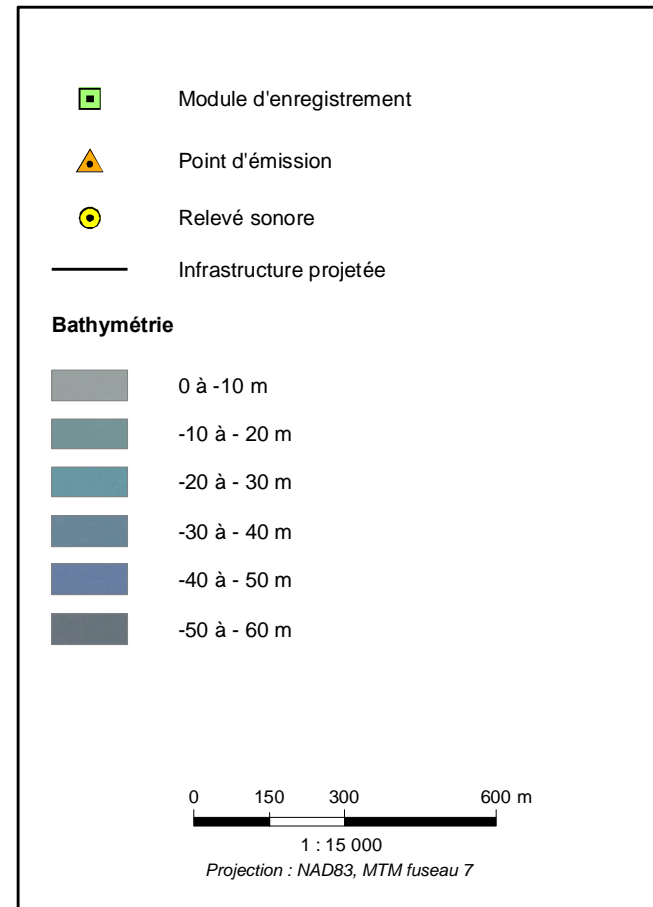
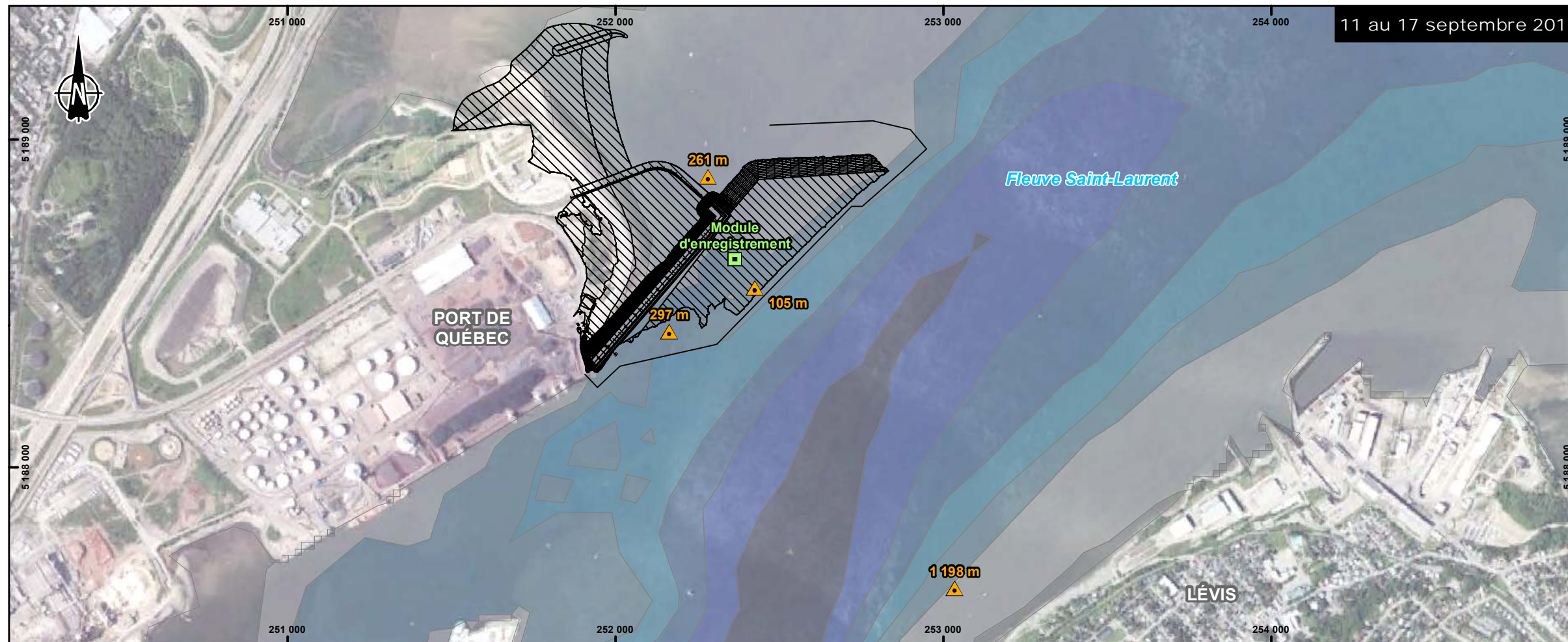
### 2.3.1 INTRANTS POUR LA MODÉLISATION

Comme mentionné ci-haut, le logiciel dBSea considère plusieurs paramètres de l'environnement afin de produire des simulations réalistes de la propagation sonore subaquatique. Dans le cadre des simulations réalisées pour ce projet, nous avons utilisé la bathymétrie du fleuve provenant du Service hydrographique du Canada (SHC) (feuilles : CA579003 et CA479082). Les valeurs des principaux paramètres relatifs à la qualité de l'eau ont été obtenues via le site de l'observatoire global du St-Laurent (<http://ogsl.ca>). Nous y avons notamment obtenu les données de température enregistrées au marégraphe du Vieux-Québec (46° 48.666' N - 72° 47.886' O), alors que celles de salinité proviennent du marégraphe de St-François de l'Île d'Orléans (46° 59.79' - N 71° 11.508' O).

Le fond du fleuve dans la zone d'étude a été considéré comme sablonneux et les paramètres acoustiques standards ont été utilisés pour ce type de fond (célérité = 1 700 m/s densité = 1 500 kg/m<sup>3</sup>, atténuation = 1 dB/longueur d'onde [Jensen et coll., 2011]).

### 2.3.2 VALIDATION ET CALIBRATION DU MODÈLE

Afin de valider les simulations produites par le logiciel dBSea, nous avons reproduit par simulation la campagne de mesures d'atténuation acoustique effectuée *in situ* le 29 septembre 2015. À cette fin, les points d'émission, de réception, ainsi que les fréquences des timbres de référence utilisés sur le terrain ont été intégrés au logiciel, de même que les paramètres de base (bathymétrie, température, etc.) appropriés. Les résultats issus de ces simulations ont ensuite été comparés aux mesures obtenues sur le terrain, afin d'évaluer l'écart entre les valeurs prédites et mesurées. Le cas échéant, le modèle de simulation pourra être calibré afin de mieux s'ajuster aux valeurs mesurées et d'améliorer la qualité des simulations du bruit généré par les travaux de construction prévus. Les valeurs de température de l'eau, de salinité et de hauteur de la marée utilisées pour ces simulations sont celles qui prévalaient le 29 septembre 2015 à 15 h.



**ÉTUDE D'IMPACT POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE QUÉBEC - SECTEUR DE BEAUPORT - Étude acoustique subaquatique Québec, Qc**

**Carte 2**  
**Localisation du site d'enregistrement de l'ambiance sonore subaquatique (du 11 au 17 septembre 2015) et des points d'émission pour les tests d'atténuation du 17 et du 29 septembre**

**Sources :**  
 Image satellite : © Communauté Métropolitaine de Québec (2013-05-31), tirée de Google Earth Pro  
 Cartes : - RNCan, BNDT 1 : 250 000, feuillet 21L - ESRI World topographic Map  
 Limites de municipalités : SDA20K, 2010-01  
 Infrastructure projetée : Port de Québec, fichier : 615534-0000-4LD2-0002\_02.dwg (2015-09-17)  
 11 février 2016 151-09831-00

Préparée par : M. Gauthier  
 Dessinée par : P. Cordeau  
 Approuvée par : P. Lafrance

Fichier : 151\_09831\_00\_EC2\_ambianceSonore17\_29septL160211.mxd



### 2.3.3 SCÉNARIOS MODÉLISÉS POUR L'ÉVALUATION DES IMPACTS

En vue d'identifier les périmètres dans lesquels le bruit généré par les travaux de construction pourrait s'avérer critique pour la faune aquatique, nous avons sélectionné certaines activités bruyantes afin de simuler la propagation du bruit qui en résulte. Il s'agit du battage et du vibrofonçage de palplanches, ainsi que du dragage. Nous avons également simulé la circulation d'un navire de fort tonnage pour illustrer la propagation du bruit pouvant résulter de la navigation actuelle et future de ce type de navire. Ces simulations ont été réalisées avec le logiciel dBSea, en utilisant les paramètres de l'environnement considérés pour illustrer l'atténuation sonore (section 2.2), ainsi que des pressions sonores à la source (SPL) typiques des activités ciblées. Le résumé des scénarios modélisés est présenté au tableau 2-2.

**Tableau 2.2 Scénarios modélisés pour l'évaluation des impacts**

SOURCE SONORE	PRESSION SONORE À LA SOURCE (dB re 1 µPa @ 1 m)	RÉFÉRENCES
Battage de palplanche	216,0	ENVIRONNEMENT ILLIMITÉ INC. 2006; Illinworth & Rodkin Inc. 2006a, 2007
Vibrofonçage de palplanche	164,3	ENVIRONNEMENT ILLIMITÉ INC. 2006; Illinworth & Rodkin Inc. 2006b, 2007
Dragage par succion	185	CDA, 2011
Déplacement d'un navire de fort tonnage	190	Richardson et coll., 1995 Environnement Illimité Inc., 2006



## 3 RÉSULTATS

### 3.1 ÉTAT DE RÉFÉRENCE DU BRUIT SUBAQUATIQUE

#### 3.1.1 CONTEXTE GÉNÉRAL

Le son se propageant plus facilement dans l'eau que dans l'air, l'environnement subaquatique est en général relativement bruyant, et ce, même en absence d'activités humaines. Le bruit de fond est ainsi alimenté par plusieurs sources sonores naturelles d'intensité variable, telles les vibrations terrestres, le vent, la pluie, les craquements de la glace, les vagues et les courants (Wenz, 1962; NRC, 2003; Lawson et McQuinn, 2004). Parmi les sources sonores d'origine naturelle, le vent et l'état de la mer ont généralement pour effet d'élever de façon uniforme les niveaux sonores dans la gamme de fréquences comprise entre 100 Hz et 10 kHz (Wenz, 1962). Plusieurs espèces composant la faune aquatique ou marine, principalement les mammifères marins, mais aussi certains poissons et invertébrés, émettent également des sons pour communiquer entre elles ainsi que pour se nourrir et se déplacer (NRC, 2003; Au et Hastings, 2008).

Les bruits d'origine anthropique, qui se superposent aux bruits naturels, ont particulièrement augmenté au cours des dernières décennies (Potter et Delory, 1998; Simmonds et coll., 2004). Le trafic maritime constitue généralement l'activité bruyante dominante et produit des bruits subaquatiques sur une large étendue de fréquences. Parmi celles-ci, les ondes à basses fréquences subissent peu d'atténuation et peuvent se propager sur des centaines de kilomètres (Ross, 1987; Richardson, et coll., 1995). À cela s'ajoutent d'autres bruits d'origine humaine, dont ceux générés par les travaux côtiers, le trafic aérien, les activités d'exploration (levés sismiques, forages) et d'exploitation extracôtières, ainsi que l'utilisation de sonars et d'autres sources acoustiques expérimentales (Potter et Delory, 1998; Richardson, et coll., 1995; Simmonds et coll., 2004).

La multiplication et le cumul des sources sonores subaquatiques rendent aujourd'hui nécessaire la prise en considération des impacts du bruit sur la faune aquatique, notamment dans le cadre des projets de construction d'infrastructures côtières. Cette préoccupation est d'autant plus justifiée que plusieurs activités associées à la construction, telles que le battage de pieux et de palplanches, peuvent générer des pressions sonores causant des effets mesurables sur le comportement de la faune aquatique et, dans certains cas, des dommages physiologiques temporaires ou permanents, voire même des lésions physiques pouvant entraîner la mort (Slabbekoorn et coll., 2010; Halvorsen et coll., 2011).

C'est dans ce contexte qu'un état de référence du bruit subaquatique du port de Québec a été établi, de manière à évaluer l'impact des bruits qui découleront de la construction des infrastructures prévues et à proposer les mesures d'atténuation et de suivi appropriées, s'il y a lieu.

### 3.1.2 AMBIANCE SONORE DE LA ZONE À L'ÉTUDE

#### 3.1.2.1 SOURCES DE BRUITS

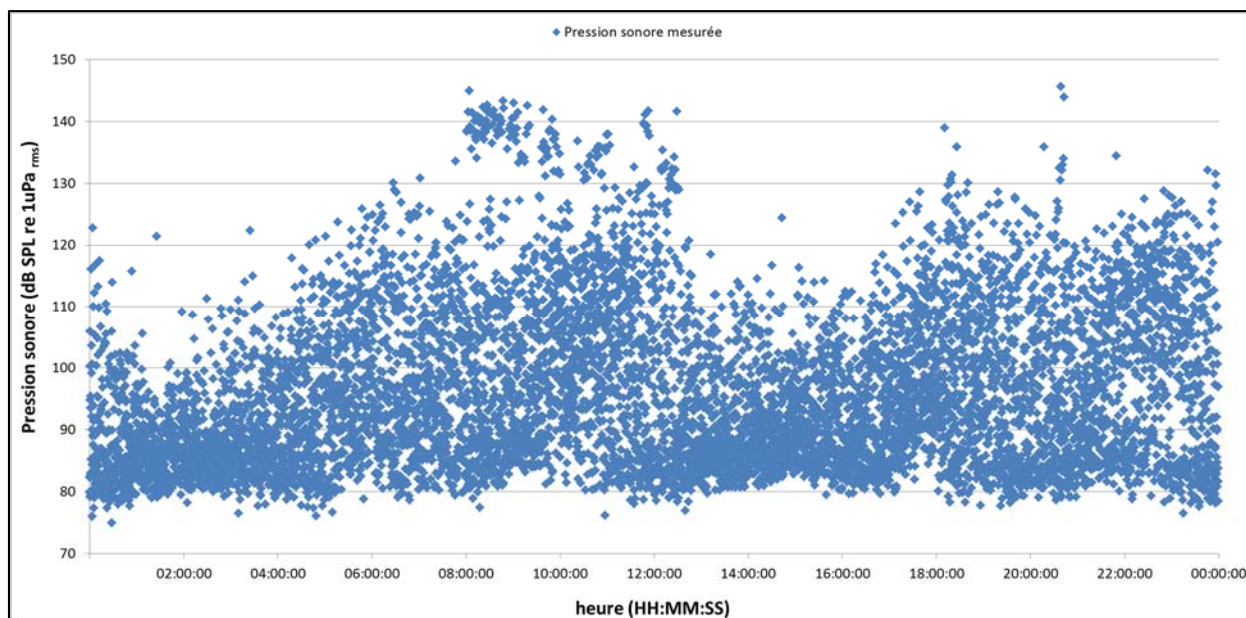
Bien que l'enregistrement de l'ambiance sonore subaquatique au port de Québec se soit limité à sept jours en septembre 2015, durant lesquels 40 arrivées/départs de navires de fort tonnage ont été enregistrés, les sources de bruit peuvent varier considérablement durant l'année. Ainsi, la navigation de plaisance et de loisir est essentiellement concentrée en été, alors que le bruit des glaces peut être particulièrement important en hiver (GENIVAR, 2011). La navigation commerciale et les activités portuaires, qui s'étalent sur toute l'année, sont probablement la source majeure de bruits d'origine anthropique dans la zone d'étude.

Il est à noter qu'avec le port de Montréal et celui de Sept-Îles, le port de Québec est l'un des trois plus importants ports du Saint-Laurent en matière de tonnage manutentionné. Il se situait d'ailleurs au premier rang à ce niveau en 2012, avec plus de 33 millions de tonnes (Mt) manutentionnées, surtout constituées de vrac solide et de vrac liquide (Port de Québec, 2012). La profondeur naturelle de l'eau de 15 m à marée basse en fait le port en eau profonde le plus en amont sur le Saint-Laurent, ce qui y amène notamment de nombreux navires trop imposants pour atteindre Montréal ou emprunter la voie maritime vers les Grands Lacs. Le tonnage manutentionné au port de Québec s'est élevé à 27 Mt en 2013, ce qui s'est traduit par la visite de 1 127 navires de marchandise (Port de Québec, 2012). Il s'agit également d'une destination très prisée dans le cadre des croisières, ce qui s'est traduit en 2014 par 109 escales (26 navires différents) et la visite de 135 000 croisiéristes (Port de Québec, 2014). Finalement, la marina accueille annuellement près de 1 000 bateaux de plaisance, dont certains yachts privés de 80 à 250 pi de longueur (Port de Québec, 2012, 2013, 2014).

En considérant également les navires de toutes sortes qui remontent le fleuve ou le redescendent sans s'arrêter au port de Québec, ainsi que les petites embarcations de loisir telles les motomarines et les petits bateaux de pêche, nous pouvons considérer que les sources de bruit subaquatiques découlant de la navigation sont omniprésentes dans la zone d'étude.

#### 3.1.2.2 PRESSIONS SONORES MESURÉES

Comme mentionné précédemment, l'ambiance sonore subaquatique de la zone d'étude doit varier durant l'année. Elle peut également varier sur une base horaire et quotidienne en fonction, notamment, du trafic maritime et des activités portuaires en cours. La figure 3.1, qui présente sur une base horaire les pressions sonores mesurées pour chaque minute d'enregistrement entre le 11 septembre 2015 à 13 h et le 17 septembre 2015 à 16 h montre, notamment, des pressions sonores particulièrement élevées entre 8 h et 12 h, avec quelques pics secondaires autour de 18 h 30 et de 20 h 30, alors que les pressions sonores les plus basses surviennent aux environs de 1 h 30.



**Figure 3.1 Pressions sonores subaquatiques ( $SPL_{1\text{ min}}$  large bande) mesurées selon l'heure du jour du 11 au 17 septembre 2015 au port de Québec.**

L'écoute et l'analyse des segments d'enregistrement où les pressions sonores sont les plus élevées révèlent que les sources de bruits forts sont essentiellement reliées aux activités portuaires et au passage de navires. Au total, 183 départs et arrivées de bateaux, jaugeant de 402 à 91 000 t, ont été enregistrés dans le secteur durant la période d'enregistrement de l'ambiance sonore subaquatique (SIGTM, 2015). Ce trafic inclut les remorqueurs, traversiers et petites embarcations commerciales, mais exclut le passage des navires ayant remonté ou descendu le fleuve sans s'arrêter au port de Québec, de même que les bateaux de plaisance et les petites embarcations de loisirs motorisées.

Les pressions maximales mesurées lors du passage ou du déchargement de navires, dont un échantillon est présenté aux tableaux C-5 à C-9 de l'annexe C, se situent entre 142,9 et 163,3 dB re 1  $\mu\text{Pa}$  ( $SPL_{\text{peak-peak}}$ ), ce qui est comparable à ce qui a déjà été mesuré ailleurs dans le Saint-Laurent (Environnement Illimité, 2006; Simard et coll., 2010; McQuinn et coll., 2011; GENIVAR, 2011; GENIVAR, 2012a; GENIVAR, 2012b). Il s'agit toutefois de bruits de nature transitoire, qui varient notamment en fonction du nombre de navires et du bruit propre à chacun, mais qui ne traduisent pas nécessairement l'ambiance sonore générale de la zone à l'étude.

Pour mieux visualiser cette ambiance sonore générale, qui est également influencée par des sources sonores naturelles comme le vent, les courants et les marées, nous avons analysé les pressions sonores par segments d'une minute ( $SPL_{1\text{ min}}$ ) et d'une heure ( $SPL_{1\text{ h}}$ ) et illustré chronologiquement celles-ci du début (11 septembre 2015) à la fin (17 septembre 2015) de la prise de mesures (figure 3.2). Encore une fois, on remarque que le bruit ambiant varie considérablement selon l'heure du jour, mais qu'il semble aussi directement lié au cycle de la marée.

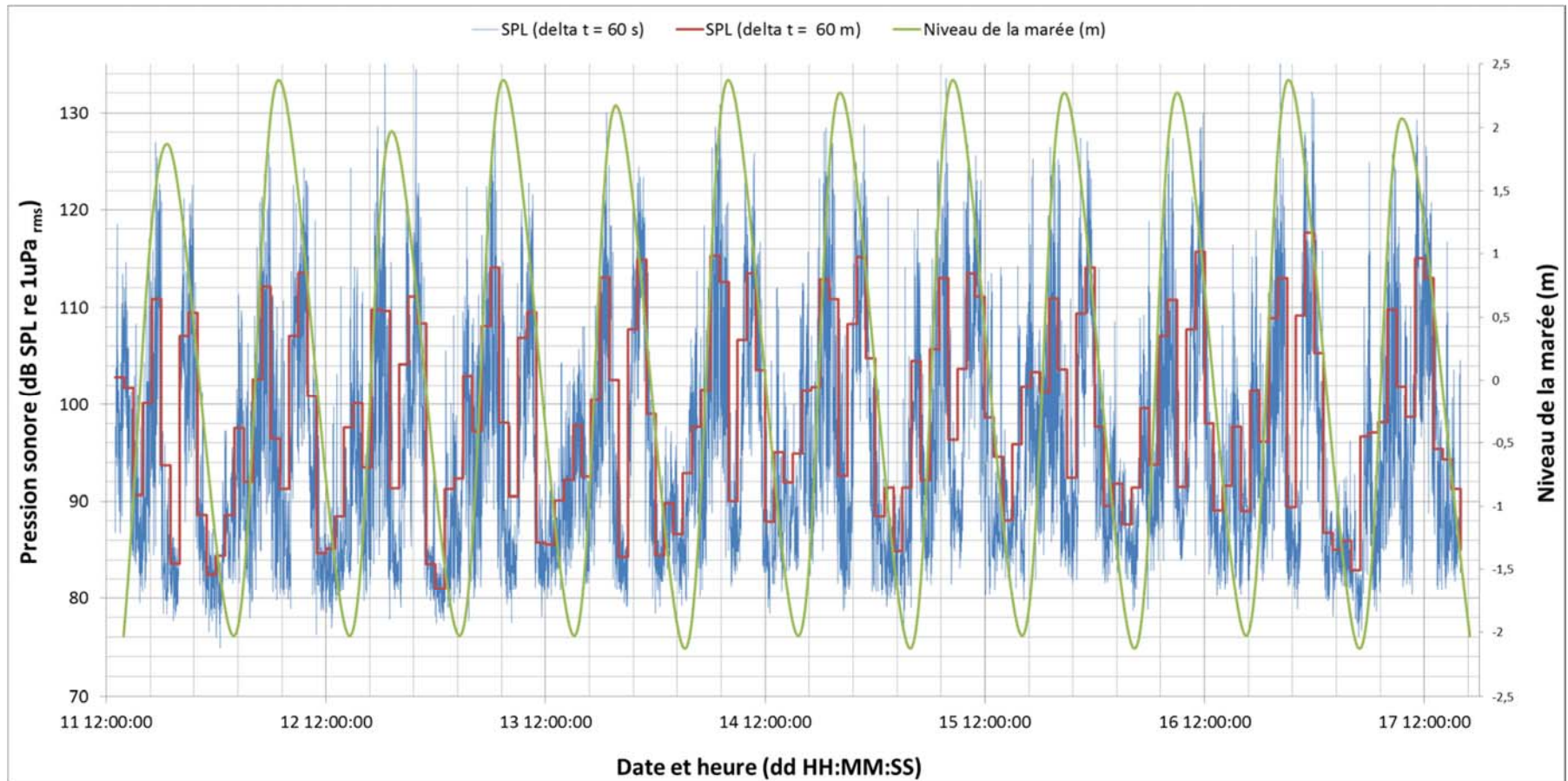


Figure 3.2 Pressions sonores subaquatiques mesurées (large bande) du 11 au 17 septembre 2015 au port de Québec.

On observe ainsi une augmentation du bruit ambiant durant les phases montantes et descendantes de la marée, alors que les pressions sonores minimales correspondent pour la plupart avec la marée haute. Ce bruit ambiant est fort probablement dû aux turbulences créées par la combinaison de la marée et du courant du fleuve, comme le suggèrent les bandes de fréquences dominantes sous les 4 000 Hz (tableaux C-1 à C-4 de l'annexe C), de même qu'à l'écoulement de l'eau sur l'hydrophone (*flow noise*), dont la fréquence se situe typiquement sous les 100 Hz (Cato, 2008; Ross, 1987; NPL, 2014).

Globalement, l'enregistrement en continu de l'ambiance sonore subaquatique a permis d'établir, pour la période du 11 au 17 septembre 2015, une pression sonore moyenne de 107,0 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  (SPL<sub>(1 h)</sub>) à 111,2 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  (SPL<sub>(1 min)</sub>), avec des maximums atteignant de 117,6 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  (SPL<sub>(1 h)</sub>) à 135,9 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  (SPL<sub>(1 min)</sub>) (tableau 3.1).

**Tableau 3.1 Pressions sonores minimale, maximale, moyenne et médiane mesurées sur toute la durée des enregistrements du 11 au 17 septembre 2015. Données large-bande (10-16 000 Hz) compilées sur des durées d'une minute (SPL<sub>(1 min)</sub>) et d'une heure (SPL<sub>(1 h)</sub>).**

	SPL <sub>(1 min)</sub> dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$	SPL <sub>(1 h)</sub> dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$
Min. :	74,9	81,0
Max. :	135,9	117,6
Moyenne :	111,2	107,0
Médiane :	92,0	98,0

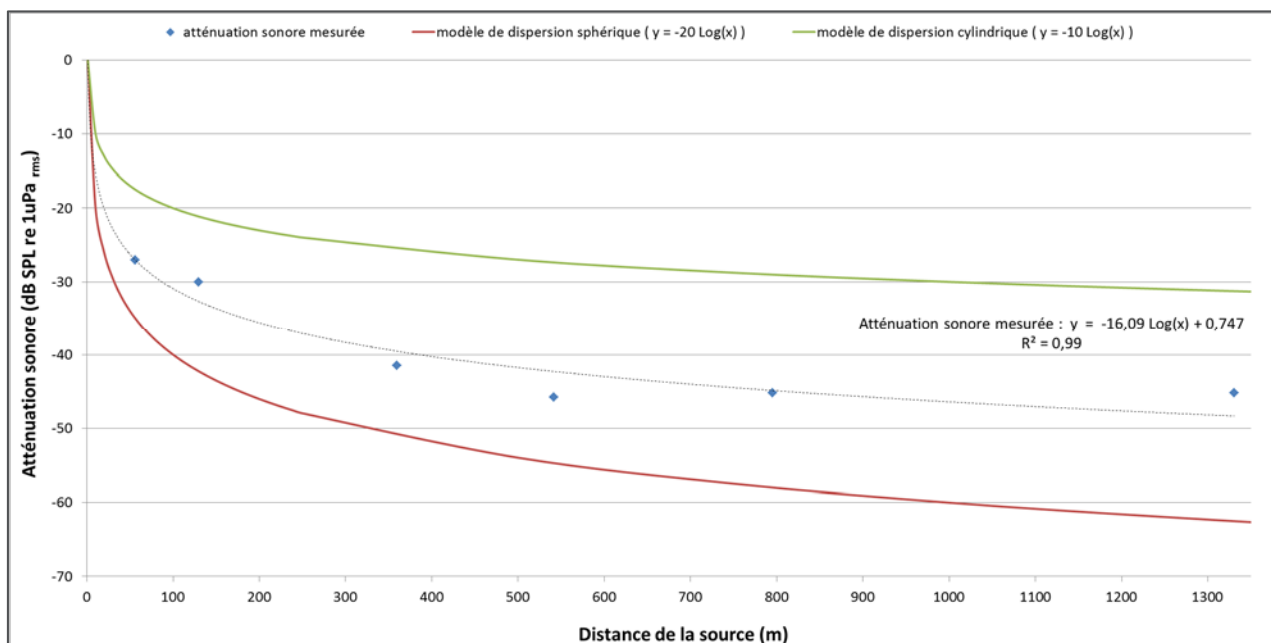
### 3.2 ATTÉNUATION SONORE

L'atténuation du bruit par propagation, ou perte de transmission, est la baisse d'intensité du son en fonction de la distance parcourue depuis la source. Deux modèles de propagation sont utilisés fréquemment pour estimer la perte de transmission, soit le modèle sphérique et le modèle cylindrique (voir détails annexe D). Ces deux modèles de propagation ne représentent toutefois que des estimations brutes du comportement du son dans l'eau, puisqu'aucun ne tient compte des pertes par absorption dans le médium lui-même, ni ne considère les effets de la réfraction, de la diffraction et de la réflexion qui surviennent durant la dispersion de l'onde sonore et qui peuvent, notamment, varier selon la texture du fond, la présence de bulles et de particules en suspension, ainsi qu'en fonction des variations de température et de salinité de l'eau (Richardson et coll., 1999; Lurton, 2010).

L'atténuation des pressions sonores établies sur le site du port de Québec se situe entre les prédictions des modèles de dispersion cylindrique et sphérique (figure 3.3 et annexe E), ce qui suggère que le son est en partie absorbé par le médium plutôt qu'être réfléchi et canalisé sur de plus longues distances comme le propose le modèle cylindrique. Notons par ailleurs que les mesures d'atténuation avec un point d'émission fixe ou mobile donnent des résultats similaires, avec un écart moins de 2,5 % entre les résultats produits par les deux méthodes. En d'autres mots, les bruits en provenance du large, comme ceux causés par le passage de navires, se propagent de façon assez similaire à ceux qui sont générés à partir de la berge.

Dans la mesure où les bruits qui nous intéressent dans le cadre de ce projet concernent principalement ceux qui seront produits par les travaux d'agrandissement des installations portuaires, la courbe d'atténuation sonore considérée ici sera essentiellement celle tirée des mesures avec point d'émission fixe (figure 3.3) puisqu'elles correspondent plus fidèlement au contexte de ces travaux.

Globalement, les données récoltées au port de Québec montrent que les sons émis aux fréquences de référence de 200 à 5 000 Hz s'atténuent globalement de 31,7 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  à 100 m du point d'émission et de 42,7 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  à 500 m, ce qui est conforme avec les simulations réalisées avec le logiciel dBSea (section 3.2).



**Figure 3.3** Atténuation sonore mesurée au large du port de Québec en comparaison avec les prédictions des modèles de dispersion sphérique et cylindrique. Mesures réalisées par bandes d'un tiers d'octave (200 à 5 000 Hz) le 17 et le 29 septembre 2015.

Finalement, comme les hautes fréquences s'atténuent plus rapidement dans l'eau que les fréquences plus basses, nous avons simulé l'atténuation par bande d'octave (31,5 à 16 000 Hz) le long d'un transect linéaire orienté à 146 degrés entre l'emplacement prévu du prolongement du quai et la rive opposée. Les résultats de cette simulation, qui peuvent s'avérer utiles pour évaluer l'étendue de la zone de surveillance du bruit selon la nature des travaux, sont présentés à l'annexe G. À titre d'exemple, une atténuation sonore de 27,1 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  est attendue à 100 m et de 39,3 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  à 1 000 m pour la bande de 31,5 Hz, comparativement à 32,2 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  à 100 m et 42,8 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  à 1 000 m pour la bande de 16 000 Hz.

### 3.3 MODÉLISATION DU BRUIT SUBAQUATIQUE GÉNÉRÉ PAR LES TRAVAUX

#### 3.3.1 VALIDATION ET CALIBRATION DU MODÈLE

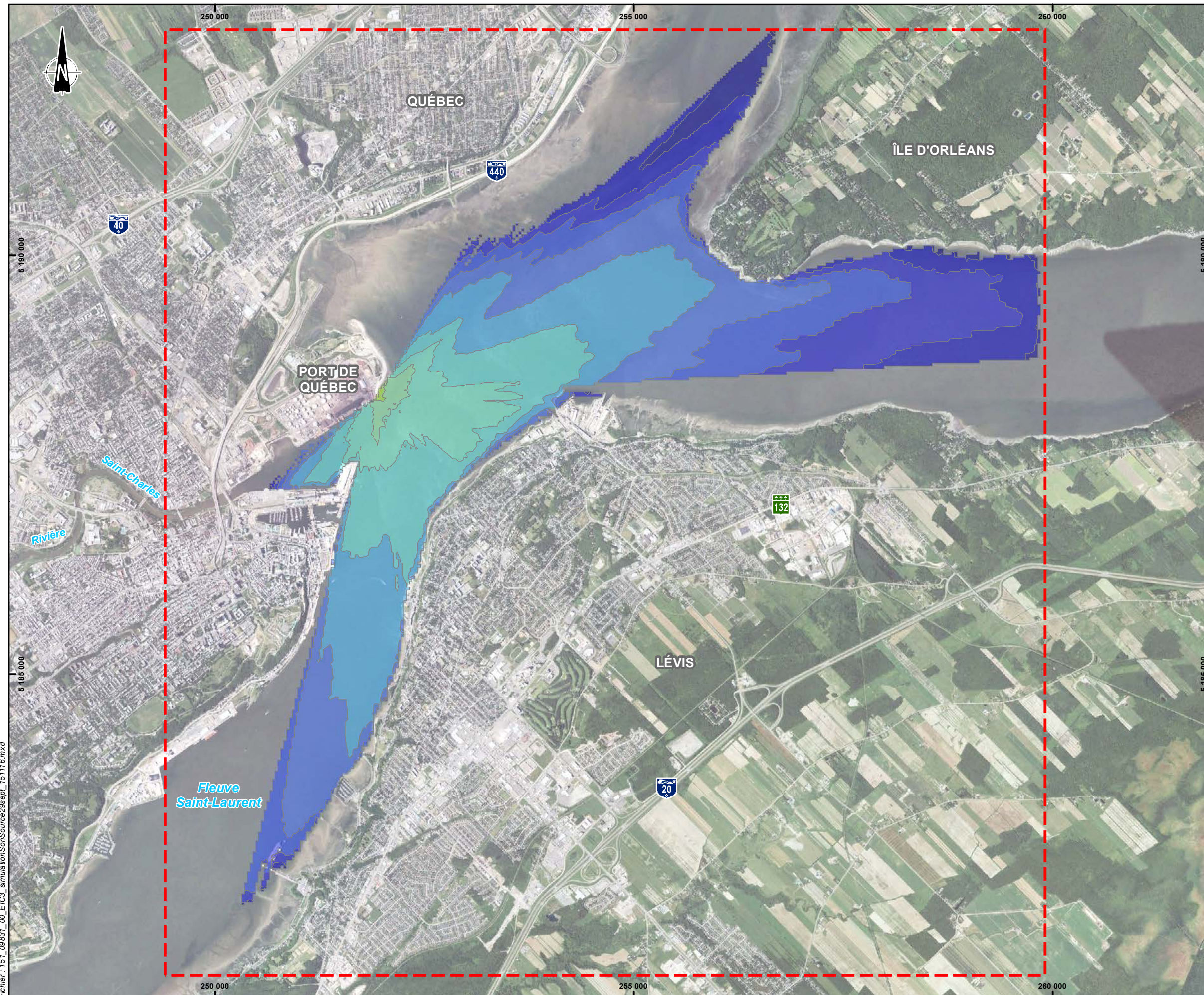
La carte 3 résume les résultats de la simulation par dBSea de la campagne de mesures d'atténuation acoustique effectuée *in situ* le 29 septembre 2015. Les valeurs de pressions sonores calculées aux différentes fréquences pour chacun des points de mesures sont pour leur part présentées au tableau de l'annexe F. En gros, les pressions sonores large-bande (200 à 5 000 Hz) prédites par le modèle de simulation s'écartent au maximum de 6,5 dB re 1 µPa des valeurs mesurées sur le terrain (tableau 3.2), pour un écart moyen de  $3,6 \pm 2,2$  dB re 1 µPa ou  $2,5 \pm 1,6$  %. Considérant l'ensemble des sources d'erreurs inhérentes aux appareils de mesure et aux variations naturelles des conditions du milieu (vagues, courants, etc.), il a été jugé inutile d'apporter des ajustements au modèle. Cette carte s'avère par ailleurs plus informative sur la propagation du son dans l'ensemble de la zone d'étude que les courbes d'atténuation présentées précédemment, puisqu'elle tient compte de la bathymétrie des lieux et que celle-ci semble fortement influencer la façon dont le bruit sous-marin se disperse depuis la zone de travaux prévue.

**Tableau 3.2 Comparaison des pressions sonores mesurées lors des tests d'atténuation réalisés sur le terrain le 29 septembre 2015 et les valeurs prédites par le logiciel dBSea (dBSea, version 1.3; Marshall Day Acoustics, Australie)\***

DISTANCE DE LA SOURCE (m)	PRESSION SONORE MESURÉE (dB re 1 µPa)	PRESSION SONORE PRÉDITE (dB re 1 µPa)	ÉCART (dB re 1 µPa)
56	157,3	155,8	+1,5
130	154,3	150,6	+3,7
360	142,9	147,7	-4,8
541	138,7	145,2	-6,5
795	139,3	143,7	-4,4
1330	139,2	139,9	-0,7

\* pression sonore à la source : 185 dB re 1 µPa @ 1 m



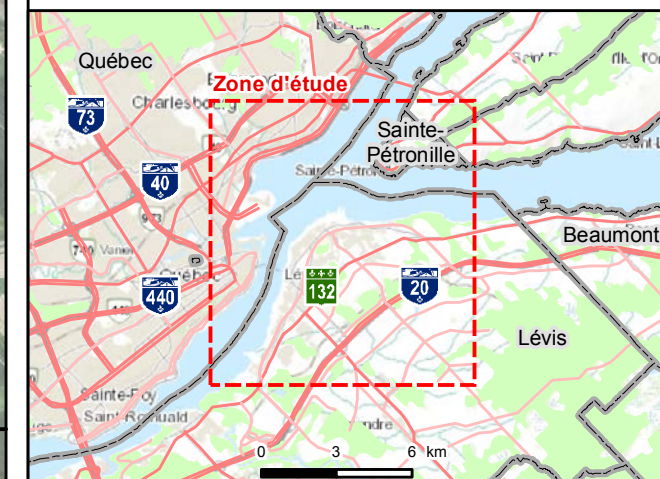


Zone d'étude

**Pressions sonores simulées**

- 95 à 100 dB re 1 µPA
- 100 à 105 dB re 1 µPA
- 105 à 110 dB re 1 µPA
- 110 à 115 dB re 1 µPA
- 115 à 120 dB re 1 µPA
- 120 à 125 dB re 1 µPA
- 125 à 130 dB re 1 µPA
- 130 à 135 dB re 1 µPA
- 135 à 140 dB re 1 µPA
- 140 à 145 dB re 1 µPA
- 145 à 150 dB re 1 µPA
- 150 à 155 dB re 1 µPA
- 155 à 160 dB re 1 µPA

0 450 900 1 800 m  
 1 : 45 000  
 Projection : NAD83, MTM fuseau 7



PORT DE QUÉBEC

**ÉTUDE D'IMPACT  
 POUR L'AGRANDISSEMENT  
 DU PORT DE QUÉBEC -  
 SECTEUR DE BEAUPORT -  
 Étude acoustique subaquatique  
 Québec, Qc**

**Carte 3**  
**Simulation de la propagation subaquatique  
 du son à partir de la source de référence  
 utilisée pour les tests d'atténuation sonore  
 réalisés le 29 septembre**

**Sources :**

Image satellite : © Communauté Métropolitaine de Québec (2013-05-31), tirée de Google Earth Pro  
 Cartes : - RNCan, BNDT 1 : 250 000, feuillet 21L  
 - ESRI World topographic Map  
 Limites de municipalités : SDA20K, 2010-01  
 Simulations sonores réalisées avec le logiciel dBSea (version 1.3, Marshall Day Acoustics, Australie).  
 Pression sonore à la source : 185 dB re 1µPA @ 1 m

Préparée par : M. Gauthier  
 Dessinée par : P. Cordeau  
 Approuvée par : P. Lafrance

16 novembre 2015 151-09831-00





### 3.3.2 SCÉNARIOS MODÉLISÉS

#### 3.3.2.1 PHASE CONSTRUCTION

##### BATTAGE DE PALPLANCHE

---

Parmi les activités prévues pour l'agrandissement des infrastructures portuaires (SNC-Lavalin, 2014), le battage de palplanches est potentiellement la plus bruyante et celle qui nécessiterait le plus d'attention quant à ses impacts prévisibles sur la faune aquatique. À cet égard, la carte 4a illustre la propagation du bruit généré par l'impulsion produite par un marteau de battage sur une palplanche. Avec une pression sonore simulée à la source de 216 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m, le niveau sonore qui en résulte ne se maintiendrait au-dessus de 206 dB re 1  $\mu$ Pa que sur une distance d'environ 5 m, mais dépasserait vraisemblablement les 160 dB re 1  $\mu$ Pa sur toute la largeur du fleuve. Il est à noter que ce bruit ne se propagerait pas de manière uniforme, étant en bonne partie canalisé selon la topographie du fond et réfléchi par la rive opposée. Il s'agit toutefois d'un scénario n'incluant aucune mesure de réduction de bruit.

##### VIBROFONÇAGE DE PALPLANCHE

---

La carte 4b illustre la propagation du bruit généré par l'enfoncement d'une palplanche par vibrofonçage, à raison de 23 impulsions par seconde. Avec une pression sonore simulée à la source de 164,3 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m, le niveau sonore qui en résulte descendrait sous les 160 dB re 1  $\mu$ Pa dès les deux premiers mètres. Dans les circonstances, aucune mesure d'atténuation particulière ne serait requise à l'égard de la protection des poissons.

##### DRAGAGE

---

La carte 4c illustre finalement la propagation du bruit généré par des activités de dragage par succion. Avec une pression sonore simulée à la source de 185 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m, le bruit qui en résulterait descendrait sous les 160 dB re 1  $\mu$ Pa dès les 50 premiers mètres, c'est-à-dire en dessous des pressions sonores générées par la plupart des navires.

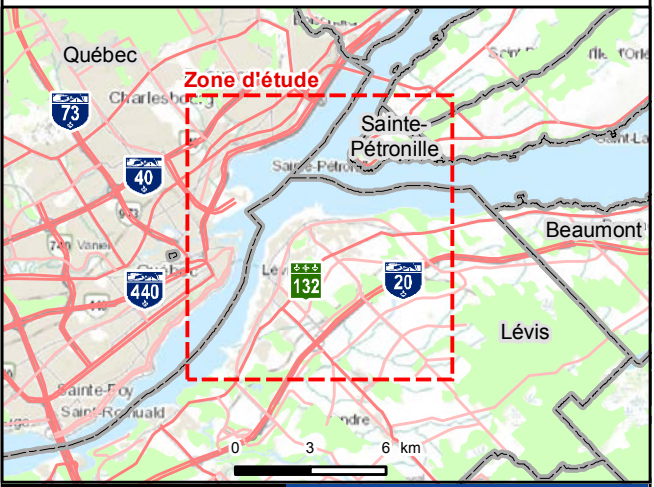
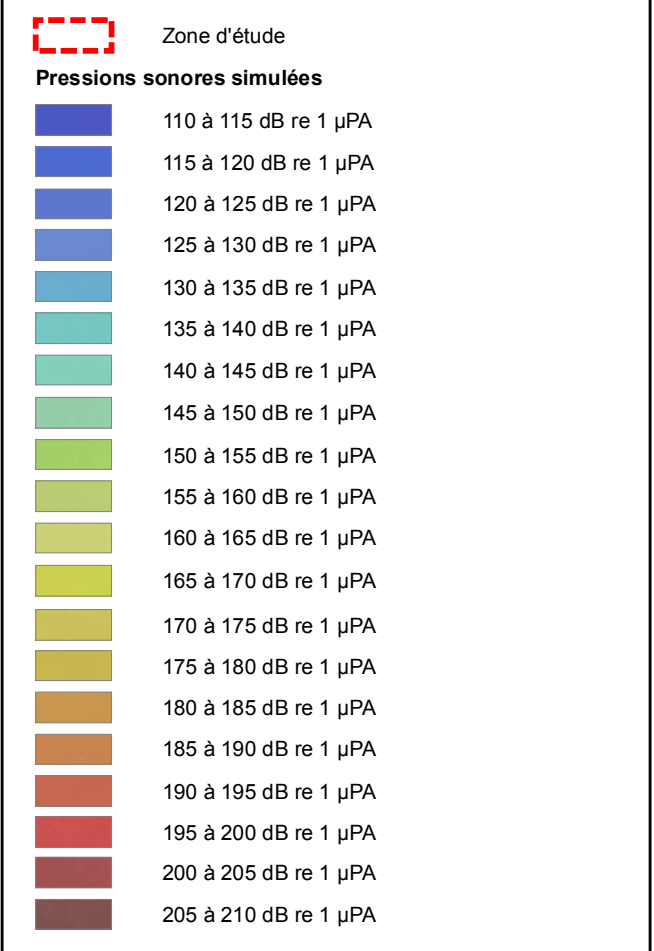
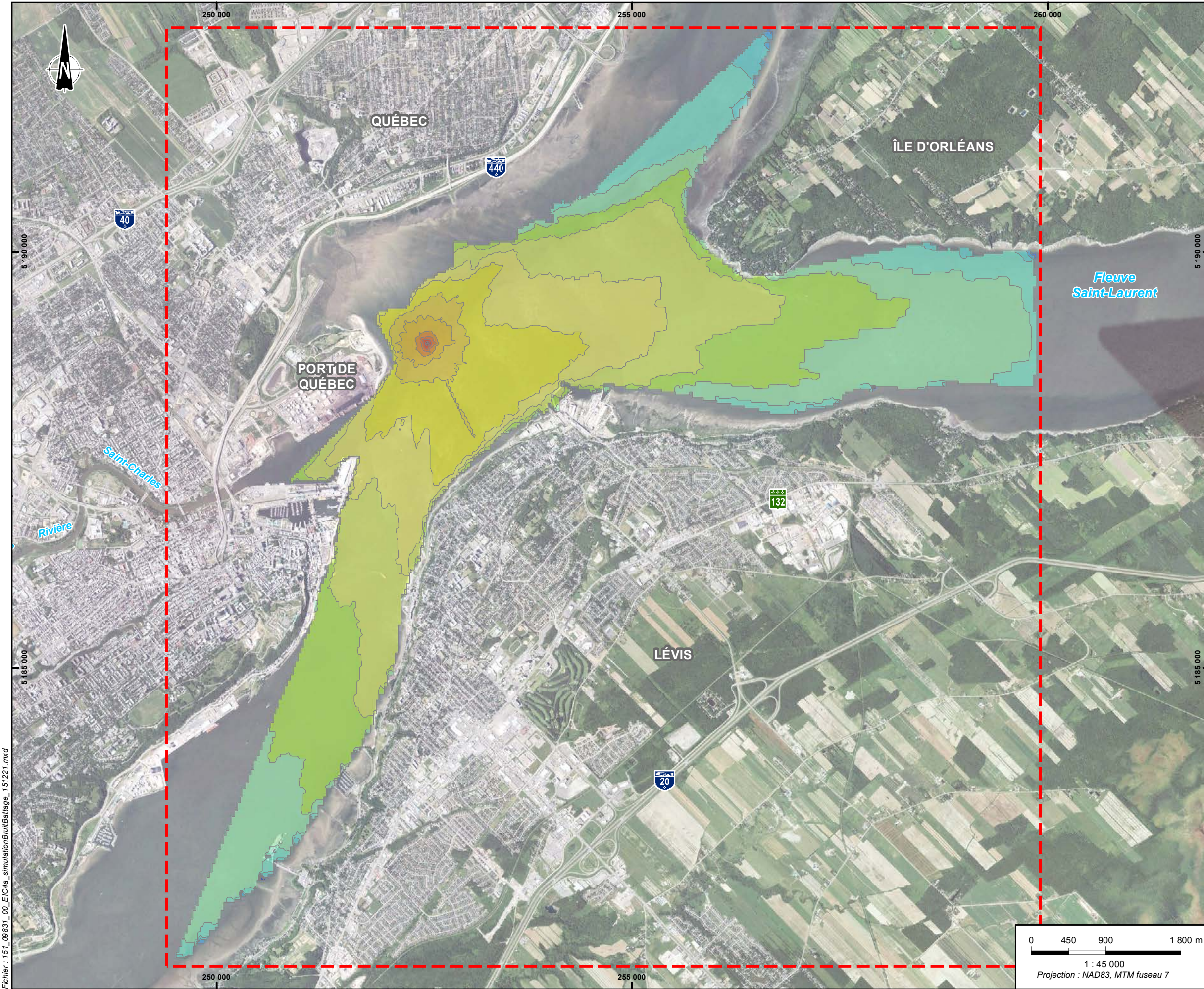
#### 3.3.2.2 PHASE EXPLOITATION

##### BRUIT DE NAVIRE

---

Le bruit généré par le départ et la circulation d'un navire d'un fort tonnage à partir des infrastructures portuaires projetées (pression sonore simulée à la source de 190 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m) est illustré sur la carte 4d. La représentation du bruit qui en résulte s'apparente à celle que les navires semblables produisent déjà dans la zone d'étude et se concentre particulièrement dans le long du chenal de navigation.





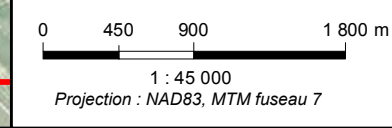
**ÉTUDE D'IMPACT POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE QUÉBEC - SECTEUR DE BEAUPORT - Étude acoustique subaquatique Québec, Qc**

**Carte 4a**  
**Simulation de la propagation du bruit généré par le battage d'une palplanche lors de la construction de l'infrastructure projetée**

**Sources :**  
 Image satellite : © Communauté Métropolitaine de Québec (2013-05-31), tirée de Google Earth Pro  
 Cartes : - RNCan, BNDT 1 : 250 000, feuillet 21L - ESRI World topographic Map  
 Limites de municipalités : SDA20K, 2010-01  
 Infrastructure projetée - Port de Québec, fichier : 615834-000-4L02-0002\_02.dwg (2015-09-17)  
 Simulations sonores réalisées avec le logiciel dBSea (version 1.3, Marshall Day Acoustics, Australie).  
 Pression sonore à la source : 216 dB re 1µPa @ 1 m

Préparée par : M. Gauthier  
 Dessinée par : P. Cordeau  
 Approuvée par : P. Lafrance

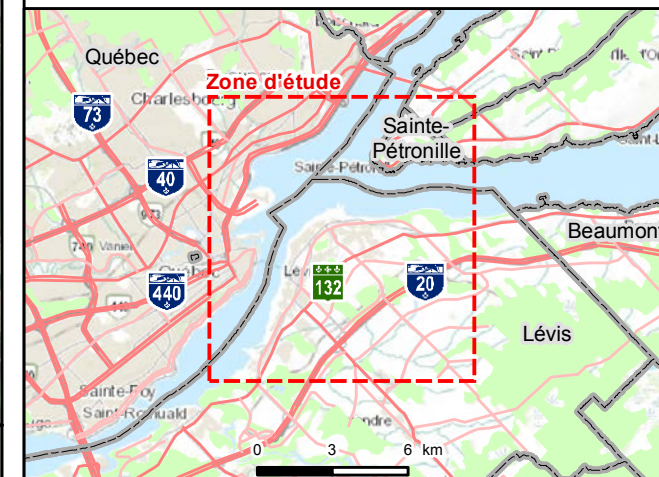
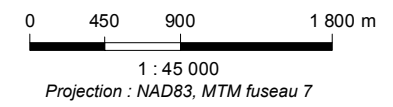
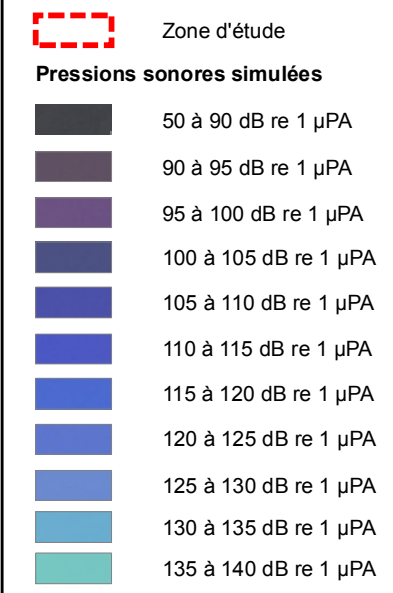
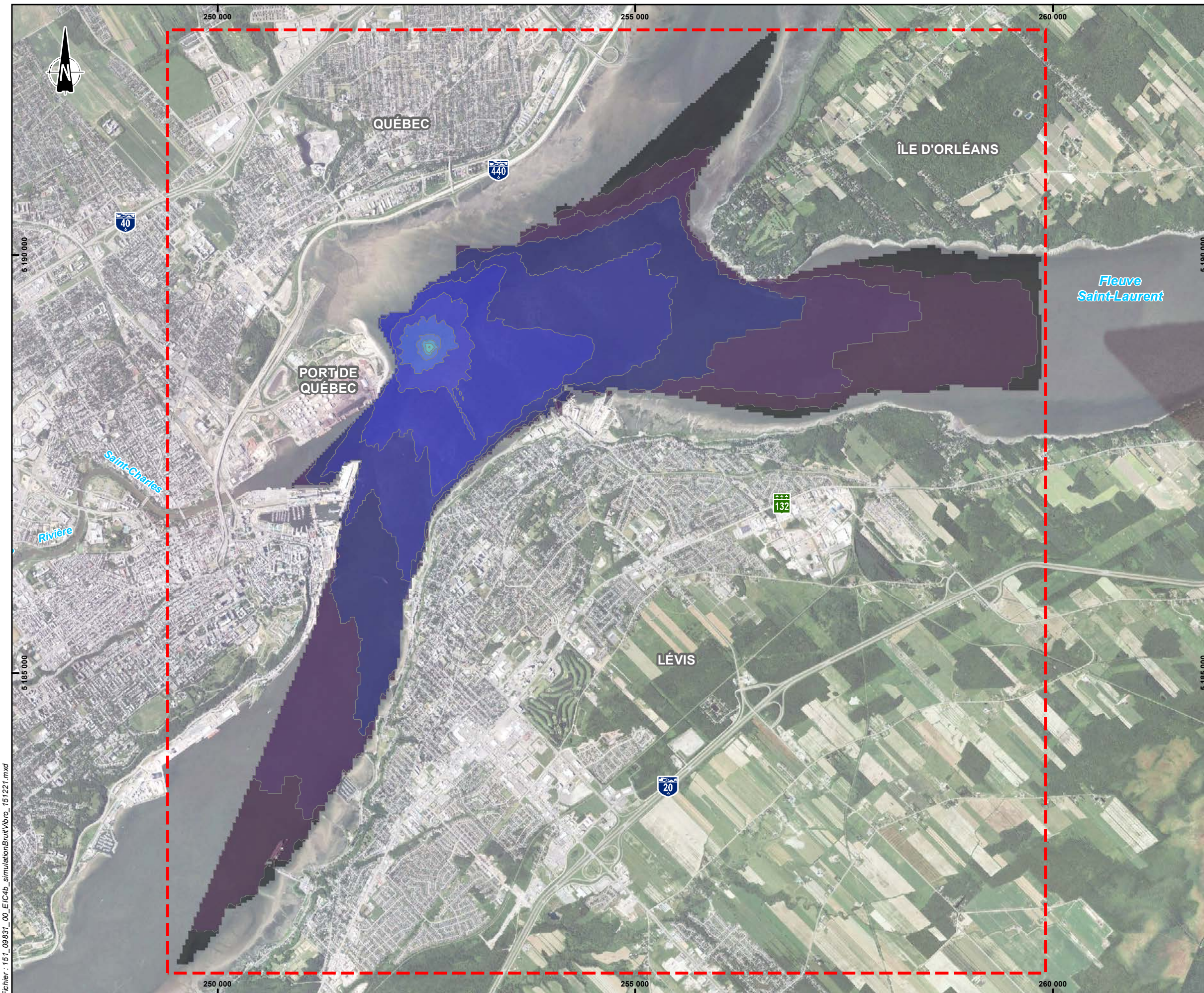
**21 décembre 2015** 151-09831-00



Fichier : 151\_09831\_00\_EIC4a\_simulationBruitBattage\_151221.mxd







**ÉTUDE D'IMPACT POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE QUÉBEC - SECTEUR DE BEAUPORT - Étude acoustique subaquatique Québec, Qc**

**Carte 4b**

**Simulation de la propagation du bruit généré par le vibrofonçage d'une palplanche lors de la construction de l'infrastructure projetée**

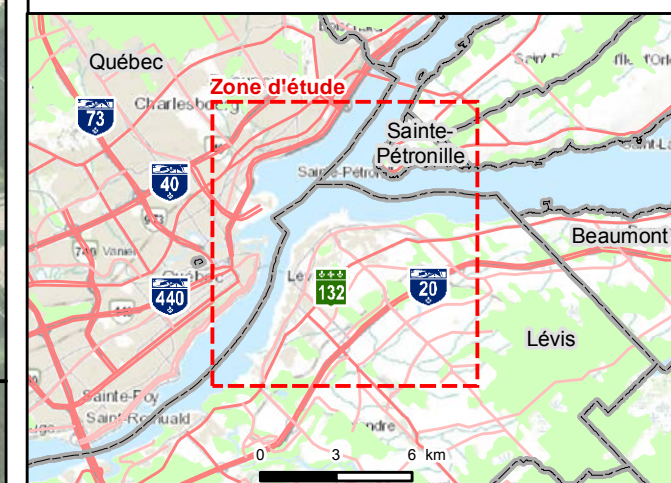
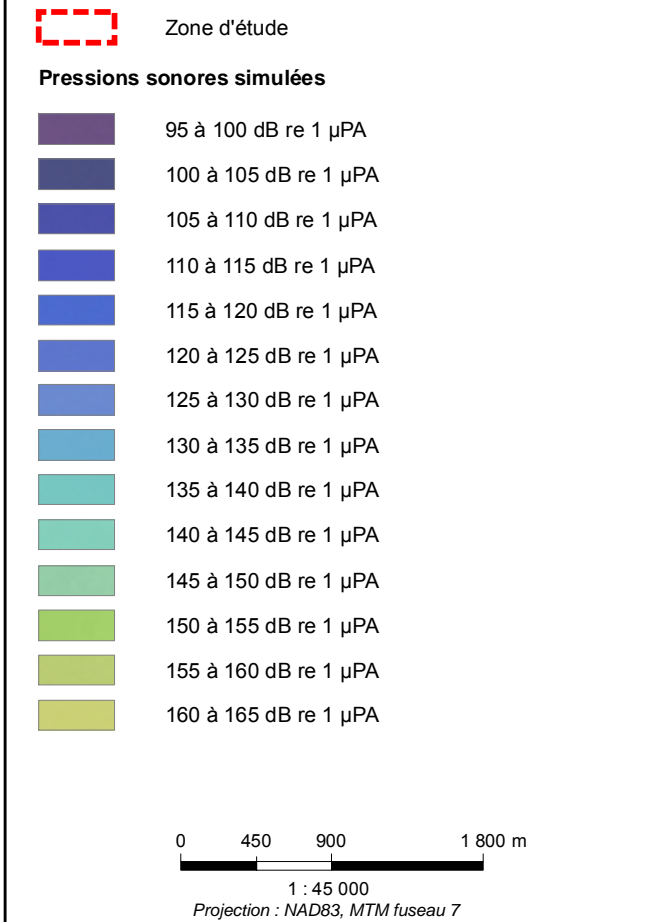
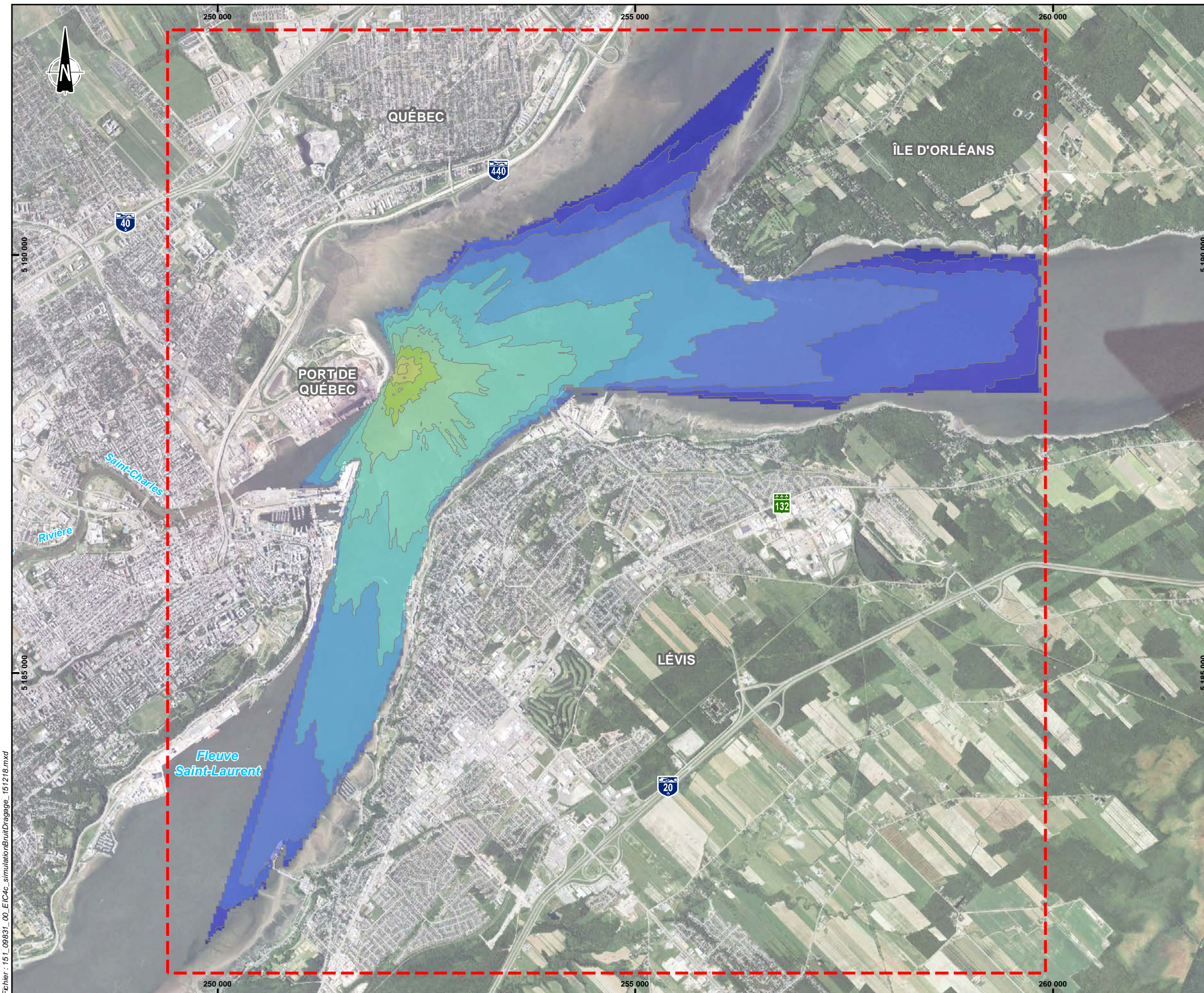
**Sources :**  
 Image satellite : © Communauté Métropolitaine de Québec (2013-05-31), tirée de Google Earth Pro  
 Cartes : - RNCan, BNDT 1 : 250 000, feuille 21L  
 - ESRI World topographic Map  
 Limites de municipalités : SDA20K, 2010-01  
 Infrastructure projetée - Port de Québec, fichier : 615534-000-4L02-0002\_02.dwg (2015-09-17)  
 Simulations sonores réalisées avec le logiciel dBSea (version 1.3, Marshall Day Acoustics, Australie).  
 Pression sonore à la source : 164,3 dB re 1µPA @ 1 m

Préparée par : M. Gauthier  
 Dessinée par : P. Cordeau  
 Approuvée par : P. Lafrance

**21 décembre 2015** 151-09831-00

Fichier : 151\_09831\_00\_EIC4b\_simulationBruitVibro\_151221.mxd





**ÉTUDE D'IMPACT POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE QUÉBEC - SECTEUR DE BEAUPORT - Étude acoustique subaquatique Québec, Qc**

**Carte 4c**

**Simulation de la propagation du bruit généré par les travaux de dragage**

**Sources :**

Image satellite : © Communauté Métropolitaine de Québec (2013-05-31), tirée de Google Earth Pro

Cartes : - RNCan, BNDT 1 : 250 000, feuillet 21L - ESRI World topographic Map

Limites de municipalités : SDA20K 2010-01

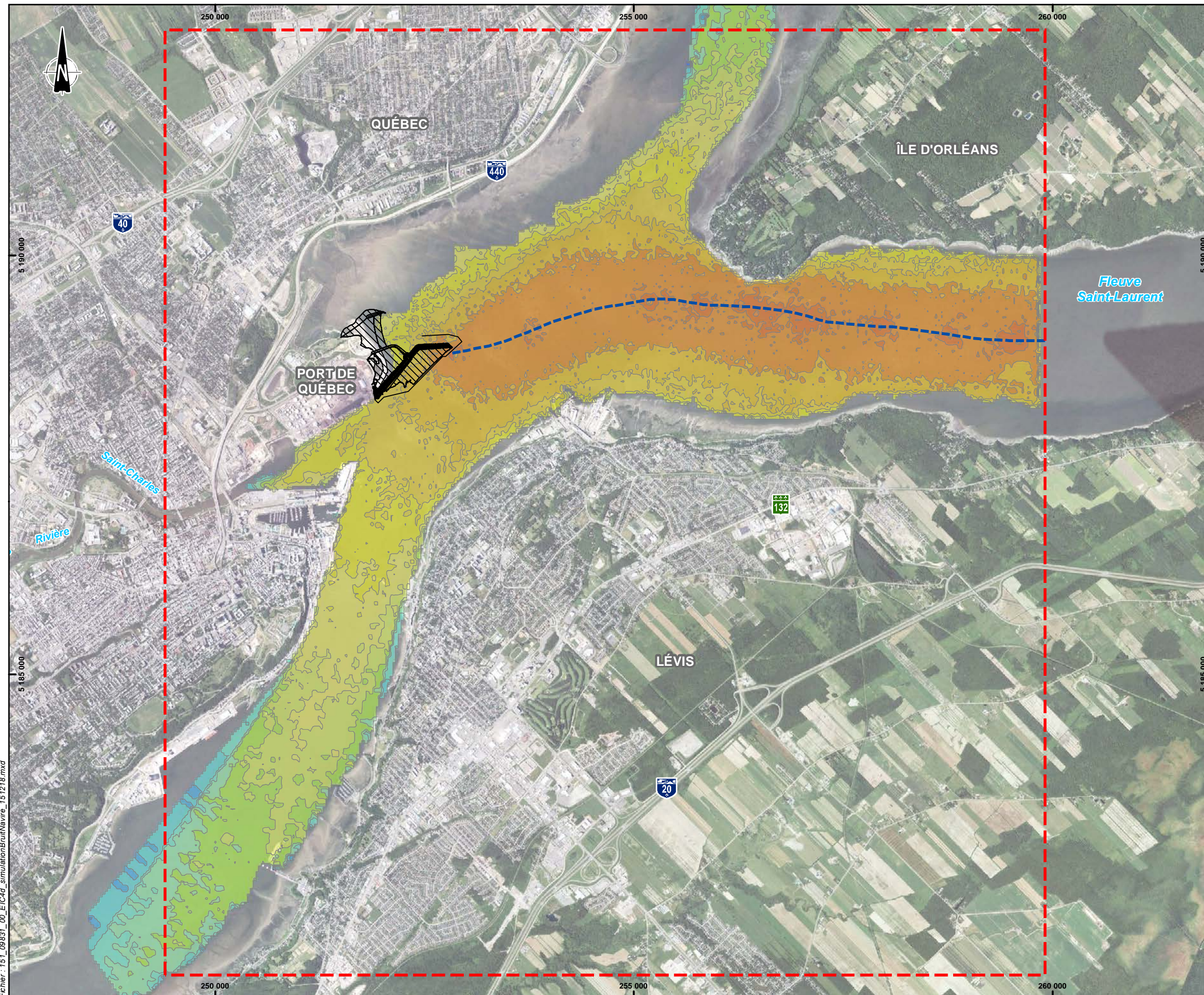
Simulations sonores réalisées avec le logiciel dBSea (version 1.3, Marshall Day Acoustics, Australie).




Pression sonore à la source : 185 dB re 1µPA @ 1 m

18 décembre 2015 151-09831-00














Préparé par : M. Gauthier  
Dessiné par : P. Cordeau  
Approuvée par : P. Lafrance

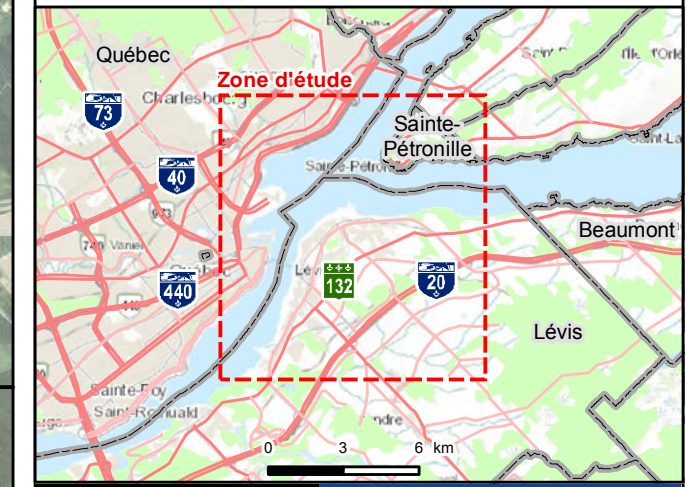
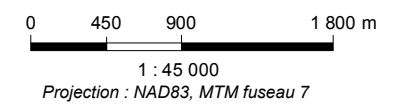




-  Zone d'étude
-  Infrastructure projetée
-  Trajectoire d'un navire quittant le quai

**Pressions sonores simulées**

-  125 à 130 dB re 1 µPA
-  130 à 135 dB re 1 µPA
-  135 à 140 dB re 1 µPA
-  140 à 145 dB re 1 µPA
-  145 à 150 dB re 1 µPA
-  150 à 155 dB re 1 µPA
-  155 à 160 dB re 1 µPA
-  160 à 165 dB re 1 µPA
-  165 à 170 dB re 1 µPA
-  170 à 175 dB re 1 µPA
-  175 à 180 dB re 1 µPA
-  180 à 185 dB re 1 µPA
-  185 à 190 dB re 1 µPA



**PORT DE QUÉBEC**

**ÉTUDE D'IMPACT POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE QUÉBEC - SECTEUR DE BEAUPORT - Étude acoustique subaquatique Québec, Qc**


**Carte 4d**

**Simulation de la propagation du bruit généré par un navire de fort tonnage quittant le quai**

**Sources :**  
 Image satellite : © Communauté Métropolitaine de Québec (2013-05-31), tirée de Google Earth Pro  
 Cartes : - RNCan, BNDT 1 : 250 000, feuille 21L  
 - ESRI World topographic Map  
 Limites de municipalités : SDA20K, 2010-01  
 Infrastructure projetée : Port de Québec, fichier : 615334-000-4L02-0002\_02.dwg (2015-09-17)  
 Simulations sonores réalisées avec le logiciel dBSea (version 1.3, Marshall Day Acoustics, Australie).  
 Pression sonore à la source : 190 dB re 1µPA @ 1 m

Préparée par : M. Gauthier  
 Dessinée par : P. Cordeau  
 Approuvée par : P. Lafrance

**18 décembre 2015** 151-09831-00



Fichier : 151\_09831\_00\_EIC4d\_simulationBruitNavire\_151218.mxd



## 4 DISCUSSIONS

### 4.1 SENSIBILITÉ DES POISSONS AUX BRUITS SOUS-MARINS

Bien que l'effet des bruits forts sur la faune aquatique ait jusqu'à maintenant surtout été documenté à l'égard des mammifères marins (Richardson et coll., 1995; Perry, 1999; NRC, 2000, 2003, 2005; Lawson et McQuinn, 2004; Simmonds et coll., 2004; Madsen, 2005; MPO, 2007; Southall et coll., 2007; Bailey et coll., 2008; Simard et coll., 2010; McQuinn et coll., 2011), un nombre croissant d'études montre que les bruits subaquatiques ont également des effets mesurables sur les poissons et les invertébrés (Banner et Hyatt., 1973; Au et Banks, 1998 ; Hastings et Popper 2005; Smith et coll., 2006; Meyers et Corwin, 2008; Slabbekoorn et coll., 2010; Halvorsen et coll., 2011; Staaterman et coll., 2011).

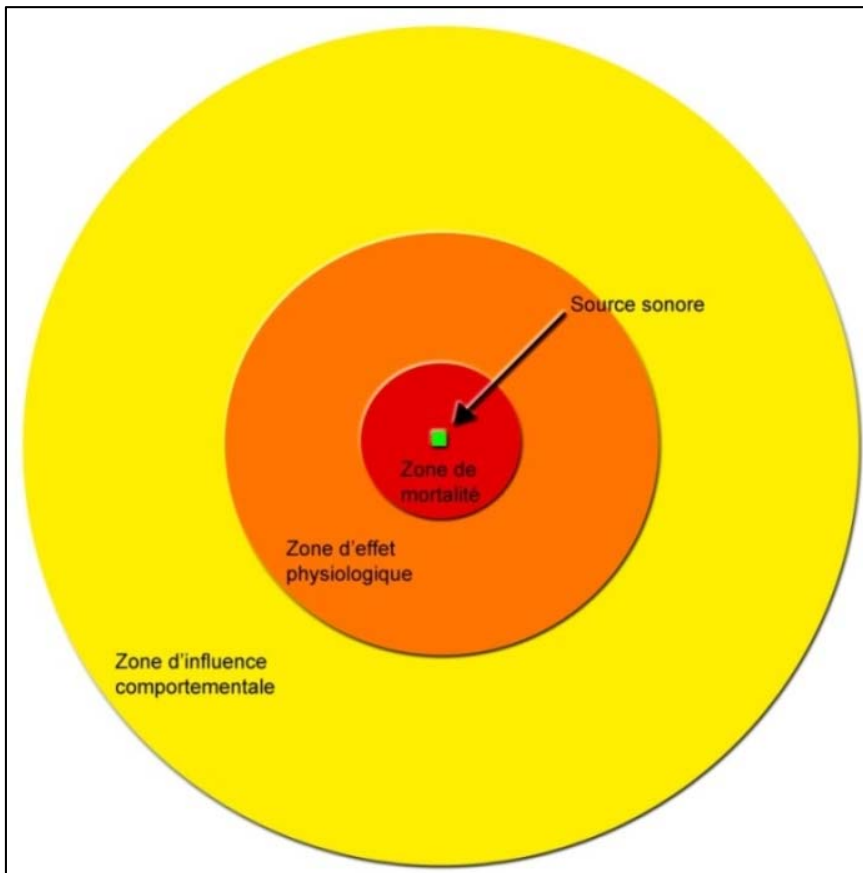
Il est à noter que les sons générés sous l'eau par des activités humaines, dont le trafic maritime, montrent souvent des fréquences dominantes en dessous de 1 000 Hz, soit dans l'échelle audible de la majorité des poissons (Richardson et coll., 1995). Outre le bruit émis par les navires, de nombreuses autres sources sonores d'origine anthropiques atteignent des niveaux susceptibles d'affecter négativement la faune aquatique, dont les levées sismiques et diverses activités de construction (annexe H).

Les poissons dits non-spécialistes détectent en effet les sons entre 500 et 1 000 Hz, avec une meilleure audition pour les fréquences de 100 à 400 Hz, alors que les spécialistes sont capables de détecter des sons de plus de 3 000 Hz, mais ont une meilleure sensibilité entre 300 et 1 000 Hz (Caltrans, 2001; Popper, 2005; Higgs et coll., 2003; Environnement Illimité, 2006).

De manière générale, trois zones d'effets peuvent être circonscrites de façon concentrique autour du point d'émission d'un bruit fort. Il s'agit de la zone de mortalité, où l'exposition sonore se situe au-dessus du seuil léthal, celle d'effet physiologique, incluant notamment des pertes d'audition permanentes ou temporaires, et celle d'influence comportementale, où l'on peut observer une dégradation des modèles comportementaux normaux sans poser directement de potentiel de blessure (figure 4.1).

Chez les poissons en particulier, les effets potentiels des bruits forts peuvent aller jusqu'à la mortalité selon l'intensité et les caractéristiques du son, la position du poisson relativement à la source, la taille et la masse du poisson ainsi que ses caractéristiques anatomiques (Banner et Hyatt, 1973; Hastings et Popper, 2005; Popper et coll., 2005; Smith et coll., 2006; Meyers et Corwin, 2008; Halvorsen et coll., 2011).

Bien que les cas de mortalité de poissons exposés à une source de bruit forts soient essentiellement dus à leur proximité avec la source (Caltrans, 2001; Halvorsen et coll., 2011), l'effet comportemental le plus documenté est leur éloignement de la source de bruit et leur retour sur le site une fois le bruit terminé (Engas et coll., 1996 ; Hastings et Popper, 2005 ; Environnement Illimité, 2006). Par conséquent, les risques de mortalités peuvent considérablement être réduits si les travaux bruyants sont entrepris de façon graduelle, de manière à ce que les poissons se déplacent avant que les pressions sonores n'atteignent un niveau critique.



**Figure 4.1 Zones d'effets directs des bruits forts sur la faune aquatique**  
(adapté de BAPE, 2004)

Des altérations du comportement et des effets physiques, tels des dommages aux tissus auditifs ou à la vessie natatoire, peuvent néanmoins survenir à des niveaux de bruits sublétaux (Wright et Hopky, 1998; Hastings et Popper, 2005; Carlson et coll., 2007). Ces effets dépendraient, notamment, de la masse du poisson. L'étude la plus complète sur le sujet (Halvorsen et coll., 2011) montre diverses altérations physiques chez des poissons soumis aux bruits causés par le battage de pieux. La sévérité de ces dommages varie selon l'énergie de chaque impulsion et du nombre de coups nécessaires à enfoncer le pieu. À des intensités sonores inférieures au seuil d'effet physiologique, les effets comportementaux comprennent, notamment, la fuite et l'évitement, mais également un effet de masquage des sons biologiquement significatifs par les bruits anthropiques émis à des fréquences similaires (Hastings et Popper, 2005). Il s'ensuit que la communication entre individus, leur recherche de nourriture ou leur détection des prédateurs peuvent être altérées.

## 4.2 SEUILS DE SENSIBILITÉ DES POISSONS AUX BRUITS SOUS-MARINS

Bien qu'il n'existe pas encore de critères d'exposition internationalement reconnus de la faune aquatique aux bruits forts, des critères intérimaires sont en usage depuis quelques années. À titre d'exemple, pour établir l'étendue d'une zone de sécurité visant à prévenir les dommages physiques chez les cétacés, le seuil d'effet physiologique de 180 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  est souvent utilisé (Madsen, 2005; Abgrall et coll., 2008; Bastasch et coll., 2009).

Ce niveau est souvent abaissé en référant à des études montrant des changements de comportements à des niveaux sonores inférieurs à 180 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  (Perry, 1999; Jochens et coll., 2006; Richardson et coll. 1999), ce qui a déjà amené Pêches et Océans Canada (MPO) à préconiser un seuil de dérangement de 120 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  pour les sources continues et de 160 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  pour les sources de nature impulsive, de même qu'un seuil de dommages physiques établi à 180 dB re 1  $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$  pour les mammifères marins (MPO, 2007).

Pour ce qui est spécifiquement des poissons, qui ne font pas encore systématiquement l'objet de mesures de protection face au bruit généré par les travaux en milieu aquatique, les critères de sécurité les plus souvent retenus ces dernières années sont ceux proposés par le *Fisheries Hydroacoustic Working Group* (FHWG, 2008). Ces critères visant à protéger les poissons contre des dommages physiques ou auditifs proposent une pression sonore de crête maximale ( $\text{SPL}_{\text{peak}}$ ) de 206 dB re 1  $\mu\text{Pa}$ .

## 4.3 BRUITS GÉNÉRÉS PAR LA CONSTRUCTION D'UN QUAI

Les bruits sous-marins généralement produits au cours de la construction d'un quai peuvent être classés en deux grandes catégories, soit les bruits d'impact et les bruits continus. Des bruits transitoires continus seront, pour leur part, produits par des sources mobiles telles les bateaux, qui pourraient être impliqués dans certaines phases de la construction, de même que ceux qui fréquenteront le port après les travaux.

### 4.3.1 BRUITS D'IMPACTS

Les bruits d'impact sont de courte durée, produits de façon intermittente ou à intervalles réguliers. L'enfoncement de pieux ou de palplanches à l'aide d'un marteau de battage est un bruit d'impact qui peut être généré lors de la construction d'un quai.

### 4.3.2 BRUITS CONTINUS

Les bruits continus sont produits pendant de longues périodes, comme le bruit d'une génératrice, d'une pompe, ou d'une foreuse. L'utilisation d'un vibrofonçeur pour la mise en place de palplanches produit des sons continus, bien qu'intermittents et de courte durée.

### 4.3.3 BATTAGE VS VIBROFONÇAGE

Deux techniques de fonçage des palplanches sont généralement utilisées lors de la construction d'un quai, soit la technique par battage et celle par vibrofonçage. La technique par battage consiste à marteler la palplanche pour l'enfoncer dans le sol ou les sédiments avec un marteau hydraulique, alors que la technique par vibrofonçage consiste à l'enfoncer dans le substrat en générant des vibrations. Plus rarement utilisée, le fonçage de palplanches par presse hydraulique est l'approche la plus silencieuse, quoique plus lente et moins bien adaptée aux substrats durs (TECHNI.CH, 2007).

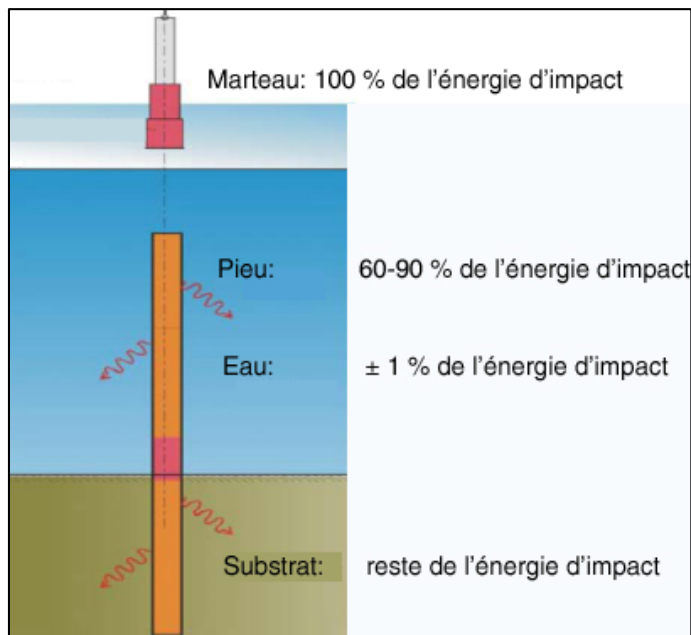
Le son émis par le battage de palplanches ou de pieux peut provenir de trois sources, soit le son propagé dans l'air qui traverse la surface de l'eau, le son issu directement de la vibration du pieu ou de la palplanche et le son transmis au substrat (figure 4.2). À titre d'exemple, les fréquences dominantes générées par le battage de pieux se situent entre 50 et 2 500 Hz (Blackwell, 2005; Elmer, 2010; GENIVAR, 2011 et 2012a), les niveaux de crête étant atteints dans l'intervalle de fréquence de 100 à 300 Hz.

Les sons générés par le battage résultent essentiellement de l'impact entre la surface dure du marteau et celle de la palplanche ou du pieu. Le son est court, aigu, souvent de très forte amplitude et varie notamment selon le type de palplanche ou de pieu utilisé, le type de substrat dans lequel il doit s'enfoncer et la profondeur de l'eau (Elmer et coll., 2006; ICF Jones & Stokes et Illingworth & Rodkin, 2009). Il s'agit de sons brefs, dont les niveaux de crête sont beaucoup plus élevés que ceux de la plupart des bruits continus ou intermittents. Selon plusieurs études, les niveaux sonores émis lors de fonçage de pieux par battage varient de 180 à 250 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m (Greene, 1999; Blackwell, 2005; Talisman Energy, 2005; Elmer et coll., 2006; Illingworth & Rodkin Inc., 2007; Bailey et coll., 2008; ICF Jones & Stokes et Illingworth & Rodkin, 2009; Buehler, 2010, GENIVAR, 2011 et 2012a).

Ces bruits peuvent par ailleurs se propager sur de grandes distances, comme en témoignent l'étude de Talisman Energy (2005) qui prédit, dans le cadre d'un projet de parc éolien en mer, que le battage de pieux générerait un niveau de 160 dB re 1  $\mu$ Pa jusqu'à 25 km de la source. Nos propres simulations pour la zone à l'étude (carte 4a) suggèrent pour leur part que le battage de palplanches pourrait générer des pressions sonores supérieures à 160 dB re 1  $\mu$ Pa sur une grande partie de la zone d'étude et sur toute la largeur du fleuve entre Québec et Lévis.

Bien que le schéma de propagation du son par vibrofonçage soit similaire à celui du battage, l'énergie délivrée par le vibrofonçage est plus basse, engendrant ainsi un impact sonore moins important. Ainsi, dans le cadre de l'étude d'impact de la construction du terminal méthanier d'Énergie Cacouna, sur la rive sud du Saint-Laurent, Carr et coll. (2006) ont estimé à 164,3 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m le niveau sonore généré par le vibrofonçage que le bruit généré par cette activité descendrait sous les 120 dB re 1  $\mu$ Pa pour les distances supérieures à 1,6 km du quai, alors que le bruit d'impact résultant du battage descendrait sous les 160 dB re 1  $\mu$ Pa pour les distances supérieures à 1,1 km. Les fréquences dominantes générées par le vibrofonçage se situeraient entre 25 et 2 000 Hz (Blackwell, 2005; GENIVAR, 2013).

Des simulations similaires réalisées dans le cadre de la présente étude (carte 4b) suggèrent que le vibrofonçage de palplanches générerait des pressions sonores descendant sous les 160 dB re 1  $\mu$ Pa dès les deux premiers mètres, ce qui est considérablement moins bruyant que le battage.



**Figure 4.2 Propagation des émissions sonores résultant du battage d'un pieu** (adapté de Elmer, 2010)

#### 4.3.4 BRUITS DE DRAGAGE

Indépendamment du type de machinerie utilisé, il existe peu d'études concernant les bruits sous-marins produits par les activités de dragage (Central Dredging Association [CDA], 2011). Ces bruits sont principalement générés par l'excavation du substrat, le déplacement du vaisseau de dragage et le dépôt du matériel dragué. Selon les données disponibles, le dragage à godet apparaît relativement silencieux, avec une pression sonore à la source atteignant de 150 à 162 dB re 1  $\mu$ Pa (Dickerson et coll., 2001). Celle-ci diminuerait au niveau du bruit de fond à une distance d'environ 1 km (Clarke et coll., 2002; CDA, 2011). Le dragage par succion serait pour sa part plus bruyant, dépendamment de la granulométrie du substrat, l'aspiration de sable étant moins bruyante que celle de gravier grossier (CDA, 2011). Nos propres simulations pour la zone à l'étude (carte 4b) suggèrent qu'un dragage par succion générerait des pressions sonores descendant sous les 160 dB re 1  $\mu$ Pa dès les 50 premiers mètres.

Comparativement aux bruits de battage, il est peu probable que le bruit de dragage puisse entraîner des pertes d'audition ou des blessures directes chez les poissons et les mammifères marins (CDA, 2011). Des modifications comportementales, telles l'évitement des zones bruyantes ou des réactions à l'effet de masquage, ne peuvent toutefois être exclues.

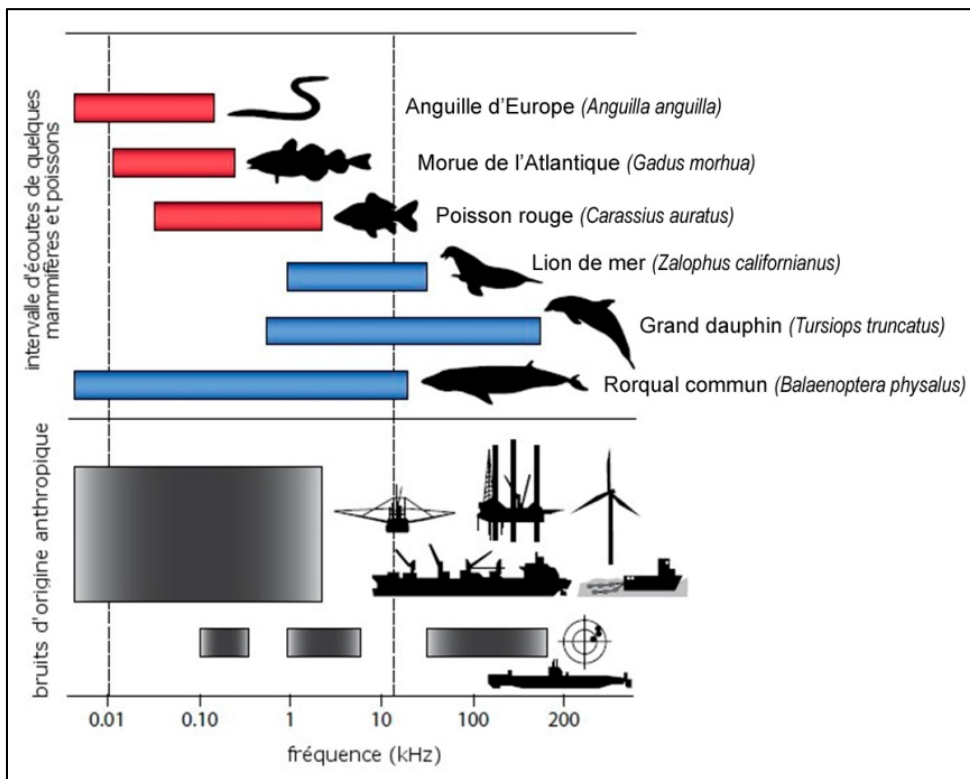
### 4.3.5 BRUITS DE NAVIRES

Notons d'abord que la gamme de fréquences émises par les navires chevauche en partie celle qui est due au vent et qu'il en va de même pour plusieurs activités anthropiques, dont les niveaux de pression sonore et les bandes de fréquences peuvent se recouper avec celles des bruits de sources naturelles (Richardson et coll., 1995). Plusieurs activités anthropiques émettent d'ailleurs des bruits sous-marins aux mêmes fréquences que celles des mammifères marins et de certains autres animaux (figure 4.3). Dû au phénomène de masquage, ce chevauchement de fréquences peut notamment interférer avec le système de communication et d'écholocalisation de certains mammifères marins (Richardson et coll., 1995). Chez les poissons toutefois, l'effet de masquage est peu documenté, de même que les effets du bruit généré par les navires.

#### 4.3.5.1 ORIGINE ET FRÉQUENCE DU BRUIT DES NAVIRES

Le bruit des navires se divise en deux catégories, soit celui capté lorsqu'un navire passe à proximité de l'hydrophone et celui que laisse le trafic maritime distant (Wenz, 1962). Le bruit de passage d'un navire est intermittent et se caractérise par des composantes à bande étroite, à des fréquences inférieures à 1 kHz. Typiquement, le passage d'un navire apparaît comme une augmentation de courte durée (moins de 30 minutes) de l'énergie acoustique, entre 5 Hz et 1 kHz (Richardson et coll., 1995). Le bruit du trafic maritime dépend pour sa part de la concentration des navires et des propriétés de propagation sonore du secteur. Dans une région à perte sonore élevée, seuls les navires les plus proches contribueront au bruit ambiant.

Les sources prédominantes du bruit généré par les navires sont les hélices et la machinerie requise pour assurer la propulsion et la génération d'énergie (Ross, 1987 ; Scrimger et Heitmeyer, 1988; Richardson et coll., 1995; Arveson et Vendittis, 2000; Wales et Heitmeyer, 2002; Heitmeyer et coll., 2004). Les bruits de machinerie sont transmis à l'eau par la coque, alors que ceux des hélices sont générés directement dans l'eau.



**Figure 4.3 Exemples de chevauchement des fréquences de certains bruits d'origine anthropique avec celles de la faune marine (adapté de Futura-Sciences 2012)**

Les sons générés aux plus basses fréquences (< 50 Hz) sont principalement produits par la cavitation des hélices. La cavitation est une conséquence de la forte charge en poussée infligée à l'hélice et par le flot non uniforme de l'eau entre les pales, qui est due à la position du navire au-devant des hélices. Il en résulte la production rythmique de bulles de vapeur d'eau, accompagnées de fortes impulsions sonores qui induisent à leur tour des vibrations de la structure du navire, qui transmet à son tour ces vibrations sous forme de sons à l'air et à l'eau environnants. À vitesse plus élevée, les bruits de cavitation peuvent aussi dominer les fréquences au-delà de 50 Hz. Notons que les hélices sont généralement conçues de manière à diminuer la consommation de carburant, plutôt que de limiter les bruits de cavitation (Okeanos, 2008).

Les principales sources de bruits de machinerie sont les engins de propulsion et les génératrices diésel. La majorité des navires est propulsée par de lourds moteurs à deux temps, qui fonctionnent à basses révolutions (70 à 120 rpm) et qui sont solidement ancrés à la coque et à l'arbre de l'hélice, ce qui se traduit par une transmission directe des vibrations à la coque, puis à l'eau. Les navires à deux hélices sont généralement moins bruyants que ceux qui n'en ont qu'une (Okeanos, 2008).

#### 4.3.5.2 INTENSITÉ DU BRUIT DES NAVIRES

Plusieurs données existent quant aux émissions sonores des navires. Dans leur revue du sujet, Richardson et coll. (1995) rapportent des niveaux sonores (bande large) variant de 151 à 190 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m, selon la taille du navire, avec des niveaux sonores atteints à des fréquences allant de 7 Hz à 428 Hz. Bien que, selon ce qui est publié, la pression sonore générée par les navires dépasserait rarement 200 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m, le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE, 2004) soulève une certaine inquiétude quant à des niveaux d'environ 230 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m rapportés pour certains navires de fort tonnage. La tendance actuelle favorisant la construction de navires de plus en plus gros, il est attendu que les risques d'exposition à des bruits sous-marins de forte intensité augmentent.

### 4.4 ÉVALUATIONS DES IMPACTS DU BRUIT SUR LES POISSONS

Afin d'évaluer les impacts découlant du bruit générés par les travaux d'agrandissement des infrastructures du port de Québec et par leur opération subséquente, nous avons retenu le critère d'exposition ( $SPL_{peak}$ ) de 206 dB re 1  $\mu$ Pa proposé par le FHWG (2008) comme seuil visant à protéger les poissons contre des dommages physiques ou auditifs résultant de sources impulsives. Comme il n'existe pas de critère établi pour les poissons à l'égard des effets des bruits continus, comme celui du vibrofonçage par exemple, nous proposons un seuil de sécurité unique de 160 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1m, ce qui correspond aux pressions sonores déjà générées par de nombreux navires qui traversent quotidiennement la zone d'étude.

Il est à noter que nous n'avons pas considéré de seuil sonore à l'égard des mammifères marins, étant donné que leur présence à proximité du port de Québec est plutôt rare et fortuite. Seules quelques observations de bélugas, de phoques communs et de phoques gris ont été signalées au cours des décennies et aucun habitat propice à ces mammifères n'est présent dans la zone d'étude (Port de Québec, 2015).

Par conséquent, les impacts sonores du projet sur les poissons ont été évalués en fonction des seuils suivants :

**Tableau 4.1 Seuils de sécurité proposés à l'égard des effets physiologiques et comportementaux potentiels des bruits de nature impulsive ou continue générés par les travaux sur les poissons**

	Source impulsive dB re 1 $\mu$ Pa <sub>rms</sub>	Source continue dB re 1 $\mu$ Pa <sub>rms</sub>
Seuil d'effet physiologique	206	-
Seuil d'effet comportemental	160	160

#### 4.4.1 PHASE CONSTRUCTION

Si cette méthode d'enfoncement des palplanches est retenue, le battage sera l'activité la plus bruyante liée à la phase de construction. Avec les paramètres de simulation utilisés pour ce projet, soit une pression sonore à la source de 216 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m, les pressions sonores générées par le battage de palplanches pourraient dépasser le seuil d'effet physiologique proposé de 206 dB re 1  $\mu$ Pa dans les 5 à 10 premiers mètres autour de la source. Le seuil d'effet comportemental proposé de 160 dB re 1  $\mu$ Pa serait toutefois dépassé sur toute la largeur du fleuve, dans l'axe perpendiculaire entre Québec et Lévis, et sur

une distance d'environ 3 km dans l'axe du chenal de navigation. Au-delà de cette distance, le bruit généré par le battage ne devrait pas dépasser celui causé par la circulation des navires. Il est toutefois à noter que les pressions sonores pourraient s'avérer supérieures aux estimations selon la profondeur de substrat dur à traverser par les palplanches, ou au contraire plus basses si des mesures d'atténuation ou de réduction du bruit sont utilisées.

Sans mesure d'atténuation ou de réduction du bruit, telles que celles décrites à la section 5, l'impact du battage de palplanches peut donc être évalué comme étant de forte intensité pour les poissons présents dans un rayon de 5 à 10 m des travaux, en leur causant des dommages physiques ou physiologiques pouvant même entraîner la mort. Bien que la probabilité que des mortalités de poissons soient observées dans ce rayon soit relativement élevée, le nombre de spécimens touché devrait être relativement bas étant donné la faible distance à laquelle les pressions sonores dépasseraient le critère proposé. Un démarrage graduel des activités de battage permettrait toutefois aux poissons de s'éloigner suffisamment pour éviter ces dommages.

Le comportement des poissons pourrait néanmoins être affecté jusqu'à 3 km de la source. La fuite ou l'évitement de la zone bruyante est le principal effet comportemental attendu, mais serait limité à la durée des travaux de battage.

Des préoccupations relatives aux espèces à statut précaire, telles que le bar rayé (*Morone saxatilis*), l'alose savoureuse (*Alosa\_sapidissima*), l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*), l'esturgeon noir (*Acipenser oxyrinchus*) ou l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*), à la proximité d'habitats d'intérêt particulier (zones de fraie, d'alevinage ou d'alimentation), ou aux déplacements d'espèces migratrices pourraient donc requérir la mise en place de mesures d'atténuation du bruit, ou encore de substituer le battage des palplanches par le vibrofonçage.

Avec les paramètres de simulation utilisés, soit une pression sonore à la source de 164,3 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m, les pressions sonores générées par le vibrofonçage de palplanches ne dépasserait pas le seuil d'effet physiologique proposé de 206 dB re 1  $\mu$ Pa, tout en ne dépassant que sur moins de 2 m le seuil d'effet comportemental proposé. L'impact du vibrofonçage de palplanches peut donc être évalué comme étant de faible importance.

Quant aux activités de dragage, elles ne devraient pas générer de pressions sonores supérieures au seuil de 160 dB re 1  $\mu$ Pa au-delà de 50 m. Leur impact sonore sur les poissons est donc considéré comme étant faible.

#### 4.4.2 PHASE EXPLOITATION

Les mesures réalisées sur le site lors du passage et du transbordement de navires montrent que le milieu aquatique bordant le port de Québec est déjà un environnement bruyant, avec des crêtes de bruit pouvant ponctuellement dépasser les 160 dB re 1  $\mu$ Pa à une centaine de mètres. L'accroissement du trafic maritime et des activités portuaires pourrait donc se traduire par une hausse du bruit ambiant proportionnel à l'augmentation du nombre de navires circulant dans les eaux du port. Selon les prévisions de l'administration du port de Québec (APQ), le projet doit permettre de générer une activité économique

additionnelle et complémentaire à ce que l'on retrouve déjà dans le port, notamment en permettant le développement de nouveaux trafics à l'exportation générés notamment par les secteurs de l'agroalimentaire et de l'énergie (biomasse et hydrocarbures). L'augmentation réelle des activités est toutefois difficile à évaluer, car elle dépend notamment des logistiques, des temps de stockage sur les quais entre les transbordements, de la régularité des convois, des équipements disponibles et de plusieurs autres facteurs impossibles à prévoir pour le moment. L'APQ prévoit réaliste que le projet pourrait générer à terme environ 10 millions de tonnes supplémentaires (Port de Québec 2015), ce qui représente un accroissement de 30 à 37% relativement aux tonnages manutentionnés en 2012 et en 2013 (Port de Québec 2012, 2013). Bien que les pressions de crête puissent s'avérer ponctuellement plus élevées selon le type de navire impliqué, c'est surtout au niveau de la durée cumulative des épisodes bruyants que l'effet devrait se faire sentir. À cet égard, nous pouvons estimer que l'impact du bruit généré par l'augmentation du trafic maritime sur les poissons sera d'importance moyenne, avec une intensité moyenne, une longue durée et une étendue spatiale d'ordre régional.

#### **4.5 RECOMMANDATIONS**

En fonction des impacts attendus durant les activités de construction bruyantes et particulièrement le battage de palplanches, nos recommandations sont les suivantes :

- démarrer les opérations de fonçage de palplanches de façon graduelle et continue, sur une période de 20 à 30 minutes, afin de permettre aux poissons présents de s'éloigner de la source de bruit ;
- planifier, lorsqu'applicable, des mesures alternatives au battage pour foncer les palplanches ;
- si nécessaire, planifier l'utilisation d'un rideau de bulles autour des palplanches à foncer par battage ;
- mettre en place un programme de suivi en temps réel des bruits émis par les activités du chantier, au moins pour les deux premières semaines de travaux bruyants, afin de valider les résultats des simulations, de vérifier l'efficacité des mesures de réduction du bruit et de les ajuster s'il y a lieu ;
- vérifier la présence de poissons morts ou blessés durant les premiers jours de travaux bruyants, afin d'évaluer l'efficacité des mesures de contrôle et d'atténuation du bruit.

## 5 MESURES D'ATTÉNUATION

Dans les pages qui suivent, nous présentons différentes approches générales qui permettraient de réduire le périmètre dans lequel les travaux de construction pourraient générer des bruits excédant les seuils de sécurité proposés pour assurer la protection des poissons. Compte tenu des mesures prises sur le terrain et des simulations réalisées, nous considérons que les seuls travaux pouvant nécessiter le recours à des mesures d'atténuation du bruit sont le fonçage de palplanches par battage, qui peuvent générer des pressions sonores à la source de l'ordre de 216 dB re 1  $\mu$ Pa.

### 5.1 MÉTHODES ALTERNATIVES AU BATTAGE

Dans la mesure où l'équipement de battage utilisé le permet, il est parfois possible d'ajuster les paramètres de battage de manière à réduire l'intensité du bruit généré. Par exemple, la prolongation du temps d'impact permet non seulement de réduire l'intensité sonore, mais également de déplacer le pic vers des fréquences plus basses et généralement moins dommageables pour la faune marine (Elmer et coll., 2006; ICF Jones & Stokes et Illingworth & Rodkin, 2009). Les gains peuvent toutefois s'avérer minimes, ce qui justifie de considérer des méthodes de fonçage alternatives, telles le fonçage par vibration ou par pression, mais il ne semble pas exister de données acoustiques sur le sujet.

#### 5.1.1 VIBROFONÇAGE

Le vibrofonçage représente souvent une alternative intéressante et généralement moins bruyante que le battage. À titre comparatif, Carr et coll. (2006) ont estimé à 164 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m le niveau sonore généré par le vibrofonçage et à 216 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m celui du battage de palplanches. Les fréquences dominantes générées par le vibrofonçage se situent entre 25 et 2 000 Hz (Blackwell, 2005; GENIVAR, 2013). Le bruit aérien généré par le vibrofonçage étant généralement moindre que pour le battage, de même que celui transmis dans l'eau, cette technique est souvent favorisée au battage. Suivant les substrats rencontrés, les travaux amorcés par vibrofonçage peuvent parfois être terminés par la technique de battage (Nedwell et Howell, 2004; Carr et coll., 2006).

### 5.2 MÉTHODES DE CONFINEMENT OU DE RÉDUCTION DU BRUIT

L'utilisation de barrières d'atténuation sonore comprend le rideau de bulles traditionnel, ainsi que d'autres barrières acoustiques telles qu'une gaine de mousse installée autour des pieux, quoique cette dernière méthode s'applique mal aux palplanches (Elmer et coll., 2006; ICF Jones & Stokes et Illingworth & Rodkin, 2009; Elmer, 2010). Les différentes approches disponibles agissent indépendamment pour la plupart, ce qui permet une réduction substantielle de l'intensité des bruits, de l'ordre de 15 à 45 dB lorsqu'on les utilise en combinaison.

### 5.2.1 RIDEAU DE BULLES

Le rideau de bulle représente l'option la plus souvent utilisée pour atténuer la propagation du bruit causé par le battage de pieux ou de palplanches. Il s'agit essentiellement de souffler de l'air, à l'aide d'un compresseur, dans un réseau de tubulures trouées qui encerclent la base de la structure à enfoncer, de manière à créer un rideau de bulles qui interfèrent avec la propagation du son provenant du battage. Les premières tentatives en ce sens ont été réalisées dans un projet impliquant de battage de pieux en milieu marin à Hong-Kong (Wursig et coll. 1999), où les rideaux de bulles avaient permis une faible réduction de 3 à 5 dB. L'approche s'est toutefois grandement améliorée depuis (ICF Jones & Stokes et Illingworth & Rodkin, 2009). Nos propres travaux dans le domaine montrent d'ailleurs que l'atténuation par le rideau de bulles se fait surtout sentir pour les bandes de fréquences allant de 300 Hz à 8000 Hz, atteignant jusqu'à 15 à 20 dB re 1  $\mu$ Pa pour les fréquences situées entre 500 Hz et 5000 Hz (WSP, 2015). Reyff (2003, 2009) rapporte pour sa part des réductions de l'ordre de 20 à 30 dB re 1  $\mu$ Pa à courte distance de pieux, c'est-à-dire dans la zone où le bruit risque le plus de causer la mortalité ou des blessures aux poissons.

Illingworth et Rodkin (2010) ont pour leur part mesuré des atténuations de l'ordre de 3 à 35 dB re 1  $\mu$ Pa, selon que le rideau de bulles était confiné ou non dans une gaine. Il est à noter que le recours à une gaine ou à un caisson de confinement des bulles s'avère particulièrement utile, voire essentiel, dans les secteurs à forts courants.

Au cours des dernières années, l'idée d'utiliser des ballons gonflés d'air retenus par des filets de pêche a été testée, en remplacement des rideaux de bulles traditionnels, pour atténuer les bruits d'impact du battage de pieux (Elmer, 2010). L'utilisation de ballons revêt plusieurs avantages, dont :

- des effets d'atténuation pouvant atteindre - 40 dB dans la fourchette de 50 à 5 000 Hz;
- de subir peu d'influence des marées et des courants;
- d'éliminer le besoin de compresser de l'air en continu;
- d'être utilisable autant à l'intérieur du pieu qu'en tant qu'enveloppe extérieure ou comme couverture de fond (Elmer, 2010).

Ce système, en voie d'être breveté, semblerait également moins coûteux que les rideaux de bulles traditionnels, mais nous n'avons pas trouvé d'exemple concret de son utilisation.

### 5.2.2 CAISSONS ET COFFRAGES

Bien que plus coûteuse que le rideau de bulles, l'installation de coffrages ou de caissons autour de la zone de travaux et l'assèchement de celle-ci constitue la meilleure approche pour isoler les travaux du milieu aquatique ambiant et réduire au minimum la propagation du bruit dans celui-ci (ICF Jones & Stokes et Illingworth & Rodkin, 2009). Les résultats atteints sont semblables ou supérieurs à ceux d'un rideau de bulles d'épaisseur équivalente. Si le caisson ou le coffrage ne peut être asséché, l'utilisation complémentaire d'un mur de bulle dans celui-ci donne aussi de bons résultats (ICF Jones & Stokes et Illingworth & Rodkin, 2009).

### 5.2.3 GAINES ISOLANTES

Les gaines isolantes sont généralement des tubes creux de diamètre supérieur à celui du pieu et dans lequel le pieu est inséré durant le fonçage. La gaine est normalement vidée de son eau préalablement au fonçage, de manière à créer un mur d'air entre le pieu et l'eau ambiante. Il s'agit d'une approche semblable à celle des coffrages ou des caissons à sec, mais de moindre efficacité vu la plus faible épaisseur du mur d'air. Les résultats atteints sont toutefois semblables ou supérieurs à ceux d'un rideau de bulles d'épaisseur équivalente (ICF Jones & Stokes et Illingworth & Rodkin, 2009). Une méthode voisine, qui consiste à envelopper le pieu foncé par un tube de plus grand diamètre, mais sans le vider de son eau ni y injecter de bulles, permet pour sa part une réduction du bruit de 4 à 8 dB re 1  $\mu$ Pa (Illinworth et Rodkin, 2010). Il s'agit toutefois d'une méthode difficilement applicable aux palplanches.

### 5.2.4 COUSSINS AMORTISSEURS

Les cousins amortisseurs sont des pièces de bois, de nylon ou de micarta (composite de papier ou de coton et de résine) qui sont installés au sommet du pieu ou de la palplanche afin d'atténuer le bruit généré par le battage. Selon leur composition, ils permettent une atténuation sonore de l'ordre de 4 à 26 dB re 1  $\mu$ Pa. Ils peuvent être utilisés en complément d'autres mesures d'atténuation, comme le mur de bulles, mais leur faible durabilité est à considérer (ICF Jones & Stokes et Illingworth & Rodkin, 2009).



## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARVESON, P. & VENDITTIS, D. 2000. *Radiated noise characteristics of a modern cargo ship*. Journal of the Acoustical Society of America, 107(1), 118-129.
- AU WWL & K. BANKS. 1998. *The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay*. Journal of the Acoustical Society of America 103:41-47
- AU, W.W.L. & M.C. HASTINGS. 2008. *Principles of marine bioacoustics*. Springer Science+Business media, New York. 679 p.
- BAILEY, B, SR, H.D. LUSSEAU, A. FOOTE & P.M. THOMPSON. 2008. *Anthropogenic noise in the Moray Firth SAC; potential sources and impacts on bottlenose dolphins*. Scottish Natural Heritage Commissioned Report No. 265 (ROAME No. F05LE02). 77 p.
- BANNER, A. & M. HYATT. 1973. *Effects of noise on eggs and larvae of two estuarine fishes*. Transactions of the American Fisheries Society 102 (1): 134-136.
- BASTASCH, M., M. FERNANDEZ-DIAZ, J. LORENZ & B. ELLIS. 2009. *Oregon LNG Terminal and Oregon Pipeline Project. Appendix A - Underwater noise propagation, monitoring, and mitigation*. Prepared for: Oregon LNG. 13 p.
- BLACKWELL, S.B. 2005. *Underwater measurements of pile driving sounds during the Port MacKenzie dock modifications, 13-16 August 2004*. Greeneridge Sciences Inc. Report 328-1.
- BŒUF, M., X. DEMOULIN & Y. PERROT. 2004. *Étude d'impact acoustique sur la faune marine liée à l'implantation d'éoliennes offshore*. Dans : Proceedings: Energies Renouvelables en Mer - Courants marins et vagues. 20 et 21 octobre 2004. Brest, France.
- BUEHLER, D. 2010. *Overview of pile driving impacts on fish, current interim impact criteria, and the Caltrans Guidance Manual*. Transportation Research Board Annual Meeting 2010. 24 p.
- BUREAU D'AUDIENCES PUBLIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT (BAPE). 2004. *Les enjeux liés aux levés sismiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent*. Rapport d'enquête et d'audience publique, Rapport 193. 9 p. + annexe.
- CALTRANS, 2001. *San Francisco–Oakland Bay Bridge east span seismic safety project, pile installation demonstration project. Marine mammal impact assessment*. PIDP EA 012081, PIDP 04-ALA-80-0.0/0.5, Caltrans Contract 04A0148, Task Order 205.10.90.
- CARLSON, T., M. HASTINGS, & A.N. POPPER. 2007. *Update on recommendations for revised interim sound exposure criteria for fish during pile driving activities*. Memorandum to Suzanne Theiss (California Department of Transportation) and Paul Wagner (Washington Department of Transportation).

- CARR, S.A., M.H. LAURINOLLI, C.D.S. TOLLEFSEN & S.P. TURNER. 2006. *Terminal méthanier d'Énergie Cacouna : Évaluation des impacts sur le niveau sonore sous-marin*. Jasco Research Ltd. pour Golder Associés. 42 p. + annexes.
- CATO, D.H. 2008. *Ocean ambient noise : Its measurement and its significance to marine animals*. Proceedings of the institute of Acoustics. 30(5).
- CENTRAL DREDGING ASSOCIATION (CDA). 2011. *Underwater sound in relation to dredging*. CEDA Position Paper - 7 November 2011. Rotterdamseweg, Netherlands. 6p.
- CLARKE D, C. DICKERSON, & K. REINE. 2002. *Characterization of Underwater Sounds Produced by Dredges Dredging 2002*. ASCE, Orlando, Florida, USA, p 64-64
- DICKERSON, C, K.J. REINE & D.G. CLARKE. 2001. *Characterization of underwater sounds produced by bucket dredging operations*. DOER Technical Notes Collection (ERDC TN-DOER-E14), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.  
www.wes.army.mil/el/dots/doer
- ELMER, K.H. 2010. *Pile driving noise reduction using new hydrosound dampers*. From: ECS2010 Workshop: Pile driving in offshore windfarms. Stralsund.
- ELMER, K.H., T. NEUMANN & K. BETKE. 2006. *Measurement and reduction of offshore wind turbine construction noise*. Dewek 2006 Conference, Bremen, 22-23 November 2006.
- ENGAS, A., S. LOKKEBORG, E. ONA, & A.V. SOLDLA. 1996. *Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (Gadus morhua) and Haddock (Melanogrammus aeglefinus)*. Can. J. Fis. Aquat. Sci. 53 :2238-2249.
- ENVIRONNEMENT ILLIMITÉ INC. 2006. *État de référence du niveau sonore sous-marin – Terminal méthanier – Projet Rabaska, Été 2006*. Rapport final. 30 p + annexes.
- FISHERIES HYDROACOUSTIC WORKING GROUP (USA). 2008. *Agreement in Principle for Interim Criteria for Injury to Fish from Pile Driving Activities*. Prepared for FHWG Agreement in Principle Technical/Policy Meeting, June 11, 2008, Vancouver, WA.
- FUTURA-SCIENCES. 2012. *Les baleines sont stressées par le bruit des navires*. Site Internet consulté le 3 octobre 2012. Disponible [en ligne] : [http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/zoologie/d/les-baleines-sont-stressees-par-le-bruit-des-navires\\_36654/](http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/zoologie/d/les-baleines-sont-stressees-par-le-bruit-des-navires_36654/)
- GENIVAR. 2011. *Construction d'une usine de bouletage et d'un nouveau quai pour les opérations d'ArcelorMittal Mines Canada à Port-Cartier. Rapport sectoriel - Environnement sonore sous-marin*. Rapport de GENIVAR inc. à ArcelorMittal Mines Canada. 38 p. + annexes.
- GENIVAR. 2012a. *Réfection des quais de l'aluminerie Alcoa de Baie-Comeau. Protocole de mesure de l'environnement sonore sous-marin - 2012*. Rapport de GENIVAR inc. à Alcoa. 12 p. + annexes.

- GENIVAR. 2012b. *Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social pour l'aménagement d'infrastructures portuaires et la gestion des sédiments à la baie Déception. Mesure de l'environnement sonore sous-marin - 2012*. Rapport de GENIVAR inc. à Canadian Royalties Inc. 52 p. + annexes.
- GENIVAR. 2013. *Note technique sur les bruits sous-marins générés par le vibrofonçage de palplanches au port de pointe-au-pic*. Rapport de GENIVAR inc. à GÉNICO Expert Conseil inc. 10 p.
- GREENE, C.R. Jr. 1999. *Piledriving and vessel sound measurements during installation of a gas production platform near sable Island, Nova-Scotia, during March and April 1998*. Greeneridge Sciences Inc. Final Report 205-2.
- HALVORSEN, M.B., B.M. CASPER, C.M. WOODLEY, T.J. CARLSON AND A.N. POPPER. 2011. *Hydroacoustic impacts on fish from pile installation*. NCHRP Research Result Digest 363, Project 25-28. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington DC, USA.
- HASTINGS, M. C. & A. N. POPPER. 2005. *Effects of sound on fish*. Préparé pour Jones & Stokes et California Department of Transportation. Sacramento, Californie.
- HESTER, K. C., E. T. PELTZER, W. J. KIRKWOOD, & P. G. BREWER. 2008. *Unanticipated consequences of ocean acidification: A noisier ocean at lower pH*. Geophysical Research Letters. Vol. 35, L19601, doi:10.1029/2008GL034913.
- HEITMEYER, R.M., S.C. WALES & L.A. PFLUG. 2004. *Shipping noise predictions: capabilities and limitations*. Marine Technology Society Journal, 37, 54-65.
- HIGGS, D.M., D.T.T. PLATCHA, A.K. ROLLO, M. SINGHEISER, M.C. HASTINGS & A.N. POPPER. 2003. *Development of ultrasound detection in American shad (Alosa sapidissima)*. The journal of experimental biology. 207, 155-163.
- HILDEBRAND, J.A. 2009. *Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean*. Marine Ecology Progress Series. (MEPS) 395: 5-20.
- ICF JONES & STOKES AND ILLINGWORTH & RODKIN INC. 2009. *Technical guidance for assessment and mitigation of the hydroacoustic effects of pile driving on fish*. Préparé pour the California Department of Transportation. Sacramento, Californie. 298 p.
- ILLINGWORTH & RODKIN, INC. 2006a. *Port of Oakland Berth 23 – Underwater Sound Measurement Data for the Driving of Steel Sheet Piles and Square Concrete Piles – November 17 & December 3, 2005*. Report to Vortex Marine Construction, dated January 12, 2006.
- ILLINGWORTH & RODKIN, INC. 2006b. *Port of Oakland Berth 30 – Underwater Sound Measurements for the Installation of Steel Sheet Piles with a Hydraulic Vibratory Hammer*. Report to the Port of Oakland, dated May 8, 2006.

- ILLINWORTH & RODKIN INC. 2007. *Compendium of pile driving sound data*. Prepared for California Department of Transportation. Sacramento, Californie. 129 p.
- ILLINWORTH & RODKIN INC. 2010. *Underwater Sound Levels Associated with Driving Steel Piles for the State Route 520 Bridge Replacement and HOV Project Pile Installation Test Program*. Prepared for Washington State Department Of Transportation, Seattle, WA. 143 p.
- ILYINA, T., R.E. ZEEBE & P.G. BREWER. 2010. *Future ocean increasingly transparent to low-frequency sound owing to carbon dioxide emissions*. *Nature Geoscience* 3: 18 – 22.
- SYSTEME D'INFORMATION SUR LA GESTION DU TRAFIC MARITIME (SIGTM). 2015. *Données extraites du site WEB INNAV* (<http://www.innav.gc.ca>), Gouvernement du Canada, le 21 septembre 2015.
- JENSEN, F.B., W.A. KUPERMAN, M.B. PORTER & H. SCHMIDT. 2011. *Computational Ocean Acoustics*, AIP series in modern acoustics and signal processing. Springer-Verlag, New-York. 794 p.
- LURTON, X. 2010. *An Introduction to Underwater Acoustics Principles and Applications*. 2<sup>nd</sup> édition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 724 p.
- JOCHENS, A., D. BIGGS, D. ENGELHAUPT, J. GORDON, N. JAQUET, M. JOHNSON, R. LEBEN, B. MATE, P. MILLER, J., ORTEGA-ORTIZ, A., THODE, P. TYACK, J. WORMUTH & B. WÜRSIG. 2006. *Sperm whale seismic study in the Gulf of Mexico*. Summary Report, 2002-2004. OCS Study MMS 2006-034. MMS, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, Louisiane. 345 p.
- LAWSON, J. & I. MCQUINN. 2004. *Revue des problématiques potentielles liées à l'hydrophysique au Canada, leurs risques pour les mammifères marins, et des stratégies de monitoring et d'atténuation dans le contexte d'activités sismiques*. Secrétariat canadien de consultation scientifique. Document de recherche 2004/121.
- LURTON, X. 2010. *An Introduction to Underwater Acoustics Principles and Applications*. 2<sup>nd</sup> édition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 724 p.
- MADSEN, P.T. 2005. *Marine mammals and noise: Problems with root mean square sound pressure levels for transients*. *Journal of the acoustical society of America* 117 (6): 3952-3957.
- MCQUINN, I.H., V. LESAGE, D. CARRIER, G. LARRIVÉE, 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.
- MEYERS, J. R. & J. T. CORWIN. 2008. *Morphological correlates of regeneration and repair in the inner ear*. Dans: Springer handbook of auditory research. Vol. 33: Hair cell regeneration, repair, and protection. Salvi, R.J., A.N. Popper et R.R. Fay (éditeurs.). Springer, New York.

- MILLER, J.H., A.E. BOWLES, B.L. SOUTHALL, R.L. GENTRY, W.T. ELLISON, J.J. FINNERAN, C.R. GREENE JR., D. KASTAK, D.R. KETTEN, P.L. TYACK, P.E. NACHTIGALL, W.J. RICHARDSON & J.A. THOMAS. 2005. *Strategies for weighting exposure in the development of acoustic criteria for marine mammals*. Journal of the Acoustical Society of America 118 (3): 2019.
- MINISTÈRE DES PÊCHES ET DES OCÉANS DU CANADA (MPO). 2007. *Impacts de la construction d'un port méthanier à Gros-Cacouna sur les mammifères marins*. Secrétariat canadien de consultation scientifique. Document de recherche. 2007/010.
- NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (NPL) 2014. *Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement*. NPL Good Practice Guide No. 133. UK. 95 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 2000. *Marine mammals and low-frequency sound: Progress since 1994*. Committee to Review Results of ATOC's Marine Mammal Research Program, Ocean Studies Board, National Research Council. 160 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 2003. *Ocean noise and marine mammals*. The National Academies press, Washington, DC. 192 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 2005. *Marine mammals populations and ocean noise. Determining when noise cause biologically significant effects*. Committee on characterizing biologically significant marine mammal behaviour. Ocean Studies Board, National Research Council. 126 p.
- NEDWELL, J. & D. HOWELL. 2004. *A review of offshore windfarm related underwater noise sources*. Technical Report 544R0308, Prepared by Subacoustech Ltd., Hampshire, UK, for COWRIE. En ligne à <http://www.subacoustech.com/downloads.shtml>
- OKEANOS. 2008. *Underwater radiated noise of ocean-going merchant ships. A background paper produced by participants of the International Workshop on Shipping Noise and Marine Mammals*. Held by Okeanos, Hamburg, Germany, 21<sup>st</sup>-24<sup>th</sup> April 2008.
- PERRY, C. 1999. *A review of the impact of anthropogenic noise on cetaceans*. Presented to the International Whaling Commission's Scientific Committee, Oman 1998. Paper SC/50/E9.
- POPPER, 2005. *A review of hearing by sturgeon and lamprey*. Submitted to the U.S. Army Corps of engineers, Portland, District, USA. 23 p.
- POPPER, A. N., M. E. SMITH, P. A. COTT, B. W. HANNA, A. O. MACGILLIVRAY, M. E. AUSTIN, & D. A. MANN. 2005. *Effects of exposure to seismic airgun use on hearing of three fish species*. Journal of Acoustic Society of America 117: 3958-3971.
- PORT DE QUÉBEC. 2012. *Rapport annuel 2012*. Administration portuaire de Québec, Direction générale / Communications et relations publiques, 44 p.
- PORT DE QUÉBEC. 2013. *Rapport annuel 2013*. Administration portuaire de Québec. 34p.

- PORT DE QUÉBEC. 2014. *Rapport annuel 2014*. Administration portuaire de Québec. 33p.
- PORT DE QUÉBEC. 2015. *Projet d'agrandissement du port de Québec, Beauport 2020. Construction d'un nouveau quai multifonctionnel en eau profonde. Information relative au projet*. Administration portuaire de Québec. 68p.
- POTTER, J. & E. DELORY. 1998. *Noise sources in the sea and the impact for those who live there*. Acoustic Research Laboratory, Tropical Marine Science Institute, EE Dept., National University of Singapore.
- REYFF, J. A. 2003. *Underwater Sound Levels Associated with Construction of the Benicia-Martinez Bridge: Acoustical Evaluation of an Unconfined Air-Bubble Curtain System at Pier 13*. Illingworth & Rodkin, Inc., Petaluma, Calif.
- REYFF, J. A. 2009. *Reducing Underwater Sounds with Air Bubble Curtains. Protecting Fish and Marine Mammals from Pile-Driving Noise*. TR NEWS 262: 31-33.
- RICHARDSON, W.J., C.R. GREENE JR, C.I. MALME & D.H. THOMSON. 1995. *Marine mammals and noise*. Academic Press, New York. 576 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.
- ROBINSON SP, P.D. THEOBALD, G. HAYMAN, L.S. WANG, P.A. LEPPER, V. HUMPHREY et S. MUMFORD. 2011. *Measurement of underwater noise arising from marine aggregate dredging operations* - MEPF report 09/P108, Marine Aggregate Levy Sustainability Fund
- ROSS, D. 1987. *Mechanics of underwater noise*. Pergamon, NY. 375 p.
- SCRIMGER, P. & R.M. HEITMEYER. 1988. *Acoustic source-level measurements for a variety of merchant ships*. Journal of the Acoustical Society of America, 89 (2): 691-699
- SIMARD, Y., LEPAGE, R., AND GERVAISE, C. 2010. *Anthropogenic sound exposure of marine mammals from seaways : Estimates for lower St. Lawrence Seaway, eastern Canada*. Applied Acoustics 71 : 1093-1098. DOI : 10.1016/j.apacoust.2010.05.012
- SIMMONDS, M., S. DOLMAN & L. WEILGART. 2004. *Oceans of noise*. Whale and Dolphin Conservation Society. 164 p.
- SLABBEKOORN, H., N. BOUTON, I. VAN OPZEELAND, A. COERS, C. TEN CATE & A.N. POPPER, 2010. *A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish*. Trends in Ecology and Evolution 25 (7), 419-427
- SMITH, M. E., A. B. COFFIN, D. L. MILLER, & A. N. POPPER. 2006. *Anatomical and functional recovery of the goldfish (Carassius auratus) ear following noise exposure*. Journal of Experimental Biology 209 (Pt 21): 4193-4202.

- SNC-LAVALIN. 2014. *Nouvelles infrastructures portuaires. Secteur Beauport. Projet J-4177. Rapport de constructibilité*. Administration portuaire de Québec, Division transport, infrastructures et bâtiment. Avril 2014. 66 p.
- 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.
- STAATERMAN, E.R., C.W. CLARK, A.J. GALLAGHER, M.S. DEVRIES, T. CLAVERIE, & S.N. PATEK. 2011. *Rumbling in the benthos: acoustic ecology of the California mantis shrimp *Hemisquilla californiensis**. *Aquat Biol.* 13: 97–105.
- TALISMAN ENERGY. 2005. *Beatrice Windfarm Demonstrator Project environmental statement*. 418 p.
- TECHNI.CH, 2007. *Mise en place de palplanches*, Rapport technique / Travaux spéciaux, novembre 2007. En ligne : [http://www.techni.ch/technifin/haupt/travaux/sujet\\_0012/pdf/palplanches\\_1\\_2007.pdf](http://www.techni.ch/technifin/haupt/travaux/sujet_0012/pdf/palplanches_1_2007.pdf)
- WALES, S.C. & R.M. HEITMEYER. 2002. *An ensemble source spectra model for merchant ship-radiated noise*. *Journal of the Acoustical Society of America*, 111(3), 1211-1231.
- WENZ, J. & F.T. DIETZ. 1962. *Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources*. *Journal of the Acoustical Society of America* 34 (12): 1936-1956.
- WRIGHT, D.G. & G.E. HOPKY. 1998. *Lignes directrices concernant l'utilisation d'explosifs à l'intérieur ou à proximité des eaux de pêche canadiennes*. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2107. 34 p
- WSP (2015a). *Projet d'implantation d'une cimenterie sur le territoire de Port-Daniel-Gascons. Terminal maritime en eau profonde dans la baie des Chaleurs. Bilan des mesures et des activités de suivi et de surveillance lors de la construction du terminal maritime en 2014*, rapport réalisé pour Ciment McInnis. 13 p. + annexes.
- WSP (2015b). *Sharq Crossing Programme: Volume 1- Environmental Impact Assessment Report*. Prepared by WSP Qatar for Ashghal – Public Works Authority, Doha, Qatar.
- WURSIG, B., C. R. GREENE, JR., & T. A. JEFFERSON. 1999. *Development of an Air Bubble Curtain to Reduce Underwater Noise of Percussive Piling*. *Marine Mammal Research*, 49:79–93



# Annexe A

REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE





1) Aperçu partiel de la zone à l'étude



2) Aperçu général de la zone à l'étude



3) Module d'enregistrement Aural M2



4) Mise à l'eau du module d'enregistrement



5) Bouées de repérage et de récupération du module d'enregistrement



6) Passage d'un bateau dans la zone à l'étude



7) Aperçu de la zone à l'étude et d'un navire à quai



8) Transbordement d'un navire



9) Passage d'un bateau dans la zone à l'étude



10) Aperçu de la zone à l'étude et d'un navire à quai



11) Navire de passagers MS Veendam à quai

# Annexe B

**FICHES TECHNIQUES DES INSTRUMENTS DE MESURE**



## B-1. Enregistreur sous-marin Aural M2

# AURAL-M2

## Spécifications

Les caractéristiques sont sujettes à changer sans préavis

### Général

**Voltage d'alimentation:** 12Vdc nominal (9Vdc à 15Vdc)

**Température à l'utilisation:** 0 °C à 40 °C

**Profondeur testée:** 300 mètres

**Matériel du boîtier:** Acier inoxydable 316, Delrin,  
Fibre de verre Epoxy

**Matériel de l'anode:** Zinc

Consommation électrique	AURAL-M2 Version 2, 3 & 4
Inactif	~ 8mA
Actif - Attente d'enregistrement	~ 47 mA
Actif - Enregistrement	~ 58mA
Actif - Sauvegarde	~ 253mA

### Section Analogue

**A/D:** 16 bits

**Filtre:** Passe bas à fréquence programmable du 8e ordre (Anti Aliasing)

**Amplificateur:** Amplificateur à bas niveau de bruit avec choix de gain de 16, 18, 20 et 22dB

**Sonde de pression:** 0 à 1000 psi (0-682 m.) (résolution: 1,3 cm, affichage: 0,1 m, précision de +/- 0,25 % max)

**Sonde de température:** -10 °C à 40 °C (résolution: 0,0625 °C, affichage: 0,1 m, précision de +/- 0,5 °C)

**Hydrophone:** HTI-96-MIN

**Plage de fréquence utilisée:** 10 à 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16 384 Hz

### Section Digitale

**MCU:** 33 MIPS Dallas DS89C450 Microcontrôleur Flash à ultra haute vitesse

**Capacité & type de mémoire flash:** Compact Flash 1 GB ou plus

**Capacité du disque dur:** 2,5 pouces, 320 GB ou plus

**Vitesse de transmission des données du disque dur:** 1,5 MB/Sec

**Base de temps:** Basse puissance 32.768 KHz TCXO avec +/- 2ppm d'exactitude

**Communication:** RS232 (38.4Kbs, N, 8, 1)

**Format du fichier système:** FAT32

**Format du fichier audio:** WAV

**Fréquence d'échantillonnage:** 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16 384, 32 768 échantillons/seconde



Informations sur l'appareil	16 batteries	64 batteries	128 batteries
<b>A</b> Diamètre (1)	14,6 cm (5,75 in)	14,6 cm (5,75 in)	14,6 cm (5,75 in)
<b>B</b> Longueur	90 cm (35,375 in)	120 cm (47,375 in)	178 cm (70 in)
Poids (2) (5)	20 Kg (45 lb)	32 Kg (71,5 lb)	49 Kg (109 lb)
Poids sous l'eau (2) (4) (5)	9 Kg (19,5 lb)	14 Kg (30,5 lb)	21 Kg (46 lb)
Capacité des batteries (3)	30 Ah	120 Ah	240 Ah
Boîte de transport	-	16 Kg / 19 Kg 35,27 lb / 41,89 lb	21 Kg (46,30 lb)

(1) Cylindre seulement (sans support) (3) Capacité des batteries selon Energizer EN95 (Basé sur un drain constant de 15mA)

(2) Batteries EN95 incluses

(4) Submergé en eau douce

(5) Données valides pour les AURALS fabriqués depuis 01-01-09

## B-2 Projecteur de sons - LL9162T

Lubell.com Presents



### Lubell LL9162T Underwater Acoustic Projector Underwater Acoustic Transducer Underwater Speaker

High-Power Broadband Piezoelectric Underwater Transducer for Military and Scientific Applications

#### SPECIFICATIONS

- **Frequency Range:** 250Hz - 20kHz
- **SPL:** 184dB/uPa/m @ 900Hz, 194dB/uPa/m @ 10.6kHz (see [plot](#))
- **Nominal Voltage:** 50 Vrms
- **Max Current:** 5A @ 100% D.C.
- **Impedance:** 10 ohms minimum (see impedance [plot](#) or tabular [data](#))
- **Operating Depth:** 6' min / 50' max
- **Dimensions:** 10.75"H x 10.75"W x 8.75"D, 16 lbs (w/o cable)
- **Bulkhead Connector:** Impulse IERD2F-BC-3: pin 2 hot, 1 return
- **Cable:** Impulse IE2M-7/16 on 75' 18/2 SJOW, white=hot, blk=return
- **Resistor:** 18-136-7.5RLTC-1%
- **Warranty:** 2 year limited
- **Options:** Navy calibration (\$2000); Swaglok SS-400-1-OR pressure fitting (\$75); Custom cable (call); [150HP](#) filter (\$20); [IPA300T](#) amp (\$799)
- **PRICE:** \$1779

Tel: (614) 235-6740, 9:00am-5:00pm EST  
[lubell\\_labs@wowway.com](mailto:lubell_labs@wowway.com)  
[Printable brochure \(41.7 KB pdf\)](#)  
[Complete manual with data \(1.99 MB pdf\)](#)

The Lubell LL9162T Underwater Acoustic Transducer is designed for general purpose military and scientific applications. The LL-9162T may also be used as an underwater loudspeaker (underwater speaker) when high power is required.

The LL-9162T has a useful frequency range of 240Hz-20kHz, a minimum impedance of 10 ohms, and an SPL of 184dB/uPa/m @ 900Hz and 194dB/uPa/m @ 10.6kHz with 50 Vrms applied. The LL-9162T must be used with included series resistor, and a 5A fuse per instructions, and is connected to the 8 ohm transformer isolated tap of the IPA300T amplifier (not included). If reproducing broadband, frequencies below 250Hz must be rolled off using 150HP high-pass filter (not included).

The LL9162T withstands extreme conditions by virtue of its rugged PVC and stainless steel construction. The LL9162T includes an underwater pluggable cable that can be field replaced by the operator. The LL9162T operates at depths between 6' to 50', and may be ordered with optional pressure fitting for external bladder compensation.

## B-3. Amplificateur - Planet Audio AC2500



[RETAIL PARTNERS](#)
[NEWS & EVENTS](#)
[SUPPORT](#)

Search

PRODUCTS

PRODUCT FINDER

[Home](#) > [Auto Products](#) > [Amplifiers](#) > [AC2500.1M](#)

# AC2500.1M

ANARCHY 2500-watt Monoblock Class A/B Amplifier

RETAIL PARTNERS













[Specifications](#)   [Manuals](#)

ANARCHY 2500-Watt Monoblock Class A/B 2-8 Ohm Stable Monoblock Amplifier with Remote Subwoofer Level Control

### General Specs

Monoblock Class A/B
1 Channel
MOSFET Power Supply

### Performance Specs

Total Power Output	2500 Watts
Peak Power @ 2 Ω	2500 Watts x 1
RMS Power @ 4 Ω	938 Watts x 1
Speaker Impedance	2-8 Ω
S/N Ratio (A-Weighted)	85 dB
Frequency Response	15 Hz to 20 kHz ±1 dB

### Connections, Controls, and Processing

RCA Inputs	2 Channel
High Level Inputs	✓
Low Pass Filter	45 Hz to 80 Hz
Bass Boost	Variable 0 to 18 dB
Subwoofer Level Control	✓
Input Sensitivity Switch	✓
Thermal/Overload/Short Protection	✓

### Measurement

Length	14"
Width	10"
Height	2.25"



# Annexe C

**PRESSIONS SONORES ET ANALYSES PAR TIERS D'OCTAVE  
DE BRUITS ENREGISTRÉS DANS LE PORT DE QUÉBEC  
DU 11 AU 17 SEPTEMBRE 2015**



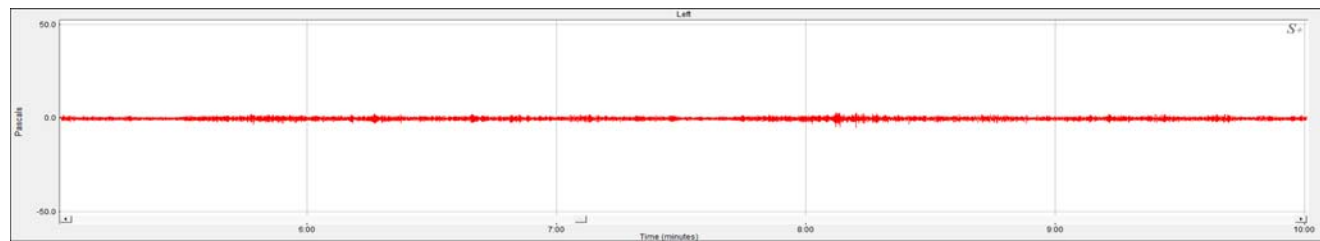
## C-1. Pressions sonores (SPL et SPL<sub>peak-peak</sub>) et analyses par tiers d'octave de bruits enregistrés dans le port de Québec du 11 au 17 septembre 2015

<b>Date :</b>	2015/09/16	<b>Heure :</b>	21 :21	<b>Enregistreur :</b>	Aural-M2
<b>Emplacement :</b>	N/A	<b>Profondeur (m) :</b>	Fond : 12,7 Hydrophone : 10,7	<b>Fichier :</b>	26EE0442.WAV
<b>Distance de la source (m) :</b>	N/A			<b>Segment analysé :</b>	21 :26 à 21 :31
				<b>Durée de l'échantillon (s) :</b>	300
<b>Source sonore dominante :</b>		Niveau sonore à marée haute, sans activités bruyantes à proximité.			

<b>Pression sonore moyenne (SPL)</b> sur la durée de l'échantillon (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> ) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Pression sonore crête à crête (SPL<sub>peak-peak</sub>)</b> (dB re 1 µPa) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Bande(s) de fréquence dominante(s) (1/3 octave)</b> (Hz)
115.2	138.1	31.5

Analyse par tiers d'octave 20 Hz-16 000Hz					
Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )
20	93,3	115,0	630	89,1	101,1
25	93,4	93,8	800	88,5	101,5
31,5	96,0	121,0	1 000	86,0	100,3
40	91,3	109,6	1 250	84,6	100,9
50	83,0	97,9	1 600	84,8	94,6
63	79,6	96,8	2 000	86,7	95,1
80	77,0	79,7	2 500	86,0	99,3
100	77,6	104,0	3 150	86,1	101,3
125	76,3	80,2	4 000	85,2	95,5
160	78,1	93,4	5 000	85,9	99,0
200	81,3	82,1	6 300	85,8	94,5
250	84,5	96,9	8 000	86,3	98,8
315	86,2	97,6	10 000	86,8	92,1
400	89,9	98,3	12 500	87,8	91,3
500	92,3	102,2	16 000	86,8	90,8

Pressions sonores (Pa)

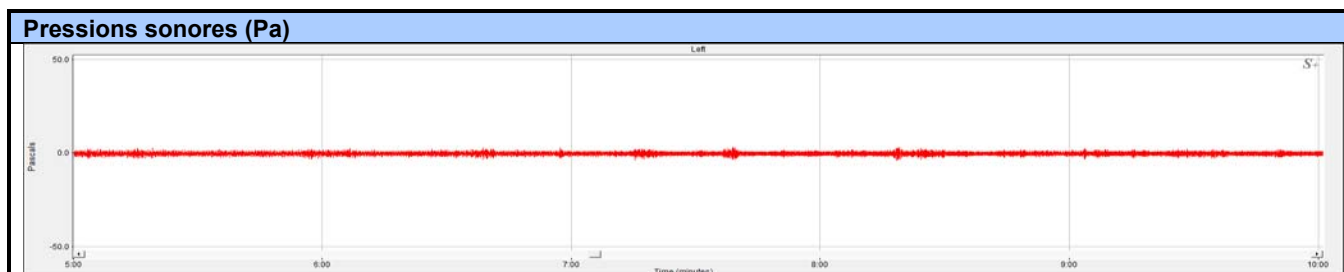


## C-2. Pressions sonores (SPL et SPL<sub>peak-peak</sub>) et analyses par tiers d'octave de bruits enregistrés dans le port de Québec du 11 au 17 septembre 2015

<b>Date :</b>	2015/09/16	<b>Heure :</b>	4 :11	<b>Enregistreur :</b>	Aural-M2
<b>Emplacement :</b>	N/A	<b>Profondeur (m) :</b>	Fond : 12,7 Hydrophone : 10,7	<b>Fichier :</b>	26EE0385.WAV
<b>Distance de la source (m) :</b>	N/A			<b>Segment analysé :</b>	4 :16 à 4 :21
				<b>Durée de l'échantillon (s) :</b>	300
<b>Source sonore dominante :</b>		Niveau sonore à marée basse, sans activités bruyantes à proximité.			

<b>Pression sonore moyenne (SPL)</b> sur la durée de l'échantillon (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> ) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Pression sonore crête à crête (SPL<sub>peak-peak</sub>)</b> (dB re 1 µPa) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Bande(s) de fréquence dominante(s) (1/3 octave)</b> (Hz)
115.7	137.1	31,5 à 50

Analyse par tiers d'octave 20 Hz-16 000Hz					
Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )
20	86,3	98,0	630	92,8	99,4
25	86,6	86,7	800	92,4	98,1
31,5	86,7	105,9	1 000	94,6	98,2
40	86,9	103,7	1 250	96,3	99,7
50	86,3	107,3	1 600	94,3	97,3
63	76,3	94,5	2 000	97,9	101,1
80	75,9	91,4	2 500	97,1	100,5
100	76,9	92,5	3 150	94,3	97,1
125	78,1	94,7	4 000	89,8	91,3
160	77,7	99,8	5 000	89,0	90,3
200	79,5	103,3	6 300	88,2	89,4
250	85,9	103,9	8 000	87,6	88,6
315	90,6	101,9	10 000	88,0	88,9
400	93,4	100,8	12 500	88,8	90,4
500	93,8	98,9	16 000	87,3	88,2

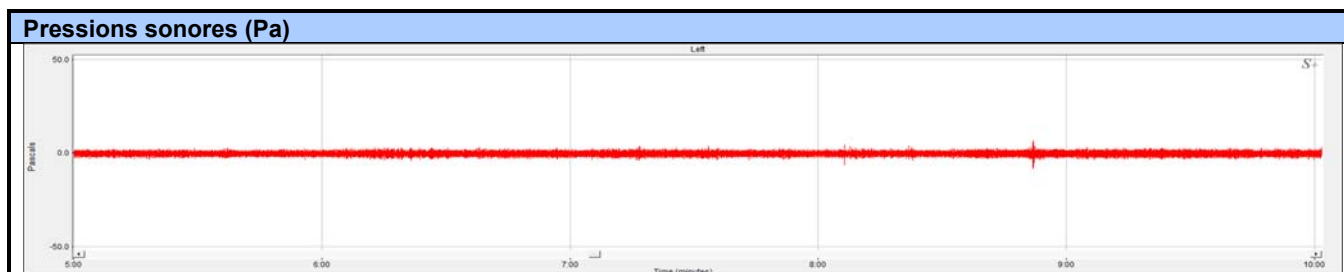


### C-3. Pressions sonores (SPL et SPL<sub>peak-peak</sub>) et analyses par tiers d'octave de bruits enregistrés dans le port de Québec du 11 au 17 septembre 2015

<b>Date :</b>	2015/09/14	<b>Heure :</b>	3 :43	<b>Enregistreur :</b>	Aural-M2
<b>Emplacement :</b>	N/A	<b>Profondeur (m) :</b>	Fond : 12,7 Hydrophone : 10,7	<b>Fichier :</b>	26EE0224.WAV
<b>Distance de la source (m) :</b>	N/A			<b>Segment analysé :</b>	3 :48 à 3 :53
				<b>Durée de l'échantillon (s) :</b>	300
<b>Source sonore dominante :</b>		Niveau sonore à marée montante, sans activités bruyantes à proximité.			

<b>Pression sonore moyenne (SPL)</b> sur la durée de l'échantillon (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> ) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Pression sonore crête à crête (SPL<sub>peak-peak</sub>)</b> (dB re 1 µPa) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Bande(s) de fréquence dominante(s) (1/3 octave)</b> (Hz)
116.5	143.4	1 000 à 4 000

Analyse par tiers d'octave 20 Hz-16 000Hz					
Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )
20	89,8	106,9	630	97,7	104,9
25	87,2	87,2	800	98,5	107,9
31,5	88,5	106,0	1 000	100,3	107,7
40	91,3	94,0	1 250	101,2	107,3
50	94,1	106,9	1 600	99,6	106,1
63	88,6	101,1	2 000	100,5	106,7
80	88,2	88,2	2 500	101,8	105,6
100	85,5	85,5	3 150	101,5	109,5
125	90,7	103,2	4 000	100,4	108,4
160	91,0	104,0	5 000	99,5	106,3
200	90,0	92,5	6 300	99,8	103,5
250	94,1	97,9	8 000	99,2	104,9
315	95,5	98,9	10 000	99,1	102,7
400	98,0	108,4	12 500	99,7	102,3
500	96,5	101,5	16 000	96,7	99,2

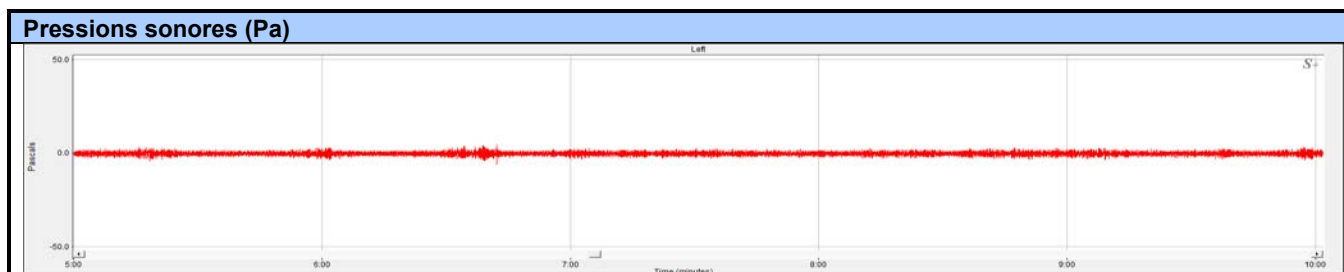


#### C-4. Pressions sonores (SPL et SPL<sub>peak-peak</sub>) et analyses par tiers d'octave de bruits enregistrés dans le port de Québec du 11 au 17 septembre 2015


<b>Date :</b>	2015/09/11	<b>Heure :</b>	22 :26	<b>Enregistreur :</b>	Aural-M2
<b>Emplacement :</b>	N/A	<b>Profondeur (m) :</b>	Fond : 12,7 Hydrophone : 10,7	<b>Fichier :</b>	26EE047.WAV
<b>Distance de la source (m) :</b>	N/A			<b>Segment analysé :</b>	22 :31 à 22 :36
				<b>Durée de l'échantillon (s) :</b>	300
<b>Source sonore dominante :</b>		Niveau sonore à marée descendante, sans activités bruyantes à proximité.			

<b>Pression sonore moyenne (SPL)</b> sur la durée de l'échantillon (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> ) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Pression sonore crête à crête (SPL<sub>peak-peak</sub>)</b> (dB re 1 µPa) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Bande(s) de fréquence dominante(s) (1/3 octave)</b> (Hz)
117.4	140.1	31,5; 315 à 500 et 800 à 2 500

Analyse par tiers d'octave 20 Hz-16 000Hz					
Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )
20	91,2	105,2	630	95,3	97,8
25	91,1	91,8	800	96,3	98,8
31,5	93,2	112,2	1 000	96,0	100,0
40	90,4	107,3	1 250	95,7	100,8
50	82,0	100,6	1 600	94,2	103,4
63	76,6	98,1	2 000	92,8	106,7
80	75,5	96,2	2 500	92,3	102,1
100	78,1	96,9	3 150	91,8	93,4
125	81,0	99,3	4 000	90,5	92,6
160	82,1	101,8	5 000	88,6	91,0
200	91,0	97,2	6 300	88,7	90,8
250	93,8	98,4	8 000	88,7	90,1
315	96,5	100,2	10 000	88,9	90,6
400	96,5	101,2	12 500	89,2	90,1
500	96,8	99,6	16 000	87,5	88,4

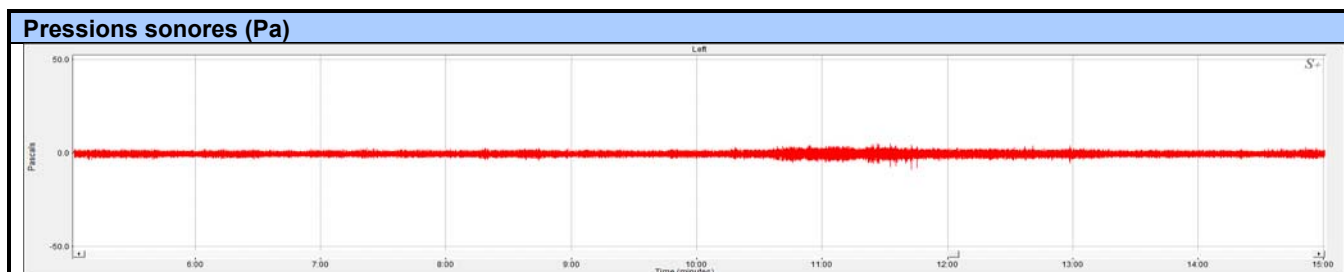


## C-5. Pressions sonores (SPL et SPL<sub>peak-peak</sub>) et analyses par tiers d'octave de bruits enregistrés dans le port de Québec du 11 au 17 septembre 2015


<b>Date :</b>	2015/09/13	<b>Heure :</b>	20 :11	<b>Enregistreur :</b>	Aural-M2
<b>Emplacement :</b>	Départ du Quai 22	<b>Profondeur (m) :</b>	Fond : 12,7 Hydrophone : 10,7	<b>Fichier :</b>	26EE0199,WAV
<b>Distance de la source (m) :</b>	≈ 500 au plus proche		<b>Segment analysé :</b>	20 :16 à 20 :26	
			<b>Durée de l'échantillon (s) :</b>	600	
<b>Source sonore dominante :</b>		VEENDAM, Passager, Pays-Bas , dimensions 220m x 31m, jauge brute 57 092,			

<b>Pression sonore moyenne (SPL)</b> sur la durée de l'échantillon (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> ) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Pression sonore crête à crête (SPL<sub>peak-peak</sub>)</b> (dB re 1 µPa) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Bande(s) de fréquence dominante(s) (1/3 octave)</b> (Hz)
116,4	142,9	630

Analyse par tiers d'octave 20 Hz-16 000Hz					
Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )
20	89,7	104,0	630	104,6	117,7
25	89,4	89,4	800	99,6	109,5
31,5	90,8	108,8	1 000	98,7	107,7
40	88,2	110,6	1 250	99,4	109,9
50	83,2	110,1	1 600	97,8	106,3
63	84,9	105,7	2 000	99,2	109,6
80	88,4	104,2	2 500	99,5	110,8
100	89,4	107,2	3 150	98,0	107,5
125	90,1	103,5	4 000	95,2	103,5
160	90,3	104,3	5 000	95,0	108,5
200	92,6	104,6	6 300	94,2	105,7
250	98,9	108,0	8 000	92,3	101,5
315	96,4	98,8	10 000	92,1	102,2
400	103,5	105,1	12 500	91,8	99,4
500	101,2	101,3	16 000	88,7	89,5

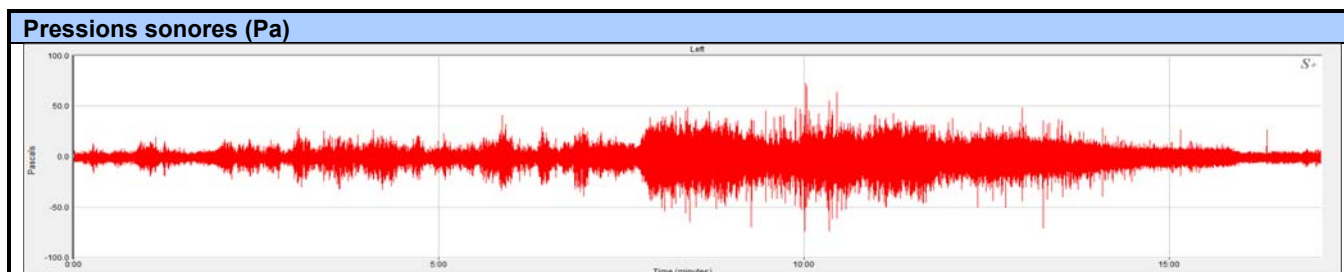


## C-6. Pressions sonores (SPL et SPL<sub>peak-peak</sub>) et analyses par tiers d'octave de bruits enregistrés dans le port de Québec du 11 au 17 septembre 2015


<b>Date :</b>	2015/09/14	<b>Heure :</b>	10 :56	<b>Enregistreur :</b>	Aural-M2
<b>Emplacement :</b>	Arrivée au Quai 53	<b>Profondeur (m) :</b>	Fond : 12,7 Hydrophone : 10,7	<b>Fichier :</b>	26EE0248.WAV
<b>Distance de la source (m) :</b>	≈ 100 au plus proche			<b>Segment analysé :</b>	10 :56 à 11 :13
				<b>Durée de l'échantillon (s) :</b>	1 020
<b>Source sonore dominante :</b>		UMIAK I, Cargo, Canada , dimensions 189m x 27m, jauge brute 22 462.			

<b>Pression sonore moyenne (SPL)</b> sur la durée de l'échantillon (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> ) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Pression sonore crête à crête (SPL<sub>peak-peak</sub>)</b>  (dB re 1 µPa) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Bande(s) de fréquence dominante(s) (1/3 octave)</b> (Hz)
134.9	163.3	20 à 40

Analyse par tiers d'octave 20 Hz-16 000Hz					
Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )
20	127,0	127,0	630	114,7	118,3
25	119,6	119,6	800	114,9	118,4
31,5	119,9	125,3	1 000	115,5	118,3
40	117,1	121,7	1 250	116,3	116,7
50	112,9	112,9	1 600	115,3	117,8
63	108,3	113,4	2 000	115,9	115,9
80	100,4	114,9	2 500	116,8	116,8
100	102,1	116,8	3 150	116,5	116,5
125	107,71	117,8	4 000	114,9	114,9
160	111,1	118,3	5 000	112,7	112,7
200	112,7	112,7	6 300	111,9	111,9
250	116,5	120,3	8 000	109,2	116,2
315	117,6	117,6	10 000	106,7	112,5
400	117,1	117,1	12 500	104,3	104,3
500	115,9	115,9	16 000	97,9	97,9

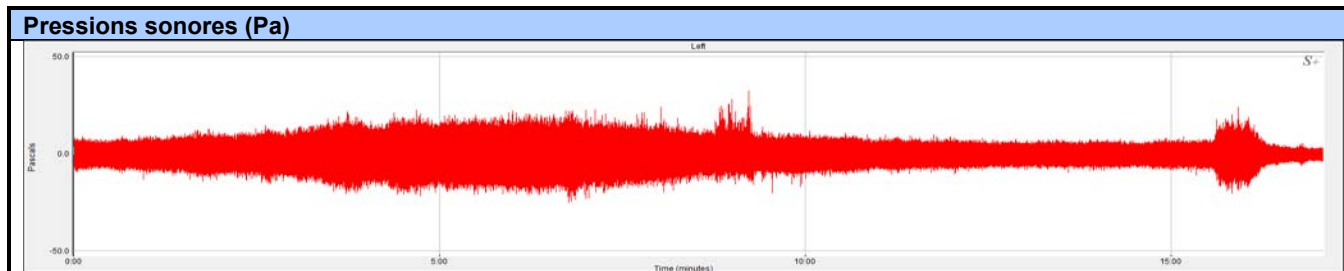


## C-7. Pressions sonores (SPL et SPL<sub>peak-peak</sub>) et analyses par tiers d'octave de bruits enregistrés dans le port de Québec du 11 au 17 septembre 2015


<b>Date :</b>	2015/09/12	<b>Heure :</b>	7 :27	<b>Enregistreur :</b>	Aural-M2
<b>Emplacement :</b>	Départ du Quai 52	<b>Profondeur (m) :</b>	Fond : 12,7 Hydrophone : 10,7	<b>Fichier :</b>	26EE0077.WAV
<b>Distance de la source (m) :</b>	≈ 200 au plus proche		<b>Segment analysé :</b>	7 :27 à 7 :44	
			<b>Durée de l'échantillon (s) :</b>	1020	
<b>Source sonore dominante :</b>		JOHN D. LEITCH, Cargo, Canada, dimensions 223m x 23m, jauge brute 22 080.			

<b>Pression sonore moyenne (SPL)</b> sur la durée de l'échantillon (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> ) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Pression sonore crête à crête (SPL<sub>peak-peak</sub>)</b>  (dB re 1 µPa) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Bande(s) de fréquence dominante(s) (1/3 octave)</b> (Hz)
129.5	155.2	200 à 2 500

Analyse par tiers d'octave 20 Hz-16 000Hz					
Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )
20	96,2	113,5	630	119,9	122,8
25	98,6	98,8	800	118,4	127,4
31,5	99,0	109,6	1 000	119,7	129,0
40	98,1	107,1	1 250	119,2	124,3
50	96,3	103,3	1 600	116,8	123,4
63	93,4	108,7	2 000	116,4	127,5
80	92,8	100,5	2 500	117,1	127,9
100	94,6	97,4	3 150	115,5	123,5
125	102,4	112,9	4 000	113,6	124,2
160	109,3	116,5	5 000	111,4	116,5
200	111,8	129,6	6 300	109,7	117,1
250	114,9	131,3	8 000	106,9	115,3
315	116,9	119,3	10 000	105,0	112,6
400	119,6	119,6	12 500	103,2	115,2
500	119,6	121,9	16 000	96,9	109,5

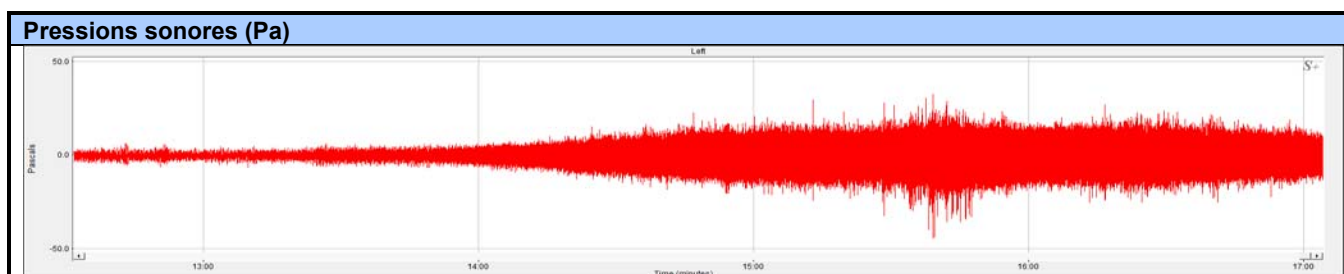


## C-8. Pressions sonores (SPL et SPL<sub>peak-peak</sub>) et analyses par tiers d'octave de bruits enregistrés dans le port de Québec du 11 au 17 septembre 2015


<b>Date :</b>	2015/09/16	<b>Heure :</b>	19 :14	<b>Enregistreur :</b>	Aural-M2
<b>Emplacement :</b>	Arrivée au Quai 52	<b>Profondeur (m) :</b>	Fond : 12,7 Hydrophone : 10,7	<b>Fichier :</b>	26EE0435.WAV
<b>Distance de la source (m) :</b>	≈ 200 au plus proche			<b>Segment analysé :</b>	19 :26 à 19 :31
				<b>Durée de l'échantillon (s) :</b>	300
<b>Source sonore dominante :</b>		JOHN B.AIRD, Cargo, Canada, dimensions 223m x 24m, jauge brute 22 881.			

<b>Pression sonore moyenne (SPL)</b> sur la durée de l'échantillon (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> ) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Pression sonore crête à crête (SPL<sub>peak-peak</sub>)</b>  (dB re 1 µPa) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Bande(s) de fréquence dominante(s) (1/3 octave)</b> (Hz)
130.4	157.7	20 et 160 à 8 000

Analyse par tiers d'octave 20 Hz-16 000Hz					
Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )
20	108,6	123,4	630	115,8	123,3
25	107,4	107,4	800	115,6	124,5
31,5	105,9	117,1	1 000	117,3	124,0
40	105,9	116,0	1 250	115,3	120,9
50	102,4	113,8	1 600	116,6	124,3
63	101,2	114,4	2 000	117,5	125,1
80	91,5	100,3	2 500	120,2	126,7
100	98,4	110,7	3 150	119,8	126,1
125	102,2	114,0	4 000	119,0	126,7
160	110,4	123,5	5 000	118,6	127,2
200	112,5	123,2	6 300	117,6	124,5
250	115,2	125,4	8 000	117,1	124,7
315	114,8	126,2	10 000	111,9	117,9
400	117,7	126,3	12 500	107,9	114,6
500	116,4	124,3	16 000	99,8	109,9

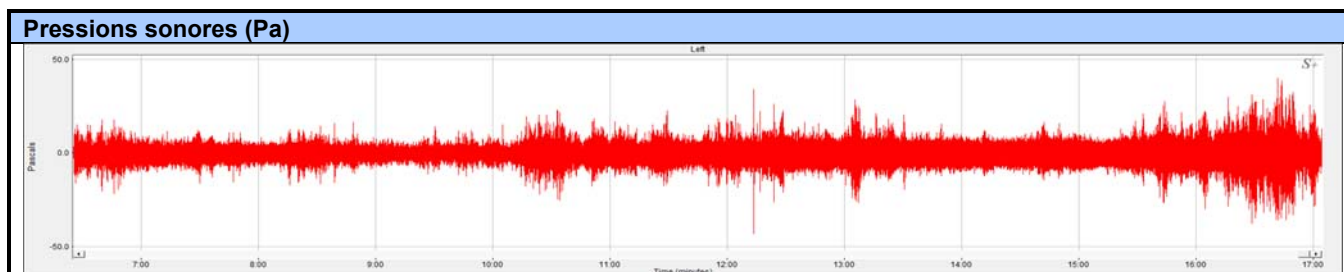


## C-9. Pressions sonores (SPL et SPL<sub>peak-peak</sub>) et analyses par tiers d'octave de bruits enregistrés dans le port de Québec du 11 au 17 septembre 2015

<b>Date :</b>	2015/09/16	<b>Heure :</b>	23 :45	<b>Enregistreur :</b>	Aural-M2
<b>Emplacement :</b>	Bateau au Quai 52	<b>Profondeur (m) :</b>	Fond : 12,7 Hydrophone : 10,7	<b>Fichier :</b>	26EE0450.WAV
<b>Distance de la source (m) :</b>	800			<b>Segment analysé :</b>	23 :51 à 0 :02
				<b>Durée de l'échantillon (s) :</b>	660
<b>Source sonore dominante :</b>		Transbordement du chargement du JOHN B. AIRD.			

<b>Pression sonore moyenne (SPL)</b> sur la durée de l'échantillon (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> ) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Pression sonore crête à crête (SPL<sub>peak-peak</sub>)</b> (dB re 1 µPa) Spectre large (0 – 16 000 Hz)	<b>Bande(s) de fréquence dominante(s) (1/3 octave)</b> (Hz)
131.8	158.4	20 à 40

Analyse par tiers d'octave 20 Hz-16 000Hz					
Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Fréquence centrale (Hz)	Pression sonore moyenne (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )	Pression sonore maximale (SPL) (dB re 1 µPa <sub>rms</sub> )
20	125,5	144,1	630	110,5	117,6
25	119,1	119,1	800	109,3	115,4
31,5	117,8	133,2	1 000	109,3	116,0
40	112,6	127,0	1 250	110,2	114,4
50	105,9	118,5	1 600	109,8	112,1
63	106,2	117,5	2 000	110,3	114,7
80	97,5	107,1	2 500	111,4	114,4
100	100,3	112,1	3 150	111,0	114,5
125	103,2	115,3	4 000	109,9	110,4
160	107,6	119,7	5 000	108,2	109,1
200	108,9	121,1	6 300	107,1	110,1
250	110,4	120,5	8 000	105,3	106,1
315	112,7	122,9	10 000	103,8	107,2
400	112,3	121,6	12 500	101,1	101,7
500	110,3	118,5	16 000	95,7	100,2





# Annexe D

**DESCRIPTIONS DES MODÈLES DE PROPAGATION  
SPHÉRIQUE ET CYLINDRIQUE**



### Propagation sphérique vs cylindrique d'une onde sonore

L'atténuation des bruits subaquatiques dépend de plusieurs facteurs intrinsèques au milieu, dont la profondeur de l'eau, la pente, la texture du fond, le pH et densité de l'eau qui varie notamment selon sa température et sa salinité (Bœuf *et coll.*, 2004; Hester *et coll.*, 2008; Ilyina *et coll.*, 2010). Bien que des modèles de plus en plus poussés permettent de prendre en compte la plupart de ces facteurs, on peut obtenir une première estimation de l'atténuation sonore à partir des modèles simples de propagation sphérique et cylindrique (Richardson *et coll.*, 1999; Lurton, 2010). Le modèle de propagation sphérique suppose que l'onde sonore se propage uniformément dans toutes les directions (figure D-1), ce qui est typiquement le cas en eau profonde.

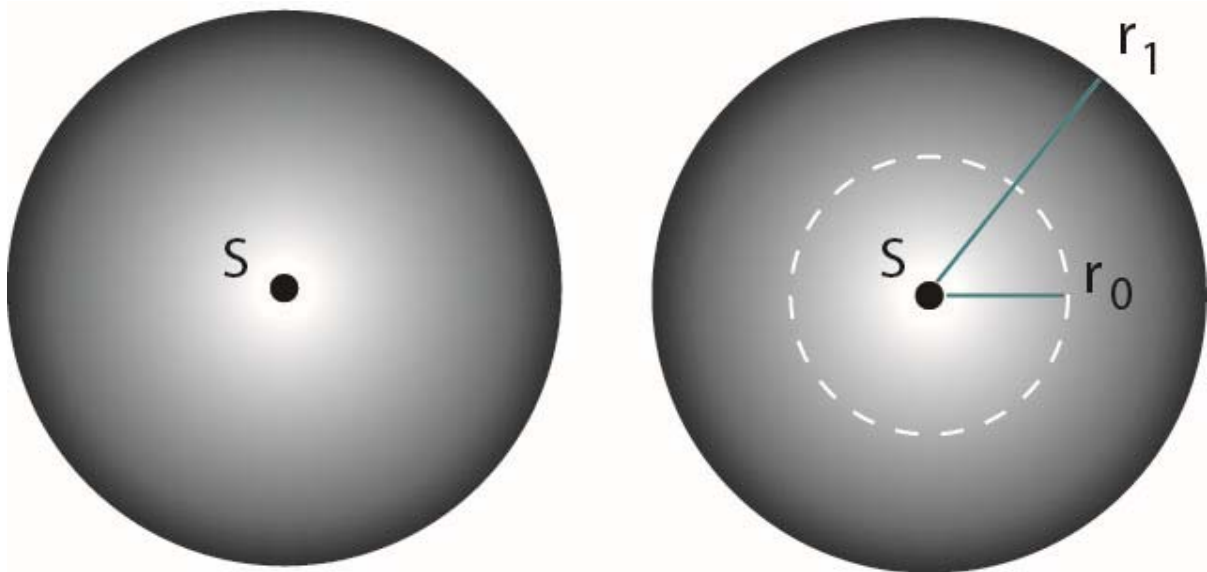


Figure D-1: Propagation sphérique d'une onde sonore dans l'eau.

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).

En eau peu profonde toutefois, 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 (figure D-2).

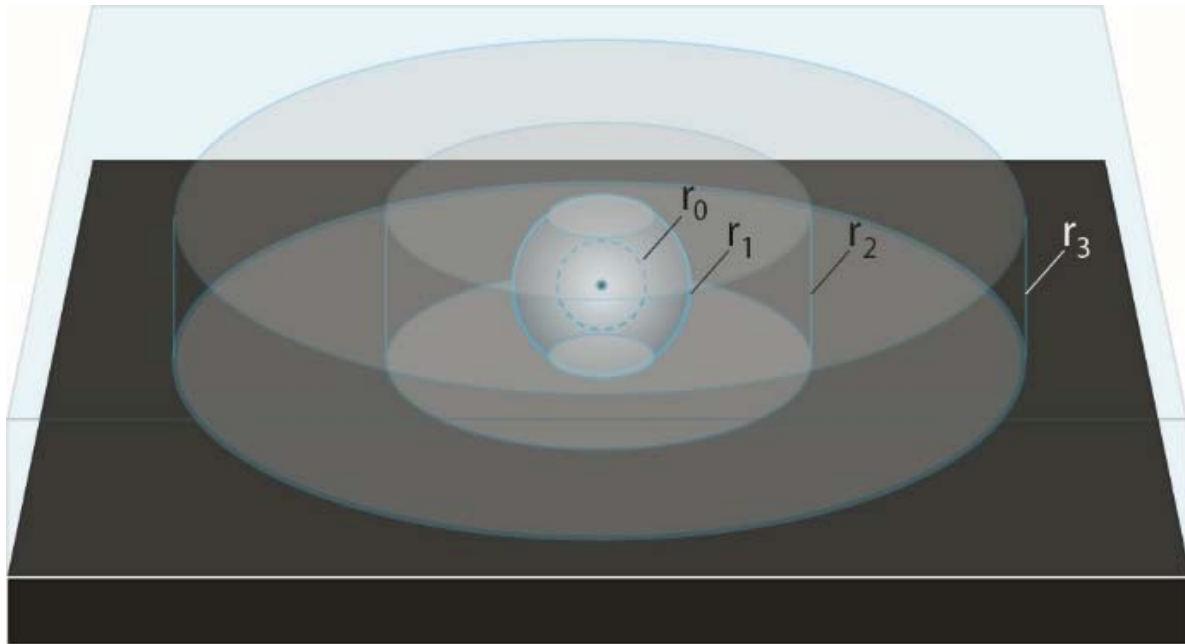


Figure D-2: Propagation cylindrique d'une onde sonore dans l'eau.

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

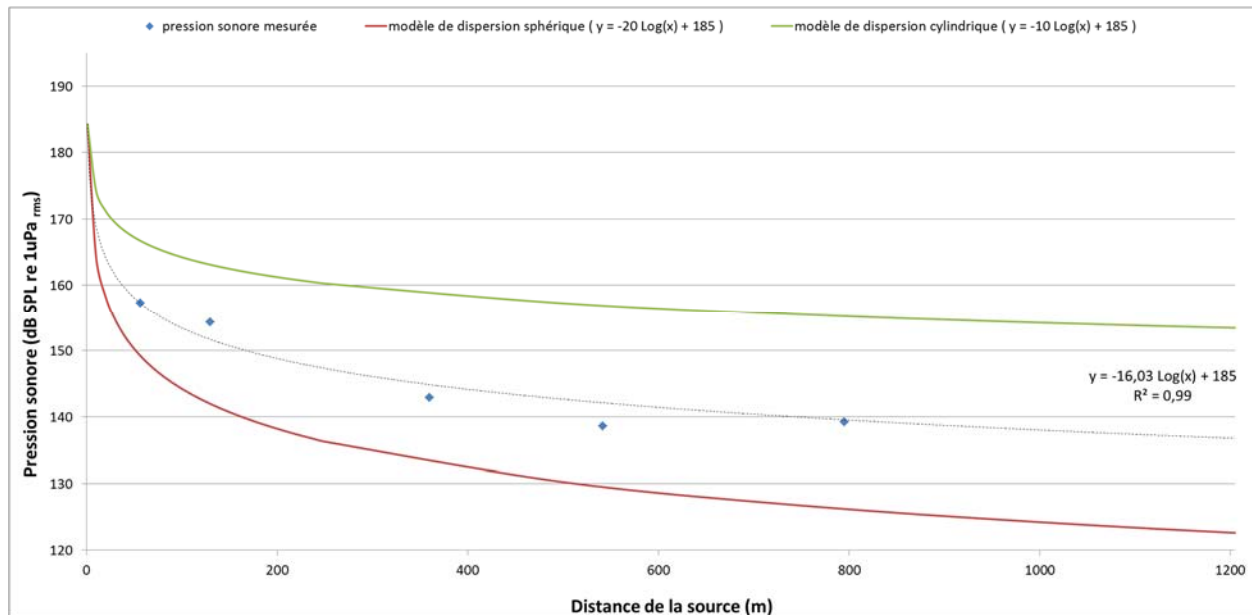
$$PT = 10 \log r$$

# Annexe E

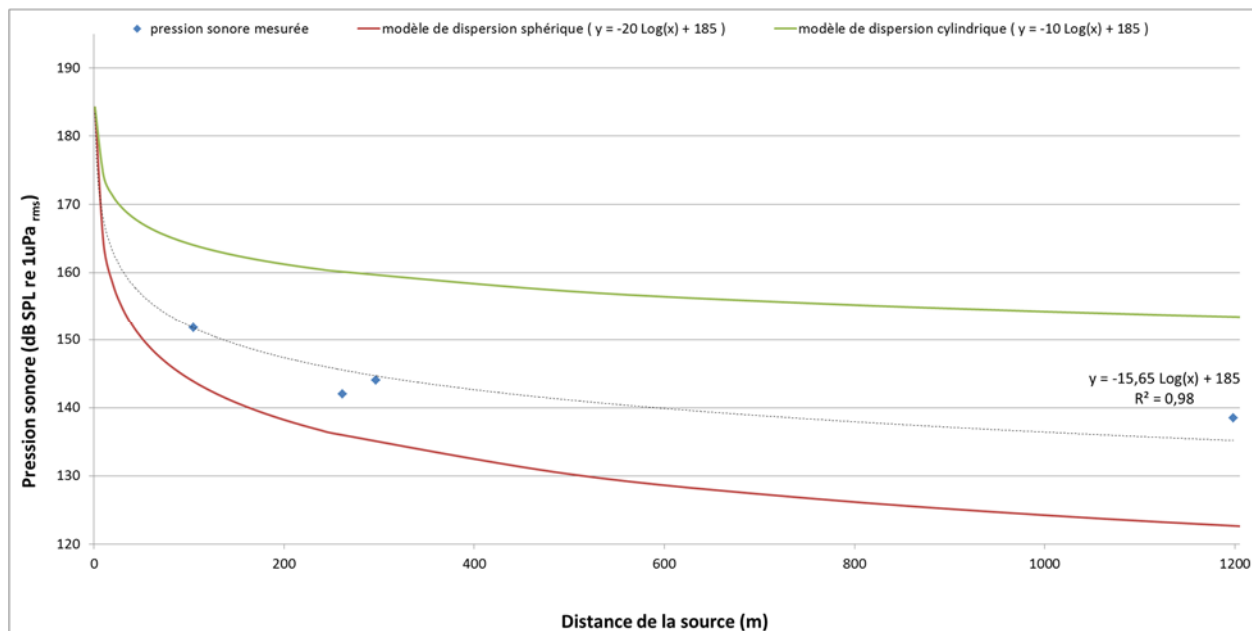
**PRESSIONS SONORES MESURÉES AU LARGE DU  
PORT DE QUÉBEC EN FONCTION DE LA DISTANCE  
DE LA SOURCE POUR UN POINT D'ÉMISSION FIXE  
ET UN POINT D'ÉMISSION MOBILE**



E-1. Pressions sonores mesurées au large du port de Québec en fonction de la distance de la source pour un point d'émission fixe en comparaison avec les prédictions des modèles de dispersion sphérique et cylindrique. Mesures réalisées par bandes d'un tiers d'octave (200 à 5 000 Hz) le 17 septembre 2015.



E-2. Pressions sonores mesurées au large du port de Québec en fonction de la distance de la source pour un point d'émission mobile en comparaison avec les prédictions des modèles de dispersion sphérique et cylindrique. Mesures réalisées par bandes d'un tiers d'octave (200 à 5 000 Hz) le 29 septembre 2015.





# Annexe F

**ATTÉNUATIONS SONORES ESTIMÉES ET MESURÉES PAR  
BANDE D'UN TIERS D'OCTAVE**



F-1. Pressions sonores prédites par le logiciel dBSea (version 1.3; Marshall Day Acoustics, Australie) aux divers points de mesures réalisés *in-situ* le 29 septembre 2015 pour l'évaluation de l'atténuation sonore au port de Québec. Source sonore de référence (185 dB re 1 µPa @ 1 m) située en bordure de quai (46,832154 N - -71,19297 E).

Distance de la source (m)	Bande d'un tiers d'octave (Hz)															
	200 à 5 000	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 450	4 000	5 000
	pression sonore prédite (dB re 1 µPa)															
56	155,8	109,1	128,9	133,6	135,0	131,6	137,4	150,8	143,7	150,7	144,6	144,9	137,4	146,1	111,6	123,4
130	150,6	99,9	120,9	125,7	129,4	127,6	132,6	141,8	146,2	140,7	138,1	137,1	142,0	136,6	122,8	140,7
360	147,7	98,0	107,2	106,7	128,3	123,1	123,6	137,2	125,5	138,1	133,6	143,2	138,3	140,3	121,4	137,2
541	145,2	94,6	109,0	108,4	117,7	114,7	117,4	138,0	135,8	137,3	132,8	137,1	137,4	127,8	104,8	136,2
795	143,7	99,7	116,5	106,6	112,4	115,0	125,9	133,4	140,7	128,5	128,8	132,2	134,7	133,7	124,7	125,5
1330	139,9	86,0	99,4	111,2	103,9	125,5	121,8	127,3	135,5	125,3	126,2	129,2	132,7	130,8	111,0	125,9

F-2. Pressions mesurées lors des tests d'atténuation sonore réalisés le 29 septembre 2015 au port de Québec. Source sonore de référence (185 dB re 1 µPa @ 1 m) située en bordure de quai (46,832154 N - -71,19297 E).

Distance de la source (m)	Bande d'un tiers d'octave (Hz)															
	200 à 5 000	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 450	4 000	5 000
	pression sonore prédite (dB re 1 µPa)															
56	157,3	119,8	123,7	125,8	133,3	136,0	138,7	148,5	149,2	149,7	147,8	146,4	148,5	144,3	147,9	140,9
130	154,3	115,7	114,5	120,3	124,6	129,6	141,4	141,8	148,2	145,6	144,7	142,1	146,7	144,0	142,5	133,8
360	142,9	103,3	106,0	115,4	114,4	120,5	129,3	127,2	135,3	130,4	135,3	132,1	137,6	131,3	130,8	124,6
541	138,7	110,3	107,8	111,2	112,1	120,4	124,1	128,6	130,9	124,2	129,4	129,3	133,3	123,5	121,7	126,6
795	139,3	105,2	110,5	112,6	116,6	115,0	124,5	127,9	125,9	128,1	130,7	133,5	133,9	125,0	122,1	119,1
1330	139,2	120,6	120,2	120,0	120,4	123,2	127,8	131,5	129,9	132,1	128,6	126,0	128,3	122,5	128,3	126,7



# Annexe G

**ATTÉNUATIONS SONORES ESTIMÉES PAR BANDE  
D'OCTAVE ENTRE L'EMPLACEMENT PRÉVU DU  
PROLONGEMENT DU QUAI ET LA RIVE OPPOSÉE**






G-1. Atténuations sonores par bande d'octave (31,5 à 16 000 Hz) estimées le long d'un transect linéaire orienté à 146 degrés entre l'emplacement prévu du prolongement du quai et la rive opposée (carte G-2). Calculs réalisés avec le logiciel dBSea (version 1.3; Marshall Day Acoustics, Australie) en prenant en considération la bathymétrie, la texture du fond, la salinité et la température de l'eau.







Distance de la source (m)	Bande d'octave (Hz)										
	31,5 à 16k	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
	Atténuation sonore (dB re 1uPA)										
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	27,1	26,6	26,6	27,1	26	25,9	27,7	27,2	28,3	31,1	26,8
100	27,2	27,1	24,2	23,2	26,3	28,3	31,1	29,7	31	28,8	32,2
250	34,5	32,6	31,7	32,3	33,8	38,3	35,6	34	37,1	37,2	38,4
500	38,4	36,2	35,7	38,5	40,6	38,3	37,6	40,5	39,3	39,4	41,6
750	40	38,7	36,7	39,8	41,2	40,8	42,1	40,5	40,3	40	43,8
1000	40,2	39,3	38,1	40	39,4	41,1	41,3	41	39,8	41,3	42,8
1250	42,1	40,9	40,9	44,4	39,6	41,4	42,7	44,2	41,4	44,5	44,9

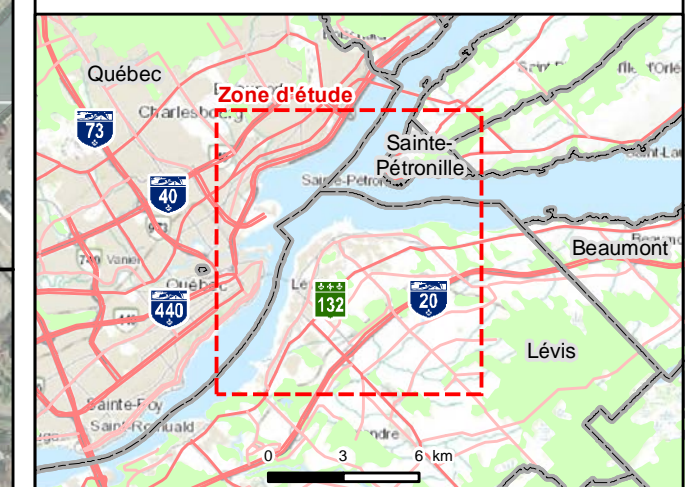
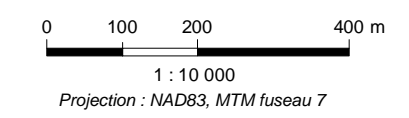




-  Point d'émission
-  Point de simulation
-  Infrastructure projetée

**Bathymétrie**

-  0 à -10 m
-  -10 à -20 m
-  -20 à -30 m
-  -30 à -40 m
-  -40 à -50 m
-  -50 à -60 m



**ÉTUDE D'IMPACT POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT DE QUÉBEC - SECTEUR DE BEAUPORT - Étude acoustique subaquatique Québec, Qc**


**Carte G-2**

**Localisation des points de référence utilisés pour simuler la propagation du bruit subaquatique par bandes d'octave**

**Sources :**  
 Image satellite : Bing Maps Aerial, résolution 1 m  
 Cartes : - RNCan, BNDT 1 : 250 000, feuillet 21L  
 - ESRI World topographic Map  
 Limites de municipalités : SDA20K, 2010-01  
 Infrastructure projetée : Port de Québec, fichier : 615534-0000-4LD2-0002\_02.dwg (2015-09-17)

Préparée par : M. Gauthier  
 Dessinée par : P. Cordeau  
 Approuvée par : P. Lafrance

**16 novembre 2015** 151-09831-00



Fichier : 151\_09831\_00\_EICG2\_pisReferenceBruit\_151116.mxd



# Annexe H

**CARACTÉRISTIQUES DU BRUIT SOUS-MARIN ÉMIS PAR  
DIFFÉRENTES ACTIVITÉS HUMAINES**



Source de bruit	Niveau sonore typique (bande large)	Gamme de fréquences	Référence
Divers navires	151 à 190 dB re 1 µPa @ 1 m	5 Hz - 1 kHz	Richardson <i>et coll.</i> , 1995
	160 à 163 dB re 1 µPa @ < 250 m	60 - 400 Hz	WSP, 2015b
	160 à 163 dB re 1 µPa @ < 250 m	60 - 400 Hz	WSP, 2015b
Méthanier, basse vitesse	175 dB re 1 µPa @ 1 m		Carr <i>et coll.</i> , 2006
Navire de fort tonnage	230 dB re 1 µPa @ 1 m		BAPE, 2004
	160 dB re 1 µPa @ 100 m		Buehler, 2010
Remorqueur	184 dB re 1 µPa @ 1 m		Carr <i>et coll.</i> 2006
Aérogλισseur	130-140 dB re 1 µPa @ 1 m	50 Hz - 2 kHz	Richardson <i>et coll.</i> , 1995
Bateau avec moteur hors bord	155-175 dB re 1 µPa @ 1 m	100 Hz - 10 kHz	Richardson <i>et coll.</i> , 1995
Explosion	220 dB re 1 µPa @ 100 m		Buehler, 2010
Levés sismiques	260 dB re 1 µPa @ 1 m		Hildebrand, 2009
Vibrofonçage de palplanches	164 dB re 1 µPa @ 1 m		Carr <i>et coll.</i> , 2006
Vibrofonçage de pieux	164 dB re 1 µPa @ 56 m	400 Hz - 2.5 kHz	Blackwell, 2005
Battage de palplanches	179 dB re 1 µPa @ 1 m		Illinworth & Rodkin Inc. 2006b, 2007
	216 dB re 1 µPa @ 1 m		Illinworth & Rodkin Inc. 2006a, 2007
Battage de pieux	250 dB re 1 µPa @ 1 m		Bailey <i>et coll.</i> , 2008
	225 dB re 1 µPa @ 1 m		Talisman Energy, 2005
	180 dB re 1 µPa @ 62 m	100 Hz - 2 kHz	Blackwell, 2005
	180 dB re 1 µPa @ >1km		Elmer <i>et coll.</i> , 2006

