

ANNEXE 25

Mesure de l'environnement sonore sous-marin 2012



Réfection des quais de l'aluminerie Alcoa de Baie Comeau

MESURE DE L'ENVIRONNEMENT SONORE SOUS-MARIN - 2012



RAPPORT FINAL



MAI 2012 | N° 121-16365-00



***Réfection des quais de
l'aluminerie Alcoa
de Baie-Comeau***

***Mesure de l'environnement
sonore sous-marin - 2012***

Approuvé par :

Patrick Charbonneau, biol.,
M. Sc. eau, M. Sc. écotoxicologie
Directeur de projet

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Alcoa

Responsable de chantier en santé-sécurité : Jean-Pierre Barry

GENIVAR inc.

Directeur de projet : Patrick Charbonneau, biol., M. Sc.

Chargé de projet : Marc Gauthier, biol., Ph. D.

Coordonnateur – Baie-Comeau : Jean Daneau, directeur adj.

Coordonnateur – Sherbrooke : Richard Brunet, biol., Ph D.

Coordonnateurs santé-sécurité : Rémi Duhamel, biol., M. Sc.
Isabelle Simard, biol.

Conseiller scientifique : Mario Heppell, biol., M. ATDR

Spécialiste des mammifères marins : Julie Malouin, biol.

Équipe terrain :

Ingénieur : Mathieu Deshaies, ing.

Technicien électronique : Christian Demers, tech.

Biologiste de la vie marine : Lucie Garon-Langelier, biol.

Technicien de la faune : Dominick Cuerrier, tech.
Olivier Tremblay, tech.

Aide technique :

Cartographie et infographie : Chantale Landry, géom.

Traitement de texte et édition : Cathia Gamache
Catherine Boucher
Linette Poulin

Référence à citer :

GENIVAR. 2012. *Réfection des quais de l'aluminerie Alcoa de Baie-Comeau. Mesure de l'environnement sonore sous-marin - 2012.* Rapport de GENIVAR inc. à Alcoa. 31 pages et annexes.

REGISTRE DES LIVRABLES		
Version	Détails des livrables	Date de l'émission
0A	Rapport préliminaire pour commenter	2012-04-26
00	Rapport Final	2012-05-02

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
Équipe de réalisation	i
Table des matières	iii
Liste des tableaux.....	v
Liste des figures.....	v
Liste des cartes.....	v
Liste des annexes.....	vii
1. INTRODUCTION	1
2. ZONE D'ÉTUDE	3
3. MÉTHODOLOGIE	5
3.1 Mesure du bruit de fond	5
3.2 Mesure du bruit généré par le chantier.....	5
3.3 Mesure de l'atténuation sonore	7
3.4 Analyse des enregistrements	9
4. RÉSULTATS ET DISCUSSION	11
4.1 Notions générales d'acoustique sous-marine.....	11
4.1.1 Mesures de la pression acoustique.....	11
4.1.2 Atténuation des ondes acoustiques	11
4.2 Atténuation sonore dans la baie des Anglais	12
4.3 Bruit ambiant	14
4.4 Bruit généré par le chantier	16
4.5 Niveaux de sensibilité des mammifères marins aux bruits.....	17
4.5.1 Effets physiologiques	18
4.5.2 Déficits auditifs	18
4.5.3 Effets comportementaux	19
4.6 Seuils de sensibilité généralement reconnus	19
5. RECOMMANDATIONS	21
5.1 Établissement d'une zone de surveillance	21
5.2 Stratégie de surveillance proposée	22
5.3 Mesures alternatives d'atténuation du bruit de fonçage	24
6. RÉFÉRENCES	27
6.1 Bibliographie.....	27
6.2 Sites Internet	33

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1	Niveaux de pressions sonores sous-marins typiques enregistrés dans l'anse du Moulin et la baie des Anglais pour différentes sources autres que les travaux de réfection des quais le 11 et le 12 avril 2012 inclusivement 15
Tableau 2	Niveaux de pressions sonores sous-marins (bande large) enregistrés pour différentes sources dans l'anse du Moulin et la baie des Anglais entre le 12 et le 14 avril 2012 inclusivement..... 16
Tableau 3	Seuils d'effet physiologique et de sécurité généralement suggérés pour la surveillance du bruit généré par les travaux sous-marins (tiré de Bastasch et coll. 2009)..... 20

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1	Courbes d'atténuation sonore mesurée et théorique pour le transect transversal à la baie des Anglais (Transect 1). 13
Figure 2	Courbes d'atténuation sonore mesurée et théorique pour le transect perpendiculaire à l'axe du fleuve Saint-Laurent (Transect 2)..... 13
Figure 3	Exemples de chevauchement des fréquences de certains bruits d'origine anthropique avec celles de la faune marine. 15

LISTE DES CARTES

	Page
Carte 1	Zone d'étude 4
Carte 2	Trajet de mesures hydroacoustiques et principaux points de mesure des pressions sonores pour les mesures du bruit de fond et de ceux générés par le chantier. 6
Carte 3	Emplacement des points d'émission et de mesure pour l'établissement des courbes d'atténuation sonore. 8
Carte 4	Zone de surveillance des mammifères marins proposée 23

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 Reportage photographique
- Annexe 2 Calculs de l'atténuation sonore dans la baie des Anglais en fonction de la fréquence des sons émis et de la distance du point d'émission
- Annexe 3 Quelques analyses spectrales typiques des enregistrements sous-marins réalisés dans l'anse du Moulin et la baie des Anglais en avril 2012

1. INTRODUCTION

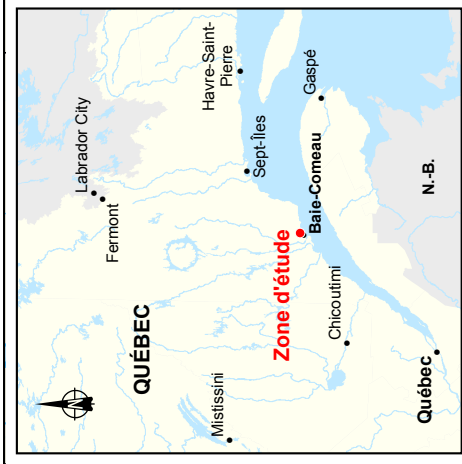
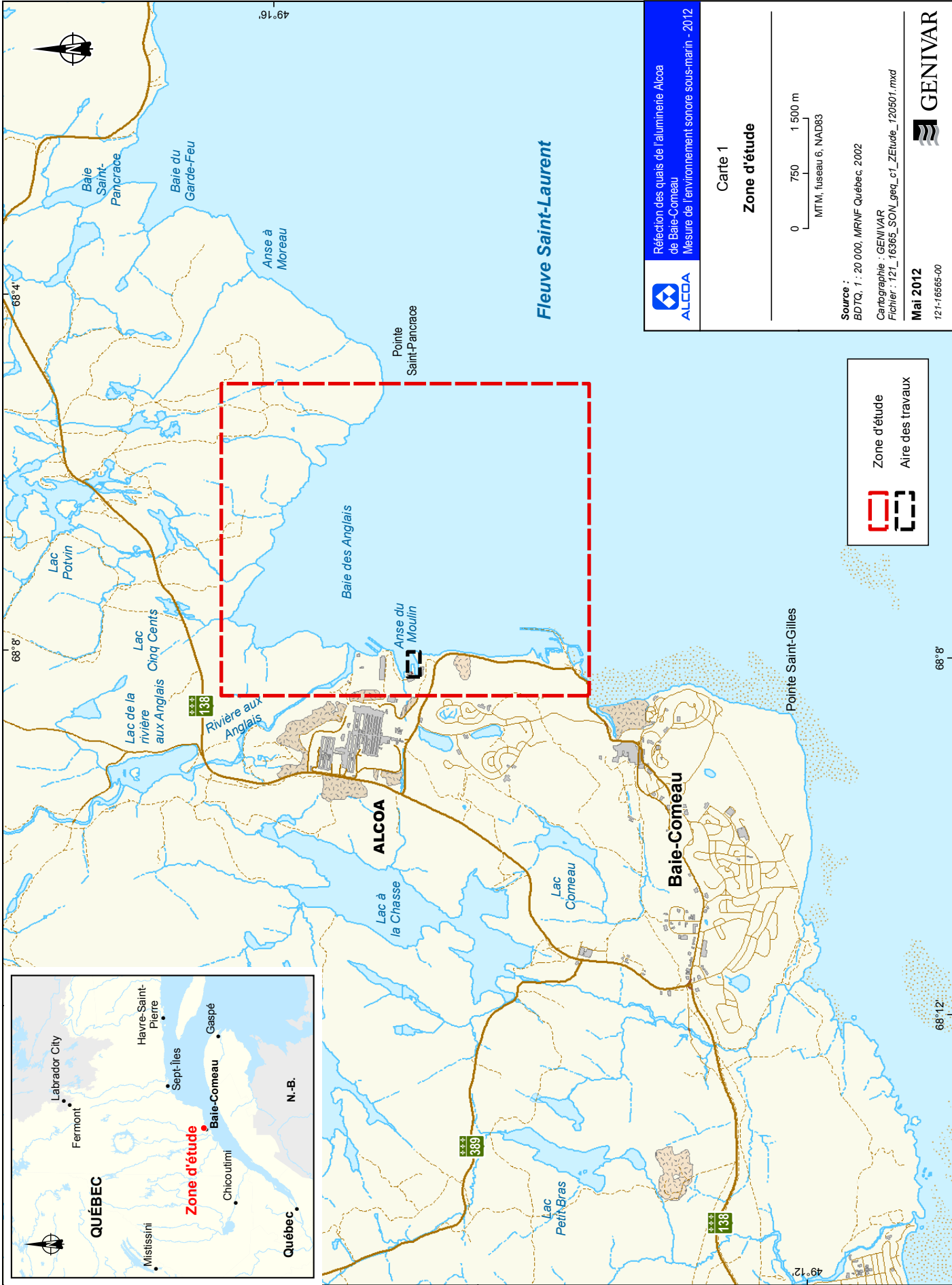
Le projet de réfection des quais de l'aluminerie Alcoa de Baie-Comeau (Alcoa) consiste à installer de nouveaux pieux et des palplanches d'acier aux quais N^{os} 1, 2 et 3, utilisés pour décharger les matières premières nécessaires aux opérations de l'usine. Compte tenu du bruit généré par ces travaux et de leurs impacts possibles sur les mammifères marins, ce projet est soumis à la Loi sur les pêches (LRC, 1985, ch. F-14) et à l'avis du ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO, 2012). Cet avis stipule notamment qu'aucun travail d'enfoncement de pieux ou de palplanches ne doit être réalisé entre le 1^{er} mai et le 10 juillet inclusivement et jusqu'au 31 juillet si l'enfoncement se fait par battage. Alcoa doit en outre mettre en œuvre un programme de surveillance des cétacés lors des travaux d'enfoncement de pieux et de palplanches pendant le mois d'avril, ainsi qu'entre le 11 juillet et le 31 octobre inclusivement. Ces restrictions ont pour but d'éviter de déranger ou de blesser les cétacés lors d'une importante période d'alimentation printanière qui coïncide avec la reproduction du capelan (*Mallotus villosus*) et du hareng atlantique (*Clupea harengus*), dont certains cétacés se nourrissent, comme le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) et le rorqual à bosse (*Megaptera novaeangliae*) (Réseau d'observation des mammifères marins [ROMM], 2012).


Dans le contexte où elle souhaite combler des retards dans l'échéancier de réfection de ses quais, Alcoa a mandaté GENIVAR pour effectuer une caractérisation de l'environnement sonore sous-marin de la baie des Anglais. Cette caractérisation, qui comprend notamment la mesure du bruit sous-marin généré par les travaux de réfection des quais, vise à appuyer une éventuelle demande de révision de l'avis du MPO, en vue de prolonger les travaux de réfection au-delà du 1^{er} mai.

Les mesures de caractérisation de l'environnement sonore sous-marin ont été réalisées du 11 au 13 avril 2012 inclusivement, en coordination étroite avec la firme responsable du chantier, l'entrepreneur et le directeur de projet d'Alcoa. Globalement, ces travaux incluent la mesure du bruit sous-marin généré par diverses activités de réfection potentiellement dérangeantes pour les mammifères marins (battage des palplanches, vibrofonçage, etc.), la mesure de divers éléments contribuant au bruit de fond de la baie des Anglais (courants, vagues, trafic maritime, activités portuaires, etc.) et l'établissement de la courbe d'atténuation sonore.


2. ZONE D'ÉTUDE


La zone d'étude considérée pour la caractérisation de l'environnement sonore sous-marin est localisée à Baie-Comeau, dans la municipalité régionale de comté (MRC) de Manicouagan, sur la Côte-Nord. Elle inclut les installations portuaires d'Alcoa, en bordure de l'anse du Moulin, ainsi que la baie des Anglais et une portion du fleuve Saint-Laurent faisant face à Baie-Comeau. La carte 1 présente la localisation de la zone d'étude considérée par le projet.




 Réfection des quais de l'aluminerie Alcoa
 de Baie-Comeau
 Mesure de l'environnement sonore sous-marin - 2012

Carte 1
Zone d'étude
 0 750 1 500 m
 MTM, fuseau 6, NAD83

Source :
 BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2002
 Cartographie : GENIVAR
 Fichier : 121_16365_SOM_geq_c1_ZEtude_120501.mxd
Mai 2012
 121-16565-00

GENIVAR


 Zone d'étude
 Aire des travaux

3. MÉTHODOLOGIE

Les mesures de caractérisation de l'environnement sonore sous-marin de l'anse du Moulin et de la baie des Anglais ont été réalisées par une équipe de quatre employés de GENIVAR, du 11 au 13 avril inclusivement. Deux d'entre eux étaient responsables de la prise des mesures, à partir d'un Zodiac de 17,5 pi, alors que les deux autres, embarqués sur un Zodiac de 16 pi, ont assuré la sécurité de la première embarcation durant toute la durée des travaux. Toutes les mesures de pression sonore ont été prises et enregistrées à l'aide d'un sonomètre sous-marin (modèle ST500MDR; Cetacean Research Technology, Seattle, Washington, États-Unis) relié à un hydrophone calibré (modèle C55; Cetacean Research Technology) suspendu sous l'embarcation à 10 m de profondeur. La sensibilité effective de réception de l'hydrophone utilisé est de -165 dB re 1 V/ μ Pa et sa réponse en fréquence est linéaire entre 16 Hz et 44 kHz. L'annexe 1 présente des photographies des activités réalisées sur le terrain.

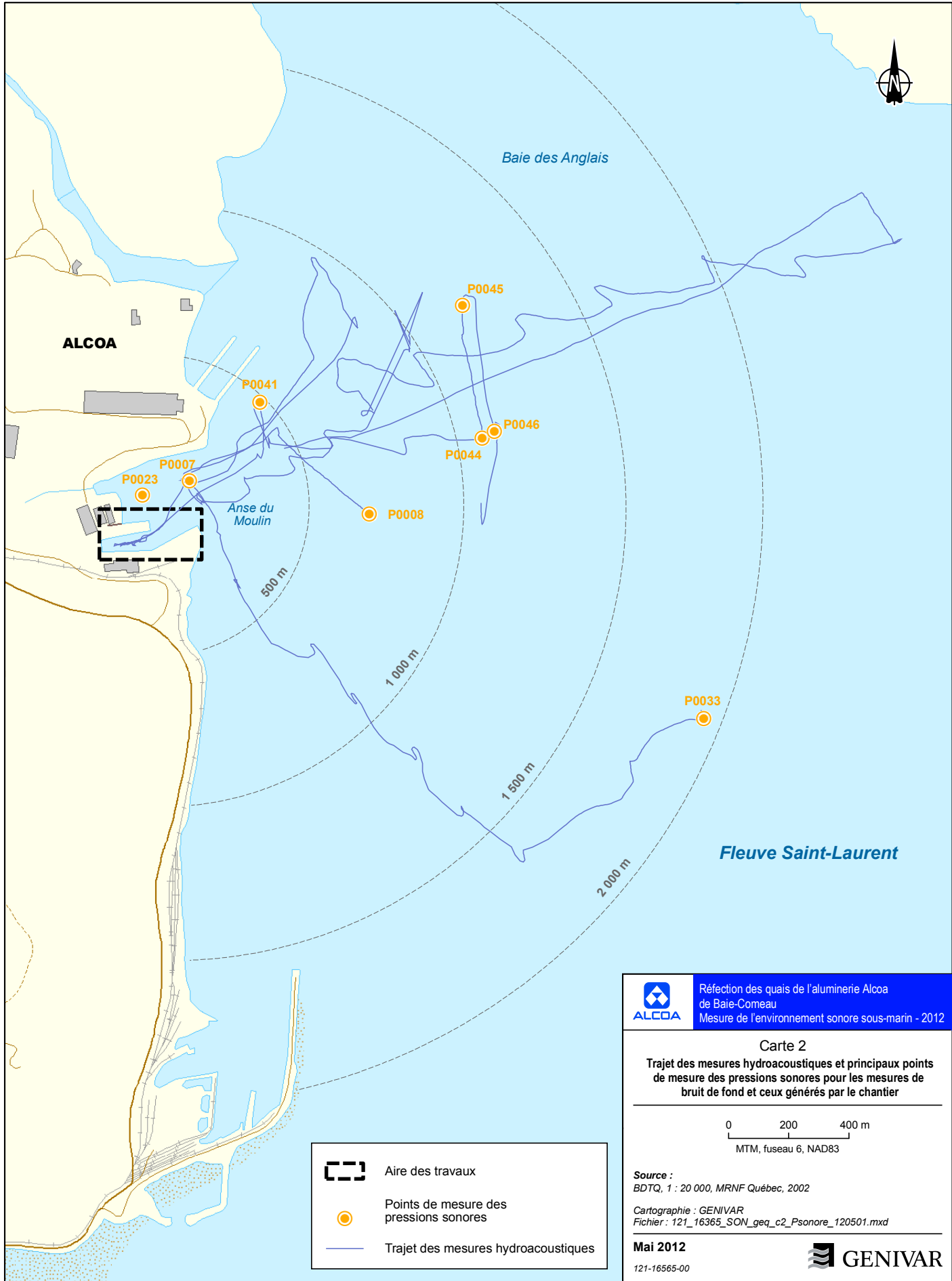
Pour limiter les interférences, le moteur de l'embarcation fut arrêté lors de chaque prise de mesure. Lors de la prise des mesures acoustiques, les coordonnées du point de mesure et la profondeur de l'eau étaient enregistrées par le sonar (modèle GPSTMap 498, Garmin International Inc., Olathe, Kansas, États-Unis). Les principaux paramètres (fréquences, amplitudes, etc.) des sons captés par l'hydrophone étaient lus directement à l'écran du sonomètre, ce qui permettait de valider les mesures en temps réel et d'effectuer les ajustements du système au besoin. Toutes les séquences jugées valides furent enregistrées sur un ordinateur portable en vue des analyses ultérieures. Les enregistrements furent effectués à une fréquence d'échantillonnage de 96 kHz et à une résolution de 24 bits.

3.1 Mesure du bruit de fond

Les mesures du bruit de fond sous-marin ont été réalisées lorsque les travaux de réfection des quais étaient à l'arrêt, notamment lorsque le brouillard ou l'obscurité ne permettaient pas de surveiller la présence de mammifères marins. Ces mesures ont été réalisées à différents endroits dans l'anse du Moulin et la baie des Anglais (carte 2).

3.2 Mesure du bruit généré par le chantier

La mesure des pressions sonores sous-marines générées par les travaux les plus bruyants lors de la réfection des quais, notamment le vibrofonçage et le battage de palplanches et de pieux, a été réalisée en étroite collaboration avec l'entrepreneur et le directeur de projet d'Alcoa. Une communication radio établie entre l'équipage en charge des relevés acoustiques et le responsable du chantier permettait en tout temps de synchroniser la prise des mesures avec l'opération des divers équipements utilisés pour le fonçage des pieux et des palplanches. Ces mesures ont été réalisées à différents endroits dans l'anse du Moulin et la baie des Anglais (carte 2).







ALCOA

Baie des Anglais

Anse du Moulin

Fleuve Saint-Laurent

-  Aire des travaux
-  Points de mesure des pressions sonores
-  Trajet des mesures hydroacoustiques

 Réfection des quais de l'aluminerie Alcoa de Baie-Comeau
Mesure de l'environnement sonore sous-marin - 2012

Carte 2
Trajet des mesures hydroacoustiques et principaux points de mesure des pressions sonores pour les mesures de bruit de fond et ceux générés par le chantier

0 200 400 m
MTM, fuseau 6, NAD83

Source :
BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2002

Cartographie : GENIVAR
Fichier : 121_16365_SON_geq_c2_Psonore_120501.mxd

Mai 2012
121-16565-00



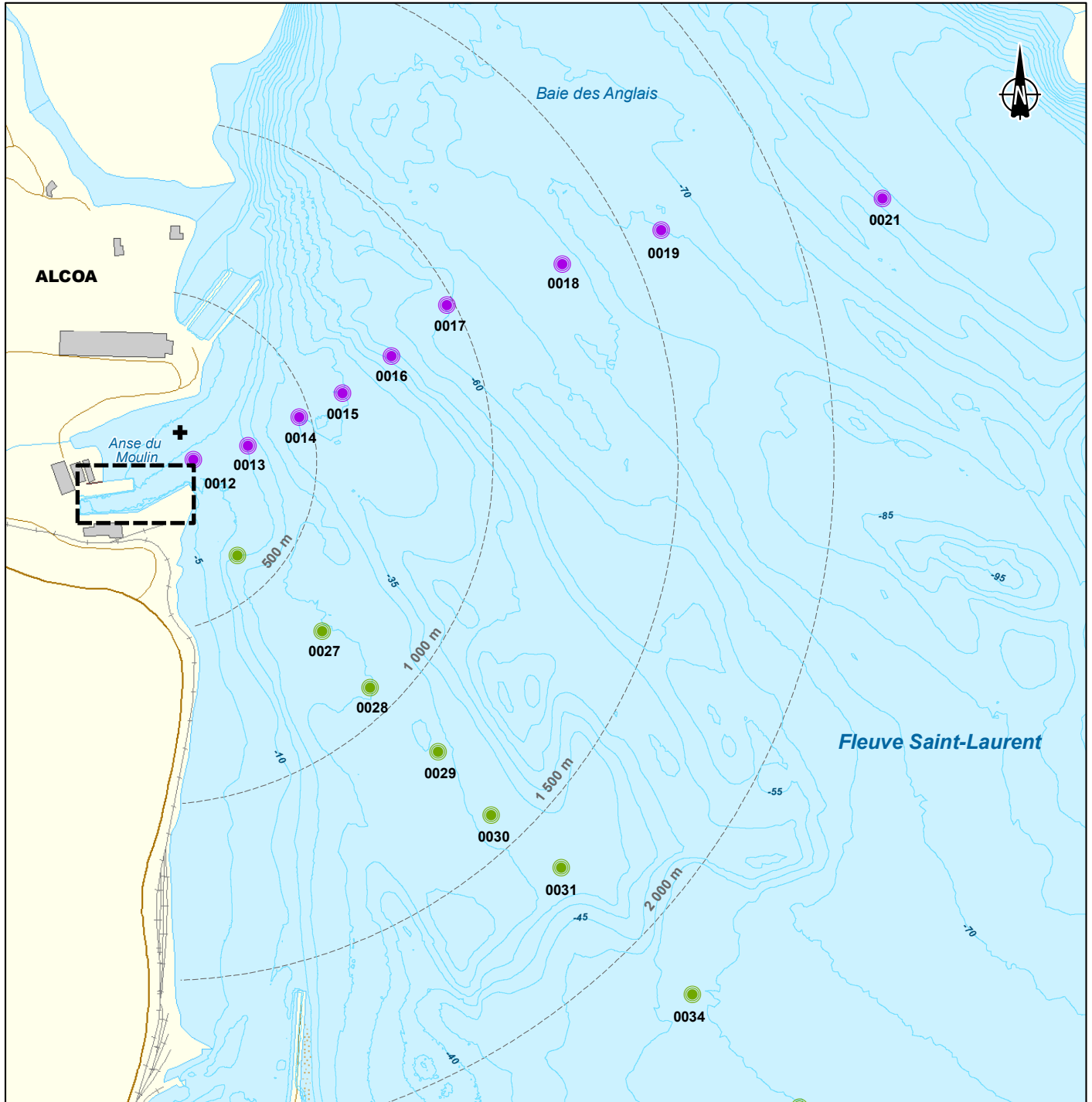
3.3 Mesure de l'atténuation sonore


La courbe d'atténuation sonore de la baie des Anglais a été établie en vue de déterminer les paramètres de propagation du son au large de l'aire des travaux. En plus d'une estimation théorique, cette tâche a été réalisée *in situ* le 12 avril, par mer calme et en l'absence d'activités bruyantes de réfection.

À cette fin, des sons de référence ont été émis périodiquement par un haut-parleur sous-marin (modèle LL9162T; Lubell Labs Inc., Columbus, Ohio, États-Unis) relié à un amplificateur et à un ordinateur portable, de manière à générer un signal sonore de forte intensité (184 – 194 dB/ μ Pa à la source) constitué d'un balayage de fréquences de 250 Hz à 15 000 Hz sur une période de 30 s. Ce haut-parleur était suspendu à 2 m de profondeur sous l'embarcation, elle-même ancrée dans l'anse du Moulin à environ 70 m de la berge (carte 3; point d'émission).

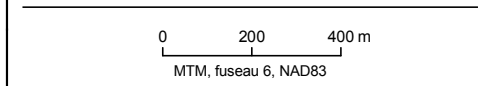
Pendant que l'équipage de la première embarcation veillait à l'émission des sons de référence, celle de la seconde était chargée de la prise de mesures des pressions sonores. Une communication radio constante entre les deux équipages permettait de synchroniser les activités. Chaque prise de mesure s'étendait sur environ 1 minute, afin d'assurer l'enregistrement d'au moins un cycle complet du balayage de fréquences. Les mesures de pressions sonores furent ainsi prises à des distances croissantes de la source, le long de transects s'étendant dans baie des Anglais sur 2,2 km vers le nord-est (Transect 1) et 3,1 km vers le sud-est (Transect 2) respectivement (carte 3). Ces travaux ont été réalisés de midi à 13 h pour le Transect 1 et de 15 h à 16 h pour le Transect 2. La profondeur de l'eau au point d'émission a varié de 9,6 m à 9,3 m lors des mesures sur le Transect 1 (marée descendante) et de 9,6 à 10,1 m durant les mesures sur le Transect 2 (marée montante). La profondeur d'eau aux points de mesures a pour sa part varié de 13,2 à 78,2 m le long du Transect 1, et de 15,6 à 63,8 m le long du Transect 2.

Étant donné que l'intensité des sons de référence émis dans l'anse du Moulin (point d'émission; carte 3) dépassait le seuil de sécurité de 160 dB re 1 μ Pa établi pour les mammifères marins (Bastasch et coll., 2009), leur émission fut assortie d'une surveillance visuelle réalisée à partir de l'embarcation, de manière à interrompre les travaux si des mammifères marins venaient à s'approcher à moins de 400 m de la source. Aucun mammifère marin ne fut toutefois détecté, que ce soit durant cette activité ou à tout autre moment durant les prises de mesures.








 Réfection des quais de l'aluminerie Alcoa de Baie-Comeau
 Mesure de l'environnement sonore sous-marin - 2012

Carte 3
Emplacement des points d'émission et de mesure pour l'établissement des courbes d'atténuation sonore



Source :
 BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2002
 Cartographie : GENIVAR
 Fichier : 121_16365_SON_geq_c3_Attenuation_120501.mxd

Mai 2012
 121-16565-00 

	Aire des travaux
	Point d'émission
	Point de réception du transect 1
	Point de réception du transect 2
	Bathymétrie (5 m)

3.4 Analyse des enregistrements

Toutes les séquences de bruit enregistrées par le sonomètre ont été analysées avec le logiciel SpectraViews (ST Spectra Group, Seattle, Washington, États-Unis). Une analyse distincte a été utilisée pour les bruits d'impact et les bruits continus. Les bruits d'impact, tels que ceux produits par l'enfoncement de pieux ou de palplanches à l'aide d'un marteau de battage, sont de courte durée et produits de façon intermittente ou à intervalles réguliers. Les principaux paramètres utilisés pour décrire ces bruits sont la pression sonore maximale (MAX), exprimée en dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$, la fréquence dominante (PK freq), qui représente la raie spectrale ayant la plus forte amplitude, et la pression acoustique efficace (RMS¹; dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$), calculée à large bande pour toute la durée de l'impact.

Les bruits continus, comme le bruit d'une génératrice, d'une foreuse ou d'un vibrofonçeur, sont produits pendant de plus longues périodes que les bruits d'impact. Les principaux paramètres utilisés pour décrire ces bruits sont la pression sonore maximale (MAX), exprimée en dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$, la fréquence dominante (PK freq), qui représente la raie spectrale ayant la plus forte amplitude, et la pression acoustique efficace (RMS; dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$), calculée sur une durée de 100 ms pour toute la plage de fréquence mesurée.

Notons finalement que toutes les mesures de pression sonore sont exprimées en dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$, étant donné que la plupart des spécialistes en biologie marine, dont ceux du MPO, comparent des sources d'émission et des seuils de pression exprimés avec ces unités pour évaluer les effets sur les organismes marins (Bureau d'audience publique en environnement [BAPE], 2004).

¹ Pour les mesures de niveau sonore, on s'intéresse moins aux valeurs de la pression sonore instantanée qu'à la puissance que les ondes sonores peuvent mobiliser. C'est donc cette puissance, proportionnelle au carré de la pression acoustique, qui sert pour évaluer le niveau sonore (Vincent, 2007).

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Notions générales d'acoustique sous-marine

Le son est un déplacement d'ondes dans un fluide (ou un matériau) qui se traduit par des variations de pression engendrant des vibrations dans le milieu. Les ondes sonores circulent donc dans l'air et de façon très efficace dans l'eau à des fréquences variées (Lurton, 1998). En milieu marin, la perception du son dépend de la pression acoustique, de l'efficacité de la propagation du son, du bruit ambiant et du seuil d'audition des espèces qui captent les sons (Richardson et coll., 1995).

4.1.1 Mesures de la pression acoustique

L'intensité sonore (ou niveau d'émission sonore) se mesure généralement en décibel (dB), une unité de mesure logarithmique basée sur le rapport entre deux puissances, dont le 0 dB (équivalant à 20 μPa) se rapporte à la pression de référence dans l'air (BAPE, 2004). L'unité mesurant l'intensité sonore en milieu marin est plutôt représentée sous forme de « niveau de pression acoustique », soit le *Sound Pressure Level (SPL)*. Cette unité est le rapport entre le niveau de pression mesuré (P) et le niveau de pression de référence de l'eau ($P_0 = 1 \mu\text{Pa}$) (Simpkin, 2003) :

$$\text{SPL} = 20 \log (P/P_0) \quad \text{équation 1}$$

Le SPL, qui représente la façon la plus courante d'afficher un niveau sonore en acoustique, s'exprime en dB re 1 μPa . Transformé en dB re 1 μPa à 1 m, le SPL donne le niveau de bruit instantané à 1 m de la source sonore.

La pression acoustique, qui se définit comme la variation de la pression qui cause une impression sonore, peut être mesurée pour l'ensemble de la portion du spectre sonore couverte par les appareils de mesure utilisés (bande large), ou encore pour des bandes de fréquences ciblées (bandes étroites). La largeur de bande et les fréquences ciblées sont généralement établies en fonction des objectifs des études, mais il est courant de subdiviser le spectre sonore par bandes de fréquences couvrant un tiers d'octave chacune. Dans le cadre de la présente étude, les niveaux de bruit sont présentés en SPL (bande large) et exprimés en dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$.

4.1.2 Atténuation des ondes acoustiques

Une onde sonore qui se propage dans un milieu perd de son énergie en fonction de la distance. Ce phénomène de perte de transmission (PT), ou d'atténuation sonore, est notamment dû aux effets combinés de la dispersion et de l'absorption de l'onde acoustique (Richardson et coll., 1999; Long et Xhardé, 2012). Cette perte de transmission peut être estimée par l'équation suivante, qui suppose une dispersion parfaitement sphérique de l'onde (Long et Xhardé, 2012) :

$$PT = 20 \log D + \alpha D + A \quad \text{équation 2}$$

où PT est l'atténuation sonore totale, D est la distance, α est le coefficient d'absorption totale et A est l'anomalie de transmission, qui décrit l'effet combiné des autres phénomènes pouvant influencer la propagation et l'atténuation des ondes acoustiques, comme les réflexions multiples, la réfraction dues aux variations de densité de l'eau (salinité, thermocline, etc.) et la diffraction par les particules en suspension, le plancton et les bulles d'air (Long et Xhardé, 2012).

4.2 Atténuation sonore dans la baie des Anglais

En vue de déterminer les paramètres de propagation du son au large de l'aire des travaux, l'atténuation sonore théorique a été estimée à l'aide de l'équation 2, sans toutefois évaluer l'anomalie de transmission, qui aurait elle-même nécessité l'estimation de nombreux facteurs. Pour des raisons de précision et de fiabilité, il a été choisi d'établir les courbes d'atténuation réelles, reposant sur des mesures prises directement sur le site. Étant donné la configuration des lieux, deux courbes d'atténuation sonore ont été établies, soit une orientée vers le nord-est, transversalement à la baie des Anglais (figure 1), et une seconde vers le sud-est (figure 2), perpendiculaire à l'axe du fleuve Saint-Laurent (carte 3).

Globalement, les courbes d'atténuation montrent que les sons émis aux fréquences de référence de 250 Hz à 16 kHz s'atténuent en moyenne de 40,8 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à 100 m du point d'émission (carte 3), transversalement à la baie des Anglais (figure 1; Transect 1), et de 40,6 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ pour une même distance perpendiculaire à l'axe du fleuve (figure 2; Transect 2). Cette atténuation passe respectivement à 51,8 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à 500 m et à 56,5 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à 1 km du point d'émission pour le Transect 1, ainsi qu'à 52,6 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à 500 m et à 57,7 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à 1 km du point d'émission pour le Transect 2. Les tableaux des pertes par atténuation en fonction de la distance et des fréquences émises sont présentés à l'annexe 2. Ces résultats seront utilisés plus loin pour l'estimation des pressions sonores à la source. Les niveaux d'atténuation mesurés montrent par ailleurs un taux d'atténuation légèrement inférieur à celui prédit par le modèle de dispersion sphérique (Richardson et coll., 1999), ce qui s'explique en partie par la présence du quai immédiatement derrière les pieux et les palplanches, de même que la position du chantier, au fond de l'anse du Moulin, qui limitent la propagation du son vers l'arrière.

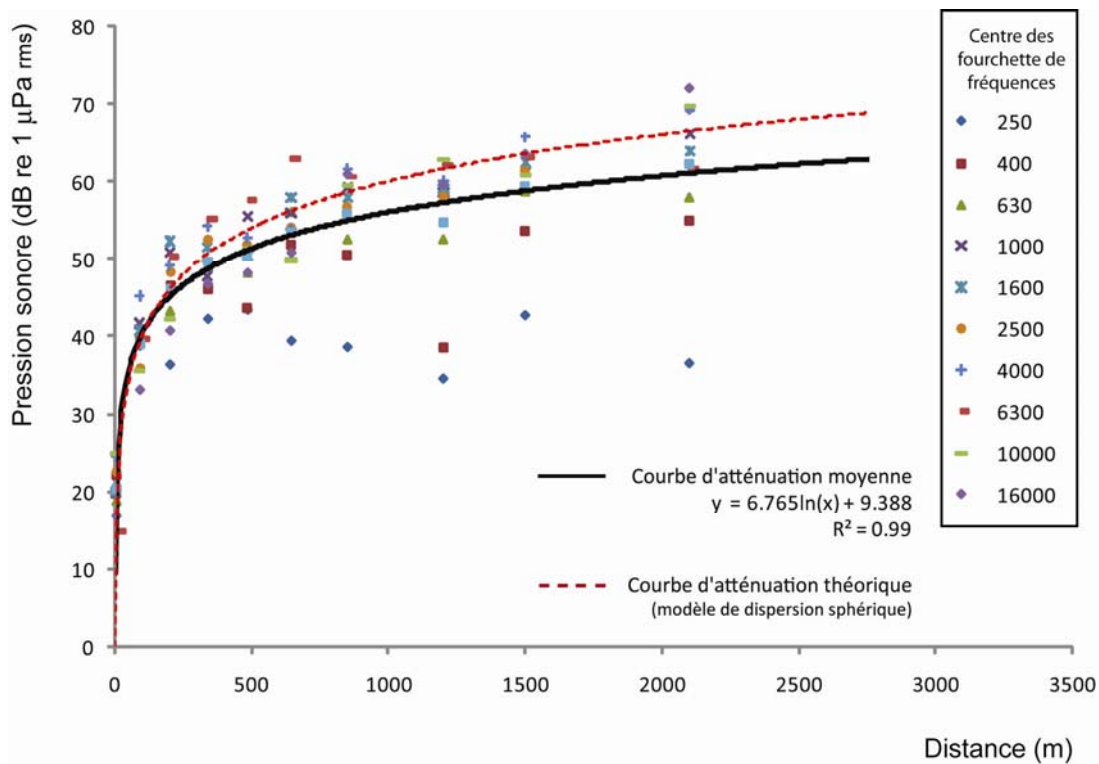


Figure 1 Courbes d'atténuation sonore mesurée et théorique pour le transect transversal à la baie des Anglais (Transect 1).

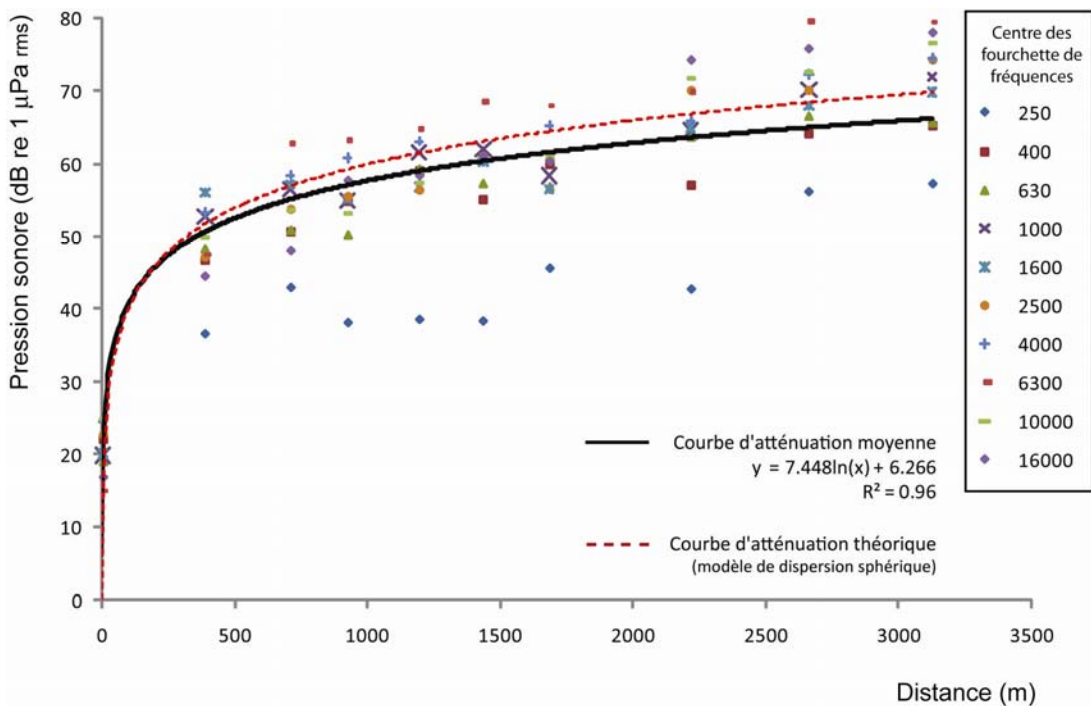


Figure 2 Courbes d'atténuation sonore mesurée et théorique pour le transect perpendiculaire à l'axe du fleuve Saint-Laurent (Transect 2).

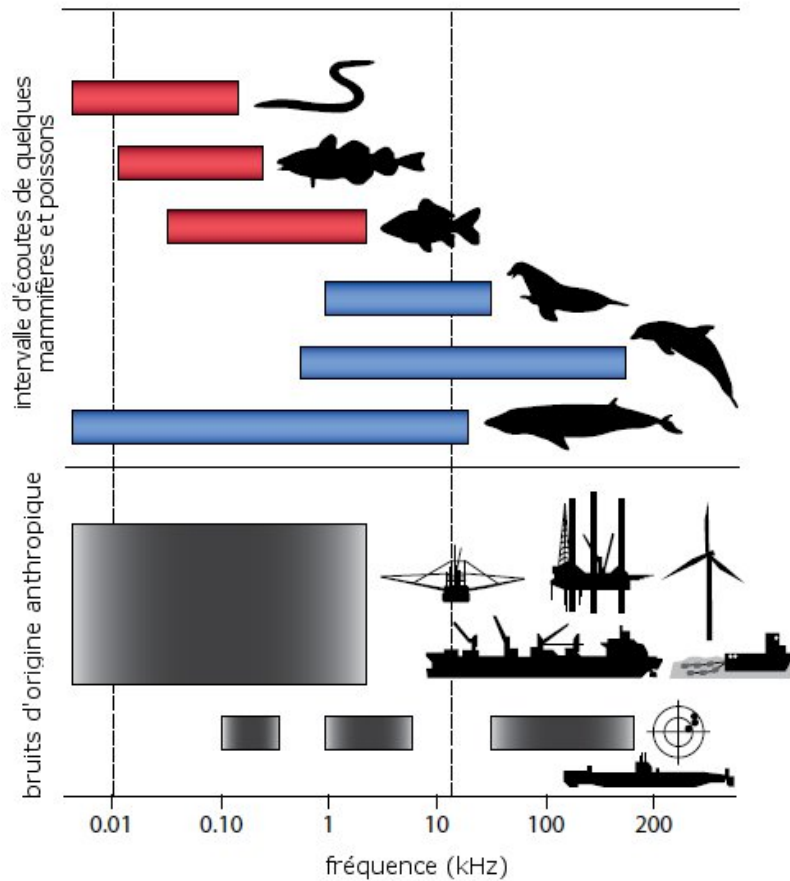
4.3 Bruit ambiant

L'océan est un environnement relativement bruyant, dont le bruit de fond est alimenté par plusieurs sources sonores physiques d'intensité variable, telles que les vibrations terrestres, le vent, la pluie, le tonnerre, les craquements de la glace ou des icebergs, les vagues et les courants (Wenz, 1962; National Research Council [NRC], 2003; Lawson et McQuinn, 2004). Certaines espèces composant la faune 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).

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). Notons 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 3).

Dans le cadre de la présente étude, le bruit ambiant moyen est fortement teinté par les activités anthropiques liées à la navigation et au déchargement des navires. Ce bruit oscille, de jour, entre 111,4 et 126,9 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ (tableau 1 et annexe 3). L'activité anthropique qui a le plus contribué à l'ambiance sonore de la baie des Anglais, durant la prise des mesures, a été le passage du traversier de la Société des traversiers du Québec (Baie-Comeau – Matane), pour lequel on a enregistré une pression sonore maximale atteignant 130,2 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$.

Ces mesures se comparent à celles d'autres travaux réalisés dans le fleuve Saint-Laurent, dont ceux de Simard et coll. (2010), qui rapportent une pression sonore médiane de 112 dB re 1 μPa dans l'estuaire du Saint-Laurent, alors que McQuinn et coll. (2011) rapportent une pression sonore médiane de 111,4 dB re 1 μPa et des pics pouvant atteindre 136 dB re 1 μPa dans le secteur du parc marin du Saguenay – Saint-Laurent. Dans le secteur de Port-Cartier, des mesures de l'environnement sonore sous-marin ont permis d'enregistrer des pressions sonores variant de 78,9 à 134,4 dB re 1 μPa selon l'état de la mer et l'intensité du trafic maritime (GENIVAR, 2011).



Source : D'après Slabberkoorn et coll. (2010) dans Futura-Sciences (2012) (adaptation).

Figure 3 Exemples de chevauchement des fréquences de certains bruits d'origine anthropique avec celles de la faune marine.

Tableau 1 Niveaux de pression sonores sous-marins typiques enregistrés dans l'anse du Moulin et la baie des Anglais pour différentes sources autres que les travaux de réfection des quais de l'aluminerie Alcoa de Baie-Comeau, 11 et 12 avril 2012.

Source principale	Niveaux de pression sonore		Bandes de fréquences dominantes Hz
	Maximal* dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$	RMS** dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$	
Mer calme	126,6	111,4	(50-80; 120-200)
Déchargement de navire	125,2	114,5	(50-150; 180-230; 340-370)
Traversier en approche	130,2	126,9	(50-100; 160-220)

* Pression sonore instantanée maximale mesurée

** Pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms

4.4 Bruit généré par le chantier

Les mesures réalisées au large de la zone de travaux ont permis d'enregistrer des pressions sonores moyennes variant de 126 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à 1 200 m à plus de 159 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à 112 m (tableau 2 et annexe 3). La pression sonore la plus élevée mesurée a été générée par le vibrofonçage de palplanches, avec une pression sonore atteignant 168,7 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à une distance de 112 m de la source.

Tableau 2 Niveaux de pression sonores sous-marins enregistrés à différentes distances pour différentes sources dans l'anse du Moulin et la baie des Anglais entre le 12 et le 14 avril 2012.

Source principale	Niveaux de pression sonore		Bandes de fréquences dominantes
	Maximal* dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$	RMS** dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$	Hz
Marteau PILECO D62-22 / fonçage de pieux	152,7 à 642 m	144,8 à 642 m	(175 - 300)
	138,2 à 1 200 m	126,5 à 1 200 m	(175 - 300)
	148,0 à 1 400 m	140,0 à 1 400 m	(175-275; 340-380; 700-800)
Vibro hydraulique ICE Model 66C / fonçage de pieux	162,0 à 235 m	152,2 à 235 m	(80-150; 250-280)
	161,2 à 235 m	152,2 à 235 m	(80-150; 280-320)
	161,0 à 235 m	152,8 à 235 m	(80-180; 360-440; 700-850)
	125,9 à 1200 m	115,8 à 1200 m	(40-80)
Vibro hydraulique ICE Model 28C / fonçage de palplanches	168,7 à 112 m	159,2 à 112 m	(625-650; 800-925; 1150-1250; 2100-2150)
	158,1 à 235 m	151,2 à 235 m	(350-460; 800-1250)
	149,5 à 235 m	140,8 à 235 m	(375-475; 600-900;
	163,8 à 235 m	154,9 à 235 m	1000-1300; 1500-1800) (280-375; 420-480; 800-880; 1100-1200)

* Pression sonore instantanée maximale mesurée

** Pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms

À partir de ces mesures, les courbes d'atténuation établies pour la baie des Anglais (section 4.2) permettent d'estimer à 210,53 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ la pression sonore maximale à la source générée par les travaux. Cette pression sonore fut enregistrée lors du fonçage de palplanches par le Vibrofonçeur hydraulique ICE Model 28C (tableau 3). Les niveaux de pression sonores moyens à la source varient de $200,48 \pm 13,44$ dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ pour le vibrofonçage de pieux, à $205,45 \pm 6,68$ dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ pour le vibrofonçage de palplanche. Le fonçage de pieux par le Marteau PILECO D62-22 a généré, pour sa part, une pression sonore moyenne de $200,48 \pm 13,44$ dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à la source. Bien qu'elles reposent sur un petit échantillon de mesures, ces pressions s'avèrent représentatives de celles relevées dans la littérature (Richardson et coll., 1995; Illinworth & Rodkin Inc., 2007). Ainsi, selon les études consultées, les niveaux sonores émis lors du fonçage de pieux par battage varient de 189 à 250 dB re 1 μPa à 1 m (Greene, 1999; Blackwell, 2005; Talisman Energy, 2005; Elmer et coll., 2006; Illinworth & Rodkin Inc., 2007; Bailey et coll., 2008; ICF Jones & Stokes et coll., 2009; Buehler, 2010).

Tableau 3 Pressions sonores à la source estimées à partir des courbes d'atténuation établies sur le terrain (pressions sonores initiales mesurées dans l'anse du Moulin et la baie des Anglais entre le 12 et le 14 avril 2012).

Source principale	Niveaux de pression sonores à la source			
	Transect 1		Transect 2	
	Maximal* dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à 1 m	Moyen Moy \pm ÉT	Maximal* dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à 1 m	Moyen Moy \pm ÉT
Marteau PILECO D62-22 / fonçage de pieux	206,39	202,60 \pm 6,11	208,22	204,22 \pm 6,04
Vibro hydraulique ICE Model 66C / fonçage de pieux	208,14	201,47 \pm 12,15	208,73	200,48 \pm 13,44
Vibro hydraulique ICE Model 28C / fonçage de palplanches	209,94	204,88 \pm 6,69	210,53	205,45 \pm 6,68

* Pressions sonores à la source estimées à partir des courbes d'atténuation établies sur le terrain (section 4.3).

4.5 Niveaux de sensibilité des mammifères marins aux bruits

Selon la documentation consultée, les bruits anthropiques sous-marins peuvent avoir divers effets potentiels sur les mammifères marins (Lawson et McQuinn, 2004; NRC, 2005; MPO, 2007; McQuinn et coll., 2011), de même qu'il existe plusieurs façons d'aborder la question. Il y a en outre certaines divergences quant à l'interprétation des données disponibles et à leur utilisation pour évaluer la sensibilité des mammifères marins aux forts bruits.

À titre d'exemple, le BAPE (2004) réfère à trois niveaux d'effets directs des bruits forts, qui se définissent par un seuil de pression sonore qui varie selon l'espèce. Rapportées dans l'espace, trois zones d'effets peuvent être circonscrites de façon concentrique autour du point d'émission. Il s'agit de la zone de mortalité où l'exposition sonore se situe au-dessus du seuil léthal, de celle de dommages auditifs pour l'étendue située entre les seuils de dommages auditifs et de mortalité, et de celle d'influence comportementale située entre le seuil de dommages auditifs et la limite minimale d'exposition produisant un effet sur le comportement.

D'autres travaux vont plutôt référer à des critères de harcèlement, dont le « harcèlement de niveau A » qui est défini comme étant : *tout acte de poursuite, de tourment, de gêne qui comporte un potentiel de blessure à un mammifère marin ou à une population de mammifères marins dans l'environnement naturel* (NRC, 2000). Carr et coll. (2006) associent à ce critère de harcèlement un niveau sonore égal ou supérieur à 180 dB re 1 μPa pour les bruits d'impact, ce qui correspond au critère de préoccupation potentielle qu'ils ont retenu pour la perte d'ouïe temporaire ou permanente chez les cétacés (National Oceanic and Atmospheric Administration

[NOAA], 2003; Madsen, 2005). Ce niveau est haussé à 190 dB pour les pinnipèdes. Le « harcèlement de niveau B » réfère pour sa part à une perturbation potentielle du comportement chez les mammifères marins. Il se définit comme étant : *tout acte de poursuite, de tourment, de gêne qui comporte un potentiel de perturbation pour un mammifère marin ou à une population de mammifères marins dans l'environnement naturel, en provoquant une dégradation des modèles comportementaux, notamment la migration, la respiration, l'allaitement, la reproduction, l'alimentation et la mise à l'abri, mais qui ne pose pas de potentiel de blessure* (NRC, 2000). De telles perturbations apparaîtraient à un niveau sonore à large bande égal ou supérieur à 160 dB re 1 μ Pa (NRC, 2000 et 2003).

4.5.1 Effets physiologiques

Très peu d'études ont été réalisées sur les effets physiologiques provoqués par une exposition aux forts bruits sous-marins. En théorie, ces effets comprennent les effets du stress et neurologiques, la formation de bulles gazeuses, la résonance et d'autres types d'atteintes aux organes ou aux tissus (Cox et coll., 2006; Southall et coll., 2007; Abgrall et coll., 2008). Les données existantes suggèrent qu'en raison de la brièveté et de l'intermittence des forts bruits sous-marins d'origine anthropique, de tels effets seraient limités à de courtes distances de la source d'émission (Southall et coll., 2007; Abgrall et coll., 2008).

4.5.2 Déficits auditifs

Un déficit auditif, temporaire ou permanent, peut survenir à la suite de l'exposition à un niveau sonore élevé. Le déficit auditif temporaire, également appelé déplacement temporaire de seuil ou *Temporary Threshold Shift* (TTS), peut se manifester immédiatement après l'exposition. Soustrait au bruit, l'organisme recouvre graduellement sa capacité auditive. En raison de la rapidité de récupération de la sensibilité auditive à la suite d'une perte temporaire d'audition, soit de quelques minutes à quelques jours, cet effet n'est pas considéré comme une atteinte physiologique. Pour sa part, le déficit auditif permanent, également appelé déplacement permanent du seuil ou *Permanent Threshold Shift* (PTS), se manifeste généralement lorsque l'exposition au bruit se prolonge et produit des dommages définitifs et irréversibles, mais peut aussi se produire de façon immédiate lors d'une exposition à des pressions sonores très élevées (Richardson et coll., 1995).

Pour protéger les mammifères marins contre les déficits auditifs, le National Marine Fisheries Service a conclu que les cétacés² et les pinnipèdes³ ne devraient pas être exposés à des impulsions sonores sous-marines dépassant respectivement 180 et 190 dB re 1 μ Pa_{rms}, lesquelles ne sont pas considérées comme des niveaux d'exposition causant la perte permanente d'audition (Abgrall et coll., 2008).

² Ordre des cétacés – Sous-ordre des mysticètes : baleines à fanons; sous-ordre des odontocètes : baleines à dents (Jefferson et coll., 2008).

³ Ordre des carnivores – Sous-ordre des pinnipèdes : phoques, otaries et morses (Jefferson et coll., 2008).

4.5.3 Effets comportementaux

À certains niveaux sonores, des changements de comportement peuvent se produire chez certains mammifères marins à partir d'une intensité d'environ 140 dB re 1 μ Pa (Richardson et coll., 1995), et ce, bien que les mysticètes⁴ aient réagi à des niveaux de réception sonores d'environ 120 dB re 1 μ Pa. En général, les mysticètes ont tendance à réagir à des niveaux sonores continus inférieurs à ceux d'un son pulsé. Les odontocètes⁵ semblent manifester une plus grande variété de réactions au bruit industriel que les mysticètes, allant de l'attraction vers les navires à un évitement marqué. Quant aux pinnipèdes, ils semblent plus tolérants que les cétacés ou s'habituer plus rapidement aux bruits sous-marins potentiellement perturbants (Richardson et coll., 1995).

Les effets comportementaux potentiels comprennent l'évitement et le déplacement des corridors migratoires, les changements dans les régimes de plongée et de respiration, les changements de vocalisations et de comportement social (MPO, 2004; Lawson et McQuinn, 2004; Abgrall et coll., 2008). Il est toutefois difficile de mesurer les changements comportementaux avec des paramètres adéquats, de comprendre la signification biologique de ceux-ci, ainsi que d'évaluer les coûts physiologiques et les effets sur les populations (Abgrall et coll., 2008).

L'effet de masquage, soit le fait de couvrir des sons utiles par d'autres sons de fréquences similaires, peut interférer avec le système de communication et d'écholocalisation, dont dépendent plusieurs espèces de mammifères marins, particulièrement les odontocètes, pour se diriger et se nourrir ainsi que pour communiquer entre eux. L'écholocalisation s'effectue généralement avec des fréquences de plus de 50 kHz (avec parfois des composantes à plus basses fréquences). La communication survient généralement à des fréquences de moins de 15 kHz chez les odontocètes, de moins de 2 à 3 kHz chez les pinnipèdes et de moins de 1 kHz chez les mysticètes (Richardson et coll., 1995).

Quelques études indiquent que plusieurs mammifères marins adaptent leurs vocalises selon le niveau de bruit ambiant, plus particulièrement lorsque les sons sont continus et prolongés (Tyack, 2008 dans Abgrall et coll., 2008).

4.6 **Seuils de sensibilité généralement reconnus**

Pour établir la largeur d'un corridor ou l'étendue d'une zone de sécurité associée aux dommages physiques, le seuil de 180 dB re 1 μ Pa_{rms} est devenu la norme un peu partout dans le monde (Madsen, 2005; Abgrall et coll., 2008), même si ce seuil,

⁴ Aussi appelés baleines à fanons (ex. petit rorqual).

⁵ Aussi appelés baleines à dents (ex. béluga, marsouin, dauphin, épaulard).

recommandé par le National Marine Fisheries Service des États-Unis, ne fait pas toujours l'unanimité auprès des scientifiques (Madsen, 2005; Miller et coll., 2005; Southall et coll., 2007 ; Bastasch et coll., 2009). On renvoie ainsi souvent 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; Miller et coll., 1999; Richardson et coll. 1999). À cet égard, le MPO préconise 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 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ (MPO, 2007).

À l'heure actuelle, les critères de sécurité les plus couramment utilisés sont ceux présentés au tableau 3 et concernent essentiellement les seuils d'effet physiologiques.

Tableau 3 Seuils d'effet physiologique, et de sécurité généralement suggérés pour la surveillance du bruit généré par les travaux sous-marins

Groupe d'espèces	Seuil d'effet physiologique	Seuil de sécurité
Pinnipèdes	190 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$	180 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$
Cétacés	180 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$	160 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$

Source : Bastasch et coll. (2009)

Selon les études consultées, le respect des seuils de sécurité retenus à l'égard des effets physiologiques, peut se traduire par des zones de surveillance et d'exclusion variant d'une cinquantaine de mètres à plus d'un kilomètre de rayon, établies selon l'intensité du bruit à la source et les caractéristiques d'atténuation sonore de l'environnement où se trouvent les travaux. Ces zones peuvent toutefois s'étendre jusqu'à 3 km lorsqu'on se réfère aux seuils d'effets comportementaux (Simmonds et coll., 2004). Au Canada, des zones d'approche, de sécurité et/ou de surveillance à l'égard de l'exclusion de 200 m, 300 m, 400 m, 500 m, 600 m pouvant à l'occasion s'étendre à 1 km sont utilisées (Wright et Hopky, 1998; Règlement sur les activités en mer dans le parc marin du Saguenay – Saint-Laurent [DORS, 2002-76]; Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec [MDDEP], 2010; MPO, 2011 et 2012).

5 RECOMMANDATIONS

Tel que présenté à la section 4.3 du présent rapport, la pression sonore la plus élevée mesurée a été générée par le vibrofonçage de palplanches, avec une pression sonore maximale de 168,7 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à une distance de 112 m de la source. Quant au battage de pieux, une pression sonore de 152,7 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à 642 m de la source a été mesurée. Bien qu'il s'agisse d'une évaluation ponctuelle et, par conséquent, peu précise, l'utilisation des courbes d'atténuation (section 4.2), pour estimer les pressions sonores générées à la source par le fonçage de pieux et de palplanches dans l'anse du Moulin, suggère des niveaux avoisinant les 210 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à 1 m (vibrofonçage et battage confondus).

Tel que démontré par de nombreuses études, de telles pressions sonores seraient « dommageables » pour un mammifère marin qui y serait exposé puisqu'elles dépassent les seuils d'effets physiologiques pouvant engendrer des déficits auditifs, soit 180 (cétacés) et 190 (pinnipèdes) dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$. Les mesures de surveillance des mammifères marins s'avèrent donc justifiées.

5.1 Établissement d'une zone de surveillance

D'entrée de jeux, mentionnons que le MPO avait établi, dans le cadre du projet de réfection des quais d'Alcoa, une zone d'exclusion de 600 m pour le vibrofonçage et augmentée à 1 km pour le battage (MPO, 2012). Ces exigences prenaient pour acquis que ces deux machineries émettaient des pressions sonores sous-marines différentes. Or, la présente étude démontre que ces machineries émettent des pressions sonores relativement équivalentes. Par conséquent, il est recommandé de mettre en place une zone d'exclusion commune aux deux techniques de fonçage de pieux, et une zone de surveillance du comportement des mammifères marins où les travaux pourraient se faire sans interruption.

Ainsi, advenant la poursuite des travaux de réfection des quais en période de présence des mammifères marins, il y aura lieu d'établir une zone de surveillance tenant compte des pressions sonores générées par les travaux et des caractéristiques d'atténuation sonore du site. En prenant comme référence la pression sonore maximale estimée de 210 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à la source, les courbes d'atténuation sonore établies pour la baie des Anglais suggèrent que la pression sonore demeurerait au-dessus du seuil de sécurité de 160 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ (cétacés; tableau 3) sur un rayon de l'ordre de 400 m. Dans le cas du projet d'Alcoa, ce rayon est défini comme la zone d'exclusion où les travaux devront être arrêtés pour la période de présence des mammifères marins.

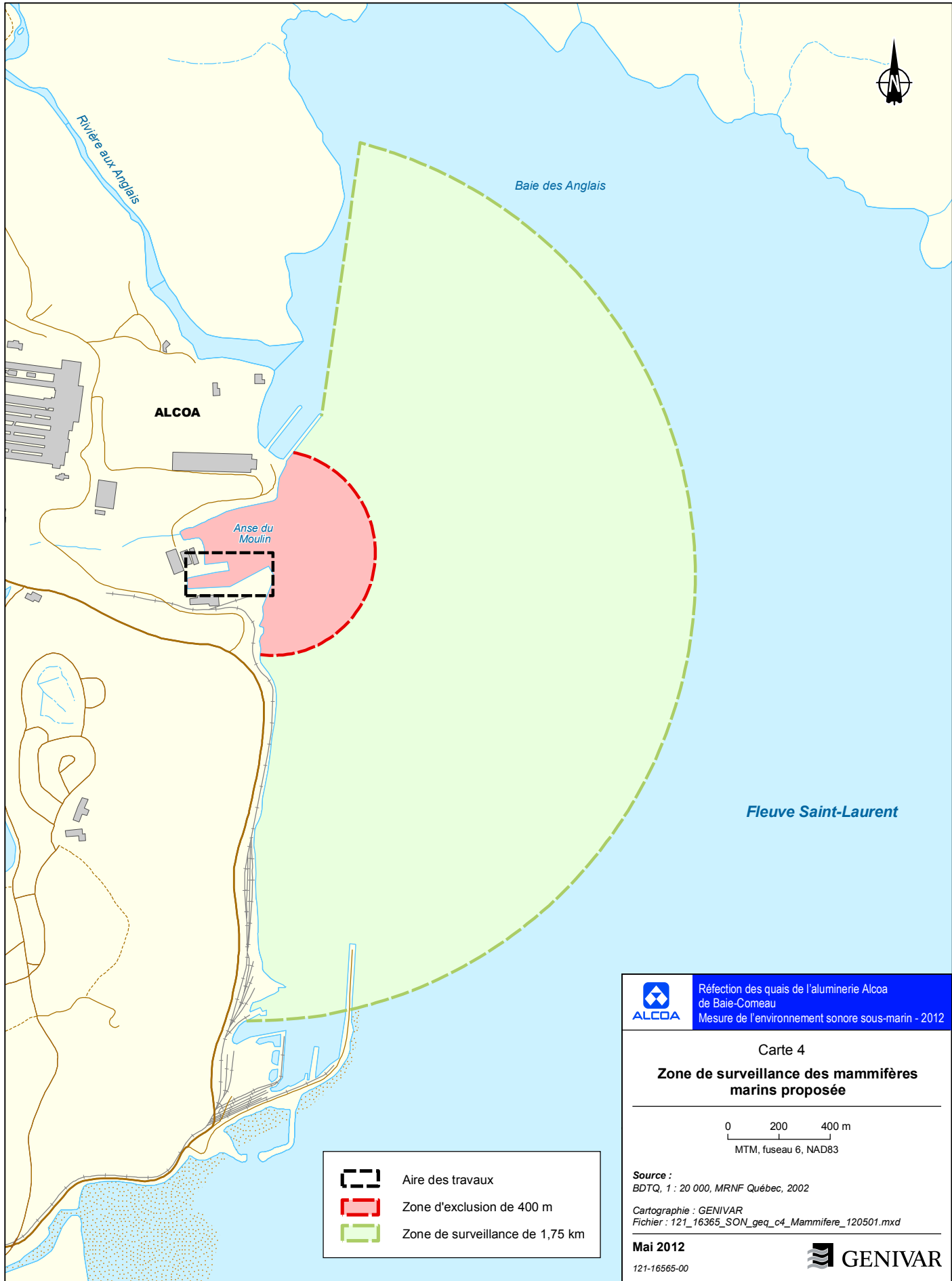
En prenant en considération la taille relativement réduite de l'échantillon de mesure, il est toutefois considéré, par mesure de prudence, que la pression sonore générée par le battage puisse atteindre 220 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à la source, ce qui est le maximum rapporté par Illinworth & Rodkin Inc. (2007) pour le battage de pieux. Cette mesure de prudence étend la zone de surveillance à un rayon de 1,5 à 1,75 km, toujours en considérant le seuil de sécurité de 160 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$. Dans le cas présent, ce rayon est défini comme étant la zone de surveillance des mammifères marins sans toutefois que les travaux soient arrêtés.




La carte 4 propose une zone d'exclusion et une zone de surveillance des mammifères marins sans arrêt des travaux.


5.2 Stratégie de surveillance proposée

Dans la mesure où les pressions sonores générées par les travaux de réfection des quais pourraient dépasser les 210 dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{rms}}$ à la source, une zone de surveillance pouvant s'étendre de quelques centaines de mètres à 1,75 km au large de l'aire des travaux apparaît requise. La poursuite de la surveillance visuelle s'avère nécessaire, mais limitée, puisque que les travaux devraient toujours être interrompus en cas de brouillard ou d'obscurité.

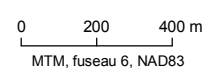
Par conséquent, en plus du maintien de la surveillance visuelle, une surveillance électronique des mammifères marins par le biais d'un hydrophone et d'un échosondeur (sonar), qui aurait l'avantage de permettre la détection de ces animaux à toute heure et peu importe les conditions de visibilité, est recommandée. L'hydrophone permettrait de détecter les vocalises et l'approche des mammifères marins bien avant qu'ils ne pénètrent dans la zone de surveillance ou d'exclusion. Le sonar, quant à lui, permettrait de suivre précisément leurs déplacements dans un rayon de 500 à 1 000 m, tout au long de leur passage dans la zone de surveillance. Dans la perspective d'une zone de surveillance conservatrice de 1,75 km (carte 4), l'installation du sonar au centre de celle-ci permettrait de la couvrir la totalité de sa superficie avec un seul appareil. Le maintien de la surveillance visuelle de jour, comme de nuit (à l'aide de lunette d'approche thermique) validerait les informations détectées par l'hydrophone et le sonar, tout en pouvant identifier l'espèce en approche de même que son comportement. Le couplage de ces techniques ferait en sorte que les travaux ne seraient arrêtés que durant la période où les mammifères marins se retrouveraient réellement dans la zone d'exclusion (zone rouge; carte 4). De plus, comme le dépistage électronique se ferait parallèlement au suivi en continu des bruits sous-marins générés par le chantier, les travaux pourraient possiblement se poursuivre, malgré la présence de mammifères marins, lorsque les pressions sonores s'avèrent inférieures aux seuils de sécurité établis.



-  Aire des travaux
-  Zone d'exclusion de 400 m
-  Zone de surveillance de 1,75 km


 Réfection des quais de l'aluminerie Alcoa de Baie-Comeau
 Mesure de l'environnement sonore sous-marin - 2012

Carte 4
Zone de surveillance des mammifères marins proposée



Source :
 BDTQ, 1 : 20 000, MRNF Québec, 2002

Cartographie : GENIVAR
 Fichier : 121_16365_SON_geq_c4_Mammifere_120501.mxd

Mai 2012
 121-16565-00



En conclusion, la combinaison des techniques et outils proposés pourrait se traduire par un allongement significatif de la durée des périodes de travail, d'où des possibilités de réduction des coûts et des délais de réalisation du projet, tout en ayant l'assurance d'une surveillance efficace et constante des mammifères marins et des bruits générés par les travaux.

5.3 Mesures alternatives d'atténuation du bruit de fonçage

Advenant qu'une problématique inattendue se présente, comme par exemple la présence constante de mammifères marins dans la zone de surveillance, combinée à des niveaux de bruits dépassant régulièrement les seuils de sécurité, il existe différentes approches qui permettraient de réduire l'intensité du bruit des travaux. Sans en suggérer l'utilisation en sus de la surveillance proposée, quelques exemples sont présentés dans les paragraphes qui suivent. Le cas échéant, l'opportunité de considérer de telles mesures sera à évaluer en fonction de la problématique observée.

Deux approches principales sont généralement proposées pour réduire l'intensité du bruit sous-marin généré par les activités de fonçage (Elmer et coll., 2006). Il s'agit, d'une part, d'ajuster les paramètres de battage et, d'autre part, d'utiliser au besoin des barrières d'atténuation sonore. Parmi les paramètres du battage, 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 coll., 2009). Des méthodes alternatives permettant de foncer les pieux par oscillation, par rotation ou par pression peuvent également contribuer à réduire les émissions sonores, mais il ne semble pas exister de données acoustiques sur le sujet. Bien qu'il s'agisse aussi d'un processus bruyant (96 à 103 dB re 1 µPa selon Scheifele et Michaud, 1999), le forage préalable des trous devant accueillir les pieux peut permettre de réduire substantiellement le nombre de percussions nécessaires au fonçage (ICF Jones & Stokes et coll., 2009).

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 (Elmer et coll., 2006; ICF Jones & Stokes et coll., 2009; Elmer, 2010). Les deux approches agissent indépendamment, ce qui permet une réduction substantielle de l'intensité des bruits, soit de l'ordre de 15 à 45 dB lorsqu'on les utilise en combinaison.

Plus récemment, 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.

Précisons que ces alternatives nécessitent des validations acoustiques pour s'assurer leur efficacité.

6 RÉFÉRENCES

6.1 Bibliographie

- ABGRALL, P. V.D. MOULTON et W.J. RICHARDSON. 2008. *Évaluation actualisée des renseignements scientifiques relatifs à l'impact des bruits sismiques sur les mammifères marins, de 2004 jusqu'à présent*. Secrétariat canadien de consultation scientifique. Document de recherche 2008/087.
- AU, W.W.L. et M.C. HASTINGS. 2008. *Principles of marine bioacoustics*. Springer Science+Business media, New York. 679 p.
- BAILEY, B, SR, H.D. LUSSEAU, A. FOOTE et 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.
- 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. et annexe.
- BASTASCH, M., M. FERNANDEZ-DIAZ, J. LORENZ et 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.
- 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.
- CARR, S.A., M.H. LAURINOLLI, C.D.S. TOLLEFSEN et 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. et annexes.
- COMMISSION ON GEOSCIENCES, ENVIRONMENT, AND RESOURCES (CGER). 1994. *Low-frequency sound and marine mammals: Current knowledge and research needs*. Committee on Low-Frequency Sound and Marine Mammals Ocean Studies Board. CGER, National Research Council. National Academy Press. Washington, DC. 75 p.

- COX, T.M., T.J. RAGEN, A.J. READ, E. VOS, R.W. BAIRD, K. BALCOMB, J. BARLOW, J. CALDWELL, T. CRANDFORD, L. CRUM, A. D'AMICO, G. D'SPAIN, A. FERNANDEZ, J. FINNERAN, R. GENTRY, W. GERTH, F. GULLAND, J. HILDEBRAND, D. HOUSERP, R. HULLAR, P.D. JEPSON, D. KETTEN, C.D. MACLEOD, P. MILLER, S. MOORE, D.C. MOUNTAIN, D. PALKA, P. PONGANIS, S. ROMMEL, T. ROWLES, B. TAYLOR, P. TYACK, D. WARTOK, R. GISINER, J. MEADS et L. BENNER. 2006. Understanding the impacts of anthropogenic sound on beaked whales. *Journal of Cetacean Research and Management* 7 (3): 177-187.
- 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 et K. BETKE. 2006. *Measurement and reduction of offshore wind turbine construction noise*. Dewek 2006 Conference, Bre4emen, 22-23 November 2006.
- 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. et annexes.
- GENIVAR. 2012. *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. et annexes.
- 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.
- ICF JONES & STOKES AND ILLINGWORTH et RODKIN INC. 2009. *Technical guidance for assessment and mitigation of the hydroacoustic effects of pile driving on fish*. Prepared for the California Department of Transportation. Sacramento, CA. 298 p.
- JEFFERSON, T.A., M.A. WEBBER et R.L. PITMAN. 2008. *Marine mammals of the world – A comprehensive guide to their identification*. Academic Press, New York. 573 p.
- ILLINWORTH & RODKIN INC. 2007. *Compendium of pile driving sound data*. Prepared for the California Department of Transportation. Sacramento, CA. 129 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 et 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, LA. 345 p.
- LAWSON, J. et 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.
- LONG, B. et R. XHARDÉ. 2012. *Étude d'impact. Évaluation des niveaux sonores dans le cadre de travaux routiers à Baie-Sainte-Catherine (Structure P-15739A)*. Rapport Q111317A de l'INRS-ETE au Consortium GENIVAR – CIMA+. 29 p.
- LURTON, X. 1998. *Acoustique sous-marine: présentation et applications*. IFREMER, Plouzane, France. 110 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 et 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.
- 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 et 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). 2004. *Cartographie des aires de concentration pour les mammifères marins dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent*. Pêches et Océans Canada. 2 p.
- 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.
- MINISTÈRE DES PÊCHES ET DES OCÉANS DU CANADA (MPO). 2012. *Réfection des embarcadères de Tadoussac et Baie-Sainte-Catherine, Québec - Effets potentiels sur les mammifères marins*. Secrétariat canadien de consultation scientifique Réponse des Sciences 2011/009. 13 p.

- MINISTÈRE DES PÊCHES ET DES OCÉANS DU CANADA (MPO). 2012. *Lettre d'avis en vertu de la Loi sur les pêches. Réfection des quais 1, 2 et 3 de l'aluminerie Alcoa de Baie-Comeau*. Lettre à l'attention de Monsieur Jean-Pierre Barry, Représentant environnement, Aluminerie Alcoa de Baie-Comeau, 16 mars 2012, réf. / 9515-35-1506. 4 p.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC (MDDEP). 2010. *Rapport d'analyse environnementale pour le projet d'amélioration et de réparations majeures et le programme décennal de dragage d'entretien des quais de Rivière-du-Loup sur le territoire de la Ville de Rivière-du-Loup par la Société des traversiers du Québec*. Gouvernement du Québec, Québec. 23 p. et annexes.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). 2003. *Taking and importing marine mammals; taking marine mammals incidental to conducting oil and gas exploration activities in the Gulf of Mexico*. Department of commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration. Federal Register 68 (41): 9991-9996.
- 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.
- 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.
- RICHARDSON, W.J., C.R.GREENE JR, C.I. MALME et D.H. THOMSON. 1995. *Marine mammals and noise*. Academic Press, New York. 576 p.
- RICHARDSON, W.J., G.W. MILLER et 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.
- SCHEIFELE, P. et R. MICHAUD. *Évaluation du bruit sous-marin généré par les opérations de sciage de roc au quai de Baie-Sainte-Catherine et évaluation des risques pour les mammifères marins de l'embouchure du Saguenay*. Groupe de recherche et d'éducation sur le milieu marin (GREMM). 16 p.

- SIMMONDS, M., S. DOLMAN et L. WEILGART. 2004. *Oceans of noise*. Whale and Dolphin Conservation Society. 164 p.
- SIMPKIN, P., IKB et INRS-ÉTÉ. 2003. *Exploration gazière et pétrolière du golfe du Saint-Laurent : Revue sommaire sur les impacts potentiels - Annexe 1 Rappel d'acoustique marine*. Pour le compte de Hydro-Québec, Pétrole et Gaz, Québec.
- 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 et P.L. TYACK. 2007. Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations. *Aquatic Mammals* **33** (4): 411-522.
- TALISMAN ENERGY. 2005. *Beatrice Windfarm Demonstrator Project environmental statement*. 418 p.
- VINCENT, M. 2007. *Éléments d'acoustique générale*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne. 430 p.
- WENZ, J. et 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. et 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.

6.2 Sites Internet

- FUTURA-SCIENCES. 2012. *Les baleines sont stressées par le bruit des navires*. Site Internet consulté le 24 avril 2012. Disponible [en ligne] : http://www.futura-sciences.com/fr/news/t/zoologie/d/les-baleines-sont-stressees-par-le-bruit-des-navires_36654/
- RÉSEAU D'OBSERVATION DE MAMMIFÈRES MARINS (ROMM). 2012. *Faune marine*. Site Internet consulté le 1^{er} mai 2012. Disponible [en ligne] : http://www.romm.ca/page.php?menu=5_0_0

Annexe 1

Reportage photographique

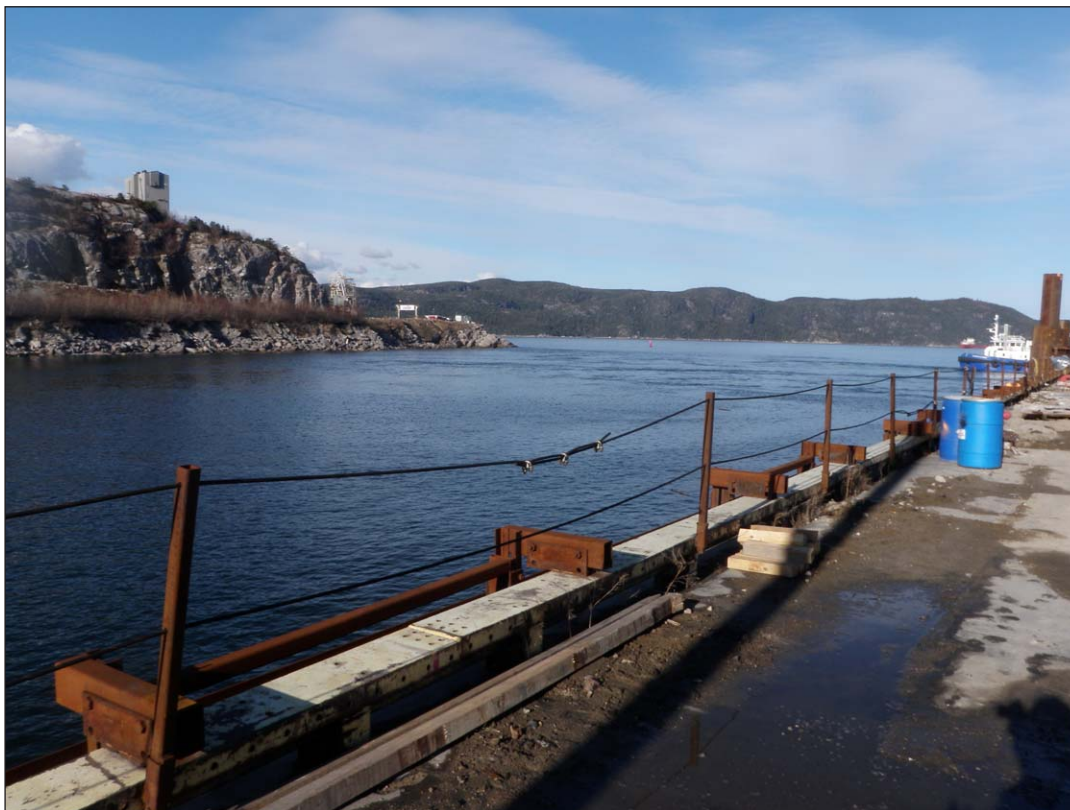


PHOTO 1 Vue partielle des lieux.



PHOTO 2 Vue partielle des quais en réfection.

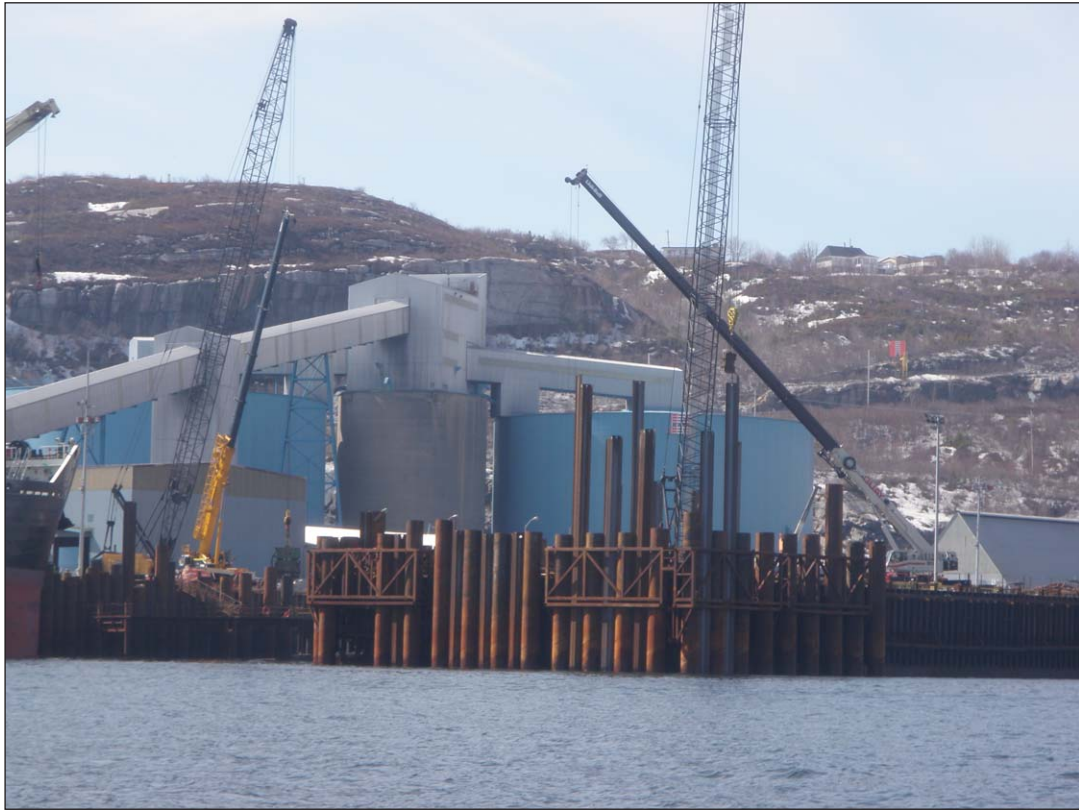


PHOTO 3 Vue partielle des quais en réfection.

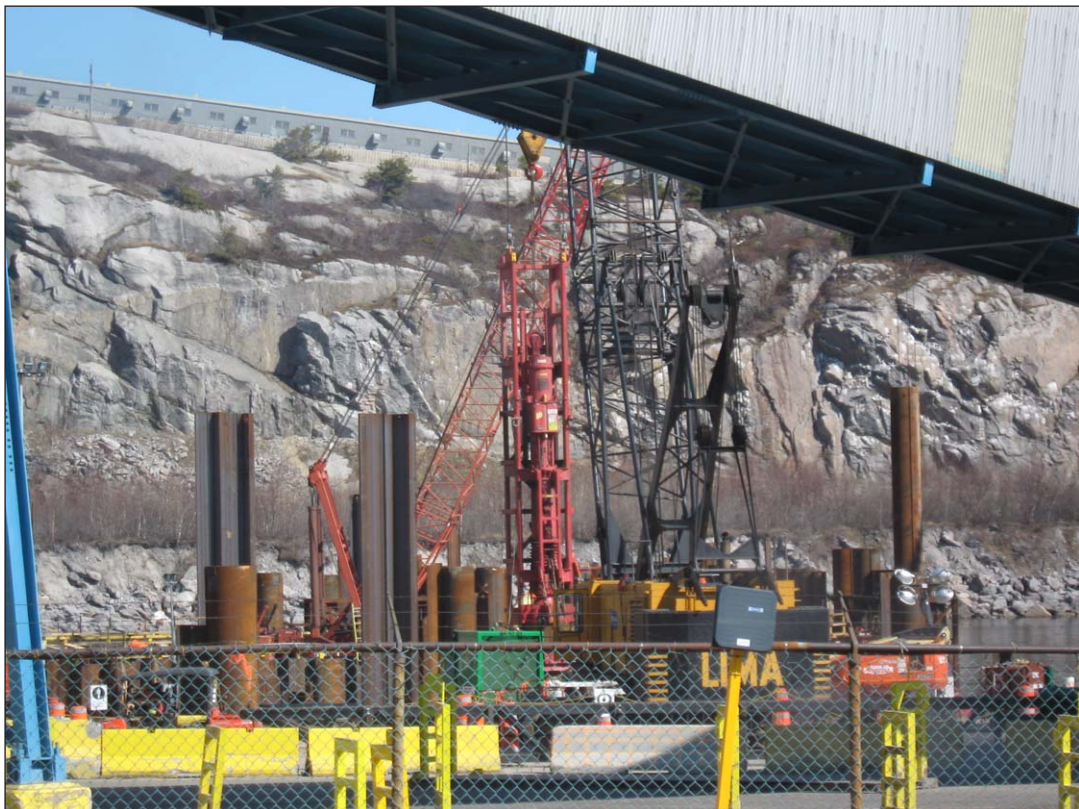


PHOTO 4 Vue partielle de la zone des travaux.



PHOTO 5 Prise de mesures dans l'anse du Moulin.



PHOTO 6 Prise de mesures en période d'accalmie des travaux de réfection.



PHOTO 7 Prise de mesures acoustiques.



PHOTO 8 Activité de battage de pieu.



PHOTO 9 Déchargement de navire.



PHOTO 10 Activité de battage de pieu.



PHOTO 11 Déchargement de navire.



PHOTO 12 Traffic maritime.



PHOTO 13 Passage du traversier.



PHOTO 14 Activité de battage de pieu.



PHOTO 15 Déplacement dans l'anse du Moulin.



PHOTO 16 Prise de mesures pendant le battage de pieu.



PHOTO 17 Vibrofonçage.



PHOTO 18 Préparation du matériel hydroacoustique.

Annexe 2

Calculs de l'atténuation sonore dans la baie des Anglais en fonction de la fréquence des sons émis et de la distance du point d'émission

Transect 1	Fréquence des sons émis								Bande large (250 – 16000 Hz)		
	250.0	400.0	630.0	1000.0	1600.0	2500.0	4000.0	6300.0		10000.0	16000.0
	$Y = 2.882 \ln(x) + 20.43$ $R^2 = 0.55$	$Y = 4.772 \ln(x) + 16.82$ $R^2 = 0.76$	$Y = 6.565 \ln(x) + 9.200$ $R^2 = 0.97$	$Y = 7.379 \ln(x) + 8.414$ $R^2 = 0.98$	$Y = 7.221 \ln(x) + 9.255$ $R^2 = 0.97$	$Y = 7.286 \ln(x) + 8.298$ $R^2 = 0.95$	$Y = 7.009 \ln(x) + 12.63$ $R^2 = 0.96$	$Y = 8.410 \ln(x) + 3.551$ $R^2 = 0.96$	$Y = 7.303 \ln(x) + 7.803$ $R^2 = 0.90$	$Y = 9.367 \ln(x) - 2.295$ $R^2 = 0.99$	$Y = 6.765 \ln(x) + 9.388$ $R^2 = 0.99$
Atténuation (dB)											
Distance du point d'émission											
5	25.1	24.5	19.8	20.3	20.9	20.0	23.9	17.1	19.6	12.8	20.4
10	27.1	27.8	24.3	25.4	25.9	25.1	28.8	22.9	24.6	19.3	25.1
25	29.7	32.2	30.3	32.2	32.5	31.8	35.2	30.6	31.3	27.9	31.4
50	31.7	35.5	34.9	37.3	37.5	36.8	40.0	36.5	36.4	34.3	36.1
75	32.9	37.4	37.5	40.3	40.4	39.8	42.9	39.9	39.3	38.1	38.9
100	33.7	38.8	39.4	42.4	42.5	41.9	44.9	42.3	41.4	40.8	40.8
150	34.9	40.7	42.1	45.4	45.4	44.8	47.7	45.7	44.4	44.6	43.6
200	35.7	42.1	44.0	47.5	47.5	46.9	49.8	48.1	46.5	47.3	45.5
250	36.3	43.2	45.4	49.2	49.1	48.5	51.3	50.0	48.1	49.4	47.1
300	36.9	44.0	46.6	50.5	50.4	49.9	52.6	51.5	49.5	51.1	48.3
400	37.7	45.4	48.5	52.6	52.5	52.0	54.6	53.9	51.6	53.8	50.3
500	38.3	46.5	50.0	54.3	54.1	53.6	56.2	55.8	53.2	55.9	51.8
600	38.9	47.3	51.2	55.6	55.4	54.9	57.5	57.3	54.5	57.6	53.0
700	39.3	48.1	52.2	56.8	56.6	56.0	58.5	58.6	55.6	59.1	54.1
800	39.7	48.7	53.1	57.7	57.5	57.0	59.5	59.8	56.6	60.3	55.0
900	40.0	49.3	53.9	58.6	58.4	57.9	60.3	60.8	57.5	61.4	55.8
1000	40.3	49.8	54.5	59.4	59.1	58.6	61.0	61.6	58.3	62.4	56.5

Equations des courbes

Transect 1
(suite)

Distance du point d'émission	Fréquence des sons émis										Bande large (250 – 16000 Hz)
	250.0	400.0	630.0	1000.0	1600.0	2500.0	4000.0	6300.0	10000.0	16000.0	
Atténuation (dB)											
1250	41.0	50.8	56.0	61.0	60.7	60.3	62.6	63.5	59.9	64.5	58.0
1500	41.5	51.7	57.2	62.4	62.1	61.6	63.9	65.1	61.2	66.2	59.3
1750	42.0	52.5	58.2	63.5	63.2	62.7	65.0	66.4	62.3	67.7	60.3
2000	42.3	53.1	59.1	64.5	64.1	63.7	65.9	67.5	63.3	68.9	61.2
2500	43.0	54.2	60.6	66.1	65.8	65.3	67.5	69.4	64.9	71.0	62.8
3000	43.5	55.0	61.8	67.5	67.1	66.6	68.7	70.9	66.3	72.7	64.0

Fréquence des sons émis

Transect 2 **250.0** **400.0** **630.0** **1000.0** **1600.0** **2500.0** **4000.0** **6300.0** **10000.0** **16000.0** **Bande large (250 – 16000 Hz)**

$Y = 4.868 \ln(x) + 9.312$
 $R^2 = 0.74$

$Y = 6.455 \ln(x) + 10.66$
 $R^2 = 0.96$

$Y = 7.226 \ln(x) + 5.834$
 $R^2 = 0.96$

$Y = 7.608 \ln(x) + 6.692$
 $R^2 = 0.96$

$Y = 7.183 \ln(x) + 8.741$
 $R^2 = 0.95$

$Y = 7.532 \ln(x) + 7.164$
 $R^2 = 0.92$

$Y = 7.268 \ln(x) + 11.55$
 $R^2 = 0.97$

$Y = 9.819 \ln(x) - 3.399$
 $R^2 = 0.96$

$Y = 7.419 \ln(x) + 9.043$
 $R^2 = 0.88$

$Y = 9.107 \ln(x) - 2.945$
 $R^2 = 0.884$

$Y = 7.448 \ln(x) + 6.266$
 $R^2 = 0.96$

Equations des courbes

Distance du point d'émission

Atténuation (dB)

5	17.1	21.0	17.5	18.9	20.3	19.3	23.2	12.4	21.0	11.7	18.3
10	20.5	25.5	22.5	24.2	25.3	24.5	28.3	19.2	26.1	18.0	23.4
25	25.0	31.4	29.1	31.2	31.9	31.4	34.9	28.2	32.9	26.4	30.2
50	28.4	35.9	34.1	36.5	36.8	36.6	40.0	35.0	38.1	32.7	35.4
75	30.3	38.5	37.0	39.5	39.8	39.7	42.9	39.0	41.1	36.4	38.4
100	31.7	40.4	39.1	41.7	41.8	41.9	45.0	41.8	43.2	39.0	40.6
150	33.7	43.0	42.0	44.8	44.7	44.9	48.0	45.8	46.2	42.7	43.6
200	35.1	44.9	44.1	47.0	46.8	47.1	50.1	48.6	48.4	45.3	45.7
250	36.2	46.3	45.7	48.7	48.4	48.8	51.7	50.8	50.0	47.3	47.4
300	37.1	47.5	47.0	50.1	49.7	50.1	53.0	52.6	51.4	49.0	48.7
400	38.5	49.3	49.1	52.3	51.8	52.3	55.1	55.4	53.5	51.6	50.9
500	39.6	50.8	50.7	54.0	53.4	54.0	56.7	57.6	55.1	53.7	52.6
600	40.5	52.0	52.1	55.4	54.7	55.3	58.0	59.4	56.5	55.3	53.9
700	41.2	52.9	53.2	56.5	55.8	56.5	59.2	60.9	57.6	56.7	55.1
800	41.9	53.8	54.1	57.5	56.8	57.5	60.1	62.2	58.6	57.9	56.1
900	42.4	54.6	55.0	58.4	57.6	58.4	61.0	63.4	59.5	59.0	56.9
1000	42.9	55.2	55.7	59.2	58.4	59.2	61.8	64.4	60.3	60.0	57.7

Transect 2
(suite)

Fréquence des sons émis

**250.0 400.0 630.0 1000.0 1600.0 2500.0 4000.0 6300.0 10000.0 16000.0 Bande large
(250 – 16000 Hz)**

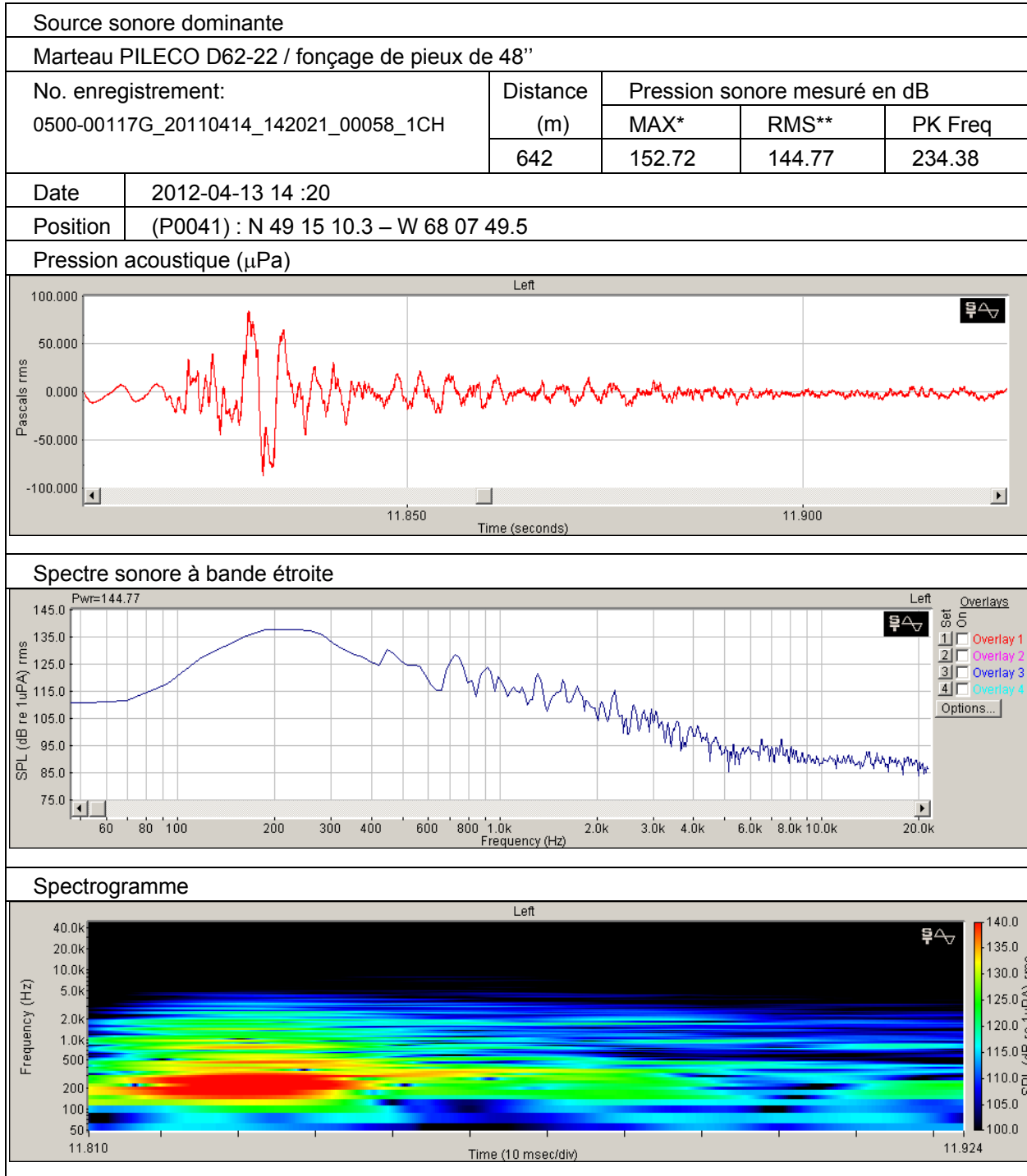
**Distance du point
d'émission**

Atténuation (dB)

1250	44.0	56.7	57.4	60.9	60.0	63.4	66.6	61.9	62.0	59.4
1500	44.9	57.9	58.7	62.3	61.3	64.7	68.4	63.3	63.7	60.7
1750	45.7	58.9	59.8	63.5	62.4	65.8	69.9	64.4	65.1	61.9
2000	46.3	59.7	60.8	64.5	63.3	66.8	71.2	65.4	66.3	62.9
2500	47.4	61.2	62.4	66.2	64.9	68.4	73.4	67.1	68.3	64.5
3000	48.3	62.3	63.7	67.6	66.3	69.7	75.2	68.4	70.0	65.9
4000	49.7	64.2	65.8	69.8	68.3	71.8	78.0	70.6	72.6	68.0
5000	50.8	65.6	67.4	71.5	69.9	73.5	80.2	72.2	74.6	69.7

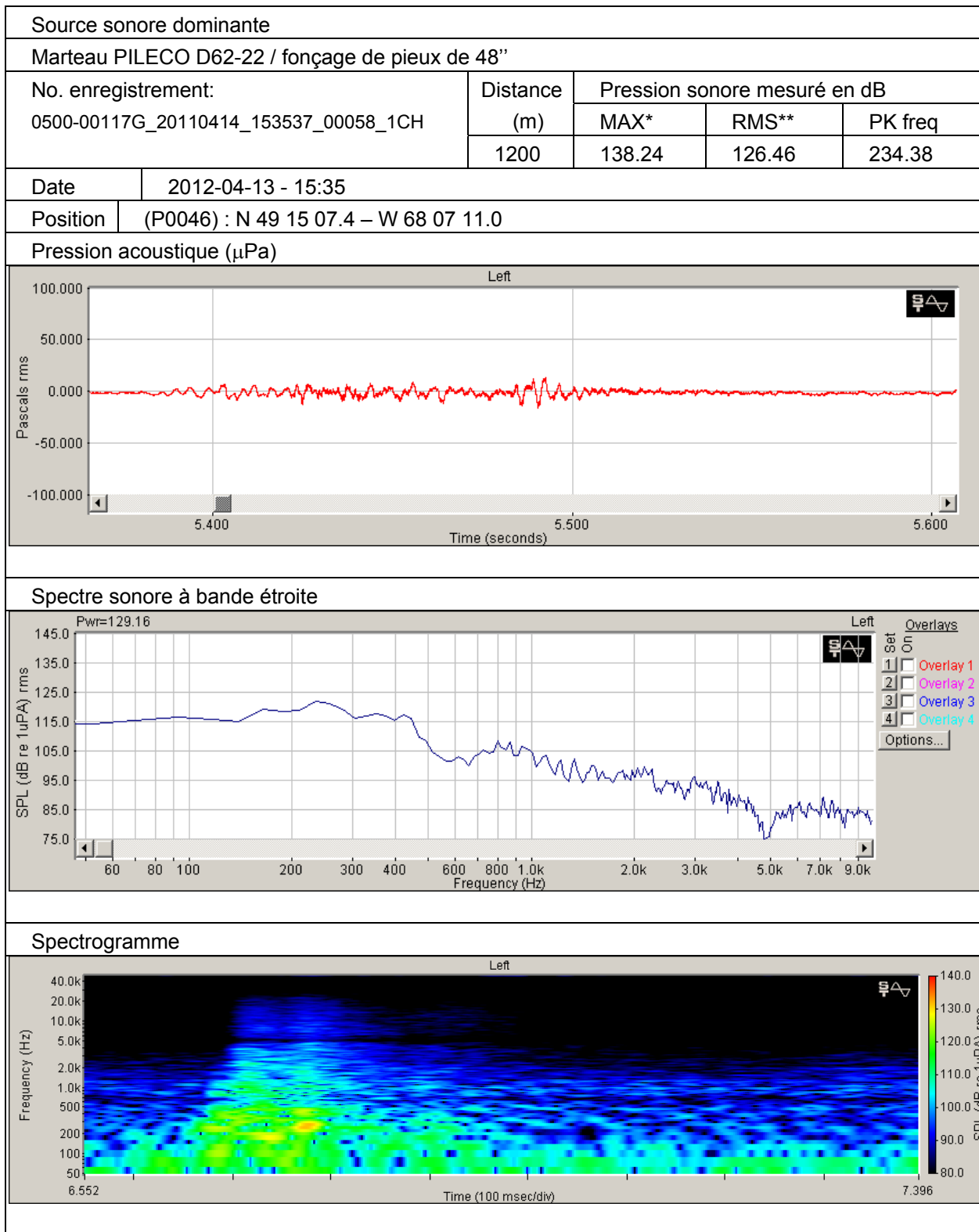
Annexe 3

Quelques analyses spectrales typiques des enregistrements sous-marins réalisés dans l'anse du Moulin et la baie des Anglais en avril 2012.



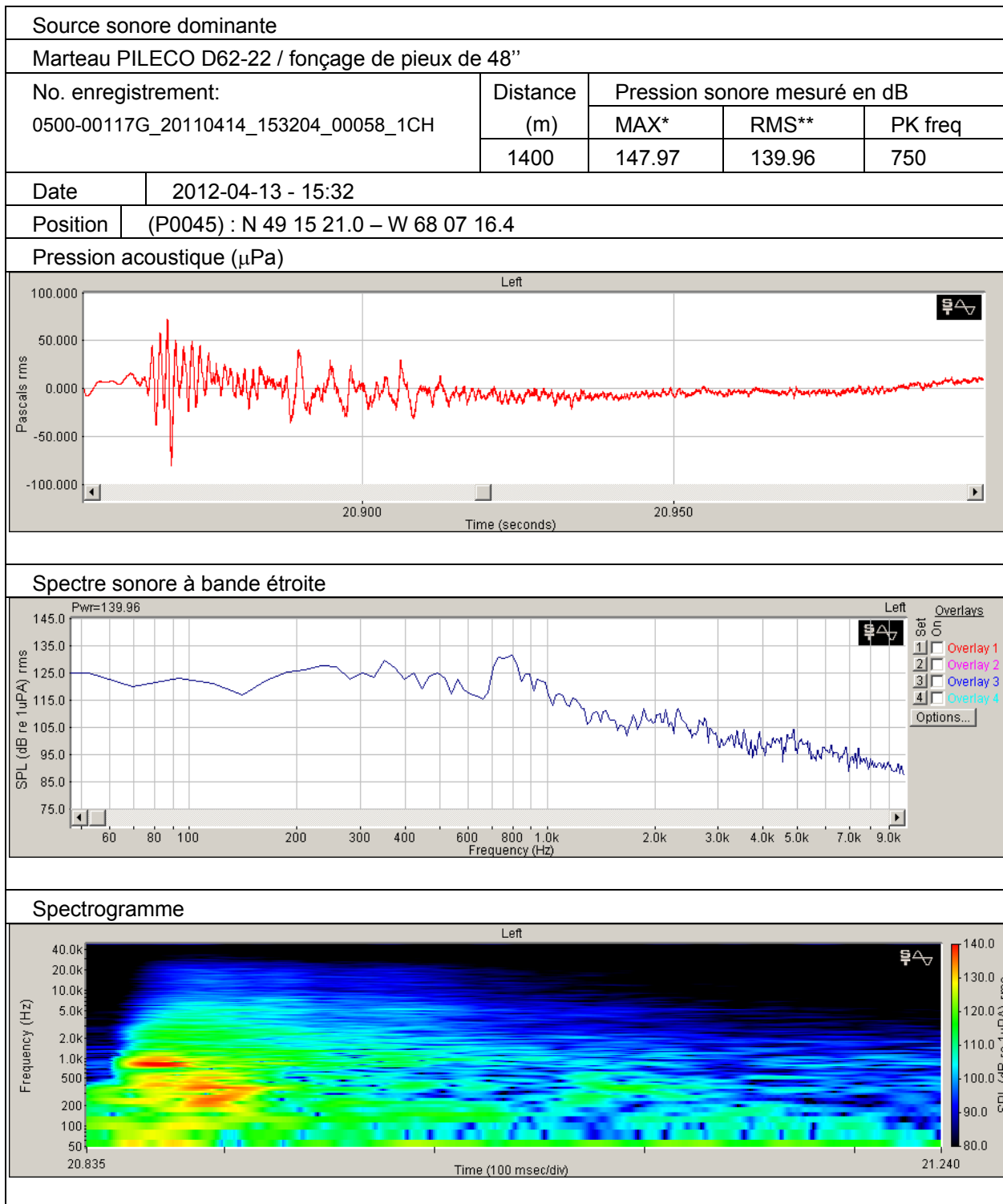
* pression sonore instantanée maximale mesurée

** pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms



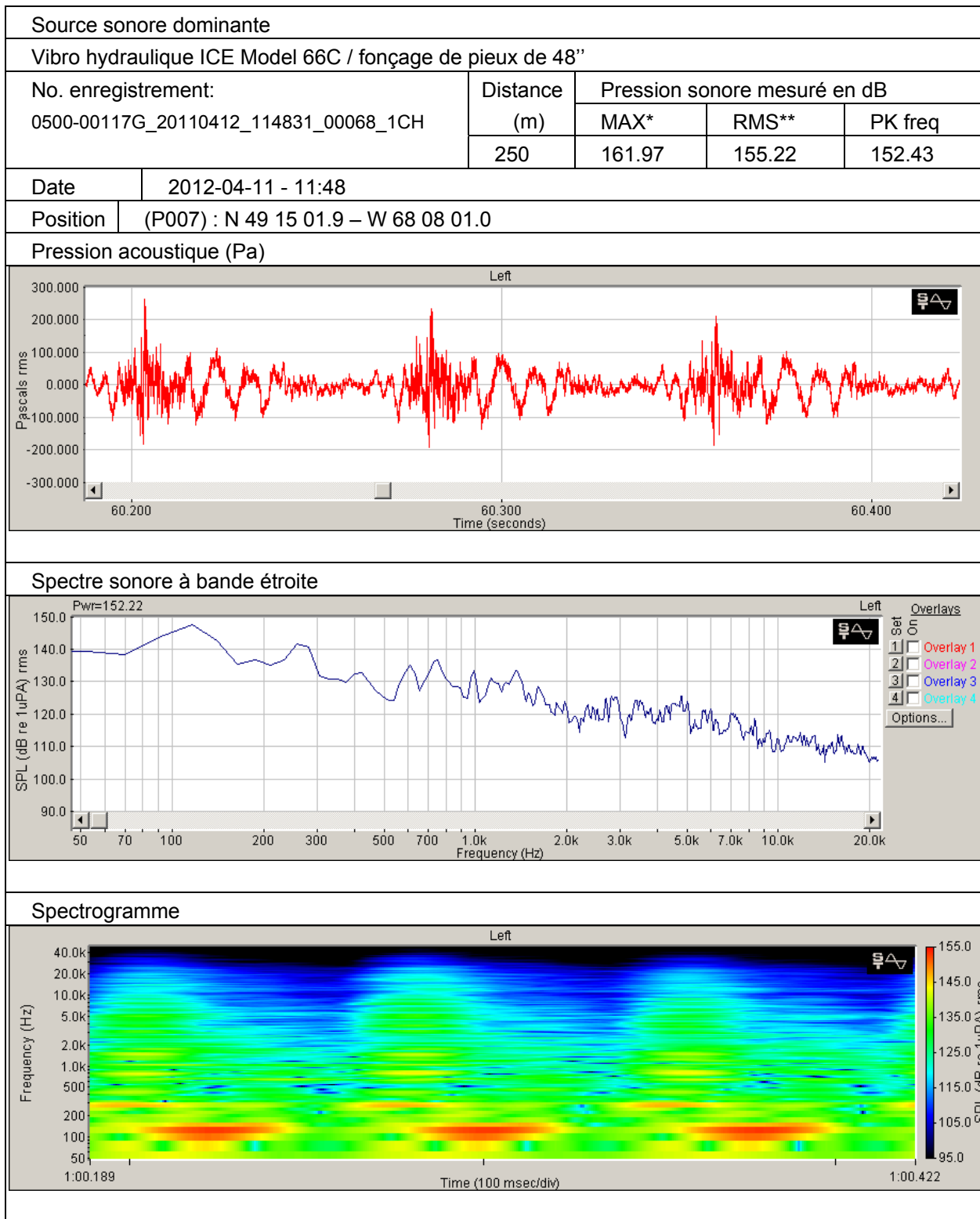
* pression sonore instantanée maximale mesurée

** pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms



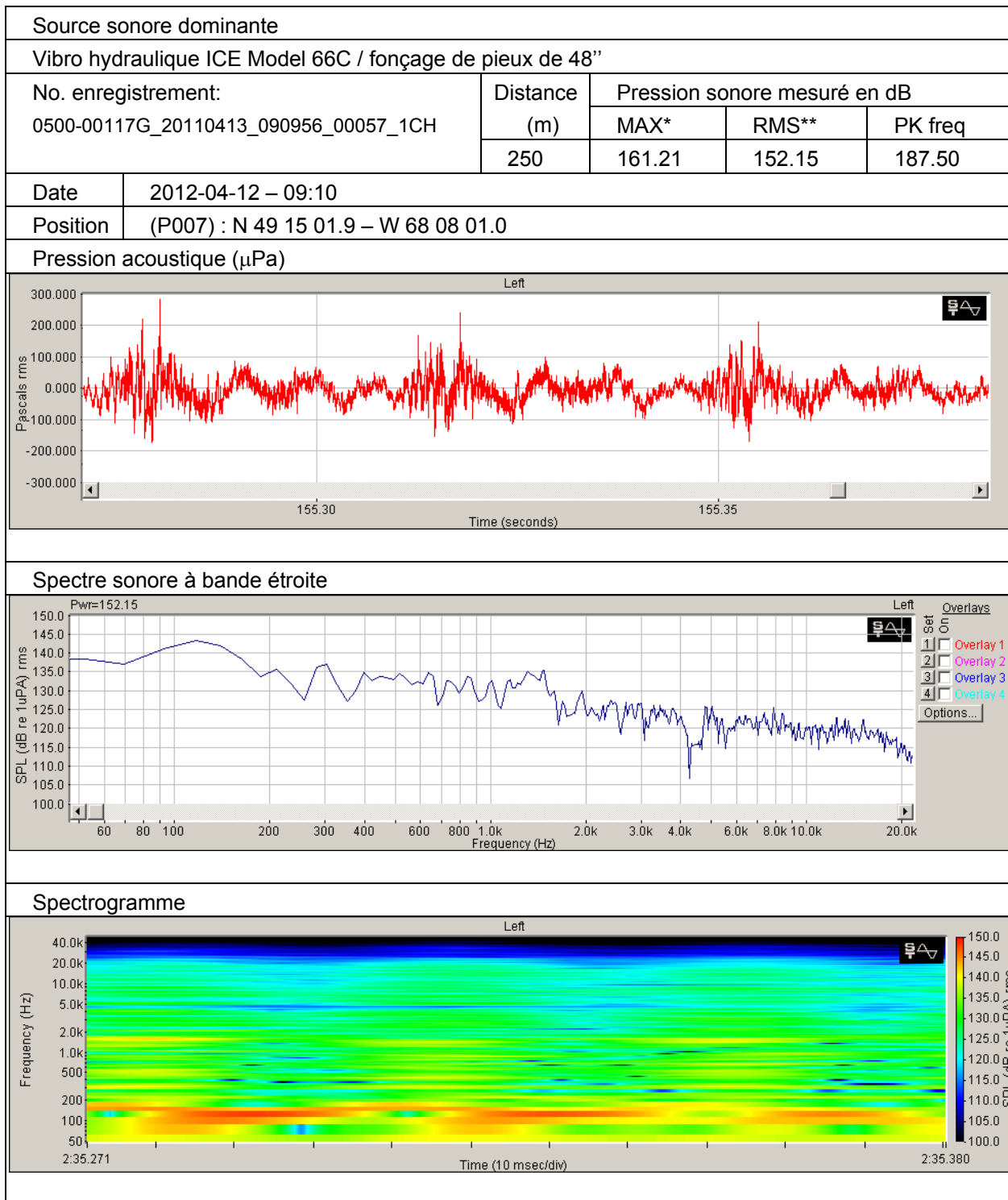
* pression sonore instantanée maximale mesurée

** pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms



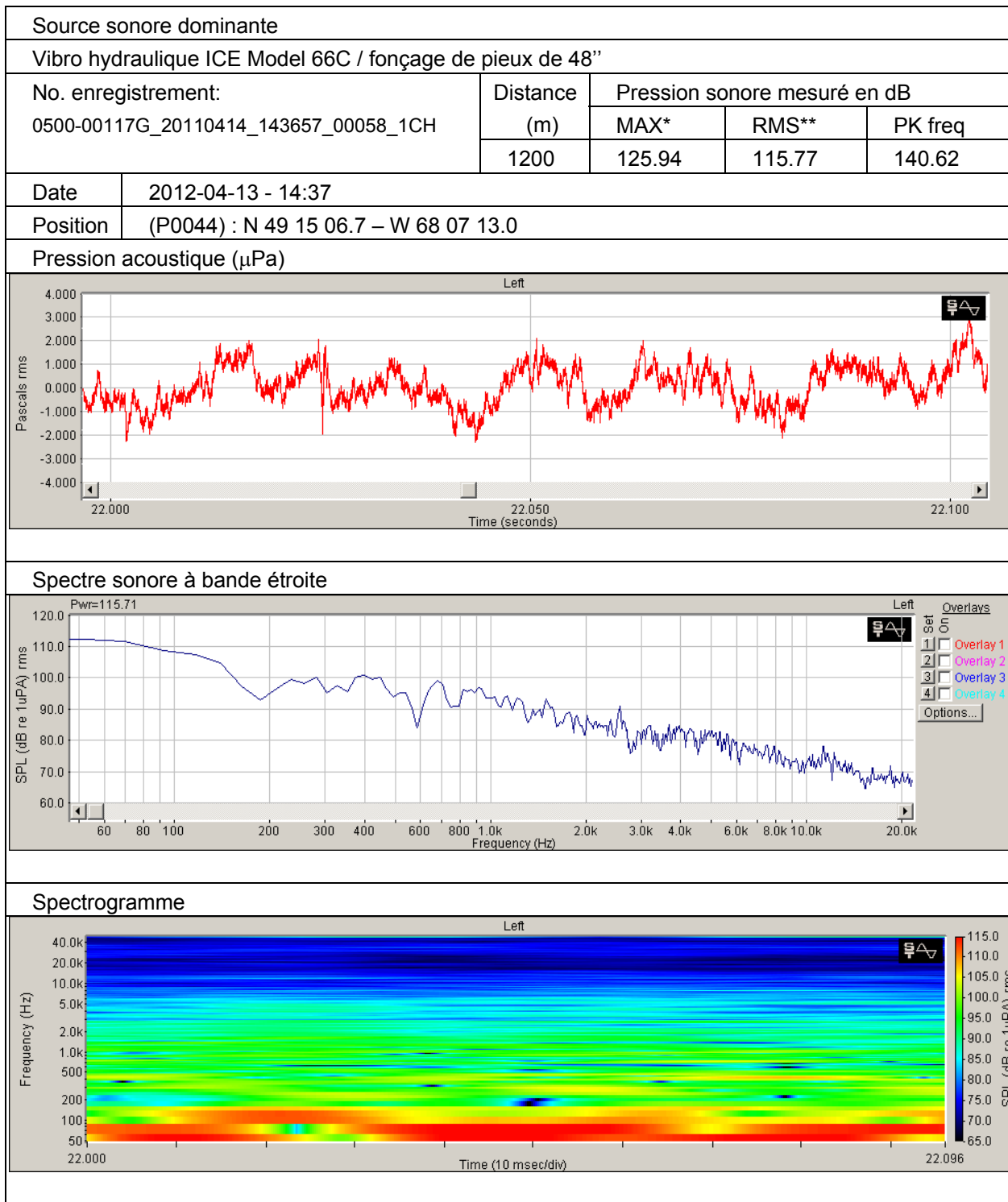
* pression sonore instantanée maximale mesurée

** pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms



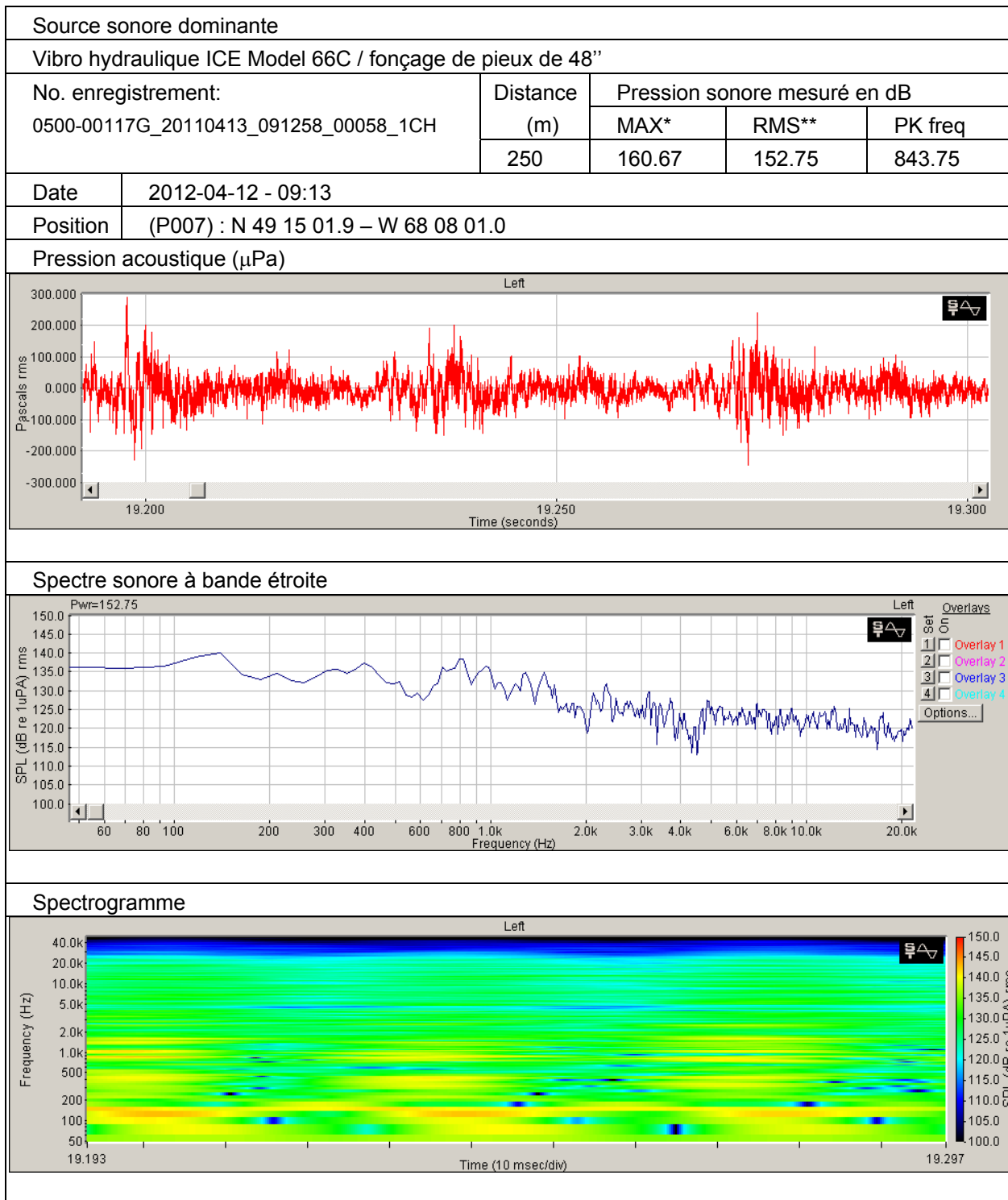
* pression sonore instantanée maximale mesurée

** pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms



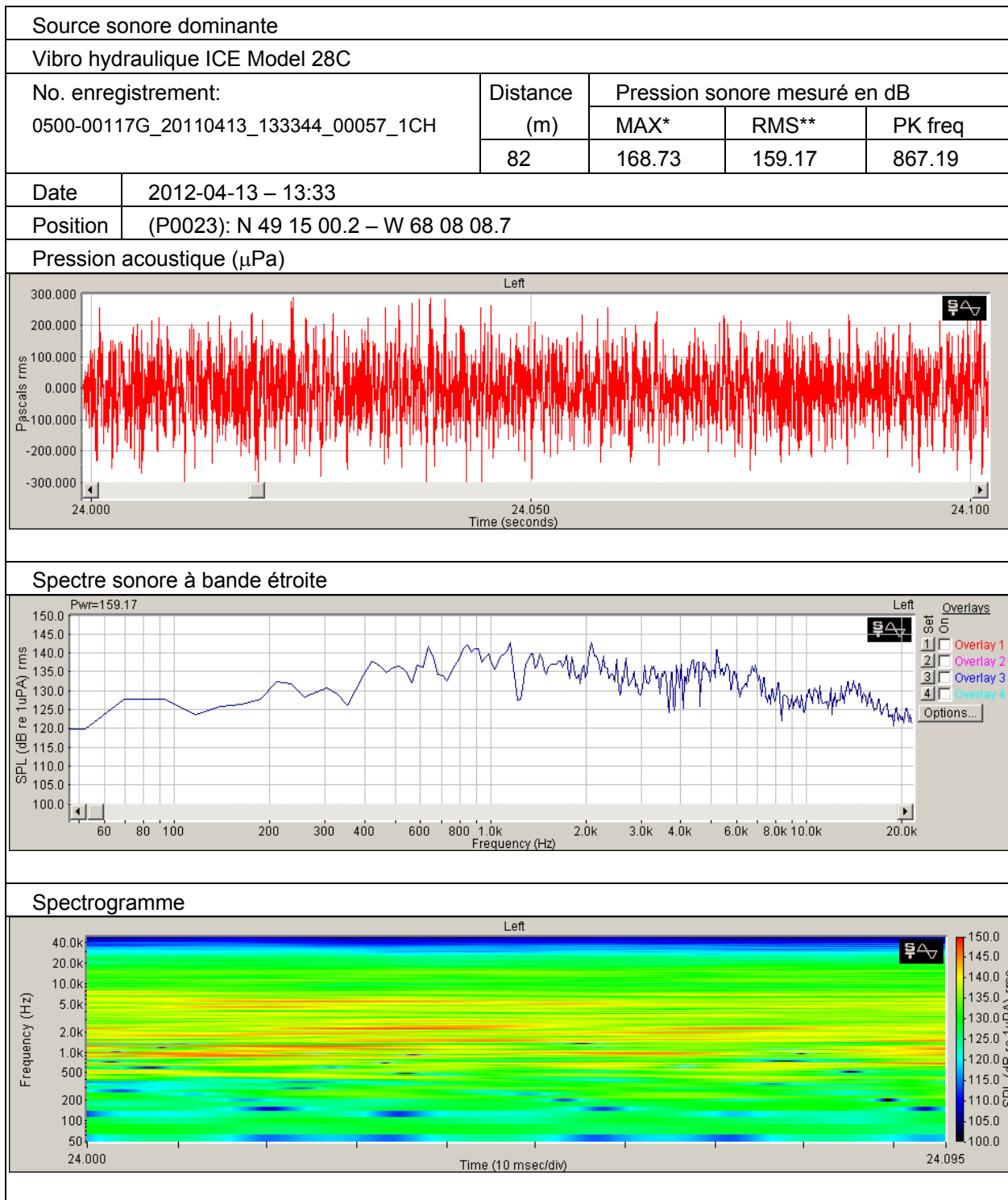
* pression sonore instantanée maximale mesurée

** pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms



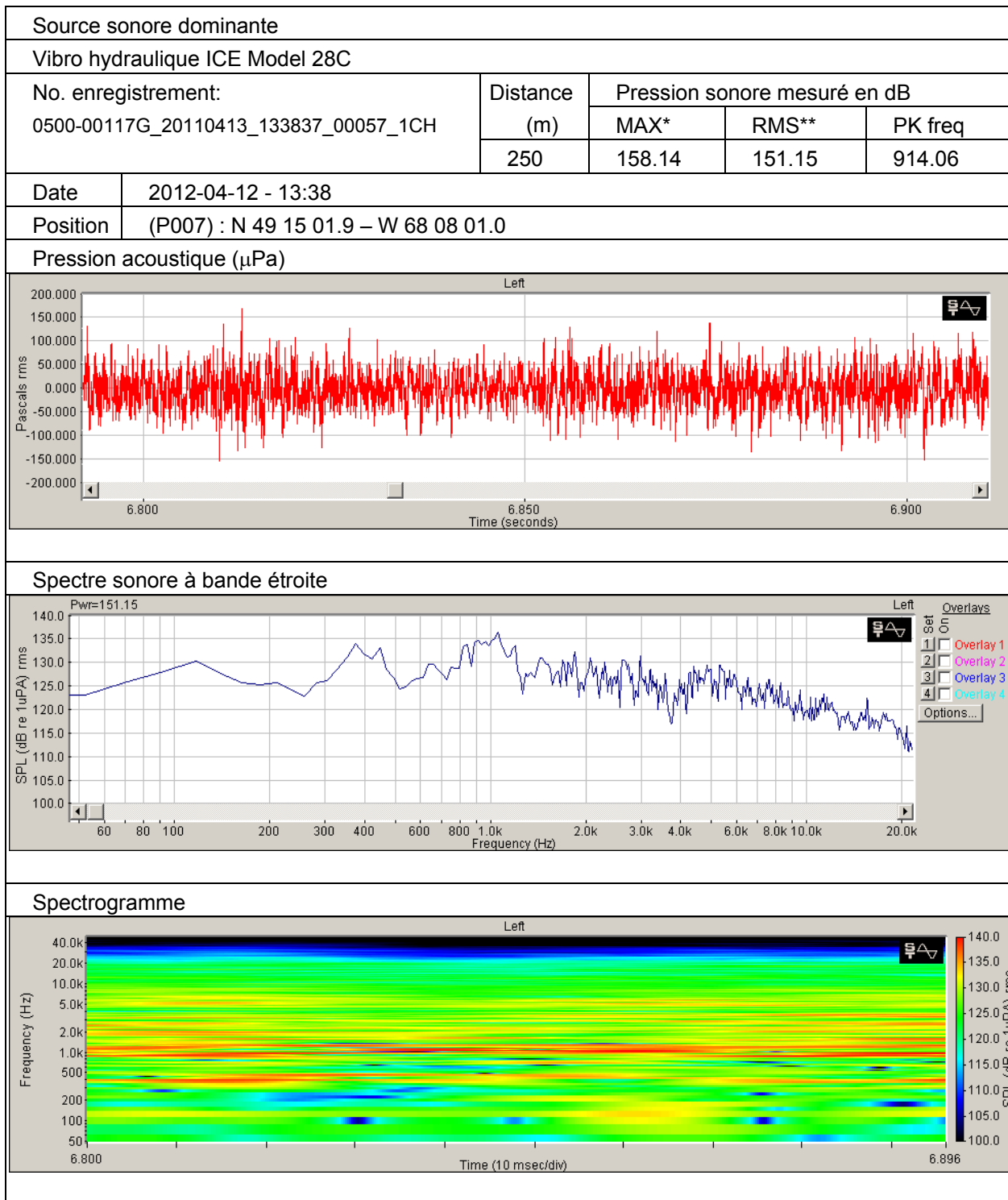
* pression sonore instantanée maximale mesurée

** pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms



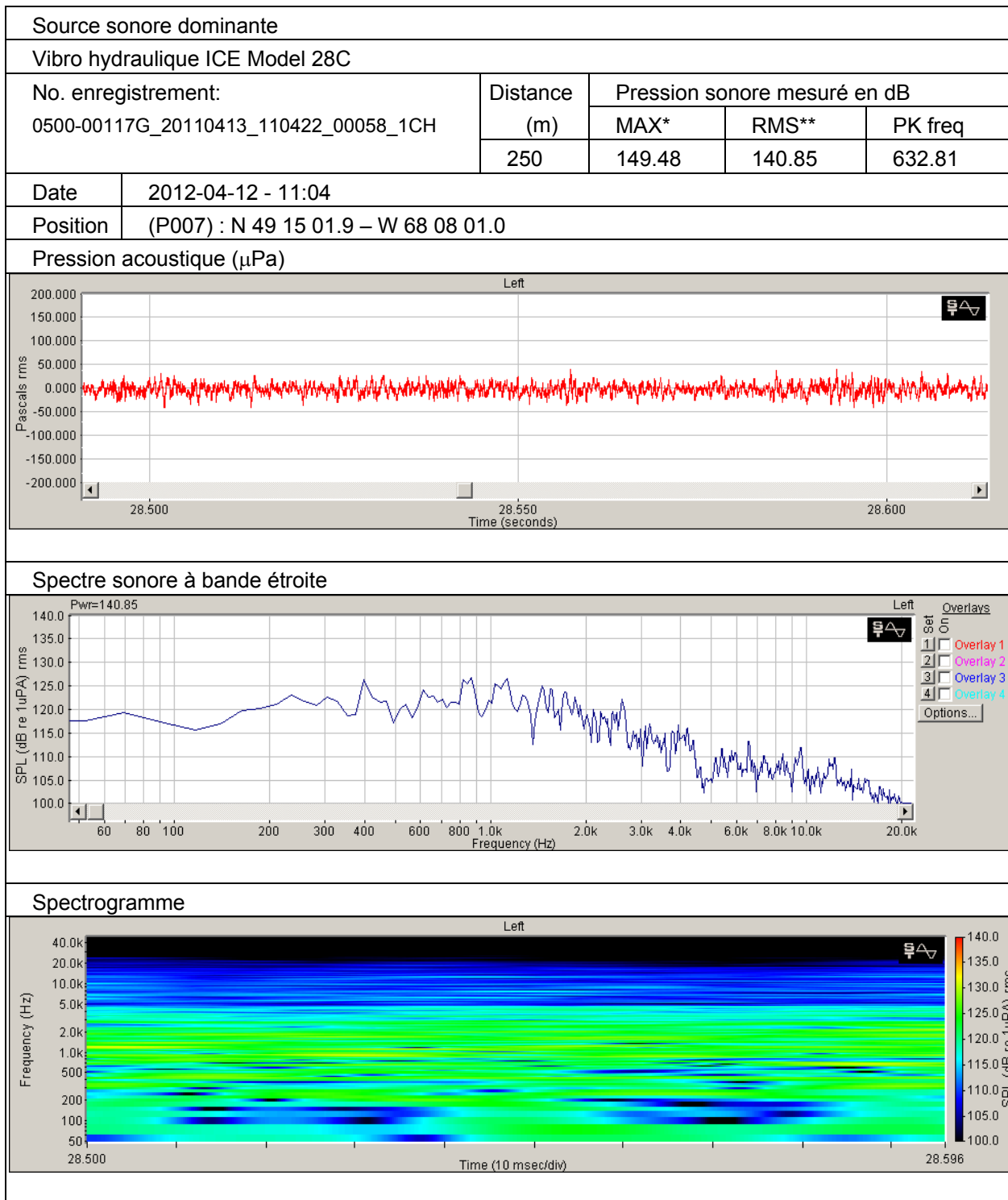
* pression sonore instantanée maximale mesurée

** pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms



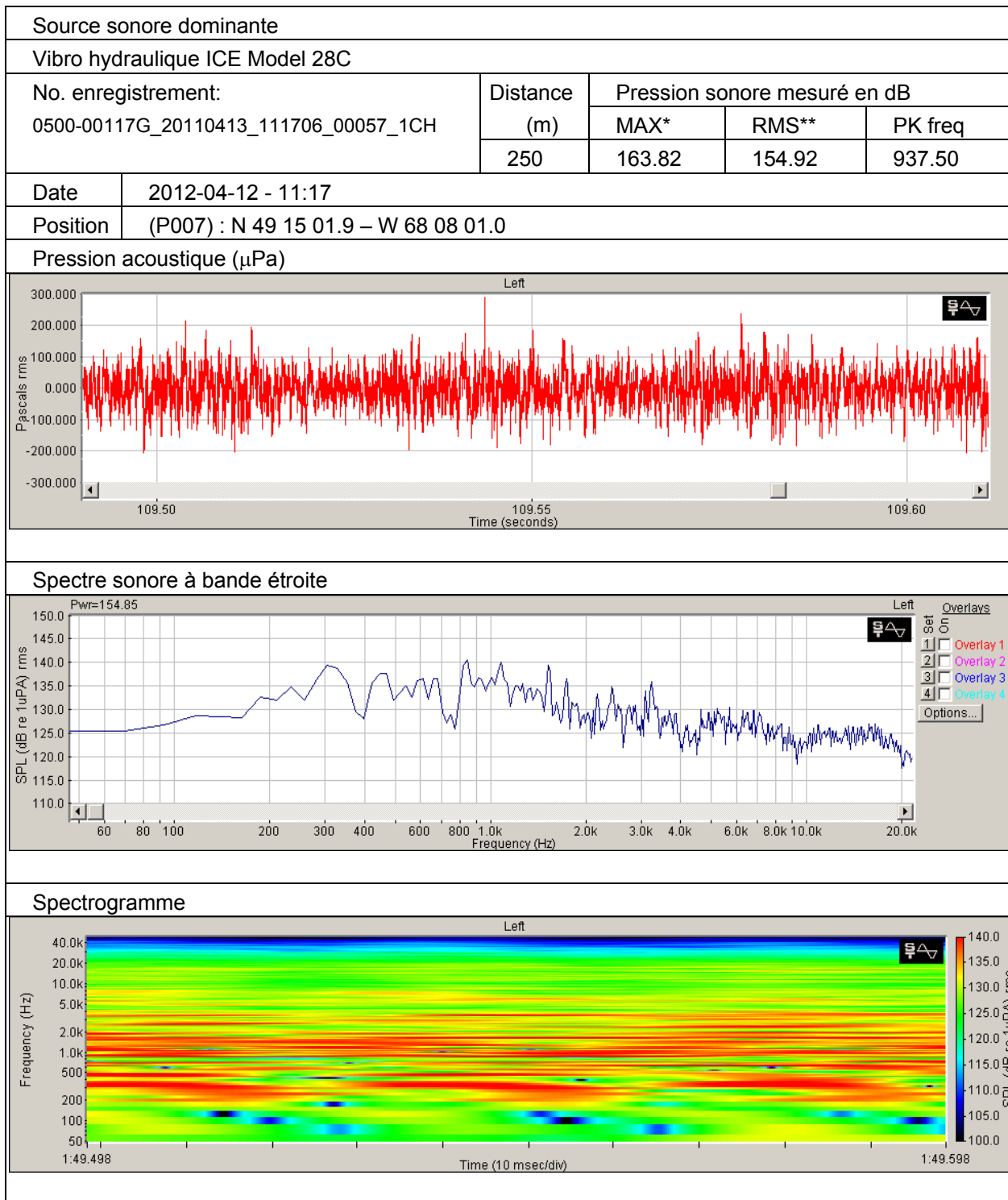
* pression sonore instantanée maximale mesurée

** pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms



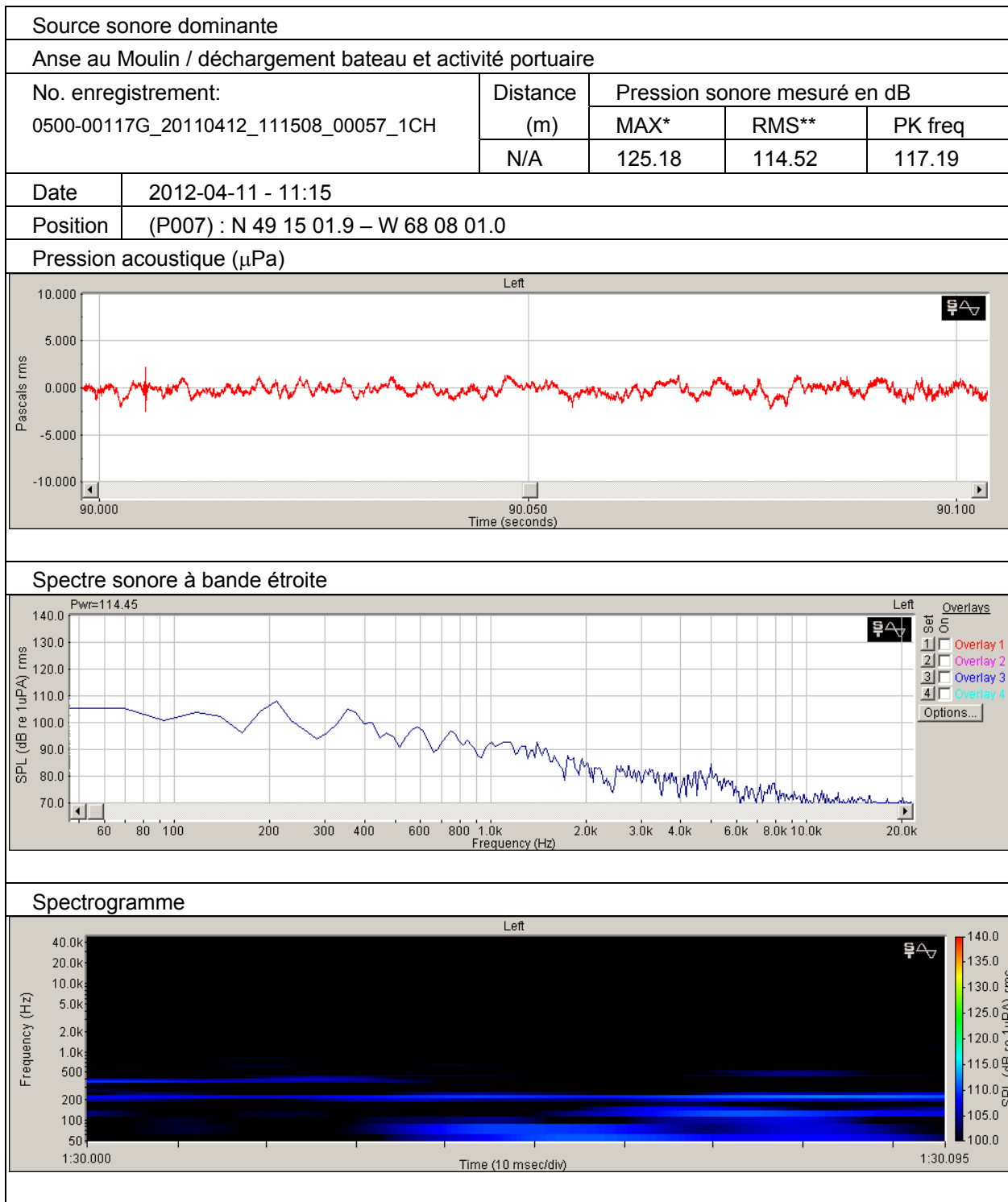
* pression sonore instantanée maximale mesurée

** pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms



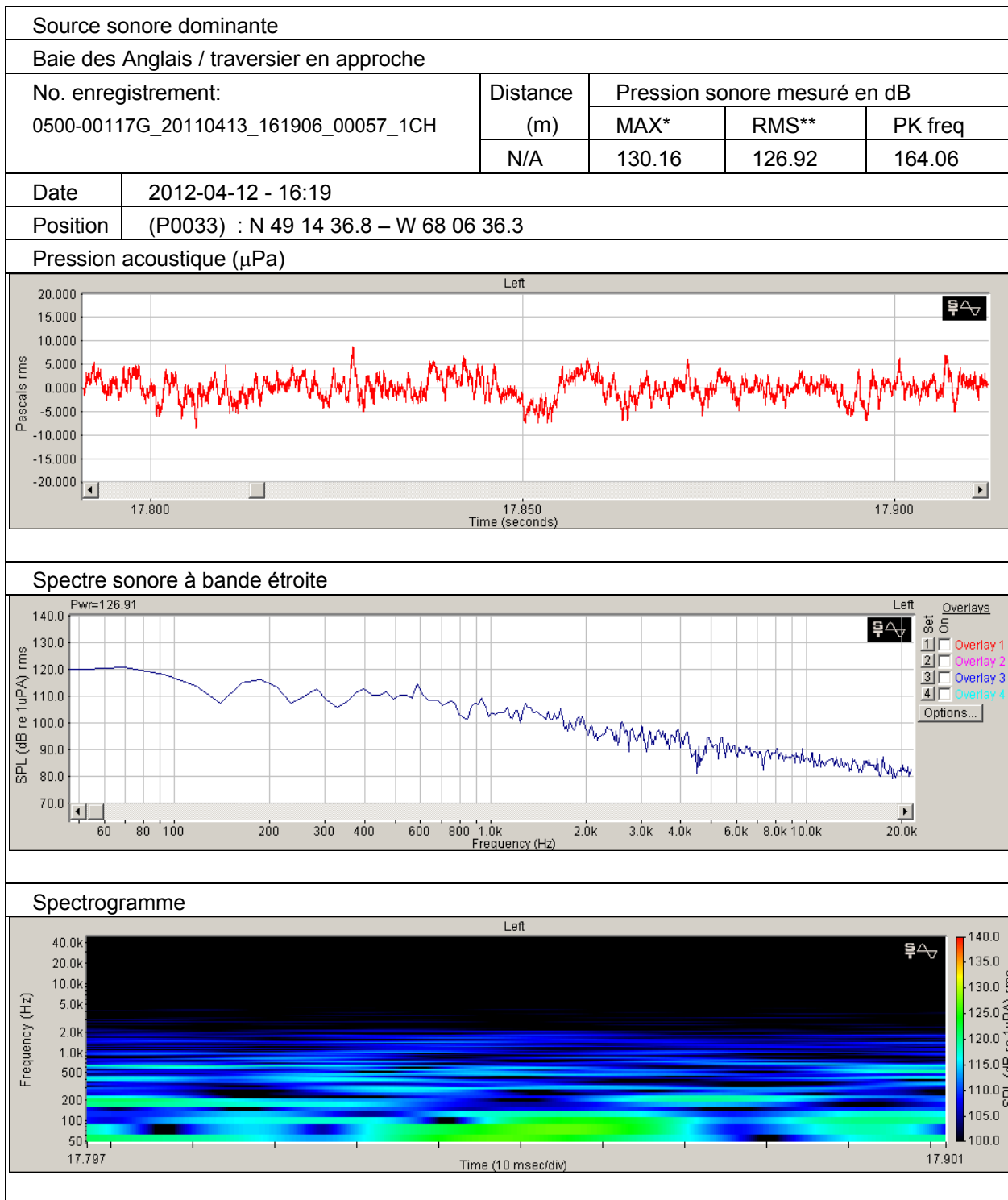
* pression sonore instantanée maximale mesurée

** pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms



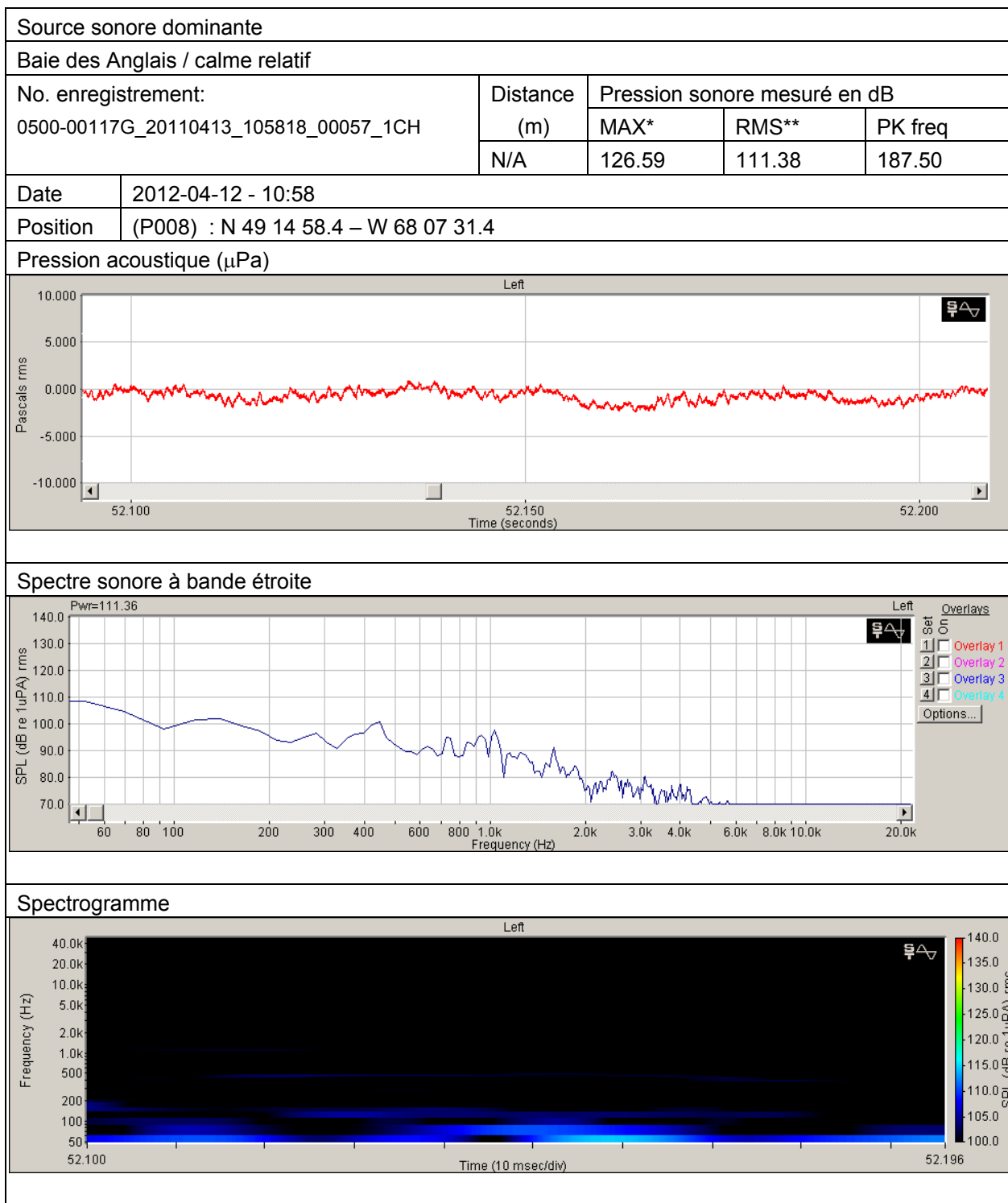
* pression sonore instantanée maximale mesurée

** pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms



* pression sonore instantanée maximale mesurée

** pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms



* pression sonore instantanée maximale mesurée

** pression sonore efficace, calculée sur une durée de 100 ms