



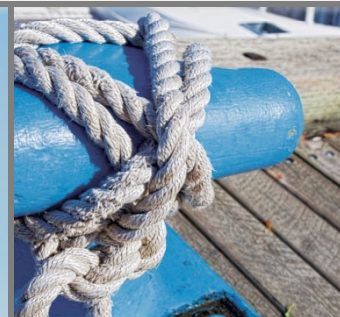
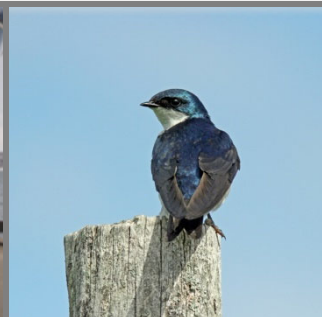
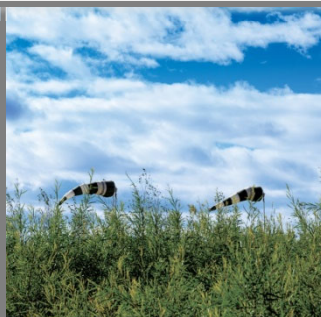
**TERMINAL DE CONTENEURS
EN EAU PROFONDE**

LAURENTIA

JUIN 2020



**ENVIRONNEMENT SONORE SUBAQUATIQUE
PRÉSENTÉ À L'AGENCE D'ÉVALUATION D'IMPACT DU CANADA
(AÉIC)**





<original signed by>

Préparé par :

Philippe Charest-Gélinas
Chargé de projet
Études environnementales et relations
avec les communautés

<original signed by>

Vérfié par :

Catherine Lalumière
Chargée de projet en environnement et
directrice adjointe de service
Études environnementales et relations
avec les communautés

Registre des révisions et émissions		
N° de révision	Date	Description
0A	2020-03-12	Émission de la version préliminaire
0B	2020-03-13	Émission de la version préfinale
00	2020-06-25	Émission de la version finale

Propriété et confidentialité

« Ce document est destiné exclusivement aux fins qui y sont mentionnées. Toute utilisation du rapport doit prendre en considération l'objet et la portée du mandat en vertu duquel le rapport a été préparé ainsi que les limitations et conditions qui y sont spécifiées et l'état des connaissances scientifiques au moment de l'émission du rapport. Englobe Corp. ne fournit aucune garantie ni ne fait aucune représentation autre que celles expressément contenues dans le rapport.

Ce document est l'œuvre d'Englobe Corp. Toute reproduction, diffusion ou adaptation, partielle ou totale, est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite d'Englobe et de son Client. Pour plus de certitude, l'utilisation d'extraits du rapport est strictement interdite sans l'autorisation écrite d'Englobe et de son Client, le rapport devant être lu et considéré dans sa forme intégrale.

Aucune information contenue dans ce rapport ne peut être utilisée par un tiers sans l'autorisation écrite d'Englobe et de son Client. Englobe Corp. se dégage de toute responsabilité pour toute reproduction, diffusion, adaptation ou utilisation non autorisée du rapport.

Si des essais ont été effectués, les résultats de ces essais ne sont valides que pour l'échantillon décrit dans le présent rapport.

Les sous-traitants d'Englobe qui auraient réalisé des travaux au chantier ou en laboratoire sont dûment évalués selon la procédure relative aux achats de notre système qualité. Pour toute information complémentaire ou de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec votre chargé de projet. »

TABLE DES MATIÈRES

8	ENVIRONNEMENT SONORE SUBAQUATIQUE	8-1
8.1	Mise en Contexte	8-1
8.2	Activités réalisées depuis le dépôt du document de réponses aux questions	8-2
8.3	Zone d'étude	8-2
8.4	Précisions sur l'État de référence	8-5
8.5	Évaluation des effets sur l'environnement sonore subaquatique	8-5
8.5.1	Phase de construction	8-6
8.5.1.1	Sources d'effets et effets négatifs potentiels	8-6
8.5.1.2	Mesures d'atténuation	8-6
8.5.1.3	Description détaillée de l'effet négatif résiduel	8-6
8.5.1.4	Évaluation de l'effet négatif résiduel	8-7
8.5.2	Phase d'exploitation	8-8
8.6	Évaluation des effets cumulatifs sur l'environnement sonore subaquatique	8-8
8.7	Surveillance environnementale	8-8
8.7.1	Objectifs	8-8
8.7.2	Paramètres, méthodologie et échéancier	8-8
8.7.3	Mécanismes d'intervention en cas de non-respect des exigences	8-8
8.7.4	Accessibilité et partage des résultats	8-9
8.8	Suivi environnemental	8-9
8.9	Références bibliographiques	8-10

Tableau

Tableau 8-1	Seuils d'effets physiologiques des bruits de nature impulsive ou continue pour les poissons et les mammifères marins – Pressions sonores (SPL) et niveaux d'exposition (SEL)	8-5
-------------	--	-----

Carte

Carte 8-1	Zones d'étude	8-3
-----------	---------------------	-----

Annexe

Annexe A	Bruit sous-marin potentiellement émis par des travaux de consolidation des sols	8-11
----------	---	------

ENVIRONNEMENT SONORE SUBAQUATIQUE

QUESTIONS DE L'ACÉE

SECTION OÙ TROUVER LA RÉPONSE

Il n'y a aucune question de l'Agence sur cette composante dans la deuxième série de questions et de commentaires.

8 ENVIRONNEMENT SONORE SUBAQUATIQUE

8.1 MISE EN CONTEXTE

En mai 2019, l'Administration portuaire de Québec (APQ) a conclu un accord commercial à long terme avec Hutchison Ports et la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (le CN) en vue de la construction et de l'exploitation du nouveau terminal de conteneurs en eau profonde qui sera aménagé dans le secteur de Beauport (projet Laurentia). Cet accord et l'étroite collaboration entre les partenaires ont permis de préciser la configuration détaillée des installations nécessaires à l'exploitation d'un terminal à la fine pointe de la technologie.

Dans le contexte du processus d'évaluation environnementale en cours, l'objectif de ce document est donc de fournir à l'Agence d'évaluation d'impact du Canada (AÉIC)¹ des renseignements suffisamment détaillés pour qu'elle puisse poursuivre l'analyse des effets du projet Laurent sur l'environnement sonore subaquatique. En se basant à la fois sur les questions et les commentaires reçus de l'AÉIC (9 et 23 août 2019), ainsi que sur les précisions et les améliorations proposées au projet Laurentia (voir le livrable *Description des optimisations au projet Laurentia et effets anticipés*), ce document est structuré de manière à respecter les différentes étapes du processus d'évaluation environnementale pour une composante environnementale spécifique :

- ▶ Les activités réalisées depuis le dépôt du document de réponses aux questions;
- ▶ Les précisions à l'état de référence;
- ▶ L'évaluation des effets sur l'environnement sonore subaquatique;
- ▶ L'évaluation des effets cumulatifs;
- ▶ La surveillance environnementale;
- ▶ Le suivi environnemental;
- ▶ La compensation.

Le document de réponses spécifique à l'environnement sonore subaquatique s'inscrit donc dans la continuité du processus en cours d'évaluation environnementale par l'AÉIC ainsi que des efforts de l'APQ et de ses partenaires pour proposer un projet intégré qui tient compte de l'évolution des connaissances et des préoccupations recueillies auprès des différentes parties prenantes rencontrées depuis avril 2018.

Enfin, un tableau est, lorsque requis, inséré au début de chacune des sections par souci de clarté et pour faciliter le repérage des réponses formulées.

¹ Anciennement nommée l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (ACÉE).

8.2 ACTIVITÉS RÉALISÉES DEPUIS LE DÉPÔT DU DOCUMENT DE RÉPONSES AUX QUESTIONS

Depuis le dépôt à l'AEIC du document de réponses aux questions le 30 avril 2018, certaines activités spécifiques à l'environnement sonore subaquatique ont été réalisées dans le contexte du projet Laurentia.

Les optimisations apportées au projet et touchant l'environnement sonore subaquatique concernent le battage de 406 pieux de 610 mm de diamètre qui seront foncés sur une profondeur d'environ 14 m sur deux rangées derrière la ligne de quai, constituée de caissons en béton pour assurer la résistance de la fondation du chemin de roulement des grues-portiques. Cette activité se déroulera à l'automne 2021 et 2022.

Outre l'ajout du battage des pieux, aucun autre changement susceptible d'avoir des répercussions sur le bruit subaquatique n'a été apporté au projet. Les travaux de dragage, qui constituent l'autre source de bruit subaquatique, resteront similaires mais de moindre envergure en raison de la diminution significative de la superficie de dragage. Finalement, en phase d'exploitation, aucune modification n'a été apportée en lien avec le bruit subaquatique.

Pour cette raison, seules les modifications découlant du battage des pieux sont abordées. Il s'agit essentiellement de la mise à jour de l'étude de modélisation de l'environnement sonore subaquatique réalisée dans le contexte du projet Beauport 2020 (WSP, 2020) (annexe A). L'objectif poursuivi par cette activité complémentaire était d'obtenir un niveau suffisant de connaissances pour évaluer les effets sur l'environnement sonore subaquatique découlant de l'optimisation du projet Laurentia.

8.3 ZONE D'ÉTUDE

Les cinq zones d'étude définies pour évaluer les effets du projet Beauport 2020 (zone de chantier, zone d'étude, zone d'étude élargie, zone du bassin atmosphérique et zones des limites administratives de l'APQ) sont toujours applicables au projet Laurentia. Parmi ces zones d'étude, celle qui a été retenue pour l'environnement sonore subaquatique est la zone d'étude élargie (carte 8-1).

Rappelons que les limites de la zone d'étude élargie ont été retenues pour permettre l'évaluation des effets du projet sur les composantes valorisées de l'environnement dont la portée spatiale peut se faire ressentir à une plus grande distance du site des travaux, ce qui inclut l'environnement sonore subaquatique. Cette zone est délimitée au nord par l'autoroute 40, alors qu'à l'ouest, elle suit l'axe de l'autoroute 73 et traverse le fleuve pour rejoindre la route 132, à Lévis. Cette dernière définit la limite sud de la zone d'étude élargie jusqu'à la hauteur du chantier naval Davie. Quant à la limite est, elle débute à la route 132 pour rejoindre l'embouchure de la rivière Montmorency, sur la rive nord, en incluant la pointe de l'île d'Orléans. Elle comprend donc les secteurs habités de Québec (quartiers Limoilou, Maizerets, Saint-Jean-Baptiste, Beauport), de Lévis et de l'île d'Orléans (Sainte-Pétronille) susceptibles d'être touchés, le Vieux-Québec et son secteur touristique, ainsi qu'une plus vaste section du fleuve Saint-Laurent allant de l'embouchure de la rivière Montmorency au parc nautique Lévy.

8.4 PRÉCISIONS SUR L'ÉTAT DE RÉFÉRENCE

L'état de référence relatif à l'environnement sonore subaquatique présenté dans le document de réponses aux questions et aux commentaires de l'ÀÉIC déposé le 30 avril 2018 est toujours valable. Aucune précision supplémentaire n'a donc été apportée aux sections *Méthodologie* et *État de référence*, lesquelles peuvent être consultées à la section 7.1.5.6 du document transmis en 2018.

Des précisions sont toutefois apportées aux niveaux d'exposition de la faune aquatique. Bien qu'il n'existe pas de seuils d'exposition définitifs et uniformes pour protéger la faune aquatique d'une exposition excessive aux bruits, des critères intérimaires sont en usage depuis plusieurs années (tableau 8.1). Il s'agit de seuils d'effets physiques ou physiologiques, c'est-à-dire de niveaux sonores au-delà desquels les individus exposés sont susceptibles de subir des lésions ou des dommages irréversibles tels qu'un décalage permanent du seuil d'audition (WSP, 2020). Dans le cas des poissons, le critère d'exposition de 183 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ (SEL_{cum}) pour les poissons a été considéré pour les sources impulsives, comme proposé par le ministère de Pêches et Océans Canada (MPO) pour le projet de terminal maritime en rive nord du Saguenay (Environnement Canada, 2018). Il n'existe pas de critères connus d'exposition aux sources de bruit continu pour les poissons. À titre de référence, des critères pour les cétacés et phocidés sont aussi présentés.

Tableau 8-1 Seuils d'effets physiologiques des bruits de nature impulsive ou continue pour les poissons et les mammifères marins – Pressions sonores (SPL) et niveaux d'exposition (SEL)

ORGANISME	SOURCE IMPULSIVE	SOURCE CONTINUE
Poissons (> 2 g)	SPL _{pk} : 207 dB re 1 μPa SEL _{cum} : 187 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	-
Poissons (< 2 g)	SEL _{cum} : 183 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	-
Cétacés	SPL _{pk} : 202 à 230 dB re 1 μPa SEL _{cum} : 155 à 203 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	SPL _{pk} : 230 dB re 1 μPa SEL _{cum} : 173 à 219 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
Cétacés à moyenne fréquence (ex. béluga)	SPL _{pk} : 230 dB re 1 μPa SEL _{cum} : 185 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	SEL _{cum} : 198 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
Phocidés	SPL _{pk} : 218 dB re 1 μPa SEL _{cum} : 185 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	SEL _{cum} : 201 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$

Tiré de : WSP (2020).

8.5 ÉVALUATION DES EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT SONORE SUBAQUATIQUE

Bien qu'il n'y ait aucune modification à l'état de référence, l'évaluation des effets sur l'environnement sonore subaquatique a été revue afin d'apprécier les répercussions des optimisations au projet Laurentia pendant les phases de construction et d'exploitation.

8.5.1 Phase de construction

8.5.1.1 Sources d'effets et effets négatifs potentiels

Pendant la phase de construction, les sources d'effets sur l'environnement sonore subaquatique ainsi que les effets qui en découlent sont :

- ▶ la construction et la mise en place des caissons en béton armé (battage des pieux), la construction de la digue de retenue, le dragage des sédiments (zones de manœuvre et d'amarrage), la présence, l'utilisation et l'entretien de la machinerie (maritime) et la fermeture du chantier – **Augmentation du niveau sonore subaquatique.**

8.5.1.2 Mesures d'atténuation

Les mesures d'atténuation suivantes sont prévues pendant la construction :

- ▶ Pour les travaux de battage de pieux, démarrer les opérations de façon graduelle et continue, sur une période de 20 à 30 minutes, en augmentant graduellement la hauteur du marteau afin de créer un dérangement initial sous les seuils d'effets physiologiques et ainsi permettre à la faune aquatique de s'éloigner sans danger de la source de bruit.
- ▶ Utiliser une enceinte acoustique autour des pieux lors du battage :
 - Enfoncer les pieux en utilisant une enceinte acoustique autour du pieu. Sans s'y limiter, cette enceinte pourrait être faite de panneau de type sandwich de 102 mm d'épaisseur composé d'une feuille d'acier d'au moins jauge 18 à l'extérieur, d'une feuille d'acier perforé de calibre jauge 22 à l'intérieur et d'une laine de fibre minérale au centre. Cette enceinte acoustique devra permettre une réduction de la puissance sonore (L_w) générée par le battage de pieux d'au moins 10 dBA;
 - Limiter les activités de fonçage de pieux à la période de jour uniquement entre 7 h et 19 h.

8.5.1.3 Description détaillée de l'effet négatif résiduel

Augmentation du niveau sonore subaquatique – Parmi les sources de bruit ayant le plus d'incidence sur l'environnement sonore subaquatique pendant la phase de construction, le battage des pieux constitue la source la plus importante de bruit subaquatique. Le son émis par le battage de pieux dans l'eau 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 et le son transmis par le pieu au substrat (Elmer, 2010). Ce bruit, qui résulte de l'impact entre la surface dure du marteau et celle du pieu, est court, aigu, souvent de très forte amplitude et dépend notamment du type de pieu utilisé, du type de substrat et de la profondeur de l'eau (Elmer et coll., 2006; ICF Jones & Stokes et coll., 2009). En fonction de ces paramètres, les niveaux sonores émis lors du battage de pieux peuvent varier considérablement, en général de l'ordre de 189 à 250 dB re 1 μ Pa @ 1 m (Greene, 1999; Blackwell, 2005; Talisman Energy, 2005; Elmer et coll., 2006; Illinworth & Rodkin, Inc., 2007; ICF Jones & Stokes et coll., 2009; Buehler, 2010).

Dans le cas précis du projet Laurentia, sachant que les pieux seront foncés à une distance moyenne de 35 m de l'eau, on s'attend à ce que les vibrations transmises par le battage se dispersent de façon sphérique dans le substrat et qu'elles s'atténuent proportionnellement au carré de la distance du pieu.

Il est donc estimé que cette activité générerait, pour un pieu de 610 mm, une pression sonore de 198 dB re 1 μ Pa @ 1 m si le pieu était foncé directement dans l'eau. En tenant compte des 35 m séparant le pieu de la bordure du quai et en considérant que le substrat est en partie granulaire, une atténuation de 20 dB a été attribuée à la pression sonore qui serait transmise au milieu aquatique. Par conséquent, il est estimé que chaque impulsion de battage transmettrait une pression sonore de 188 dB re 1 μ Pa en bordure du quai.

Dans la mesure où les pressions sonores générées par le battage de pieux (188 dB re 1 μ Pa) se situeront sous les seuils (SPLpk > 202 à 230 dB re 1 μ Pa) susceptibles de produire des blessures ou des effets physiologiques aux poissons ou aux mammifères marins, aucun effet direct ou instantané n'est prévu sur la faune aquatique.

Cependant, ces travaux étant prévus sur une durée de 12 h/j, l'exposition quotidienne de la faune aquatique est susceptible de dépasser les seuils de protection reconnus sur une période de 24 h (SELcum > 183 à 187 dB re 1 μ Pa²s). Pour établir le rayon de risque, c'est-à-dire celui dans lequel l'exposition sonore quotidienne est susceptible de dépasser ces seuils, un modèle de propagation intermédiaire couramment utilisé en eaux fluviales ou côtières a été appliqué :

$$PT = 15 \log r$$

où PT est la perte de transmission et r est la distance de la source (Richardson et coll., 1999).

Ainsi, dans l'hypothèse (peu probable) où un poisson demeurerait à proximité de la zone de travaux durant toute la durée quotidienne de battage de pieux, on estime qu'il serait à risque de blessures ou d'effets physiologiques jusqu'à une distance restreinte d'environ 100 m du quai.

Quant aux mammifères marins, advenant qu'ils s'aventureraient à proximité de la zone de travaux, le rayon de risque pourrait s'étendre de 80 à 800 m, à l'égard des seuils de dommages permanents et temporaires respectivement. Toutefois, dans la mesure peu probable où ils demeureraient dans ce rayon durant toute la durée quotidienne de battage de pieux et étant donné que ceux-ci sont peu susceptibles de se trouver dans le secteur des travaux en l'absence d'habitat favorable (Port de Québec, 2015), aucun effet n'est anticipé sur les mammifères marins.

En pratique, les travaux sont donc peu susceptibles d'entraîner des effets ou des blessures sur la faune aquatique. Des modifications comportementales temporaires, comme l'évitement des zones de travaux, sont plus susceptibles d'être observées.

Rappelons que les effets liés aux autres sources de bruit subaquatique, notamment le dragage, demeurent inchangés.

8.5.1.4 Évaluation de l'effet négatif résiduel

L'effet sonore résiduel des activités bruyantes du projet est mineur, lorsque l'on considère que l'ampleur est faible, que l'étendue se situe dans la zone d'étude élargie, que la durée est moyenne, que la fréquence est régulière et que la modification est réversible. Par conséquent, cet effet est jugé non important.

EFFET SUR LE BRUIT SUBAQUATIQUE PENDANT LA PHASE DE CONSTRUCTION	
Nature	Négative
Ampleur	Faible
Étendue	Zone d'étude élargie
Durée	Moyenne
Fréquence	Régulièrement
Réversibilité/irréversibilité	Réversible
Valeur de l'effet environnemental résiduel	Mineure
Incertitude scientifique	Niveau de confiance moyen
Probabilité d'occurrence	Probable
Importance de l'effet négatif résiduel	Non importante

8.5.2 Phase d'exploitation

Pendant la phase d'exploitation, les sources et l'évaluation des effets tels que décrits précédemment dans le document *Optimisation au projet Laurentia et effets anticipés* (Englobe, 2020) demeurent les mêmes. Par conséquent, l'importance de l'effet résiduel est jugée non importante.

8.6 ÉVALUATION DES EFFETS CUMULATIFS SUR L'ENVIRONNEMENT SONORE SUBAQUATIQUE

À l'instar du projet Beauport 2020, l'environnement sonore subaquatique n'a pas été retenu comme une composante valorisée de l'environnement pour l'évaluation des effets cumulatifs dans le contexte du projet Laurentia. Effectivement, comme les effets potentiels appréhendés du projet sont localisés et que ceux-ci se situent généralement sous les seuils d'effets physiologiques, aucun cumul d'effets avec d'autres projets n'est anticipé.

8.7 SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE

Lors de la réalisation de travaux d'excavation dans le cadre du projet Laurentia, une surveillance environnementale des niveaux sonores subaquatiques sera requise. Cette surveillance sera réalisée par une firme indépendante et spécialisée dans ce domaine.

8.7.1 Objectifs

Le niveau sonore subaquatique est une composante valorisée de l'environnement (CVE) d'importance pour la communauté environnante. Le programme de surveillance aura pour objectifs de :

- ▶ vérifier que les niveaux sonores subaquatiques des travaux sont similaires aux valeurs simulées et qu'ils n'excèdent pas les seuils physiologiques connus;
- ▶ s'assurer que les mesures d'atténuation sont mises en place et qu'elles sont efficaces et apporter des correctifs pour réduire le niveau sonore subaquatique en cas de besoin.

8.7.2 Paramètres, méthodologie et échéancier

La surveillance sera réalisée par le biais d'hydrophones mouillés à différentes distances du chantier, lors de la réalisation des activités de battage de pieux, de manière à quantifier l'intensité sonore à la source, la propagation du bruit et l'efficacité des mesures d'atténuation sonore éventuellement utilisées. L'entrepreneur et le surveillant de chantier seront responsables de positionner les hydrophones dans les secteurs aquatiques les plus susceptibles d'être affectés par les travaux, tout en assurant le bon déroulement des opérations de construction.

La surveillance sera effectuée à l'automne 2021 et à l'automne 2022 lors des travaux de battage de pieux puisque ce sont les travaux les plus susceptibles d'engendrer des effets sur l'environnement sonore subaquatique.

8.7.3 Mécanismes d'intervention en cas de non-respect des exigences

Advenant un dépassement des seuils, les mécanismes d'intervention seront les suivants :

- ▶ L'arrêt des travaux et l'identification de la source sonore;
- ▶ La mise en place de mesures d'atténuation additionnelles selon la nature des travaux visés.

Une chaîne de communication sera mise en place entre les responsables du chantier, leurs superviseurs respectifs, ainsi que le promoteur. Lors d'une situation jugée inacceptable et/ou lorsque des niveaux sonores subaquatiques plus élevés qu'anticipés seront mesurés, un premier avertissement écrit sera émis au contrevenant à la suite de la mise en place de mesures correctrices afin que la situation problématique ne perdure pas. En cas de récurrence, la personne, voire le sous-traitant en question, se fera refuser l'accès au site. Une lettre sera envoyée à l'AEIC afin de l'aviser de la situation et des correctifs qui seront établis.

8.7.4 Accessibilité et partage des résultats

Les données issues de la surveillance du niveau sonore subaquatique seront présentées dans le rapport annuel de surveillance et de suivi environnemental que l'APQ déposera à l'AEIC. Le résumé du bilan annuel sera disponible pour consultation sur le site Internet de l'APQ. Advenant une problématique particulière liée à l'environnement sonore subaquatique lors des travaux de construction, une description de la problématique ainsi que les mesures correctrices prises pour y remédier seront également incluses au rapport.

8.8 SUIVI ENVIRONNEMENTAL

En phase d'exploitation, les bruits sous-marins produits proviendront des sources mobiles, telles que les navires qui fréquenteront le port, et ces derniers sont considérés comme étant des bruits transitoires continus.

Aucune mesure d'atténuation n'est prévue pour diminuer le bruit des navires ou du trafic maritime. 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 μ Pa à une centaine de mètres. L'effet sonore résiduel généré par la navigation à la suite de la construction des installations projetées est considéré comme étant mineur et non important. De plus, le nombre de navires anticipé est compris dans la variation annuelle du trafic maritime au port de Québec.

Ainsi, aucun suivi n'est prévu pour cette composante valorisée de l'environnement.

8.9 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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.
- 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.
- ENGBLOBE. 2020. *Optimisation au projet Laurentia et effets anticipés*. Rapport déposé à l'Agence d'évaluation d'impact du Canada pour l'Administration portuaire de Québec (APQ). 117 p. + annexes.
- ENVIRONNEMENT CANADA. 2018. *Déclaration de décision émise aux termes de l'article 54 de la Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (2012) à l'Administration portuaire du Saguenay pour le projet de terminal maritime en rive nord du Saguenay*. 23 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.
- 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.
- ILLINWORTH & RODKIN. INC 2007. *Compendium of Pile Driving Sound Data. Underwater Sound Levels Associated with Driving Steel Piles for the State Route 520 Bridge Replacement and HOV Project Pile Installation Test Program*. Prepared for the California Department of Transportation. Sacramento, CA. Seattle, WA. 143 129 p.
- 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. 68 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.
- TALISMAN ENERGY. 2005. *Beatrice Windfarm Demonstrator Project environmental statement*. 418 p.
- WSP. 2020. *Note technique. Bruit sous-marin potentiellement émis par des travaux de consolidation des sols*. Rapport déposé à Englobe pour l'Administration portuaire de Québec (APQ). 9 p.

Annexe A Bruit sous-marin potentiellement émis par des travaux de consolidation des sols



NOTE TECHNIQUE

À : Monsieur Philippe Charest-Gélinas
Chargé de projets / Études Environnementales et Relations avec les Communautés
Englobe
505, boul. du Parc-Technologique,
bur. 200 Québec (Québec) G1P 4S9
philippe.charest-gelinas@englobecorp.com

DE : Marc Gauthier, biol. Ph.D.

OBJET : **Bruit sous-marin potentiellement émis par des travaux de consolidation des sols**

DATE : 13/03/2020

PROBLÉMATIQUE

L'administration portuaire de Québec (APQ)¹ prévoit un agrandissement de ses installations dans le secteur de Beauport. À la suite d'un accord commercial avec deux nouveaux partenaires (Hutchison Ports et Canadian National [CN]) en mai 2019, l'APQ a pu peaufiner la conception du terminal et préciser certaines activités de construction. Les optimisations du projet Laurentia (anciennement Beauport 2020) proposent toujours la même empreinte au fleuve, réduisant toutefois la ligne de quai de 610 m à 450 m et, conséquemment, la zone de dragage réduite de 43 % comparativement à la superficie initiale.

Ce projet nécessitant le fonçage de pieux et des travaux de compaction des sols, Englobe a sollicité l'avis de WSP sur les possibilités que ces travaux génèrent des niveaux de bruit susceptibles de dépasser les critères de protection de la faune aquatique. La présente note technique fournit une évaluation préliminaire du bruit subaquatique potentiellement émis par ces travaux, ainsi qu'un aperçu des mesures d'atténuation, de surveillance ou de suivi qui pourraient être appliquées pour respecter les normes ou critères en vigueur à l'égard de la faune aquatique.

¹ L'administration portuaire de Québec est constituée en vertu de la loi maritime du Canada et, à ce titre, est une entité de juridiction fédérale.

NATURE DES TRAVAUX ANTICIPÉS

Selon les informations et les plans mis à notre disposition, 406 pieux de 610 mm de diamètre seront foncés sur deux rangées parallèles, à 30 m derrière le caisson de quai en béton. La distance entre chaque pieu sera de 1 500 mm. Au total, la distance moyenne entre les pieux et la bordure extérieure du caisson de béton, donnant sur l'eau, sera de 35 m. Le battage de ces pieux serait réalisé selon un calendrier de 12 h par jour (7 h à 19 h), à raison de 4 pieux par jour pour 40 jours de travail en 2021 et 60 jours en 2022, répartis d'octobre à décembre. La machinerie sera déterminée par l'entrepreneur, mais en raison de la nature des pieux, il n'est pas possible de les enfoncer par vibrofonçage. Cependant, un caisson acoustique est prévu comme mesure d'atténuation sonore lors du battage.

Le projet comprend également le remplissage de l'arrière quai et la consolidation des sols par compaction dynamique et vibrocompaction, qui seront réalisées sur l'arrière-quai dans les mêmes périodes que le battage de pieux, mis à part que les travaux de compaction pourraient débuter plus tôt, en juillet.

SEUILS D'EXPOSITION AUX BRUITS SUBAQUATIQUES

Bien qu'il n'existe pas encore de seuils d'exposition définitifs et uniformes pour protéger la faune aquatique d'une exposition excessive aux bruits forts, des critères intérimaires sont en usage depuis plusieurs années. Quelques-uns des critères d'exposition les plus récents, établis en fonction de différents groupes de mammifères marins et de poissons, sont présentés au tableau 1. Il s'agit là de seuils d'effets physiques ou physiologiques, c'est-à-dire de niveaux sonores au-delà desquels les individus exposés sont susceptibles de subir des lésions ou des dommages irréversibles tels qu'un décalage permanent du seuil d'audition (Southall et coll., 2007; FHWG, 2008; ASA, 2015; NMFS, 2018). Dans le cadre de cette analyse, nous avons considéré le critère d'exposition de 183 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{ s}$ (SEL_{cum}) pour les poissons exposés au bruit de battage. Noter cependant que ce seuil s'applique aux bruits de nature impulsive, mais pas aux travaux de vibrocompaction qui génèrent plutôt un bruit continu. À notre connaissance, il n'existe pas à encore de critère d'exposition aux sources de bruit continues pour les poissons.

Ces seuils sont parfois abaissés en référence à des effets plus légers, tels que le décalage temporaire du seuil d'audition, ou encore à des changements de comportements associés à l'exposition au bruit (Perry, 1999; Richardson et coll. 1999; Jochens et coll., 2006; Southall et coll, 2007; NMFS, 2018). Les critères de décalage temporaire (TTS) et permanents (PTS) du seuil d'audibilité, chez les mammifères marins du groupe d'audition à moyenne fréquence auquel appartient le béluga, sont présentés au tableau 2. Il n'existe pas de critères équivalents pour les poissons.

Tableau 1. Seuils d'effets physiologiques des bruits de nature impulsive ou continue envers les poissons et les mammifères marins. Pressions sonores (SPL) et niveaux d'exposition (SEL), d'après ASA, 2015; FHWG, 2008; Southall et coll., 2007 et NMFS, 2018.

ORGANISME	SOURCE IMPULSIVE	SOURCE CONTINUE dB re 1 μ Pa
Poissons (> 2 g)	SPL _{pk} : 207 dB re 1 μ Pa SEL _{cum} : 187 dB re 1 μ Pa ² s	- -
Poissons (< 2 g)	SEL _{cum} : 183 dB re 1 μ Pa ² s	
Cétacés	SPL _{pk} : 202 à 230 dB re 1 μ Pa SEL _{cum} : 155 à 203 dB re 1 μ Pa ² s	SPL _{pk} : 230 dB re 1 μ Pa SEL _{cum} : 173 à 219 dB re 1 μ Pa ² s
Cétacés à moyenne fréquence <i>Ex. béluga</i>	SPL _{pk} : 230 dB re 1 μ Pa SEL _{cum} : 185 dB re 1 μ Pa ² s	SEL _{cum} : 198 dB re 1 μ Pa ² s
Phocidés	SPL _{pk} : 218 dB re 1 μ Pa SEL _{cum} : 185 dB re 1 μ Pa ² s	SEL _{cum} : 201 dB re 1 μ Pa ² s

Tableau 2. Critères de décalage temporaire (TTS) et permanents (PTS) du seuil d'audibilité chez les mammifères marins du groupe d'audition à moyenne fréquence auquel appartient le béluga. D'après Southall et coll., 2007 et NMFS, 2018.

SOURCES DE NATURE IMPULSIVE			
PTS		TTS	
198 dB re 1 μ Pa ² s (SEL _{cum})		178 dB re 1 μ Pa ² s (SEL _{cum})	
SOURCES DE NATURE CONTINUE			
PTS		TTS	
185 dB re 1 μ Pa ² s (SEL _{cum})	230 dB re 1 μ Pa (SPL _{peak})	170 dB re 1 μ Pa ² s (SEL _{cum})	224 dB re 1 μ Pa (SPL _{peak})

NIVEAUX SONORES ESTIMÉS

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE BRUIT DE BATTAGE

Lors de travaux en eau, le battage de pieux est une activité nécessitant souvent le recours à des mesures d'atténuation du bruit en vue de protéger la faune aquatique. Le son émis par le battage de pieux dans l'eau 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 et le son transmis par le pieu au substrat (Elmer, 2010). Ce bruit, qui résulte de l'impact entre la surface dure du marteau et celle du pieu, est court, aigu et souvent de très forte amplitude. Il dépend notamment du type de pieu utilisé, de la nature du substrat et de la profondeur de l'eau (Elmer et coll., 2006; ICF Jones & Stokes et coll., 2009). En fonction de ces paramètres, les niveaux sonores émis lors du battage de pieux peuvent varier considérablement, de l'ordre de 189 à 250 dB re 1 μ Pa @ 1 m (Greene, 1999; Blackwell, 2005; Talisman Energy, 2005; Elmer et coll., 2006; Illinworth & Rodkin, Inc., 2007; ICF Jones & Stokes et coll., 2009; Buehler, 2010). Les fréquences dominantes générées par le battage se situeraient entre 50 et 2 500 Hz (Blackwell, 2005; Elmer, 2010), les niveaux de crête étant atteints dans l'intervalle de fréquence de 100 à 300 Hz.

Compte tenu des pressions sonores élevées que cette activité génère et du fait que le bruit se propage facilement dans l'eau, à des distances pouvant dépasser des dizaines de kilomètres, plusieurs mesures d'atténuation du bruit ont été développées. Parmi celles-ci, une des mesures est de réaliser ces travaux à sec, via l'installation de coffrages ou de caissons autour de la zone de travaux, et l'assèchement de celle-ci, pour isoler les travaux du milieu aquatique ambiant (ICF Jones & Stokes et Illingworth & Rodkin, 2009). À notre avis, les travaux prévus dans le cadre du projet Laurentia s'apparentent largement au battage en milieu sec et, par conséquent, exposeront moins la faune aquatique à des pressions sonores élevées que s'ils étaient réalisés en pleine eau.

BRUIT DE BATTAGE DANS LE CONTEXTE DES TRAVAUX PRÉVUS

Dans le cadre des travaux prévus, sachant que les pieux seront foncés à une distance moyenne de 35 m de l'eau, on s'attend à ce que les vibrations transmises par le battage se dispersent de façon sphérique dans le substrat et qu'elles s'atténuent proportionnellement au carré de la distance du pieu. Cependant, plusieurs variables entrent en jeu pour évaluer l'atténuation sonore réelle, dont la dureté du substrat, la masse du marteau et sa hauteur de chute, et nous n'avons pas ces informations en main pour évaluer précisément la pression sonore qui résultera de ces travaux en bordure du quai.

Nous estimons toutefois, selon les données à notre disposition (Illinworth & Rodkin, 2007; Quiet-Oceans, 2020), que cette activité générerait, pour un pieu de 610 mm, une pression sonore de 198 dB re 1 μ Pa @ 1 m si le pieu était foncé directement dans l'eau. En tenant compte des 35 m séparant le pieu de la bordure du quai, de l'hypothèse d'une propagation sphérique du bruit, et considérant que le substrat est en partie granulaire, nous avons attribué une atténuation de 20 dB à la pression sonore qui serait transmise au milieu aquatique. Par conséquent, nous estimons que chaque impulsion de battage transmettrait une pression sonore de 188 dB re 1 μ Pa en bordure du quai.

DÉPASSEMENTS DES SEUILS D'EXPOSITION

Dans la mesure où la pression sonore générée en bordure du quai par le battage de pieux (188 dB re 1 μ Pa) se situera sous les seuils ($SPL_{pk} > 202$ à 230 dB re 1 μ Pa) susceptibles de produire des blessures ou des effets physiologiques aux poissons ou aux mammifères marins, nous ne prévoyons pas d'effets directs ou instantanés découlant de chaque impulsion de battage. Cependant, ces travaux étant prévus sur une durée de 12 h/j, l'exposition quotidienne de la faune aquatique est susceptible de dépasser les seuils de protection reconnus sur une période de 24 h ($SEL_{cum} > 183$ à 187 dB re 1 μPa^2s). Pour établir le rayon de risque, c'est-à-dire celui dans lequel l'exposition sonore quotidienne est susceptible de dépasser ces seuils, nous avons utilisé un modèle de propagation intermédiaire, telle qu'on l'observe couramment en eaux fluviales ou côtières :

$$PT = 15 \log r$$

où PT est la perte de transmission et r est la distance de la source (Richardson et coll., 1999).

Ainsi, dans la mesure où un poisson demeurerait à proximité de la zone de travaux durant toute la durée quotidienne de battage de pieux, on estime qu'il serait à risque de blessures ou d'effets physiologiques jusqu'à une distance d'environ 100 m du quai. Cette possibilité ne peut être exclue, notamment pour les petits poissons relativement peu mobiles.

Quant aux mammifères marins, advenant qu'ils s'aventurent à proximité de la zone de travaux, le rayon de risque pourrait s'étendre de 80 à 800 m, à l'égard des seuils de dommages permanents et temporaires respectivement, dans le cas peu probable où ils demeureraient dans ce rayon durant toute la durée quotidienne de battage de pieux.

En ce qui concerne les travaux de vibrocompaction, nous nous attendons à ce qu'ils soient moins bruyants que le battage et que leur effet se fasse surtout sentir dans la couche superficielle du substrat. En outre, les seuils de protection de la faune aquatique à l'égard des bruits continus sont plus élevés (moins restrictifs) que ceux relatifs aux sources impulsives. Par conséquent, nous n'avons pas estimé de rayon d'effet à leur égard. Dans tous les cas cependant, qu'il s'agisse des travaux de battage ou de compaction, le bruit réel généré dans le milieu aquatique devrait être mesuré in situ pour valider les estimations.

MESURES USUELLES D'ATTÉNUATION SONORE

Les paragraphes qui suivent décrivent différentes approches permettant de réduire le périmètre dans lequel les travaux en eau peuvent générer des bruits excédant les seuils de sécurité proposés pour assurer la protection de la faune aquatique.

MÉTHODES ALTERNATIVES AU BATTAGE DE PIEUX

Le battage de pieux en milieu aquatique est une activité nécessitant régulièrement le recours à des mesures d'atténuation du bruit. C'est pourquoi on lui préfère souvent des méthodes de fonçage alternatives, telles que le fonçage par vibration, par vissage ou par pression. 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 légèrement l'intensité du bruit généré par cette activité (Elmer et coll., 2006; ICF Jones & Stokes et Illingworth & Rodkin, 2009).

Le vibrofonçage représente l'alternative la plus courante au battage. À titre comparatif, Carr et coll. (2006) ont estimé à 164 dB re 1 μ Pa @ 1 m le niveau sonore généré par le vibrofonçage de palplanches et à 216 dB re 1 μ Pa @ 1 m celui de leur battage. Les fréquences dominantes générées par le vibrofonçage se situent entre 25 et 2 000 Hz (Blackwell, 2005; GENIVAR, 2013). 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).

Selon notre expérience, le forage préalable des emboîtures des pieux et le vissage de ces derniers peuvent s'avérer relativement silencieux pour fonder un pieu (WSP, 2015). Ainsi, des mesures réalisées dans le cadre de la construction d'infrastructures maritimes à Port-Daniel Gascon, situent les pressions sonores générées par cette méthode dans la fourchette des 150 à 175 dB re 1 μ Pa @ 1m. Dans la même veine, Jasco (2016) rapporte des valeurs aussi basses que 126,1 dB re 1 μ Pa @ 1m lors d'activités de forage en mer.

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 (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.

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.

Nos propres travaux dans le domaine montrent que l'atténuation par le rideau de bulles se fait surtout sentir pour les bandes de fréquences allant de 300 Hz à 8 000 Hz, atteignant jusqu'à 15 à 20 dB re 1 μ Pa pour les fréquences situées entre 500 Hz et 5 000 Hz (WSP, 2015). Reyff (2003 et 2009) rapporte pour sa part des réductions de l'ordre de 20 à 30 dB re 1 μ 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. Illinworth et Rodkin (2010) ont pour leur part mesuré des atténuations de l'ordre de 3 à 35 dB re 1 μ 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.

Dans le cas qui nous intéresse, s'il fallait instaurer une mesure d'atténuation sonore complémentaire, un mur de bulle pourrait être installé parallèlement au caisson de quai en béton.

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).

GAINES ISOLANTES

Les gaines isolantes sont généralement des tubes creux de diamètre supérieur à celui des pieux et dans lesquels ces derniers sont insérés durant le fonçage en milieu aquatique. 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 de l'espace 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 μ Pa (Illinworth et Rodkin, 2010).

COUSSINS AMORTISSEURS

Les coussins 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 μ 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).

RECOMMANDATIONS

En fonction des impacts sonores attendus durant les travaux prévus aux installations portuaires, nos recommandations relatives au bruit subaquatique sont les suivantes :

Lors des travaux de battage de pieux, démarrer les opérations de façon graduelle et continue, sur une période de 20 à 30 minutes, en augmentant graduellement la hauteur du marteau afin de permettre aux poissons de s'éloigner de la source de bruit;

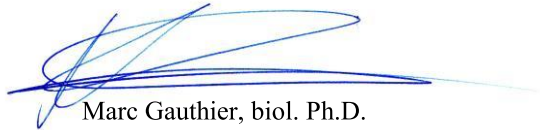
De la même manière, démarrer progressivement les opérations de compaction des sols.

Mettre en place un programme de suivi en temps réel du bruit émis par les activités du chantier, durant les deux premières semaines de travaux bruyants, afin de valider les simulations et de mettre en place des mesures appropriées de réduction du bruit s'il y a lieu;

Ce suivi serait réalisé par le biais d'hydrophones mouillés à différentes distances du chantier, lors de la réalisation des divers types de travaux bruyants, de manière à quantifier l'intensité sonore à la source, la propagation du bruit et l'efficacité des mesures d'atténuation sonore éventuellement utilisées;

Le cas échéant, l'utilisation de coussins amortisseurs, voire l'installation d'un rideau de bulles, seraient à considérer;

Bien que la présence de mammifères marins soit exceptionnelle dans le secteur immédiat, la mise en place d'un programme de surveillance, lors des travaux bruyants réalisés durant la période où ces animaux sont susceptibles de fréquenter la zone des travaux, pourrait être envisagée. L'objectif visé serait de réduire les risques d'exposition de ces animaux aux bruits forts, en interrompant momentanément les travaux bruyants si un cétacé ou un phoque se trouve à proximité. Le cas échéant, un programme de surveillance approprié pourra être proposé.



Marc Gauthier, biol. Ph.D.
Directeur de projets



RÉFÉRENCES

- ASA. 2015. Sound Exposures Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI. Technical report ASA S3/SC1.4 TR-2014. Springer Briefs in Oceanography, © Acoustical Society of America. 75 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 & 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.
- 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.
- Fisheries Hydroacoustic Working Group (FHWG) (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.
- 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.

- 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.
- Illinworth & Rodkin. 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.
- Illinworth & Rodkin. Inc 2007. Compendium of Pile Driving Sound Data. 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, Prepared for the California Department of Transportation. Sacramento, CA. Seattle, WA. 143 129 p.
- Jasco, 2016. Aurora LNG Acoustic Study: Modelling of Underwater Sounds from Pile Driving, Rock Socket Drilling, and LNG Carrier Berthing and Transiting. Document 01134, Version 3.0. Technical report by JASCO Applied Sciences for Stantec Consulting Ltd.
- 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, Louisiane. 345 p.
- National Marine Fisheries Service (NMFS) 2018. Revision to: Technical guidance for assessing the effects of anthropogenic sound on marine mammal hearing (Version 2.0). Underwater acoustic thresholds for onset of permanent and temporary threshold shifts. U.S. Dept. of Commer., NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59, 167 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>
- 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.
- Quiet-Oceans. 2019. Plateforme de simulation *Quonops Online Services*. <https://qos.quiet-oceans.com>. Quiet-Oceans, Brest, France.
- 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., 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.
- Southall, B.L., A.E. Bowles, W.T. Ellison, J.J. Finerman, 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.
- WSP. 2015. 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.

