



Surveillance des travaux de détonation *in situ* 2020

Atténuation du risque à la sécurité publique
lié aux munitions explosives non explosées
(UXO) au lac Saint-Pierre

Construction de Défense Canada





Table des matières

1.	Introduction.....	1
1.1	Contexte.....	1
1.2	Mandat	2
2.	Description des travaux de détonations <i>in situ</i>	3
3.	Les principes fondamentaux du son	3
3.1	Niveaux sonores pondérés A et Z	3
3.2	Le son dans l'air versus l'eau	4
3.2.1	Caractéristiques du son sous-marin	5
4.	Méthodologie	5
4.1	Mesures d'atténuation.....	5
4.1.1	Période de restriction des détonations	5
4.1.2	Confinement des détonations.....	5
4.1.3	Choix des explosifs donneurs.....	6
4.1.4	Effarouchement des poissons	7
4.1.5	Mise en place d'exclos	7
4.1.6	Rideau de bulles	8
4.2	Pêches de vérification.....	9
4.3	Surveillance du niveau de pression acoustique dans l'air	10
4.4	Surveillance du niveau de pression acoustique dans l'eau	11
4.4.1	Équipement et configuration des hydrophones	11
4.5	Suivi des impacts des détonations <i>in situ</i> sur la végétation et sur la bathymétrie.....	13
4.5.1	Suivi des impacts sur les travaux des années antérieures	13
4.5.2	Suivi des impacts sur les travaux 2020	14
5.	Critères de comparaison	14
5.1	Critères de comparaison du niveau sonore aérien.....	14
5.2	Critères de comparaison pour le bruit sous-marin.....	14
6.	Résultats et discussion.....	15
6.1	Impacts sur le niveau sonore aérien.....	15
6.1.1	Modélisation de la propagation des niveaux de bruit aérien	16
6.2	Impacts sur le niveau sonore aquatique	17
6.2.1	Atténuation au moyen de rideaux de bulles	17
6.2.2	Atténuation au moyen de sacs de sable	18
6.2.3	Modélisation des pressions générées par les détonations <i>in situ</i> dans l'eau	18
6.2.3.1	Modélisation des pressions générées par les détonations de projectiles contenant de la matière explosive en présence de rideau de bulles	18
6.2.3.2	Modélisation des pressions générées par les détonations d'explosifs donneurs (projectiles inertes) en présence de rideau de bulles.....	21
6.2.4	Discussion sur la propagation des pressions dans l'eau.....	23

6.2.4.1	Canalisation sonore en eaux peu profondes (interférence par trajets multiples)	24
6.2.4.2	Topographie sous-marine et conditions du fond	26
6.2.4.3	Directivité	26
6.3	Résultats relatifs à l'échantillonnage des poissons	27
6.4	Impacts des détonations <i>in situ</i> sur la végétation et sur la bathymétrie	29
6.4.1	Recouvrement végétal avant détonations	29
6.4.2	Suivi des impacts des travaux des années antérieures sur la bathymétrie et sur la végétation	29
6.5	Évaluation de la mortalité des poissons	31
6.6	Évaluation de la superficie d'habitat affectée par les détonations <i>in situ</i>	32
7.	Conclusions et recommandations	33
7.1	Impact sur l'environnement sonore	33
7.2	Pressions subaquatiques	33
7.3	Pêches de vérification	34
7.4	Suivi des impacts sur la végétation et la bathymétrie	34
7.5	Perte d'habitat et mortalité de poissons	34
8.	Références	35
9.	Bibliographie	36

Liste des figures

Figure 2.1	Localisation de la Zone CYR 606	2
Figure 4.1	Exemple de positionnement des sacs de sable sur un projectile	6
Figure 4.2	Localisation des projectiles	8
Figure 4.3	Exemple de déploiement des plates-formes d'hydrophones (H1-H4) pour un projectile de calibre 3"50	12
Figure 4.4	Déploiement d'hydrophones sur le terrain	13
Figure 6.1	Pressions générées par la détonation <i>in situ</i> de projectiles contenant de la matière explosive avec rideau de bulles, mesurées et calculées	20
Figure 6.2	Pressions générées par la détonation <i>in situ</i> de projectiles contenant de la matière explosive avec rideau de bulles, mesurées et calculées, avec facteur de sécurité de 8 kPa	21
Figure 6.3	Pressions générées par l'explosion d'explosifs donneurs avec rideau de bulles, mesurées et calculées	22
Figure 6.4	Pressions générées par l'explosion d'explosifs donneurs, mesurées et calculées, avec facteur de sécurité de 7 kPa	23
Figure 7.1	Trajets de transmission primaires	24
Figure 7.2	Multiplés trajets de réflexion depuis la surface	24



Figure 7.3 Changement de phase à l'interface air-eau (Urlick, 1975)..... 25

Figure 7.4 Champs sonores relatifs aux perturbations provenant d'une source (Stopson, 2020) ... 25

Figures à la suite du texte

Figure 1 Localisation de l'aire des travaux n° 1

Figure 2 Espèces de poissons capturées avant et après les détonations et espèces observées

Liste des tableaux

Tableau 4.1 Explosifs donneurs 7

Tableau 5.1 Seuils pour les surpressions de l'air - Règlement sur les sablières et les carrières (Q-2, r. 7,1)
..... 14

Tableau 6.1 Mesures $LZ_{crête}$ enregistrées par le sonomètre pour les sites de surveillance sur l'eau et la rive
..... 15

Tableau 6.2 Comparaison des valeurs sur le terrain aux limites de surpression d'air du *Règlement sur les
sablières et les carrières* (Q-2, r. 7,1) 15

Tableau 6.3 Espèces de poissons capturés lors de l'essai de pêche 27

Tableau 6.4 Espèces de poissons capturés avant les détonations 27

Tableau 6.5 Espèces de poissons capturés après les détonations 28

Tableau 6.6 Observations aux points des détonations antérieures 30

Tableau 6.7 Distribution attendue de chaque calibre de projectiles devant être détoné *in situ*..... 32

Liste des annexes

Annexe A Sommaire des résultats des pressions sonores dans l'air

Annexe B Sommaire des résultats de la surveillance des pressions acoustiques sous-marines

Annexe C Coordonnées des projectiles

Annexe D Figures des contours des niveaux de pression sonore dans l'air

Annexe E Figures des résultats des pressions acoustiques sous-marines

Annexe F Terminologie de base sur l'acoustique et les explosifs

Annexe G Spécifications des hydrophones et données de calibration

Annexe H Spécifications des équipements du rideau de bulles



1. Introduction

1.1 Contexte

De 1952 à 1999, le ministère de la Défense nationale (MDN) a utilisé la partie sud du lac Saint-Pierre comme zone de tir de munitions afin de procéder à des essais d'homologation à partir du Centre d'essais et d'expérimentation en munitions (CEEM) de Nicolet. Des tirs de munitions ont été effectués à l'intérieur d'un gabarit d'une superficie d'environ 160 km², identifié sur les cartes de navigation comme étant la zone CYR 606, afin de tester le fonctionnement des munitions d'artillerie conventionnelle d'un calibre maximal de 155 mm, incluant le 155 mm cargo. Dans la plupart des cas, les projectiles testés étaient inertes (ne contenaient pas de matière explosive) ou ont fonctionné correctement et ont détoné. Cependant, une partie des projectiles qui contenaient de la matière explosive n'a pas fonctionné tel que prévu, il s'agit de munitions explosives non explosées (*Unexploded Explosive Ordnance*, UXO). Avant d'avoir soumis un projectile à une détonation volontaire, il n'est pas possible de savoir s'il est un UXO ou s'il est inerte.

Afin d'identifier la localisation précise des projectiles, des levés géophysiques ont été réalisés entre 2015 et 2017. Ces levés géophysiques ont permis d'identifier 21 778 anomalies géophysiques potentiellement créées par des projectiles. Dans le cadre de la mise en œuvre de sa Stratégie de gestion de l'atténuation des risques liés au UXO au lac Saint-Pierre, le MDN entend retirer procéder à l'identification de ces 21 778 anomalies, à l'enlèvement et à la gestion des objets créant ces anomalies. Ces travaux sont encadrés par un processus d'évaluation environnementale tant au niveau fédéral que provincial. Entre 2016 et 2018, des travaux d'enlèvement et de disposition des projectiles ont été réalisés à titre d'essais pilotes, dans le but de mieux comprendre les méthodologies de terrain et de vérifier l'efficacité des mesures d'atténuation développées de pair avec les autorités environnementales. En 2016, 2017 et 2018, 505, 1 500 et 228 anomalies magnétiques ont été enlevées respectivement. Des 1 500 anomalies enlevées en 2017, 1 034 ont été identifiées comme des projectiles et 118 de ces projectiles ont été classés comme non sécuritaires à déplacer. Ces 118 projectiles ont fait l'objet de détonations *in situ* en 2017. En 2018, 14 projectiles additionnels ont fait l'objet de détonations *in situ*.

La campagne d'enlèvement et de disposition de 2020 visait l'enlèvement et la disposition de 1 200 anomalies géophysiques. Sur ces 1 200 anomalies, 884 étaient des projectiles dont 35 étaient non sécuritaires à déplacer et ont été soumis à une détonation *in situ*.

Les travaux de détonation *in situ* ont été réalisés sous autorisations des organismes réglementaires, qui exigeaient certaines mesures et certains suivis, dont les principaux étaient :

- Faire usage de sacs de sable pour atténuer l'onde de choc;
- Procéder à des efforts d'exclusion des poissons à l'aide d'exclos;
- Faire l'usage d'un rideau de bulles pour atténuer l'onde de choc;
- Procéder à la mesure de la surpression générée dans l'eau par les détonations

La figure 2.1 illustre la localisation de la zone des travaux.

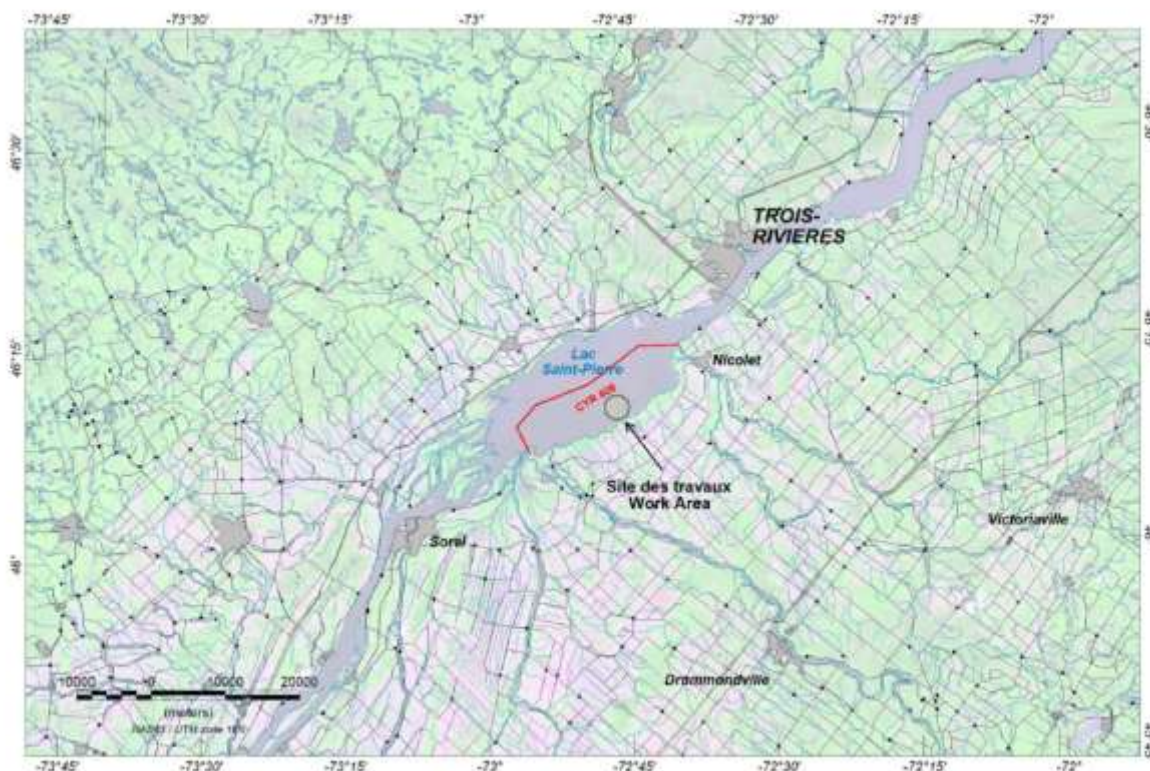


Figure 1.1 Localisation de la Zone CYR 606

1.2 Mandat

GHD a été mandatée par Construction de Défense Canada (CDC), pour le compte du MDN, afin d'effectuer la surveillance environnementale des travaux de détonation *in situ* des projectiles identifiés lors de la campagne d'enlèvement et de disposition de projectiles de 2020 et le suivi environnemental des travaux de détonation *in situ* de 2017, 2018 et 2020. Les travaux de surveillance et de suivi environnementaux incluaient :

- 1) L'observation de la mise en œuvre des mesures d'atténuation;
- 2) La mesure des pressions acoustiques générées par les détonations *in situ* dans l'eau;
- 3) La mesure des pressions acoustiques générées par les détonations *in situ* dans l'air (impact sur l'environnement sonore);
- 4) Des pêches de vérification avant et après détonation;
- 5) La description des impacts sur la végétation et la bathymétrie;
- 6) L'évaluation de la perte d'habitat; et
- 7) L'évaluation de la mortalité du poisson.



2. Description des travaux de détonations *in situ*

Les travaux de détonation *in situ* ont été réalisés par la compagnie MineEOD clr inc., du 22 octobre au 5 novembre 2020.

Trente-cinq projectiles ont été soumis à une détonation *in situ*, soit :

- 6 projectiles de calibre 3" 50;
- 27 projectiles de calibre 90 mm;
- 1 projectile de calibre 105 mm;
- 1 projectile de calibre 155 mm.

La figure 2 présente l'emplacement des projectiles alors que les coordonnées géographiques des projectiles sont présentées dans le tableau C.1 de l'annexe C. Les projectiles qui sont soumis à une détonation *in situ* sont suspectés contenir de la matière explosive, mais ce n'est qu'après avoir été soumis à une détonation qu'il est possible de confirmer si le projectile est inerte ou s'il contient de la matière explosive. Le cas échéant, on parle alors d'un projectile « High explosive » (HE).

3. Les principes fondamentaux du son

Le bruit est généré lorsqu'un objet se déplace dans l'espace et crée des ondes (dans l'air ou dans l'eau), perçues comme un son (WSDOT 2012). Le son est défini plus formellement comme une modification de la pression propagée dans un milieu élastique et qui implique une compression et une expansion locales du milieu (ANSI 2013). Les sections suivantes expliquent les termes généraux relatifs aux bruits utilisés dans le présent rapport technique. Une terminologie supplémentaire sur l'acoustique et les explosifs est présentée à l'annexe F.

L'amplitude (volume) d'un son est sa pression, tandis que son intensité est proportionnelle à la puissance et correspond à la pression au carré. L'unité internationale standard de mesure de la pression est le Pascal, qui est une force d'un Newton exercée sur une surface d'un mètre carré (m²); les pressions acoustiques sont mesurées en micropascals (µPa).

Compte tenu de la plage de pressions et d'intensités enregistrées lors des mesures du son, une échelle logarithmique est utilisée, basée sur le décibel (dB), pour le niveau de pression acoustique (SPL – *Sound Pressure Level*), le rapport d'amplitude en dB est 20 fois le rapport log₁₀ de la mesure à la référence. Par conséquent, chaque augmentation de 20 dB du SPL reflète une multiplication par 10 de l'amplitude du signal. Cela signifie que 20 dB est 10 fois moins d'amplitude que 40 dB. Les dB sont une mesure relative et doivent être accompagnés d'une référence d'amplitude. Pour décrire la pression acoustique sous-marine, l'amplitude de référence est généralement de 1 µPa, et est exprimée en « dB re 1 µPa ». Pour la pression acoustique dans l'air, l'amplitude de référence est généralement de 20 µPa et est exprimée en « dB re 20 µPa ».

3.1 Niveaux sonores pondérés A et Z

Le volume sonore est une quantité subjective qui permet à un auditeur d'ordonner la magnitude de différents sons sur une échelle allant de faible à fort. Bien que le volume perçu d'un son soit en



partie basé sur sa fréquence et sa durée, il dépend principalement du niveau de pression acoustique. Le niveau de pression acoustique est une mesure de la pression acoustique en un point par rapport à une valeur de référence standard; le niveau de pression acoustique est toujours exprimé en décibels (dB), une grandeur logarithmique.

Une autre caractéristique importante du son est sa fréquence, qui est le taux de répétition des oscillations de pression sonore lorsqu'elles atteignent nos oreilles. La fréquence est exprimée en unités appelées Hertz (Hz), équivalent à un cycle par seconde. Les sons entendus dans l'environnement se composent généralement d'une gamme de fréquences. La distribution de l'énergie sonore en fonction de la fréquence est appelée « spectre de fréquences ».

L'oreille humaine ne perçoit pas de façon égale des niveaux de bruit identiques à des fréquences différentes. Bien que la plage de fréquences normale de l'audition pour la plupart des gens s'étende d'un minimum d'environ 20 Hz à un maximum de 10 000 Hz à 20 000 Hz, les gens sont plus sensibles aux sons de la plage vocale, entre environ 500 Hz et 2000 Hz (Yost, 2007). Par conséquent, pour corréliser l'amplitude d'un son avec son niveau tel que perçu par les gens, le spectre d'énergie sonore est ajusté, ou « pondéré ».

Le système de pondération le plus couramment utilisé pour corréliser avec la réponse des personnes au bruit est la « pondération A » (ou le « filtre A ») et le niveau de bruit qui en résulte est appelé « niveau de bruit pondéré A » (dBA) (Yost, 2007). La pondération A désaccentue considérablement les parties du spectre de fréquences à partir d'une source de bruit ayant des fréquences plus basses (celles inférieures à environ 500 Hz) et des fréquences très hautes (supérieures à 10 000 Hz), que l'être humain ne perçoit pas aussi bien. Le filtre a très peu d'effet, ou est presque « plat », dans la plage moyenne des fréquences entre 500 et 10 000 Hz. Il a été constaté que les niveaux sonores pondérés A sont mieux corrélés que les autres réseaux de pondération avec la perception humaine du « bruit ». L'une des principales raisons pour ceci est que le réseau de pondération A met l'accent sur la gamme de fréquences où la parole humaine se produit, et le bruit dans cette gamme interfère avec la communication verbale.

La pondération Z, également appelée « non pondérée » ou « linéaire », est la réponse en fréquence uniforme de 8 Hz à 20 kHz (+/- 1,5 dB). C'est le bruit réel qui est produit sans prendre en compte la perception humaine (Z pour zéro). La pondération Z est souvent utilisée dans l'analyse par bande d'octaves et pour déterminer le bruit ambiant. Les mesures effectuées sont affichées en dB(Z) ou dBZ, ou LZeq, LZFmax, LZE, où le Z indique l'utilisation de la pondération Z. Les réglementations et les normes relatives aux activités de dynamitage dans les carrières et les mines fixent souvent des limites basées sur des cotes dB linéaires (pondération Z). Pour cette raison, tous les niveaux sonores lors de l'étude de surveillance de la pression ont été enregistrés en pondération Z afin de comparer les mesures sur le terrain avec les réglementations et normes appropriées.

3.2 Le son dans l'air versus l'eau

En raison du fait que l'eau est plus dense que l'air, les ondes sonores voyagent plus loin et plus rapidement sous l'eau que dans l'air lorsqu'elles ne sont pas entravées. Les bruits aériens et sous-marins ont également des valeurs de référence différentes. La valeur de référence pour le son dans l'air est le dB re 20 μ Pa dans l'air et le dB re 1 μ Pa dans l'eau (NOAA 2015).



La température affecte la vitesse du son sous l'eau, le son voyageant plus rapidement dans l'eau chaude que dans l'eau froide (NOAA 2015). La perte de transmission dans l'eau, soit la « diminution de l'intensité acoustique lorsqu'une onde de pression acoustique se propage à partir d'une source » peut également être affectée par de nombreux facteurs autres que la température, notamment la chimie de l'eau, la topographie et les conditions de mer (Scientific Fisheries Systems, Inc. 2009).

3.2.1 Caractéristiques du son sous-marin

Plusieurs descripteurs sont utilisés pour décrire les impacts du bruit sous-marin. Deux descripteurs communs sont le niveau de pression acoustique de crête instantanée (SPL_{peak}) et la moyenne quadratique du niveau de pression acoustique pendant l'impulsion. Le SPL_{peak} est la surpression instantanée maximale ou minimale observée lors de chaque impulsion et peut être présenté en Pascal (Pa) ou décibels (dB) référencé à une pression de 1 micropascal (μPa). L'eau et l'air étant deux fluides différents, une pression de référence de niveau sonore différente est utilisée pour chacun. Dans l'eau, la pression de référence la plus couramment utilisée est de 1 μPa , tandis que la pression de référence pour l'air est de 20 μPa . La majorité de la littérature utilise des pressions sonores de crête pour évaluer les barotraumatismes causés aux poissons. Sauf indication contraire, les niveaux sonores indiqués dans ce rapport sont exprimés en dB re 1 μPa . L'équation pour calculer le niveau de pression acoustique est :

Niveau de pression sonore (SPL) = $20 \log (p/p_{ref})$, où p_{ref} est la pression de référence, soit 1 μPa pour l'eau.

La moyenne quadratique du niveau de pression acoustique est la racine carrée de l'énergie divisée par la durée de l'impulsion. Ce niveau, présenté en dB re 1 μPa , est le niveau de pression au carré moyen de l'impulsion. Il a été utilisé par le *National Marine Fisheries Service* (NMFS) dans les critères pour les effets des sons de type impulsion sous-marine sur les mammifères marins.

La conversion en décibels est $dB = 10 \cdot \log$ (somme des pressions au carré dans la bande).

4. Méthodologie

4.1 Mesures d'atténuation

Les travaux de détonation *in situ* ont été réalisés en mettant les mesures d'atténuation suivantes en œuvre. GHD n'était pas responsable de la mise en œuvre des mesures d'atténuation.

4.1.1 Période de restriction des détonations

Les détonations *in situ* ont eu lieu entre le 22 octobre et le 5 novembre, durant la période autorisée par les autorités réglementaires (du 1^{er} août au 31 décembre) et sans couverture de glace.

4.1.2 Confinement des détonations

Tous les projectiles à détoner ont été couverts par des sacs de sable. Il n'y a aucune donnée quantitative dans la littérature qui permette d'établir le niveau d'efficacité de différentes quantités et positionnement de sacs de sable pour atténuer l'onde de choc. En raison des résultats de 2018, indiquant que la valeur seuil de 100 kPa pouvait être ressentie jusqu'à 62 mètres du point de

détonation, il a été convenu avec les autorités environnementales de faire minimalement usage du double de sacs de sable utilisés en 2018, soit vingt sacs de sable au minimum. Tous les projectiles à détoner ont été confinés en étant recouverts de vingt à cinquante sacs de sable de 22,5 kg chacun et faits de matière biodégradable (jute). Le nombre de sacs utilisés a varié de 20 à 50, selon le calibre du projectile et l'utilisation du rideau de bulles, comme indiqué aux tableaux A.1 (annexe A) et B.1 (annexe B).

La figure 4.1 ci-dessous présente la mise en place des sacs de sable (20 sacs). Le positionnement et l'orientation des sacs de sable avaient pour objectif de contenir les éclats d'obus et d'atténuer la propagation de l'onde de pression dans l'eau. Ils doivent être empilés de façon serrée les uns sur les autres et chaque nouvelle rangée doit être perpendiculaire à la précédente. Une feuille de contreplaqué déposée sur les sacs de sable doit recouvrir le projectile sans entrer en contact avec ce dernier. Des sacs de sable supplémentaires doivent finalement recouvrir le contreplaqué.



Figure 4.1 Exemple de positionnement des sacs de sable sur un projectile

4.1.3 Choix des explosifs donneurs

Afin de pouvoir faire détoner un projectile, un explosif donneur doit être utilisé. Deux types d'explosifs donneurs peuvent être utilisés, soit des blocs de C4, contenant 567 g d'explosif ou des charges creuses contenant 36 g d'explosif. Dans le cadre des travaux de détonations *in situ* au lac Saint-Pierre, l'usage de charges creuses est exigé, afin de réduire la masse d'explosif à utiliser. Les charges creuses sont des charges métalliques coniques contenant quelques grammes de matière explosive et conçues pour perforer la paroi des projectiles. Le mécanisme d'initiation de la détonation débute par la mise à feu d'un détonateur (1 g d'explosif) qui actionne un cordon détonant (27 g d'explosif) qui fait détoner la charge creuse (36 g), qui perfore le corps du projectile. Si le projectile contient de la matière explosive, elle explosera. Les procédures du MDN exigent l'usage de deux charges creuses au minimum : une dirigée sur le corps du projectile et la seconde sur la fusée. Dans le cas du plus gros calibre de projectile présent au lac Saint-Pierre, ceux de 155 mm, une troisième charge creuse est nécessaire. La masse totale d'explosifs donneurs était donc de



100 g pour tous les projectiles sauf pour le projectile de 155 mm, pour lequel la masse d'explosifs donneurs était de 136 g. Sur toutes les figures, le projectile 182 est noté avec un marqueur en forme de losange pour le distinguer des autres détonations de charge creuse.

Lors de la mise à feu, une zone d'exclusion (zone de sécurité) est établie en fonction du calibre de projectile à faire détoner, et est surveillée par des sentinelles postées de façon à s'assurer que personne ne puisse pénétrer la zone d'exclusion.

Le tableau 4.1 présente les explosifs donneurs pour la détonation des projectiles.

Tableau 4.1 Explosifs donneurs

Explosif donneur	Masse unitaire d'explosif	Quantité	Masse explosive (kg)
Cordon détonant pour la charge principale	3,4 kg / 10 000 pieds	8 pieds	0,0272
Charge creuse	0,036 / charge	2 charges *	0,0720
Détonateur	0,0885 kg / 100 unités	1 unité	0,0009
Total			0,1001

** Trois charges creuses sont utilisées dans le cas de projectiles de 155 mm.*

4.1.4 Effarouchement des poissons

Lors des travaux de 2017, un cordon détonant avait été utilisé dans le but d'effaroucher les poissons avant la détonation du projectile à faire détoner. Or, l'efficacité d'une telle mesure n'est pas démontrée, et même il est possible qu'elle nuise plutôt qu'elle aide. Pour cette raison, de pair avec les autorités réglementaires, il a été décidé de ne pas utiliser de cordon détonant supplémentaire.

4.1.5 Mise en place d'exclos

La mise en place d'exclos à l'aide de senne de rivage fait partie des mesures d'atténuation prévues pour le projet global. L'objectif de cette mesure est de s'assurer qu'aucun poisson ne soit présent dans la zone au sein de laquelle la pression létale est atteinte. La limite opérationnelle de la mise en place des exclos correspond à une profondeur d'eau d'environ 1,5 m et à un rayon d'environ 20 m.

Au moment des travaux, les profondeurs d'eau retrouvées dans la zone des travaux étaient trop élevées pour permettre la mise en place d'exclos. La Figure 4.2 présente la bathymétrie mesurée de la zone des travaux. Le service hydrographique du Canada fournit les niveaux d'eau observés au zéro des cartes à la station du lac Saint-Pierre (#15975)). La bathymétrie de la zone indique que la profondeur de l'eau varie d'environ -0,1 mètre (m) à -1,2 m au zéro des cartes. Le fond de l'aire des travaux est en pente, avec des profondeurs plus faibles en direction de la rive au sud du site et des profondeurs qui augmentent vers le centre du lac au nord-ouest. Ainsi, à une journée donnée, si le niveau d'eau mesuré à la station du lac Saint-Pierre est de 1,3 m, toutes les zones pour lesquelles la bathymétrie est de -0,2 m et plus, le niveau d'eau sera de 1,5 et plus. Les moyennes journalières des niveaux d'eau ayant varié de 1,3 à 1,5 m à la station du lac Saint-Pierre entre le 22 octobre et le 5 novembre, les profondeurs retrouvées dans la zone des travaux ont toujours été de 1,5 m ou plus.

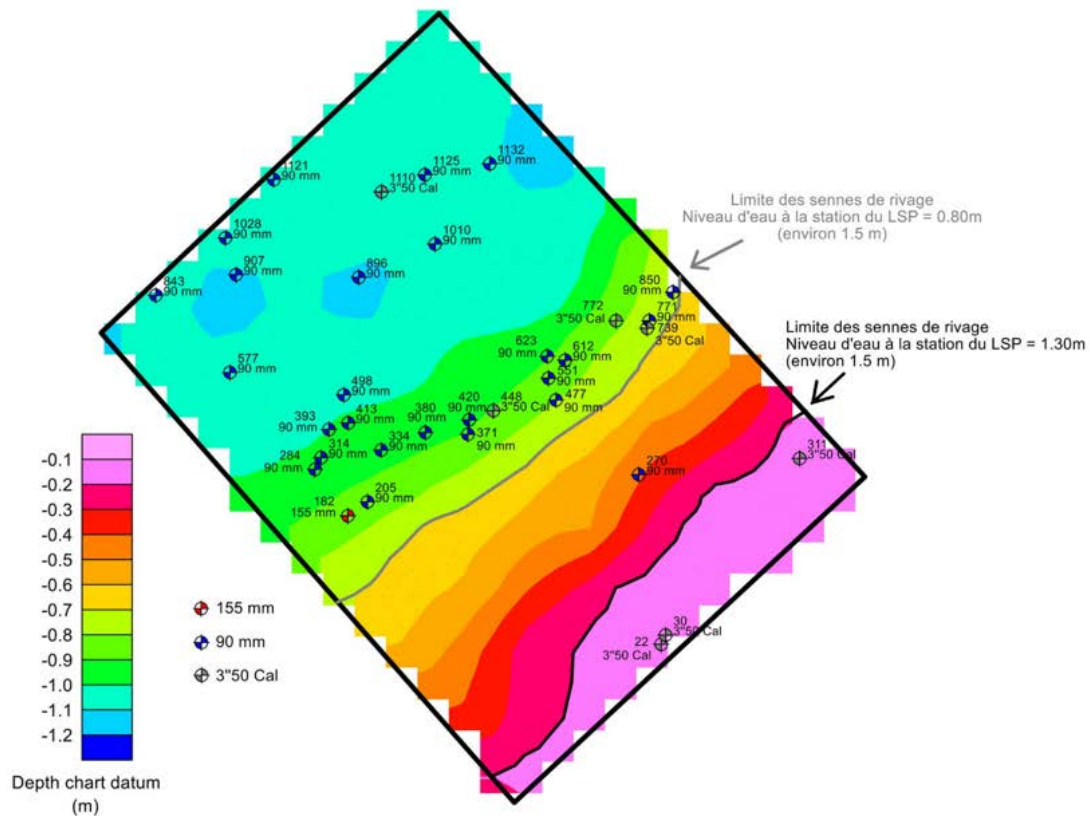


Figure 4.2 Localisation des projectiles

4.1.6 Rideau de bulles

Lorsque possible, un rideau de bulles a été déployé autour du projectile avant sa détonation. Les spécifications du système utilisé ont été déterminées par la compagnie Étangs.ca. Le système comprenait (les fiches techniques sont présentées à l'annexe H) :

- 15 m de tuyau industriel résistant à la chaleur, à installer à la sortie du compresseur;
- 50 m de tuyau lesté à installer entre le tuyau résistant à la chaleur et le tuyau perforé;
- 124 m de tuyau perforé (Tuyau Bulle^{md}), monté en double pour former deux rideaux de 10 mètres de rayon autour du projectile à faire détoner;
- Un compresseur Sullair de capacité de 185 CFM.

Le déploiement du rideau de bulles a été assuré par la compagnie Technikal. Le déploiement d'une tuyauterie massive et lourde se faisait à partir d'une barge autour d'un projectile en présence de vagues et de courants. Il a été constaté qu'une distance minimale d'environ 30 m entre deux projectiles était nécessaire pour permettre un déploiement sécuritaire. Pour cette raison, quatre des 35 projectiles ont dû être détonés sans déploiement d'un rideau de bulles.



Le système de tuyauterie utilisé n'est pas conçu pour ce type d'usage qui impose une manutention importante et dans des conditions difficiles. Lors des deux premières journées (22 et 23 octobre), plusieurs bris ont été notés dans la tuyauterie. Les bris causaient des fuites d'air et une mauvaise dispersion des bulles, empêchant la création d'un rideau homogène. De plus, les deux tuyaux qui devaient être parallèles étaient maintenus par une corde qui ne permettait ni le maintien optimal des perforations vers le haut ni l'espacement prévu de 15 cm. Lors de ces deux journées, la pression d'opération du compresseur n'a pas été prise en note. Les bris ont été réparés d'abord en bouchant les trous et ensuite en remplaçant complètement les sections touchées. De plus, les cordes d'espacement ont été remplacées par des espaceurs et des boulons en U en acier inoxydable afin de maintenir un espacement de 15 cm entre les tuyaux parallèles et une orientation des perforations vers la surface de l'eau. Lors de la troisième journée des travaux, le 26 octobre 2020 la pression de fonctionnement du rideau de bulles a été réglée à 30 livres par pouce carré (psi). Cette pression n'a pas provoqué la rupture du tuyau perforé. Cependant, cette pression de fonctionnement ne créait que peu de bulles d'air brisant la surface de l'eau à l'extrémité la plus éloignée du rideau de bulles. Le 28 octobre 2020, après les trois premiers jours de surveillance (aucun travail n'a été réalisé le 27 octobre en raison des conditions météo), la pression de fonctionnement a été augmentée à 79 psi (pression maximale recommandée par le fournisseur), créant ainsi un rideau de bulles visuellement plus uniforme avec des bulles d'air cassant visiblement la surface de l'eau sur tout le périmètre du rideau.

4.2 Pêches de vérification

Des pêches de vérifications étaient prévues au sein de l'exclos avant et après les détonations, dans le but de s'assurer de l'efficacité de la mise en place des exclos et afin de permettre une évaluation plus précise des impacts sur la santé des poissons. Les mesures de surveillance ont donc compris un échantillonnage à l'aide de filets (senne manipulée à partir d'une embarcation). Le 22 octobre, les pêches ont été réalisées avec une senne de rivage de 15,2 m de longueur et 1,5 m de hauteur avec des mailles de 5 mm. À partir du 23 octobre, les pêches ont été réalisées avec une senne de rivage 15,2 m de long par 1,5 m de haut avec des mailles de 2 mm.

Le protocole de surveillance a inclus les points suivants :

- Les 22 et 23 octobre 2020, une station de pêche a été placée à l'intérieur du rideau de bulles avant la détonation pour vérifier la présence de poissons à l'intérieur du rideau de bulles.
- Le 23 octobre 2020, il a été décidé qu'aucune pêche ne serait réalisée avant la détonation, pour des raisons de sécurité (afin que le filet ne se prenne pas dans le projectile).
- Des stations de pêche ont été placées après détonation *in situ* à l'intérieur du rideau de bulles pendant la période du 22 au 29 octobre 2020. Ces pêches visaient à vérifier si des poissons morts ou blessés étaient présents après les détonations.
- Les informations suivantes ont été notées pour tous les poissons capturés :
 - état de santé du poisson (mort, vivant, signes de blessures externes);
 - espèce;
 - longueur totale.



- Les poissons capturés vivants ont tous été remis à l'eau. Les poissons morts ont été conservés pour permettre leur examen par le MFFP.

4.3 Surveillance du niveau de pression acoustique dans l'air

La surveillance du niveau de pression acoustique dans l'air a été effectuée afin de fournir une évaluation des impacts potentiels du bruit aux récepteurs sensibles situés à Baie-du-Febvre et Nicolet qui sont le plus près de la zone de détonation des projectiles, ainsi que les résidents de Pointe-du-Lac qui étaient à l'origine de plaintes passées lors de détonations dans un site ouvert sur la pointe de l'OP-6 (GHD, 2019). La zone de détonation se trouve dans la partie sud-est du lac Saint-Pierre, à l'extrémité du chenal Landroche et est à environ 2 km de la rive au sud-est, comme le montre la figure 1. Les récepteurs sensibles les plus rapprochés des travaux se trouvent sur la partie terrestre au sud de la zone de détonation. Il s'agit notamment de plusieurs maisons et chalets, dont beaucoup sont utilisées pendant la saison de chasse et de pêche.

La zone des travaux se situe dans un marais qui était au moment de l'étude pendant la saison de chasse à la sauvagine, dominée par le bruit des activités typiques de la chasse, dont les coups de feu et l'activité de petites embarcations. Les observations de GHD sur les conditions de bruit ambiant dans la zone pendant la surveillance du niveau de pression acoustique indiquent que les niveaux ambiants comprenaient la mise à l'eau des embarcations, les passages de voiture et les coups de feu des activités de chasse.

Deux sonomètres ont été utilisés, un sur l'eau et l'autre sur terre. Les emplacements des sonomètres ont été sélectionnés pour représenter les points de réception du bruit des détonations les plus proches à la fois sur l'eau et sur terre. Ce positionnement des sonomètres permet de capter les impacts sonores potentiels les plus forts sur les récepteurs sensibles à la fois sur l'eau (chasseurs et pêcheurs) et sur terre (résidents).

Le sonomètre n° 1, situé sur l'eau, était positionné au niveau ou à l'intérieur du périmètre de sécurité de 900 m. Le sonomètre n° 2, situé sur terre, était positionné à proximité de la rampe de mise à l'eau près des résidences du secteur. Le sonomètre n° 1 était un système SLM Larson Davis LxT de précision de type 1 et le sonomètre n° 2 était un système SLM Larson Davis 831 de précision de type 1. Les sonomètres ont été étalonnés sur le terrain et vérifiés à 114 décibels (dB) avec des étalonneurs acoustiques au début et à la fin de chaque journée. Les microphones étaient équipés d'écrans anti-vent et les détecteurs du sonomètre étaient réglés en mode de réponse impulsionnelle pour documenter les valeurs d'impulsion dB LZ_{crête}. Des mesures de niveau d'impulsion sonore ont été effectuées entre le 26 octobre et le 5 novembre 2020.

Les emplacements des sonomètres ont été modifiés au besoin pendant la surveillance pour éviter la surcharge et maintenir l'intégrité de l'équipement. Initialement, le sonomètre n° 1 avait été placé sur la plate-forme flottante d'un hydrophone, le plus éloigné de du projectile cible (hydrophone 4; H4). Les données analysées du deuxième jour ont révélé une surcharge du sonomètre à cet endroit (valeur de 122,1 dB pour les détonations 3 à 8). Ces données n'ont pas été utilisées pour la création des tracés de contour (voir tableau A.1). Pour éviter toute autre surcharge possible, le sonomètre a été déplacé vers la sentinelle 1, une barge de travail flottante située juste à l'extérieur du périmètre de sécurité de 900 m à l'est des projectiles cibles, à partir du troisième jour de surveillance et est resté à cet endroit jusqu'à la fin de la période de surveillance. Le sonomètre n° 2 a été déplacé deux fois pendant la période de surveillance. L'emplacement initial (Rive 1) a révélé des interférences de

bruits de fond le deuxième jour de surveillance et sa position ralentissait le processus de préparation sur la rive. Le sonomètre a donc été déplacé vers le deuxième emplacement (Rive 2) pour le troisième jour de surveillance. Le deuxième emplacement était un poteau également utilisé pour l'ancrage des bateaux et le sonomètre a donc été déplacé vers le troisième emplacement (Rive 3) pour maintenir l'intégrité de l'équipement le quatrième jour et y est resté jusqu'à la fin de la période de surveillance.

Les coordonnées (degrés décimaux) des sonomètres étaient les suivantes :

Emplacement	Latitude	Longitude	Description
Sentinelle-1	46,1820	- 72,7606	Sur l'eau au sud-est du périmètre de sécurité de 900 m
Rive-1(22 au 23 octobre)	46,1614	- 72,7543	Sur une clôture sur la rive en ligne directe avec le Chenal Landroche
Rive-2 (26 octobre)	46,1598	- 72,7559	Sur un poteau de lumière au sud-ouest de la rampe de mise à l'eau du club de la Landroche
Rive-3 (28 octobre au 5 novembre)	46,1601	- 72,7557	Situé sur un poteau de signalisation au nord-est de la rampe de mise à l'eau du club de la Landroche

Le logiciel de modélisation acoustique CadnaA, version 2020 MR1, a été utilisé pour modéliser les contours du bruit de surpression des détonations. CadnaA calcule les niveaux sonores selon la norme ISO 9613-2 « Acoustique – Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre ».

4.4 Surveillance du niveau de pression acoustique dans l'eau

4.4.1 Équipement et configuration des hydrophones

L'équipement d'hydrophones le plus approprié permettant de répondre aux objectifs de suivi des pressions générées dans l'eau par les détonations *in situ* a été sélectionné. GHD a utilisé quatre systèmes Larson Davis 831C-SR (LD 831C) équipés chacun d'un hydrophone Reson (TC 4013) et d'une cage de protection, permettant des mesures de crête en décibels qui ont été converties en valeurs kPa. Le système Reson a enregistré les pics de pression à un taux d'échantillonnage de 1 Hz (un par seconde). Chaque système LD 831C était couplé à un hydrophone avec un coupleur Pistophone pour hydrophone TC4013 (RA 0043). Cet équipement a été initialement étalonné en usine avec un certificat d'étalonnage fourni. Sur le terrain, les étalonnages de l'équipement, à 144,5 dB et 250 Hz, ont été effectués à l'aide d'un calibrateur de téléphone à piston GRAS (42AA). L'équipement a été étalonné à 144,5 dB pour tenir compte du facteur de correction dans l'eau et du type d'étalon utilisé. L'équipement était étalonné au moins deux fois par jour, avant et après les détonations, et l'étalonnage a été vérifié à mi-journée. Des étalonnages supplémentaires d'hydrophones ont été effectués au besoin après chaque nouveau type de détonation lorsqu'un ou plusieurs des paramètres suivants étaient modifiés : distance de l'hydrophone le plus proche, détonation d'un projectile inerte ou contenant de la matière explosive, absence/présence de rideau de bulles et calibre du projectile. Les caractéristiques de l'équipement sont présentées à l'annexe G. Pour mesurer la surpression dans l'eau, les hydrophones ont été installés approximativement à la moitié de la profondeur de la colonne d'eau pour chaque détonation. Cela a été effectué en mesurant la profondeur de l'eau à chaque plate-forme ancrée à partir de laquelle les hydrophones ont été descendus dans la colonne d'eau.

Chaque détonation a été mesurée à quatre emplacements différents, pour trois distances nominales différentes, et un total de quatre systèmes distincts simultanément. L'utilisation de quatre hydrophones a permis d'assurer une redondance en cas de panne de l'équipement. GHD a déployé quatre plates-formes flottantes équipées d'hydrophones (H1 à H4) qui avaient chacune un système d'enregistrement indépendant avec un hydrophone chacun. Chaque plate-forme et configuration de surveillance était opérée de manière indépendante des autres.

En raison du fait que les projectiles sont conçus pour projeter les fragments de façon radiale (et non longitudinalement), les hydrophones ont été positionnés de part et d'autre du projectile à faire détoner (projectile cible), et non longitudinalement par rapport au corps du projectile. La plate-forme H1 était positionnée perpendiculairement à l'orientation du projectile cible et les hydrophones deux, trois et quatre étaient positionnés à l'orientation perpendiculaire opposée avec une distance nominale de 20 m entre les plates-formes deux et trois, et entre les plates-formes trois et quatre. Ceci a donné des distances minimales de 40, 60 et 80 mètres pour le plus petit calibre de projectile, comme présenté sur la figure 4.1 et la figure 4.2. GHD a ajusté les distances des hydrophones pour chaque détonation en fonction des paramètres suivants : absence ou présence de rideau de bulles, calibre du projectile. Les distances entre chaque projectile et les quatre hydrophones sont indiquées pour chaque détonation dans le tableau B.1 de l'annexe B. Les ancres étaient abaissées dans les zones nettoyées ou libres de projectiles. Lorsque cela n'était pas possible, les ancres étaient déposées après approbation de l'officier de sécurité sur place.

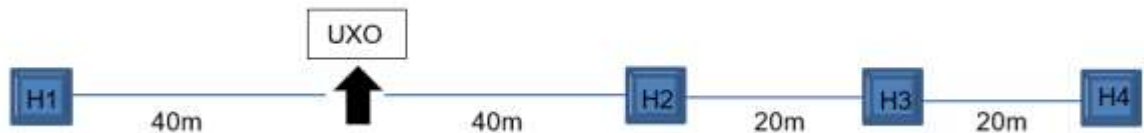


Figure 4.3 Exemple de déploiement des plates-formes d'hydrophones (H1-H4) pour un projectile de calibre 3"50



Figure 4.4 Déploiement d'hydrophones sur le terrain

4.5 Suivi des impacts des détonations *in situ* sur la végétation et sur la bathymétrie

4.5.1 Suivi des impacts sur les travaux des années antérieures

L'impact des travaux d'investigation et des détonations *in situ* sur la bathymétrie a été évalué à l'aide d'observations ciblées à des points où des projectiles ont été détonés. Les observations ont été réalisées par deux biologistes de GHD, les 21 octobre et le 5 novembre 2020, à l'aide d'un GPS et d'outils appropriés selon la profondeur de l'eau (caméra sous-marine, aquascope, observations à partir de la surface). Les mesures visées ont été les dimensions (diamètre et profondeur) du cratère, si visible, ainsi que la composition et la densité de la végétation dans le cratère et à proximité versus les aires non perturbées adjacentes.

Ces travaux visaient notamment à vérifier les deux cratères créés par la détonation de projectiles de calibre 105 mm en 2017, où des effets visibles sur la végétation avaient été observés en 2019 (GHD, 2020) :

- 2017-48 (CRAT Inconnu dans GHD 2020)
- 2017-177 (CRAT23 dans GHD, 2020)

Cinq autres points de détonation *in situ* réalisés en 2017 sur des projectiles de calibre 105 mm et 4,2" (les plus gros calibres ayant été détonés cette année-là) qui contenaient de la matière explosive ont également été vérifiés.



4.5.2 Suivi des impacts sur les travaux 2020

Le suivi des impacts a été réalisé par le personnel de GHD à l'aide d'une caméra sous-marine à partir des embarcations et par les plongeurs UXO lors de leurs plongées. La visibilité étant presque nulle, cette évaluation a été principalement faite au « touché ».

5. Critères de comparaison

5.1 Critères de comparaison du niveau sonore aérien

Des critères d'évaluation pour les niveaux sonores provenant d'explosions peuvent être établis en se référant au *Règlement sur les sablières et les carrières* (Q-2, r. 7,1). Selon ce règlement « la surpression de l'air ne dépasse pas 126 dB linéaires mesurée à l'habitation ou à l'établissement public ». Un dépassement occasionnel de ce seuil est permis, jusqu'à un maximum de 130 dB linéaires, 2 fois ou jusqu'à un maximum de 20 % du nombre total de sautages au cours d'une année civile. Les niveaux de pression pour les explosions à partir d'une source stationnaire sont évalués en termes de niveaux sonores en dB linéaires. Les sources de bruit impulsionnel sont évaluées individuellement. Les limites fixées par le *Règlement sur les sablières et les carrières* peuvent être utilisées pour évaluer les niveaux de pression des impulsions émis par les détonations *in situ* comme présentés dans le tableau 1. Notons que les détonations *in situ* ne sont pas assujetties à ce *Règlement*, et que ces valeurs limites représentent les seuls critères comparables selon la nature des présents travaux.

Tableau 5.1 Seuils pour les surpressions de l'air - Règlement sur les sablières et les carrières (Q-2, r. 7,1)

Nombre de détonations	Seuil pour les surpressions de l'air	
	Standard	Dépassements occasionnels permis
36 détonations au total	126 dB	-
20 % du nombre total (jusqu'à 7 détonations permises)	-	130 dB

5.2 Critères de comparaison pour le bruit sous-marin

Selon des données du MPO (2015), la pression létale pour les poissons serait de 100 kPa. Ce seuil est basé sur les pressions pouvant causer des dommages aux organes des poissons, particulièrement à la vessie natatoire (Wright et Hopky, 1998). Par contre, selon Dunlap et Aimone-Martin (2013), la pression la plus faible ayant blessé un poisson salmonidé était de 69 kPa. De plus, certaines études ont observé une absence de blessure ou de mortalité à des valeurs de pression s'élevant jusqu'à 1 999 kPa (Dunlap et Aimone-Martin, 2013). Puisque les pressions réelles générées par les détonations peuvent varier, MPO a recommandé d'utiliser un seuil conservateur de comparaison de 30 kPa pour établir les mesures d'atténuation (rayon des exclos) et la position des hydrophones. L'équation développée à l'aide des mesures prises lors de la surveillance des détonations *in situ* de 2018 (GHD, 2019) a d'abord été utilisée pour positionner les hydrophones.

Les plus petits calibres de projectiles ont été les premiers soumis à une détonation *in situ*, de façon à permettre un ajustement de la position des hydrophones. Les hydrophones les plus rapprochés des projectiles avec le plus petit calibre (ayant la masse explosive la plus faible) ont été positionnés à une distance nominale de 40 m du projectile. Les distances ont été augmentées progressivement pour les projectiles de calibres plus élevés afin de s'assurer que les hydrophones ne seraient pas saturés. La saturation des hydrophones a été vérifiée après chaque détonation lorsqu'un ou plusieurs des paramètres suivants étaient modifiés : distance de l'hydrophone le plus proche, projectile HE versus projectile inerte, absence versus présence de rideau de bulles, calibre du projectile. Les hydrophones étaient ancrés en place et positionnés au milieu de la colonne d'eau.

Les résultats sont présentés à la section 6.

6. Résultats et discussion

6.1 Impacts sur le niveau sonore aérien

Le tableau A.1 de l'annexe A présente les mesures du niveau d'impulsion sonore pour chaque détonation. Les niveaux sonores minimums, maximums et moyens enregistrés sont présentés dans le tableau 6.1.

Tableau 6.1 Mesures $LZ_{crête}$ enregistrées par le sonomètre pour les sites de surveillance sur l'eau et la rive

Emplacements des sonomètres	Valeurs $LZ_{crête}$ enregistrées (dB)		
	Minimum	Maximum	Moyenne
Eau	88,3 dB	122,1 dB	111,6 dB
Rive	79,8 dB	132,9 dB	103,7 dB

Une comparaison aux limites de surpression d'air du *Règlement sur les sablières et les carrières* est présentée au tableau 6.2 ci-dessous et plus en détail dans le tableau A.1 de l'annexe A.

Tableau 6.2 Comparaison des valeurs sur le terrain aux limites de surpression d'air du *Règlement sur les sablières et les carrières* (Q-2, r. 7,1)

Emplacement de mesure des niveaux sonores	Limites linéaires des niveaux sonores dans l'air			
	Standard 126 dB		130 db pour 20 % des explosions totales	
	Nombre d'explosions inférieures au critère	Pourcentage de toutes les explosions inférieures au critère	Nombre d'explosions > 126 db	Pourcentage de toutes les explosions > 126 db
Eau	36 sur 36	100 %	0 sur 36	0 %
Rive	34 sur 36	94 %	2 sur 36*	6 % (< 20 %)

* une de ces explosions a atteint 132,9 dB, dépassant le seuil de 130 dB.

Moins de 20 % des détonations excédaient le seuil de 126 dB. Les deux détonations qui ont dépassé le seuil de 126 dB correspondaient aux projectiles des plus gros calibres, un de 105 mm et

un de 155 mm, mais ils étaient inertes. De ces deux détonations, une avait une pression dépassant le seuil de 130 dB applicable aux dépassements occasionnels. À l'exception de cette mesure en rive, les niveaux sonores estimés de la détonation *in situ* des projectiles à tous les sonomètres sont donc inférieurs aux limites de référence présentées dans le *Règlement sur les sablières et les carrières*.

Le nombre de détonations par jour a varié de deux à huit, avec une moyenne de cinq détonations par jour et au maximum deux détonations par heure.

6.1.1 Modélisation de la propagation des niveaux de bruit aérien

Des courbes de niveau sonore représentatives du pire cas pour diverses combinaisons de paramètres ont été modélisées. Ces courbes incluent les effets d'atténuation dus à la divergence géométrique, l'atténuation atmosphérique, l'absorption par le sol et la directivité.

Les hypothèses de modélisation utilisées dans CadnaA pour la modélisation de la pression sonore dans l'air comprenaient :

- **Sources de bruit** : Toutes les détonations de projectiles ont été modélisées à l'aide des données LZcrête.
- **Élévation des sources de bruit** : Les hauteurs de toutes les sources ont été modélisées en fonction de la surface de l'eau.
- **Absorption par le sol** : Un facteur d'absorption par le sol de 0,0 a été utilisé pour représenter l'eau, un facteur de 0,10 a été utilisé pour représenter la végétation aquatique, et une valeur de 1,0 a été utilisée pour représenter les zones couvertes d'herbe.
- **Élévation des récepteurs** : Les hauteurs des récepteurs des sonomètres aux stations de surveillance ont été modélisées à 2,5 m sur la rive et à 3,0 m sur l'eau pour représenter correctement les hauteurs des sonomètres sur le site.
- **Directivité des sources de bruit** : La directivité des sources de bruit a été appliquée à toutes les sources.
- **Contours des élévations** : Les contours des élévations ont été inclus dans le modèle. Les données topographiques du terrain entourant le site sont essentiellement plates.

Les contours du niveau de pression sonore et l'évaluation du bruit impulsif aux sonomètres ont été évalués sur la base du niveau d'impulsion sonore de crête logarithmique linéaire (LZ_{crête}) à partir des niveaux de pression sonore impulsionnelle mesurés, comme indiqué dans le *Règlement sur les sablières et les carrières*) et des distances de référence. Ces données ne sont donc pas pondérées en fonction de la perception humaine. Les pressions de crêtes mesurées sont présentées dans le tableau A.1 de l'annexe A et sont présentées dans les figures D.1 à D.6 de l'annexe D.

Les tracés de contour représentatifs estimés à partir des détonations comprennent les combinaisons de paramètres suivantes :

- D.1 : Détonation d'un projectile de calibre 3"50 contenant de la matière énergétique, avec deux charges creuses et 20 sacs de sable (UXO 772 – 3"50);

- D.2 : Détonation d'un projectile de calibre 3"50 contenant de la matière énergétique avec deux charges creuses et 30 sacs de sable (UXO 311B – 3"50);
- D.3 : Détonation d'un projectile de calibre 90 mm inerte, avec deux charges creuses et 30 sacs de sable (UXO 334 – 90 mm);
- D.4 : Détonation d'un projectile de calibre 90 mm inerte, avec deux charges creuses et 50 sacs de sable (UXO 843 – 90 mm);
- D.5 : Détonation d'un projectile de calibre 105 mm inerte, avec deux charges creuses et 50 sacs de sable (UXO 284 – 105 mm) – cette combinaison de paramètres a donné les niveaux de bruit dans l'air le plus élevé;
- D.6 : Détonation d'un projectile de calibre 155 mm inerte, avec trois charges creuses et 50 sacs de sable (UXO 182 – 155 mm).

En prenant la figure présentant les tracés de contours pour le cas qui a donné les valeurs mesurées les plus élevées (D.5), on observe que seul le secteur de villégiature autour du club de la Landroche peut percevoir des niveaux de bruits dépassant 120 dB et pouvant donc excéder les limites de surpression d'air du *Règlement sur les sablières et les carrières*. En ce qui concerne les récepteurs en bordure de la route 132 à Baie-du-Febvre, ils peuvent percevoir des pressions de l'ordre de 100 à 110 dB. En ce qui concerne les récepteurs à Nicolet ou sur la rive nord du lac Saint-Pierre, incluant Pointe-du-Lac, ils sont tous à l'extérieur des aires pouvant percevoir plus de 80 dB.

6.2 Impacts sur le niveau sonore aquatique

Au cours de la campagne, 35 projectiles ont été soumis à une détonation *in situ* et un de ceux-ci a dû être soumis à une 2e détonation (UXO 311), pour un total de 36 détonations. Des 35 projectiles soumis à une détonation *in situ*, seuls 5 contenaient de la matière énergétique et ont explosé. Ils étaient tous de calibre 3"50. Dans tous les autres cas, seules les charges nécessaires à la détonation ont détonné. La masse d'explosif de 31 des détonations était donc uniquement liée aux explosifs donneurs puisqu'ils ne contenaient pas de matière explosive.

Les niveaux de surpression mesurés à chacun des quatre emplacements d'hydrophones au cours de chaque détonation sont résumés dans le tableau B.1 de l'annexe B.

6.2.1 Atténuation au moyen de rideaux de bulles

Pour quantifier l'efficacité du rideau de bulles, les données ont été regroupées en quatre catégories : « Rideau de bulles à pression indéterminée », « Aucun rideau de bulles », « Rideau de bulles à basse pression » et « Rideau de bulles à haute pression ».

- L'ensemble de données « Aucun rideau de bulles » est un ensemble limité de données comprenant des détonations où les projectiles étaient trop proches les uns des autres pour déployer le rideau de bulles en toute sécurité, et un cas où les travailleurs ont oublié d'activer le compresseur d'air du rideau de bulles, soit 5 détonations au total.
- L'ensemble de données « Rideau de bulles à pression indéterminée » comprend toutes les données pour lesquelles la pression de service du compresseur d'air n'a pas été notée, soit 7 détonations au total. Il s'agit des premières détonations.

- L'ensemble de données « Rideau de bulles à basse pression » comprend toutes les données où le compresseur d'air fonctionne à 30 psi, soit 3 détonations au total.
- L'ensemble de données « Rideau de bulles à haute pression » comprend toutes les données où le compresseur d'air fonctionne à 79 psi, soit 21 détonations au total.

La figure E.3 présente l'ensemble complet des données sans distinction liée aux charges explosives, aux pressions d'opération du rideau de bulles ou au nombre de sacs de sable utilisés. Comme illustré, le rideau de bulles à haute pression permet une atténuation importante et réduit en moyenne les niveaux de surpression de plus de 85 %.

La figure E.1 présente les pressions mesurées lors des détonations de projectiles (5) qui contenaient de la matière explosive. Puisque tous les projectiles qui contenaient de la matière explosive étaient du même calibre (3"50), la masse d'explosif était la même pour toutes ces détonations. Une de ces détonations a été réalisée sans rideau de bulles et avec 20 sacs de sable, et les pressions mesurées sont plus élevées que celles mesurées lors des détonations réalisées avec rideau de bulle et 30 sacs de sable. La pression mesurée aux hydrophones se trouve sous 30 kPa pour toutes les détonations réalisées avec 30 sacs de sable et un rideau de bulles à haute pression.

La figure E.2 présente le sous-ensemble des données pour lesquelles les projectiles étaient confinés par 50 sacs de sable et ont été confirmés inertes et donc pour lesquels seuls les explosifs donneurs ont explosé. La présence du rideau de bulles à haute pression réduit significativement la pression mesurée aux hydrophones. Toutes les pressions mesurées lors des détonations avec 50 sacs de sable et un rideau de bulles à haute pression se situent sous 50 kPa. Cependant, on peut constater que les pressions mesurées avec uniquement les explosifs donneurs ne sont pas beaucoup plus faibles que celles produites par des projectiles de calibre 3"50 contenant de la charge explosive. Il semblerait que la source des pressions créées ne serait pas seulement due à la masse de la charge explosive.

6.2.2 Atténuation au moyen de sacs de sable

Pour quantifier l'efficacité des sacs de sable, les données provenant d'un sous-ensemble pour lequel seule la quantité de sacs de sable (30 ou 50 sacs) changeait ont été comparées. Le sous-ensemble inclut toutes les détonations de projectiles inertes, pour lesquelles seuls les explosifs donneurs ont explosé, et avec l'usage du rideau de bulles à haute pression. Les résultats de ces regroupements de sacs de sable sont présentés graphiquement à la figure E.4. Comme illustré, il existe une forte corrélation entre le nombre de sacs de sable et les valeurs de surpression, toutes les valeurs plus élevées que prévu étant attribuables aux détonations avec 30 sacs de sable.

6.2.3 Modélisation des pressions générées par les détonations *in situ* dans l'eau

6.2.3.1 Modélisation des pressions générées par les détonations de projectiles contenant de la matière explosive en présence de rideau de bulles

Pour fournir une estimation des niveaux de surpression attendus à différentes distances, GHD a calculé les coefficients de propagation K (coefficient de similitude) et α (constante de similitude) à partir des données empiriques de pressions générées par les détonations *in situ* de projectiles de



calibre 3"50 contenant de la matière énergétique avec un minimum de 30 sacs de sable et l'usage d'un rideau de bulles à haute pression.

$$P_m = K \left(\frac{W^{1/3}}{R} \right)^\alpha$$

$$P_m = 132.28 \left(\frac{W^{1/3}}{R} \right)^{0.7786}$$

Où :

P_m = pression de crête, kPa

K = coefficient de similitude, sans unité

α = constante de similitude, sans unité

W = masse de la charge, kg

R = distance, m

Sur la base de la mesure d'atténuation mentionnée et de la propagation spécifique au site, GHD estime que la surpression moyenne causée par les détonations *in situ* sera inférieure à 30 kPa à l'extérieur du rideau de bulles pour tous les projectiles, sauf ceux de calibre 155 mm pour lesquels une pression de 30 kPa est prévue jusqu'à 13 mètres. Ces contours de propagation sont illustrés à la figure 6.1 ci-dessous.

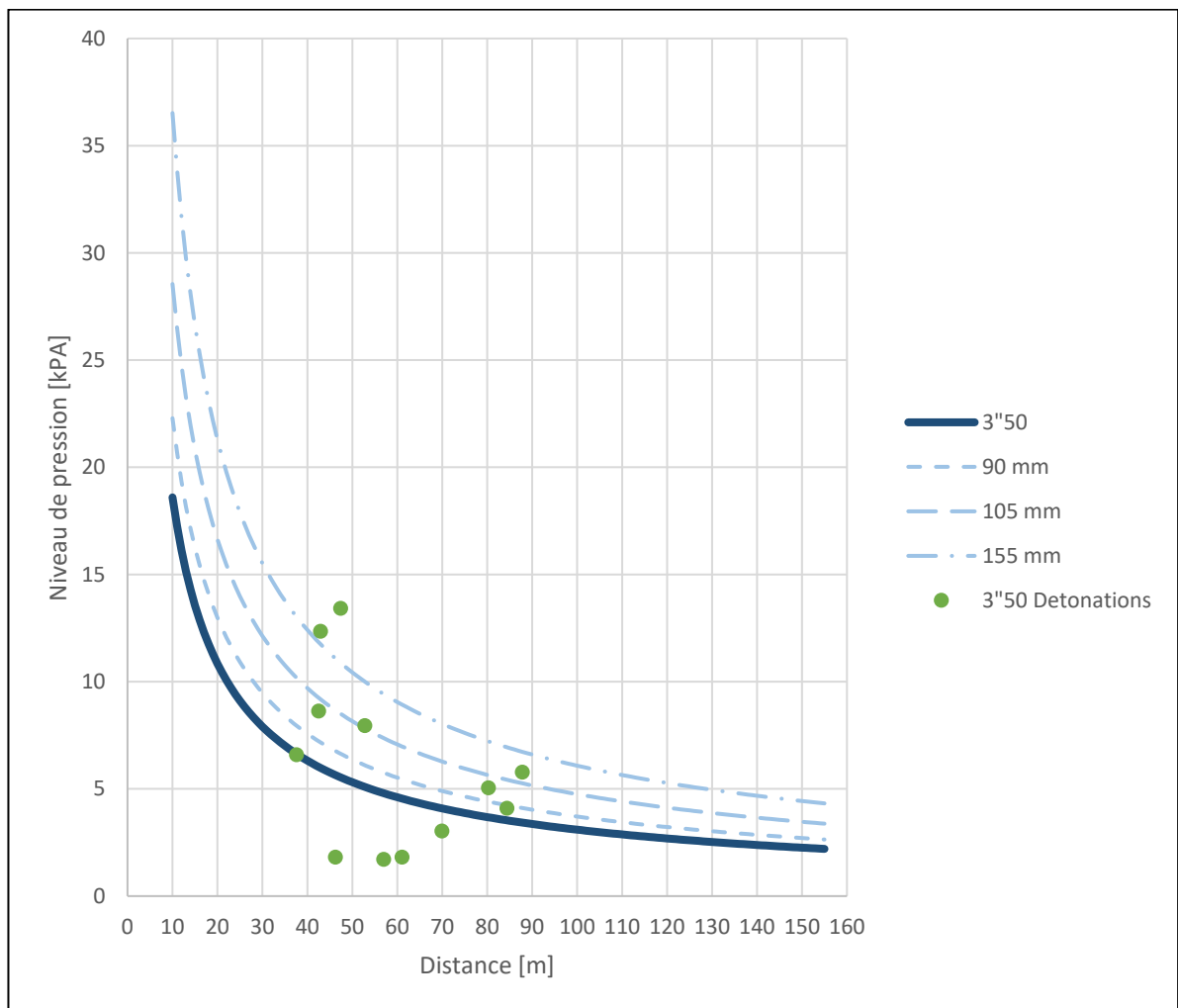


Figure 6.1 Pressions générées par la détonation *in situ* de projectiles contenant de la matière explosive avec rideau de bulles, mesurées et calculées

Reconnaissant la valeur d'une formule conservatrice, GHD note qu'un facteur de sécurité de 8 kPa adapterait le contour de propagation de la détonation d'un projectile de calibre 3\"50 à la mesure de surpression la plus élevée de l'ensemble des données, comme montré à figure 6.2 ci-dessous et représenté par l'équation suivante.

$$P_m = 132.28 \left(\frac{W^{1/3}}{R} \right)^{0.7786} + 8$$

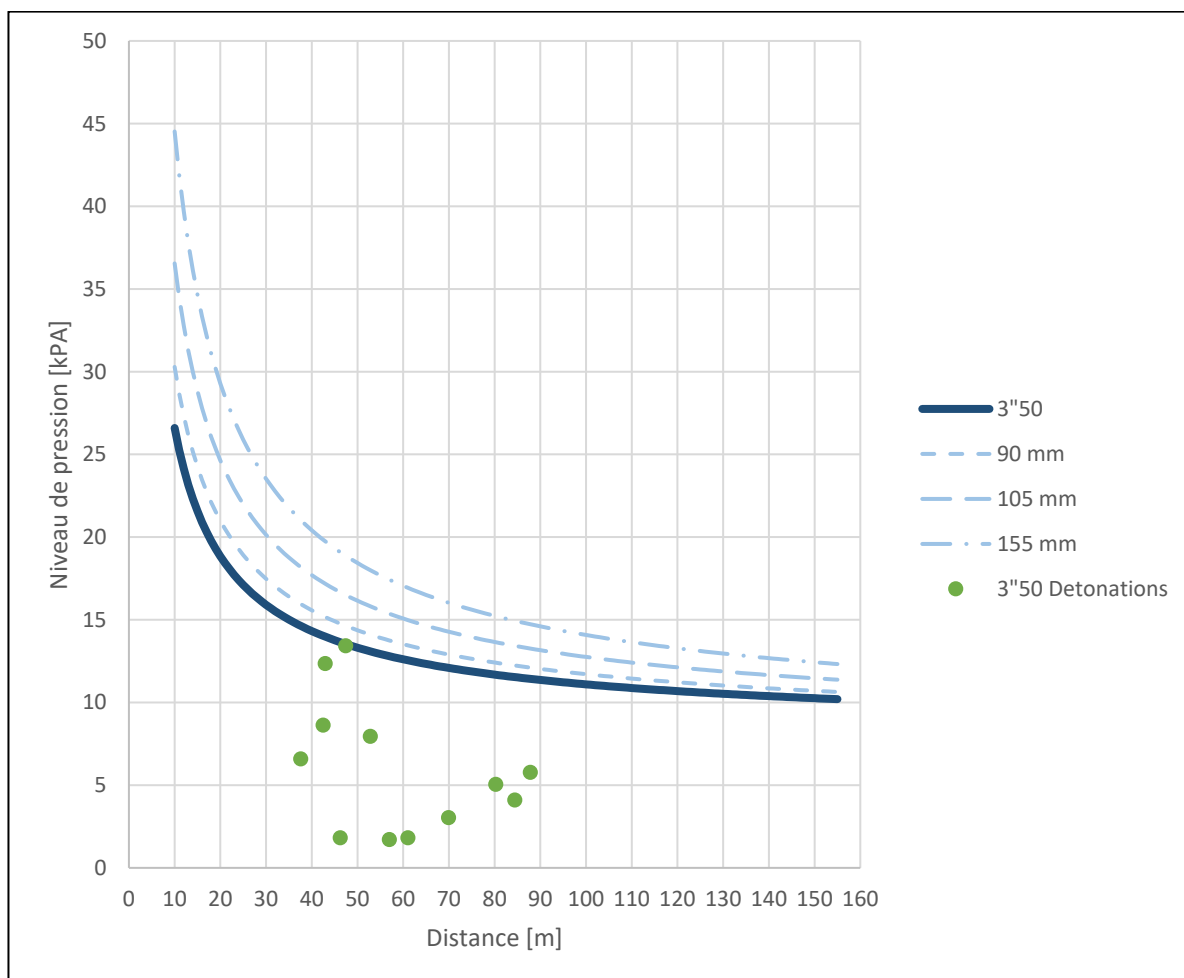


Figure 6.2 Pressions générées par la détonation *in situ* de projectiles contenant de la matière explosive avec rideau de bulles, mesurées et calculées, avec facteur de sécurité de 8 kPa

Ces contours sont plus conservateurs et prédisent toujours que les pressions générées par les détonations (en présence de rideau de bulles et de sacs de sable) seront inférieures à 30 kPa à l'extérieur du rideau de bulles pour tous les calibres de projectiles, sauf ceux de 105 mm et de 155 mm, pour lesquels le seuil de 30 kPa est prévu à 14 et 20 m du projectile (4 et 10 m du rideau de bulles) respectivement. Il est à noter que cette formule de propagation est spécifique aux détonations de 3\"50 avec un minimum de 30 sacs de sable et le rideau de bulles à haute pression. Comme il n'y a pas eu de détonations de projectiles de calibre 90 mm, 105 mm et 155 mm contenant de la matière explosive, ces contours de propagation représentent les meilleures estimations possibles à partir de l'ensemble des données actuelles.

6.2.3.2 Modélisation des pressions générées par les détonations d'explosifs donneurs (projectiles inertes) en présence de rideau de bulles

Les détonations d'explosifs donneurs (projectiles inertes) ont montré une plus grande variabilité que les détonations des projectiles de calibre 3\"50 contenant de la matière explosive, comme illustré sur la figure E.2, et sont donc considérées séparément. Cette plus grande variabilité peut être le résultat

d'une plus grande directivité causée par les interactions entre les deux ondes de choc de charges creuses distinctes, ou peut simplement être le résultat des effets de canalisation du son dans les eaux peu profondes qui se reflètent dans le grand ensemble de données. Ces deux facteurs sont examinés plus en détail à la section 6.2.4.

Le sous-ensemble de données pour la détonation de deux charges creuses, avec 50 sacs de sable et le rideau de bulles à haute pression fournit un ensemble de données utiles qui donne des coefficients de propagation de $k=5969,6$ et $\alpha=1,3546$. Sur la base de la mesure d'atténuation mentionnée et de la propagation spécifique au site, GHD estime que la surpression moyenne générée par les détonations de deux charges creuses sera inférieure à 30 kPa à 20 m des projectiles (10 m du rideau de bulles), comme le montre la figure 6.3 ci-dessous.

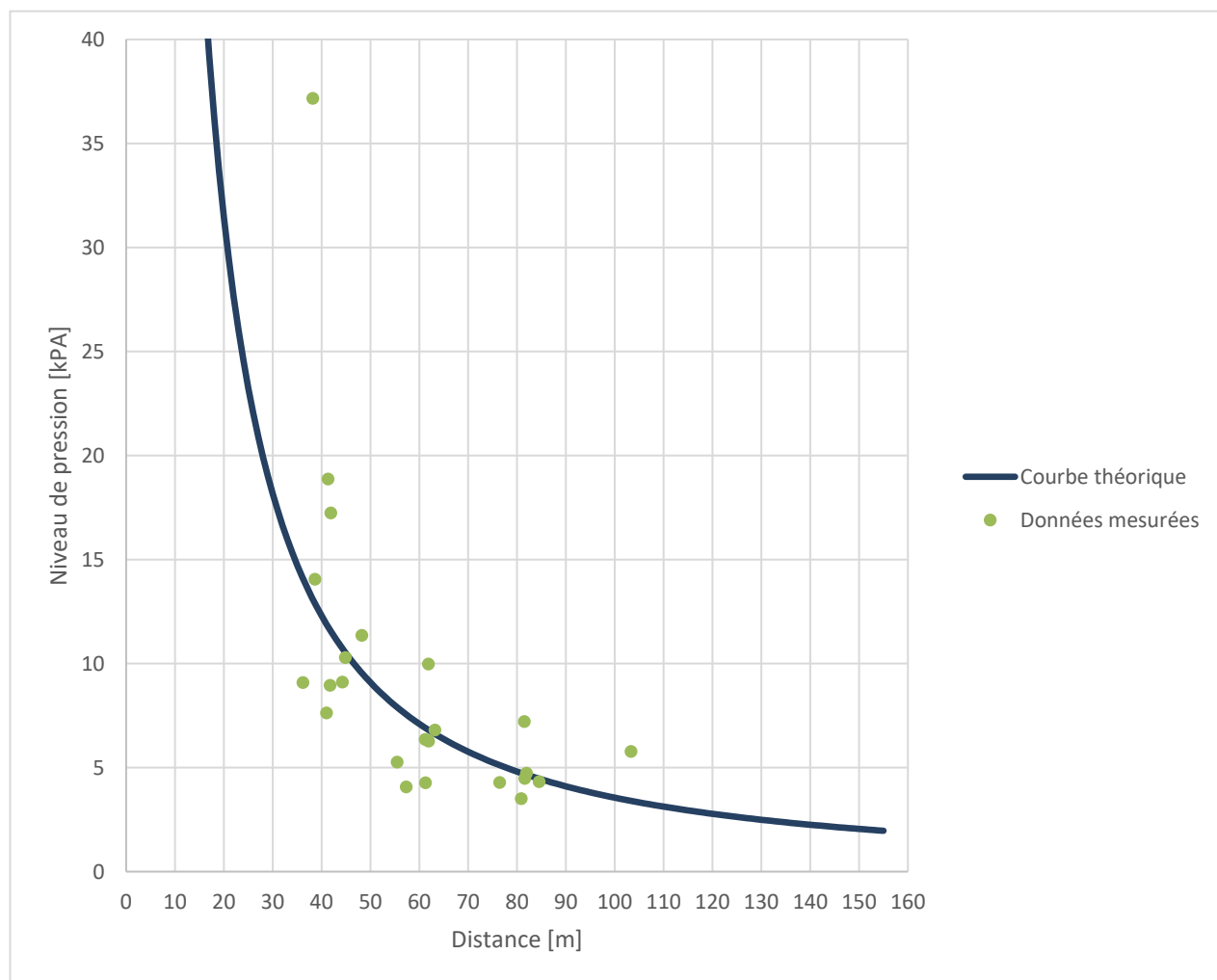


Figure 6.3 Pressions générées par l'explosion d'explosifs donneurs avec rideau de bulles, mesurées et calculées

Reconnaissant la valeur d'une formule conservatrice, GHD note qu'un facteur de sécurité de 7 kPa adapterait le contour de propagation de « deux charges creuses » à la mesure de la deuxième surpression la plus élevée de l'ensemble de données, comme montré à figure 6.4 ci-dessous et

représenté par l'équation suivante. La mesure de surpression la plus élevée a été omise du calcul du facteur de sécurité, car il s'agit apparemment d'une valeur aberrante.

$$P_m = 5969.6 \left(\frac{W^{1/3}}{R} \right)^{1.3546} + 7$$

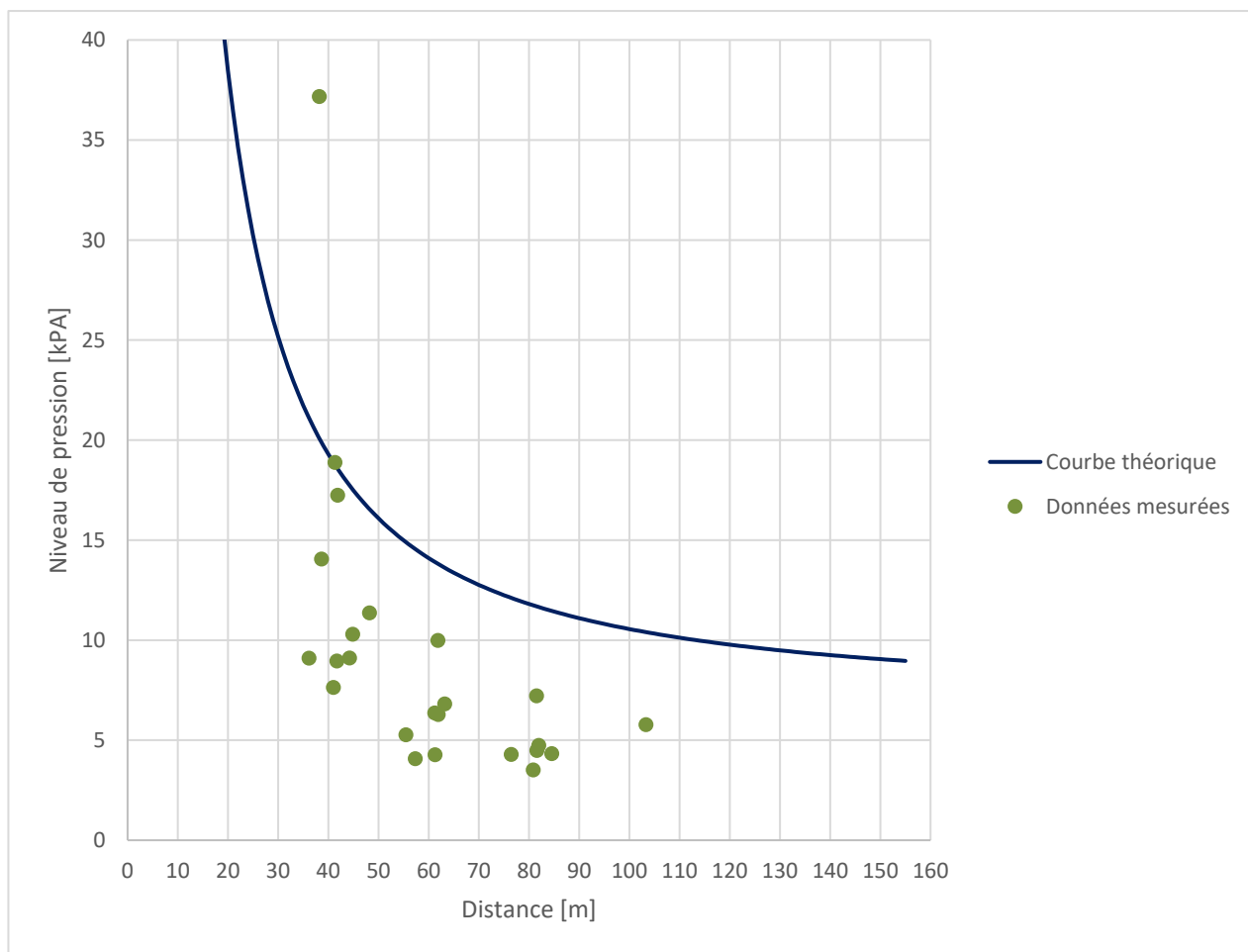


Figure 6.4 Pressions générées par l'explosion d'explosifs donneurs, mesurées et calculées, avec facteur de sécurité de 7 kPa

Ces contours sont plus conservateurs et prédisent toujours que les pressions générées par la détonation de deux charges creuses, en présence d'un rideau de bulles à haute pression et de 50 sacs de sable seront inférieures à 30 kPa à 25 m du projectile (15 m du rideau de bulles).

6.2.4 Discussion sur la propagation des pressions dans l'eau

Bien que les ensembles de données globales démontrent clairement l'efficacité du rideau de bulles et des sacs de sable, la variabilité importante au sein de chaque ensemble de données justifie un

examen plus approfondi. GHD a identifié les facteurs suivants qui expliquent probablement cette variabilité et examine chacun d'entre eux plus en détail ci-dessous.

1. Canalisation sonore en eaux peu profondes (interférence par trajets multiples);
2. Topographie sous-marine et conditions du fond;
3. Directivité.

6.2.4.1 Canalisation sonore en eaux peu profondes (interférence par trajets multiples)

Les profondeurs d'eau retrouvées pendant les travaux de détonation *in situ*, qui ont varié entre 1,5 m et 2,8 m, correspondent à la définition des eaux peu profondes de Robert Urick dans son texte *Principle of Underwater Sound* (2^e éd., 1975), qui définit les eaux peu profondes comme des plans d'eau où la distance de propagation correspond à plusieurs fois la profondeur de l'eau. Dans les plans d'eau qui répondent à cette définition, les caractéristiques acoustiques de la surface et du fond sont des déterminants importants du champ sonore.

Au plus simple, la transmission du son du point de détonation aux hydrophones suivra trois trajets généraux :

1. Trajet direct;
2. Réflexions depuis la surface;
3. Réflexions depuis le fond.

Ces trajets de transmission sont illustrés ci-dessous avec le trajet direct en rouge, la réflexion depuis la surface en orange, et la réflexion depuis le fond en vert.

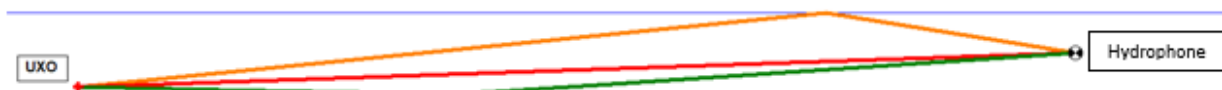


Figure 6.5 Trajets de transmission primaires

Chaque trajet de réflexion peut alors être considéré à plusieurs ordres de réflexion, où chaque « rebond » est considéré comme un ordre de réflexion. La figure ci-dessous montre quatre ordres de réflexion. Tout point où ces réflexions interagissent peut créer des interférences constructives (qui amplifient les niveaux de pression) ou des interférences destructrices (qui annulent les niveaux de pression).

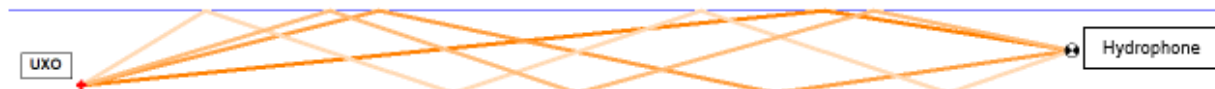


Figure 6.6 Multiples trajets de réflexion depuis la surface

En particulier, il est bien documenté que l'interface air-eau peut induire un changement de phase dans les réflexions depuis la surface. La figure ci-dessous montre ce changement de phase pour deux séries d'angles de réflexion de complexité croissante, les symboles « + » et « - » indiquant la phase relative de l'onde de choc. Les interactions de réflexion avec les phases positives

produiraient une interférence constructive, tandis que les interactions avec les phases négatives produiraient une interférence destructive.

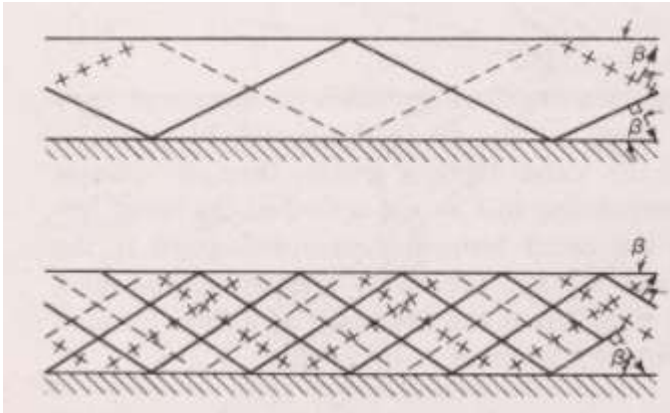


Figure 6.7 Changement de phase à l'interface air-eau (Urick, 1975)

Ces interactions sont davantage compliquées par le fait que la surface de l'eau et le fond du lac sont des réflecteurs imparfaits et peuvent donc créer de multiples réflexions à chaque rebond, ce qu'on appelle la diffusion. Le résultat net de ces interactions complexes est un champ acoustique très variable correspondant au champ proche et aux champs réverbérants, comme le montre la figure ci-dessous. On note que pour la canalisation des eaux peu profondes présente sur le site, la propagation en champ libre et lointain peut être limitée.

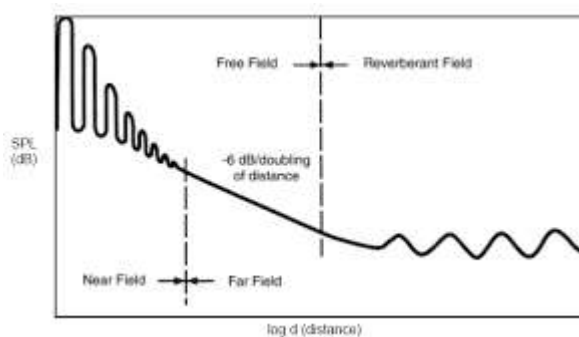


Figure 6.8 Champs sonores relatifs aux perturbations provenant d'une source (Stopson, 2020)

Bien que les tendances générales dans le champ proche et le champ réverbérant se propagent avec la distance, l'échantillonnage à des endroits ponctuels dans ces régions peut produire des résultats très variables et expliquerait les ensembles de données où les niveaux de pression augmentent avec la distance, ce qui a été observé dans quelques cas (par exemple aux UXO 850, 1010 et 1132). Les distances et les étendues exactes de ces régions de propagation dépendront de la masse des charges, de l'atténuation au moyen de sacs de sable, de l'atténuation au moyen de rideaux de bulles, de la topographie sous-marine et des conditions du fond (entre autres), et sont donc trop complexes à déterminer par des équations théoriques.

6.2.4.2 Topographie sous-marine et conditions du fond

En plus de la diffusion mentionnée ci-dessus, il faut noter que la topographie sous-marine et les conditions du fond ne sont pas homogènes dans toute la zone à l'étude. Cela crée des « points chauds » localisés ou des régions où les niveaux de pression se propageront davantage ou de façon non linéaire. Plus précisément, les sols plus durs tels que l'argile compacte devraient mieux réfléchir les ondes de pression que les sols sableux. Les affleurements rocheux ou toute autre topographie rugueuse du fond diffuseront également l'onde de pression dans des directions inattendues et peuvent expliquer des valeurs aberrantes spécifiques dans les ensembles de données.

Pour étudier l'impact des conditions du sol autour des projectiles, les données provenant des détonations des charges creuses (avec le rideau de bulles à haute pression) ont été regroupées en quatre catégories sur la base des observations subjectives de la nature du fond faites par les plongeurs. Encore une fois, cet ensemble de données a été choisi, car il représente le plus grand ensemble de données avec des paramètres homogènes, englobant 18 détonations au total. Les résultats de ces regroupements de types de fond sont représentés graphiquement à la figure E.5. On constate qu'il existe une faible corrélation entre la dureté observée et les valeurs de surpression mesurées. Toutefois, la corrélation apparente entre les conditions de sol meuble et les valeurs de pression plus élevées s'explique mieux par le nombre de sacs de sable, comme discuté au point 6.2.2. GHD présume que cette faible corrélation est attribuable à la nature subjective de l'évaluation des sols par les plongeurs. De plus, il est probable que les conditions du sol et de la topographie entre la détonation et l'hydrophone ont plus d'effet sur la propagation des ondes de choc que les conditions au point de détonation.

6.2.4.3 Directivité

Selon la localisation des charges creuses et du cordon détonant par rapport à chaque projectile, et selon son orientation, il est possible que l'onde de choc se propagera davantage dans certaines directions que dans d'autres. Cela semble être particulièrement vrai pour les projectiles inertes, pour lesquels les ondes de choc de chaque charge creuse interagissent les unes avec les autres.

La directivité de la forme de l'onde de choc sera modifiée par le nombre et l'orientation des sacs de sable qui fourniront des niveaux variables de confinement de la charge. Elle sera à nouveau modifiée par le rideau de bulles, qui fournira différents degrés d'atténuation en fonction de la distance, de la forme et de la pression relatives à travers le rideau de bulles. Au cours de la période de surveillance, il a été constaté que le rideau de bulles avait des formes circulaires imparfaites en raison de la nature de l'environnement de travail. De plus, la pression résultante dans le tuyau perforé à travers le rideau de bulles variait en raison des réparations et du fait qu'il y a généralement une pression plus élevée près du compresseur et une pression plus basse plus loin du compresseur. On s'attendait également à une certaine directivité de l'onde de choc créée par les détonations elles-mêmes, et c'est la raison pour laquelle l'hydrophone H1 a été placé à 180 degrés des hydrophones H2 à H4, afin d'augmenter les chances de mesurer la direction de propagation des ondes les plus fortes. Cette directivité explique les différences des mesures prises par ces deux groupes d'hydrophones et, dans une moindre mesure, peut expliquer la différence entre les mesures prises par les hydrophones H2 à H4, car chacun aura une transmission légèrement différente en fonction de leur angle d'exposition exact. Par exemple, il y a plusieurs cas pour

lesquels les résultats de H1 sont très différents de H2 (UXO 739, 612, 623, 1010, 1125, 1132, 843, 413, 314, 420, 393, 334, 182) ou pour lesquels l'hydrophone H4 a mesuré une pression légèrement plus élevée que l'hydrophone H3 (voir les UXO 739, 850, 612, 623, 1010, 1132, etc. au Tableau B.2).

6.3 Résultats relatifs à l'échantillonnage des poissons

Un essai de pêche a été réalisé le 22 octobre dans la zone visée par les travaux afin de tester la méthode, soit la manipulation d'une senne à partir d'une embarcation. Cet essai a été réalisé dans l'aire des travaux dans une zone indiquée comme sécuritaire par l'entrepreneur. Un coup de senne a été fait en étirant le filet sur sa longueur et le refermant sur lui-même. Trois espèces ont été capturées lors de cet essai pour un total de 19 poissons (Tableau 6.3). L'espèce la plus souvent capturée a été la Queue à tache noire (*Notropis hudsonius*) pour un total de 17 spécimens. Cet essai a démontré que la méthode de pêche utilisée permettait la capture et l'échantillonnage des poissons présents.

Tableau 6.3 Espèces de poissons capturés lors de l'essai de pêche

Date	Nombre de coups de senne	Espèces	Nombre	Longueur totale (cm)
22 octobre	1	Queue à tache noire <i>Notropis hudsonius</i>	1	9,5
22 octobre	1	Queue à tache noire	2	8,0
22 octobre	1	Queue à tache noire	7	7,5
22 octobre	1	Queue à tache noire	6	7,0
22 octobre	1	Queue à tache noire	1	6,0
22 octobre	1	Perchaude <i>Perca flavescens</i>	1	5,5
22 octobre	1	Tête rose <i>Notropis rubellus</i>	1	8,0

Lors des pêches effectuées avant les détonations des UXO 1110 et 772 (Tableau 6.4) (Figure 2), une seule espèce a été capturée à l'endroit du UXO 772, soit le Méné d'argent (*Hybognathus regius*), pour un total de six spécimens. La faible quantité de poissons capturés avant les détonations pourrait être le résultat d'un effarouchement causé par la présence de plusieurs embarcations et plongeurs travaillant autour du projectile visé.

Tableau 6.4 Espèces de poissons capturés avant les détonations

Date	UXO	Station de pêche	Nombre de coups de senne	Espèces	Longueur totale (cm)	État de santé
22 octobre	1110	1110	2	Aucune	-	-
22 octobre	772	772	1	Méné d'argent <i>Hybognathus regius</i>	6	Bonne

Pendant la période où des pêches ont été effectuées après les détonations, une seule espèce a été capturée, soit la Queue à tache noire aux positions des UXO 772 et 1121 pour un total respectif de 2 et 1 spécimens (Tableau 6.5) (Figure 2).

Le 23 octobre, une perchaude morte, d'une longueur totale de 23,6 cm, a été récupérée près du rideau de bulles après la détonation de l'UXO 771 (Tableau 6.5) (Figure 2). Aucun signe de blessure externe n'a été observé. Le poisson a été récupéré, congelé et remis au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) pour permettre son examen.

Le 26 octobre, à la suite de la détonation de l'UXO 1132, une barbotte (*Ameiurus nebulosus*) d'une longueur totale de 28 cm a été récupérée vivante dans le secteur du rideau de bulles, flottant sur le dos l'abdomen gonflé. Le poisson a été conservé dans un bac rempli d'eau pour permettre son observation. Il a été remis à l'eau vivant après quelque temps à la station d'observation (Sentinelle 1).

Le 29 octobre, à la suite de la détonation de l'UXO 311, un doré jaune (*Sander vitreus*), d'une longueur totale de 38 cm, a été récupéré par les plongeurs dans le secteur du rideau de bulles. Le poisson était vivant et flottait sur le dos. Ce poisson a été conservé dans un bac rempli d'eau pour permettre son observation. Après quelque temps, le poisson a été remis à l'eau vivant près de la station d'observation (Sentinelle 1). Aucune pêche n'a été réalisée pour les UXO suivants : 784 (vagues trop hautes) et 30 (UXO 22 présent à 4 m).

Les pêches ont été suspendues après le 29 octobre 2020 puisque l'effort de pêche n'entraînait généralement aucune capture à l'intérieur du rideau de bulles. En raison des niveaux d'eau élevés au moment des travaux, les sennes utilisées ne permettaient pas de couvrir toute la hauteur d'eau. Bien que la méthode de pêche semblait efficace dans la mesure où de la végétation submergée était généralement présente dans le filet, elle ne pouvait garantir la récupération de tous les poissons potentiellement présents dans l'exclos. À la suite d'une discussion tenue le 29 octobre avec les représentants de MPO, du MFFP et du MELCC, il a été décidé de suspendre les pêches.

Tableau 6.5 Espèces de poissons capturés après les détonations

Date	UXO	Station de pêche	Nombre de coups de senne	Espèces	Nombre	Longueur totale (cm)	État de santé
22 octobre	1110	1110	2	Aucune		-	-
22 octobre	772	772	1	Queue à tache noire	2	7,5	Bonne
23 octobre	771	771	1	Aucune		-	-
23 octobre	739	739	1	Aucune		-	-
23 octobre	850	850	1	Aucune		-	-
23 octobre	623	623	1	Aucune		-	-
23 octobre	270	270	1	Aucune		-	-
23 octobre	612	612	2	Aucune		-	-
26 octobre	1010	1010	2	Aucune		-	-
26 octobre	1125	1125	1	Aucune		-	-
26 octobre	1132	1132	1	Aucune		-	-

Tableau 6.5 Espèces de poissons capturés après les détonations

Date	UXO	Station de pêche	Nombre de coups de senne	Espèces	Nombre	Longueur totale (cm)	État de santé
28 octobre	1121	1121	2	Queue à tache noire	1	7,0	Bonne
28 octobre	896	896	1	Aucune		-	-
28 octobre	907	907	1	Aucune		-	-
28 octobre	1028	1028	1	Aucune		-	-
28 octobre	843	843	1	Aucune		-	-
29 octobre	577	577	1	Aucune		-	-
29 octobre	311	311	1	Aucune		-	-
29 octobre	22	22	1	Aucune		-	-

6.4 Impacts des détonations *in situ* sur la végétation et sur la bathymétrie

6.4.1 Recouvrement végétal avant détonations

La visibilité dans l'eau était très faible lors des travaux de détonation. Il était impossible de voir le fond à partir des embarcations. Même avec une caméra sous-marine, il n'a pas été possible d'observer le couvert végétal. La présence de végétation a donc été évaluée par les plongeurs lors de la mise en place des équipements pour la détonation. Dans tous les cas, les plongeurs ont rapporté une absence de végétation à l'endroit du projectile à faire détoner.

Il faut noter que ces résultats concordent bien avec la cartographie de la végétation aquatique réalisée en 2019 (GHD, 2020). En effet, seuls trois des projectiles à faire détoner étaient situés dans l'aire de présence de scirpe aigu épars, les autres étant localisés en dehors des aires de végétation émergentes (figure 2). Une dizaine de projectiles étaient dans l'aire de vallisnérie d'Amérique (*Vallisneria americana*) et de potamot de Richardson (*Potamogeton richardsonii*) épars, au sein de laquelle ces plantes submergées présentent une couverture de moins de 10 %, tandis que les autres se trouvaient dans l'aire où la couverture des herbiers de ces plantes submergées présente une alternance d'endroits avec un fond généralement nu, où la végétation recouvre de 10 à 30 % du fond, et d'endroits recouverts par des herbiers denses, où la végétation recouvre de 60 à 100 % du fond (GHD, 2020). Il faut noter que la réalisation des travaux de détonation à la fin octobre et début novembre fait en sorte que les herbiers de vallisnérie avaient déjà perdu leurs feuilles.

Le suivi de la végétation après les détonations réalisées en 2020 n'a pas été réalisé en raison de l'absence de végétation notée avant les détonations.

6.4.2 Suivi des impacts des travaux des années antérieures sur la bathymétrie et sur la végétation

Les observations prises à l'endroit de sites de détonations *in situ* réalisées en 2017 sont présentées au tableau 6.6. En raison de la faible visibilité, les données de caméra sont de mauvaise qualité pour la végétation submergée. La végétation émergente a pu être décrite.

Tableau 6.6 Observations aux points des détonations antérieures

Identification du projectile	Calibre projectile	Année de la détonation	Date des observations	Effet bathymétrie	Effet végétation
2017-2	105 mm	2017	5 novembre 2020	Aucun cratère observé, mais visibilité très faible dans l'eau (5 cm).	Point dans une grande aire d'eau libre avec peu de végétation. Faible densité de végétation submergée. Aucune différence notée entre le point de la détonation et la zone environnante.
2017-48	105 mm	2017	21 octobre 2020	Cratère d'environ 2 m de diamètre observé au centre de la zone perturbée.	Le centre du cratère recouvert à 100 % de potamot de Richardson. Zone sans végétation émergente d'un diamètre d'environ 8 m centré sur le cratère. Aire entre le cratère et la végétation émergente présente une couverture d'environ 30 % de potamot de Richardson.
2017-169	105 mm	2017	21 octobre 2020	Aucun cratère observé	Aucune zone sans végétation. Couverture de 10 % de scirpe d'Amérique, 20 % de scirpe fluviatile, 10 % de potamot de Richardson et 30 % de grand nénuphar jaune.
2017-177	105 mm	2017	21 octobre 2020	Cratère d'environ 1,5 m de diamètre et 10 cm de profond observé au centre de la zone perturbée.	Potamot de Richardson présent au centre du cratère. Zone sans végétation émergente d'un diamètre d'environ 7 m centré sur le cratère. Aire entre le cratère et la végétation émergente présente une couverture d'environ 10 % de potamot de Richardson et 10 % d'hétéranthère litigieuse.
2017-445	105 mm	2017	5 novembre 2020	Aucun cratère observé, mais visibilité très faible dans l'eau (5 cm).	Point à la limite du marais émergent dans un secteur de très faible densité de scirpe aigu. Scirpe aigu présent à 5 m au sud et 4 m à l'ouest du point. Présence de végétation submergée, difficile à identifier et quantifier à cause de la visibilité très faible.
2017-620	105 mm	2017	5 novembre 2020	Aucun cratère observé, mais visibilité très faible dans l'eau (5 cm)	Absence de végétation émergente dans une partie progressivement moins dense du marais. Présence de végétation submergée. Difficile à identifier et quantifier à cause de la visibilité très faible.

Tableau 6.6 Observations aux points des détonations antérieures

Identification du projectile	Calibre projectile	Année de la détonation	Date des observations	Effet bathymétrie	Effet végétation
2017-992	4,2"	2017	21 octobre 2020	Aucun cratère observé, mais la visibilité était pauvre (environ 15 cm).	Potamot de Richardson observé au point. Scirpes aigus présents à quelques mètres du point. Observations difficiles dues à la profondeur d'eau, de vagues de 30 cm et la turbidité de l'eau.

Les deux cratères visibles en 2019 (2017-48 et 2017-177) étaient toujours présents et identifiables. Cependant, le couvert de végétation submergée était plus important que l'année précédente. Ceci semble être lié à la croissance des plantes qui avaient été identifiées, soit le potamot de Richardson et l'hétéranthère litigieuse. Aucun autre cratère n'a été observé, mais les observations ont été limitées par les conditions de visibilité dans l'eau pour plusieurs des points. Comme en 2019, plusieurs points se trouvaient dans des aires où le marais est moins dense, ce qui rend difficile l'interprétation de la présence de végétation éparses ou d'absence de plante émergente sur le point visé. Dans ces cas, il n'est pas possible de statuer sur l'effet de la détonation sur l'habitat, mais cet effet semble limité. Il y avait un point, 2017-169, où la végétation était présente et diversifiée au point de détonation. Il n'est pas possible de dire avec certitude si ceci est lié à un impact moindre au moment de la détonation ou une reprise plus rapide de la végétation par rapport aux points 2017-48 et 2017-177, mais l'absence d'un cratère visible peut être une indication que l'effet initial était plus faible.

6.5 Évaluation de la mortalité des poissons

Afin d'évaluer l'effet du projet global sur la mortalité des poissons, GHD a d'abord calculé la superficie à l'intérieur de laquelle une pression létale est appréhendée. Ce calcul se base sur le fait que, sans rideau de bulles, des pressions dépassant le seuil de 30 kPa sont mesurées à plus de 10 m pour tous les projectiles, qu'ils soient inertes ou non, mais que la mise en place d'un rideau de bulles à haute pression a permis de maintenir les niveaux sous ce seuil à l'extérieur du rideau dans presque tous les cas. Nous avons donc supposé que l'aire affectée correspondait au cercle de 10 m de rayon circonscrit par le rideau de bulles. Ceci donne une superficie de 314 m² par détonation.

Au total, il est estimé que 1 743 projectiles devront être détonés *in situ* au cours du projet d'atténuation du risque à la sécurité publique lié aux UXO au lac Saint-Pierre (GHD, 2019). Ceci donne donc une superficie totale de 547 302 m² à l'intérieur de laquelle il pourrait y avoir mortalité de poissons liée à la surpression hydroacoustique. Selon le MFFP¹, la densité de poissons dans ce secteur du lac Saint-Pierre est de 1,93 poisson/m², toutes espèces confondues. La densité de la perchaude, une espèce d'intérêt particulier au lac Saint-Pierre est de 0,74 poisson/m². Ceci donne un total de 1 056 293 poissons potentiellement affectés, dont 405 003 perchaudes, sur toute la durée du projet, soit environ 9 ans.

¹ Estimation de l'abondance des poissons au lac Saint-Pierre, dans le secteur de la défense nationale. Document de travail préparé par Philippe Brodeur et Émilie Paquin. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs.

GHD considère toutefois que ceci est une évaluation du pire cas. En effet, la présence des travailleurs pour mettre en place les mesures d'atténuation, sacs de sable et rideau de bulles, devrait avoir comme effet d'effaroucher les poissons et donc de diminuer leur nombre dans l'aire affectée. L'activation du rideau de bulles étant faite avant le départ des travailleurs, ce dernier empêchera probablement les poissons de revenir à l'intérieur du rayon de 10 m à la suite du départ des travailleurs. De plus, le seuil de 30 kPa est conservateur étant donné que, selon Kolden et Aimone-Martin (2013), la pression la plus faible ayant blessé un poisson salmonidé est de 69 kPa (Goddard et coll., 2008, cité dans Kolden et Aimone-Martin, 2013), mais d'autres études ont observé une absence de blessure ou de mortalité à des valeurs de pression s'élevant jusqu'à 883 et 1 999 kPa (Yverton et coll., 1975 et Fernet, 1982, cités dans Kolden et Aimone-Martin, 2013).

6.6 Évaluation de la superficie d'habitat affectée par les détonations *in situ*

Afin d'évaluer la superficie d'habitat affecté, nous avons basé notre calcul sur les suppositions suivantes, qui sont un pire cas compatible avec les observations prises en 2019 et 2020 :

- UXO de calibre de 105 mm et plus. : Perte des plantes émergentes sur un rayon de 4 m (50 m²) pour une période de plus de 3 ans, avec retour des plantes submergées après 3 ans.
- UXO de calibres inférieurs à 105 mm : Mortalité des plantes dans le cratère. Un rayon de 0,5 m a été utilisé pour décrire un cratère typique, ce qui couvre une superficie d'environ 0,8 m².

En prenant le nombre de projectiles devant être détonné *in situ* et qui devraient contenir de la matière explosive présentée dans le rapport principal de l'étude d'impact sur l'environnement (GHD, 2019), la superficie totale perturbée sur l'ensemble du projet est de 37 670,8 m², sur toute la durée du projet, soit environ 9 ans (voir tableau 6.7). Il faut cependant noter que les observations à ce jour indiquent que certaines espèces de plantes indigènes du marais recolonisent les zones perturbées en trois ans et qu'il ne s'agit pas de perte permanente d'habitat.

Tableau 6.7 Distribution attendue de chaque calibre de projectiles devant être détoné *in situ*

Calibre du projectile en ordre décroissant du nombre répertorié	Nombre de projectiles détonés <i>in situ</i> qui devraient contenir de la matière explosive et exploser	Superficie affectée (m ²)
155 mm	460	23 000
105 mm	287	14 350
3"50 cal	287	229,6
90 mm	46	36,8
3"70 cal	34	27,2
4 po	23	18,4
76 mm	11	8,8
Total	1 148	37 670,8



7. Conclusions et recommandations

7.1 Impact sur l'environnement sonore

Les niveaux de pression terrestres mesurés dans l'air durant la détonation *in situ* de projectiles dans le lac Saint-Pierre étaient conformes aux critères applicables aux dynamitages dans les carrières au Québec.

7.2 Pressions subaquatiques

En tout, 36 détonations ont fait l'objet d'une surveillance. Les résultats ont indiqué que l'usage d'un rideau de bulles permet de réduire significativement la pression générée par les détonations, que ce soit des détonations de projectiles contenant de la matière explosive ou des projectiles inertes. Ces résultats suggèrent que la pression mesurée serait autant générée par la détonation des explosifs donneurs que par l'explosion de la charge explosive des projectiles. Cependant, il y a peu de données provenant de projectiles contenant de la matière explosive, et aucune donnée pour les plus forts calibres.

Les niveaux de pression sous-marine produits ont été analysés pour produire les formules de prévision de surpression suivantes pour les détonations atténuées.

Pour les détonations de projectiles inertes :

$$P_m = 5969.6 \left(\frac{W^{1/3}}{R} \right)^{1.3546}$$

Pour les détonations d'UXO :

$$P_m = 132.28 \left(\frac{W^{1/3}}{R} \right)^{0.7786}$$

Ces formules de propagation ont été établies à partir des détonations réalisées avec usage d'un rideau de bulles fonctionnant à haute pression et le nombre maximum de sacs de sable. Sous réserve des limites discutées dans ce rapport, ces formules prédisent que les niveaux moyens de surpression atténuée seront inférieurs à 30 kPa entre 10 et 20 m de l'UXO pour toutes les détonations (0 à 10 mètres du rideau de bulles).

Des mesures d'atténuation sont nécessaires pour réduire les niveaux de surpression associés à la détonation *in situ* des UXO. Sur la base des mesures prises sur le terrain, les mesures d'atténuation suivantes sont recommandées pour réduire les niveaux de surpression :

- 1) Rideau de bulles fonctionnant à pression élevée (79 psi). Le rideau de bulles doit être déployé uniformément autour du projectile et inspecté entre les détonations pour s'assurer qu'il n'est pas endommagé. Notons que l'utilisation d'un système de rideau de bulles qui diffère de celui utilisé lors des travaux de 2020, par exemple en variant la taille et l'orientation des trous perforés, pourrait avoir des effets imprévus sur son efficacité.
- 2) Il a été constaté que 50 sacs de sable offraient une meilleure atténuation que 30 sacs de sable, et que cette quantité devrait être maintenue à l'avenir.

- 3) Des sacs de sable supplémentaires pourraient être utilisés si plus de deux charges creuses sont nécessaires pour la détonation.

Par ailleurs, il est recommandé de poursuivre la surveillance de la pression sous-marine afin de démontrer l'intégrité du rideau de bulles et de fournir un retour d'information en temps réel pour résoudre tout problème lié à l'atténuation du rideau de bulles et s'assurer que le système fonctionne correctement. Il est recommandé de continuer la surveillance hydroacoustique jusqu'à démonstration que le système de mesures d'atténuation utilisé (sacs de sable et rideau de bulles) donne des résultats fiables et acceptables pour tous les types de projectiles à faire exploser. Il faut noter que toute modification aux mesures d'atténuation, par exemple l'utilisation d'équipements différents pour la création du rideau de bulles, nécessiterait une nouvelle validation à l'aide de mesures de pression.

7.3 Pêches de vérification

Nos observations directes sur le terrain indiquent que les pêches de vérification prédétonations à l'intérieur du rideau de bulles présentent un danger en termes de sécurité étant donné la présence d'un projectile à proximité. Une fausse manœuvre pourrait signifier que le filet se prenne dans le projectile. De plus, la zone de manœuvre est exiguë et difficile à naviguer même lorsque les vagues sont faibles. Il est recommandé de ne pas effectuer de pêches avant la détonation des projectiles.

7.4 Suivi des impacts sur la végétation et la bathymétrie

Il est recommandé de réaliser l'évaluation du couvert végétal et de l'impact des travaux sur la végétation durant la période de croissance maximale de la végétation aquatique durant les mois de juillet et d'août. Ce suivi devrait prioriser des points de détonation de projectiles contenant de la matière explosive où de la végétation était présente avant la détonation, ce qui n'a pas été le cas des points de détonation de 2020.

7.5 Perte d'habitat et mortalité de poissons

Les superficies dans lesquelles la végétation et les poissons sont affectés ont été évaluées. Il est estimé que la végétation sera perturbée sur une superficie de 37 670,8 m², mais les observations à ce jour indiquent que certaines espèces de plantes indigènes du marais recolonisent les zones perturbées en 3 ans et qu'il ne s'agit pas de perte permanente d'habitat.

En ce qui concerne les poissons, il est estimé qu'une superficie de 547 302 m², correspondant à l'aire à l'intérieur des rideaux de bulles pour l'ensemble des détonations *in situ*, sera exposée à des niveaux de pression dépassant 30 kPa, et ce, sur toute la durée du projet. Ceci exposera potentiellement 1 056 293 poissons, dont 405 003 perchaudes, à des surpressions hydroacoustiques pouvant causer des effets létaux. Ceci est considéré comme une évaluation du pire cas, puisque la présence de travailleurs et d'embarcations avant les détonations devrait effaroucher les poissons, et que le seuil de 30 kPa est considéré conservateur.



8. Références

- ANSI (American National Standards Institute). 2013. Acoustic terminology (ANSI S1.1-2013). New York: Acoustical Society of America.
- DUNLAP, K. D. et C. AIMONE-MARTIN. 2013. *Blasting Effects on Salmonids*. Alaska Department of Fish & Game, Division of Habitat, Southeast Region, Douglas, Alaska, juin 2013, 31 p.
- Fisheries Hydroacoustic Working Group. 2008. Agreement in principle for interim criteria for injury to fish from pile driving activities. NOAA Fisheries Northwest and Southwest Regions, U.S. Fish and Wildlife Service Regions 1 & 8, California/Washington/Oregon Departments of Transportation, California Department of Fish and Game, and the U.S. Federal Highway Administration.
- GHD. 2019. *Étude d'impact sur l'environnement déposée au ministre de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques – Atténuation du risque à la sécurité publique lié aux munitions explosives non explosées (UXO) au lac Saint-Pierre – Rapport principal*. Dossier 3211-02-314. 101 p. + annexes.
- GHD. 2020. Atténuation du risque à la sécurité publique lié aux munitions explosives non explosées (UXO) au lac Saint-Pierre – Études additionnelles (végétation aquatique et impacts des travaux). Rapport préparé pour le compte de Construction de la Défense Canada. 26 février 2020. 17 p. + annexes.
- Hastings, M.C. and A.N. Popper. 2005. Effects of sound on fish (No. CA05-0537). California Department of Transportation.
- IAGC (International Association of Geophysical Contractors). 2014. Fundamentals of Sound in the Marine Environment. Available at: <https://www.sbexp.com/media/hsseq/iagc/iagc-fundofsoundinmarineenv-june2014.pdf>.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2015. Ocean Explorer – Understanding Ocean Acoustic. Available at: <https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/sound01/background/acoustics/acoustics.html>.
- MPO (Pêches et Océans Canada). 2015. Courriel intitulé : RE : Lac Saint-Pierre – UXO. Courriel envoyé par le MPO à CDC le 23 novembre 2015 indiquant que le MPO considère que le seuil légal de pression est de 100 kPa et proposant un seuil conservateur de 30 kPa.
- Q-2, r. 7.1. 2020. Chapter Q-2, r. 7.1 of the Environment Quality Act - Regulation respecting sand pits and quarries.
- Scientific Fishery Systems, Inc. 2009. Port of Anchorage Marine Terminal Development Project – 2008 Underwater Noise Survey During Construction Pile Driving. Scientific Fishery Systems, Inc., Anchorage, AK. Available at: https://alaskafisheries.noaa.gov/sites/default/files/2008underwtrnoise_piledrive.pdf.
- Stopson Italiana. July 1, 2020. *Fundamentals of noise control in Power Generation plant*. Accessed January 14, 2021. <https://stopson.it/fundamentals-of-noise-control-in-power-generation-plant/>
- Urick, Robert. *Principles of Underwater Sound*. 2nd Ed. McGraw-Hill Inc. 1975.



WRIGHT, D.G., et G.E. HOPKY. 1998. *Guidelines for the use of explosives in or near Canadian fisheries waters*. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2107: iv + 34 p.

WSDOT (Washington State Department of Transportation). 2012. Biological assessment preparation advanced training manual version 02-2012. Chapter 7.0 – Construction Noise Impact Assessment. Available at: <https://www.nrc.gov/docs/ML1225/ML12250A723.pdf>.

Yost, W.A. 2007. *Fundamentals of Hearing: An Introduction*. New York: Academic Press.

9. Bibliographie

ANSI (American National Standards Institute). 1999. Maximum permissible ambient noise levels for audiometric test rooms (ANSI S3.1-1999). New York: Acoustical Society of America.

ANSI (American National Standards Institute). 2013. Acoustic terminology (ANSI S1.1-2013). New York: Acoustical Society of America.

Buehler, D., R. Oestman, J. Reyff, K. Pommerench, and B. Mitchell. 2015. Technical guidance for assessment and mitigation of the hydroacoustic effects of pile driving on fish. Report No. CTHWNP-RT-15-306.01.01. California Department of Transportation, Division of Environmental Analysis. Hazardous Waste, Air, Noise, Paleontology Office, Sacramento, California, USA.

CDC (Construction de Défense Canada). 2018. *Atténuation du risque à la sécurité publique lié aux munitions explosives non explosées (UXO) au lac Saint-Pierre. Enlèvement et disposition d'UXO. Suivi des travaux de détonation in situ 2017 et de l'efficacité des mesures d'atténuation mises en place, rapport préparé pour le compte du ministère de la Défense nationale*, 26 février 2018, 7 pages + annexes.

CDC (Construction de Défense Canada). 2017. *Atténuation du risque à la sécurité publique lié aux munitions explosives non explosées (UXO) au lac Saint-Pierre. Levé géophysique, enlèvement et disposition d'UXO. Suivi des travaux de détonation in situ 2016 et de l'efficacité des mesures d'atténuation mises en place, rapport préparé pour le compte du ministère de la Défense nationale*, 2 mars 2017, 9 pages + annexes.

Enlèvement et disposition de projectiles UXO, lac St-Pierre, Baie-du-Febvre-2018- Mise en place de mesures d'atténuation visant à éviter et à atténuer les dommages sérieux aux poissons ainsi que des répercussions sur les espèces aquatiques en péril et sur leur habitat ou leur résidence.

Fisheries Hydroacoustic Working Group. 2008. Agreement in principle for interim criteria for injury to fish from pile driving activities. NOAA Fisheries Northwest and Southwest Regions, U.S. Fish and Wildlife Service Regions 1 & 8, California/Washington/Oregon Departments of Transportation, California Department of Fish and Game, and the U.S. Federal Highway Administration.

GHD. 2018. Biological Resources Report - Long Beach Cruise Terminal Improvement Project. GHD Inc., Eureka, California.

GHD. 2019. *Suivi des travaux de détonation in situ 2018 et de l'efficacité des mesures d'atténuation mises en place – Enlèvement et détonations des UXO au lac Saint-Pierre en 2018*, 16 avril 2019, 18 p, + annexes.



Hastings, M.C. and A.N. Popper. 2005. Effects of sound on fish (No. CA05-0537). California Department of Transportation.

IAGC (International Association of Geophysical Contractors). 2014. Fundaments of Sound in the Marine Environment. Available at: <https://www.sbexp.com/media/hsseq/iagc/iagc-fundofsoundinmarineenv-june2014.pdf>.

ISO (International Organization for Standardization). 2017. Underwater Acoustics-Terminology, ISO 18405. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.

Kolden, K. D. et C. Aimone-Martin (2013). *Blasting Effects on Salmonids*, Alaska Department of Fish & Game, Division of Habitat, Southeast Region, Douglas, Alaska, juin 2013, 31 p.

NMFS (National Marine Fisheries Service). 2018. 2018 Revisions to: Technical guidance for assessing the effects of anthropogenic sound on marine mammal hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Dept. of Commer., NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59, 167 p.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2015. Ocean Explorer – Understanding Ocean Acoustic. Available at: <https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/sound01/background/acoustics/acoustics.html>.

Q-2, r. 7.1. 2020. Chapter Q-2, r. 7.1 of the Environment Quality Act - Regulation respecting sand pits and quarries.

Scientific Fishery Systems, Inc. 2009. Port of Anchorage Marine Terminal Development Project – 2008 Underwater Noise Survey During Construction Pile Driving. Scientific Fishery Systems, Inc., Anchorage, AK. Available at: https://alaskafisheries.noaa.gov/sites/default/files/2008underwtrnoise_piledrive.pdf.

Stopson Italiana. July 1, 2020. *Fundamentals of noise control in Power Generation plant*. Accessed January 14, 2021. <https://stopson.it/fundamentals-of-noise-control-in-power-generation-plant/>

United States Department of the Navy. 2017. Atlantic Fleet – Training and Testing Draft Environmental Impact Statement/Overseas Environmental Impact Statement (Volume 1). Available at: https://media.defense.gov/2018/Aug/16/2001955256/-1/-1/1/VOLUME_I_AFTT_DRAFT_EIS_OEIS.PDF

Urick, Robert. *Principles of Underwater Sound*. 2nd Ed. McGraw-Hill Inc. 1975.

WSDOT (Washington State Department of Transportation). 2012. Biological assessment preparation advanced training manual version 02-2012. Chapter 7.0 – Construction Noise Impact Assessment. Available at: <https://www.nrc.gov/docs/ML1225/ML12250A723.pdf>.

Yost, W.A. 2007. Fundamentals of Hearing: An Introduction. New York: Academic Press.

Q-2, r. 7.1. 2020. Chapter Q-2, r. 7.1 of the Environment Quality Act - Regulation respecting sand pits and quarries.



Veuillez agréer nos salutations distinguées.

GHD

Michael Masschaele, BES, LEL

Original signé

Jonathan M. Olson, biol., M. Sc.

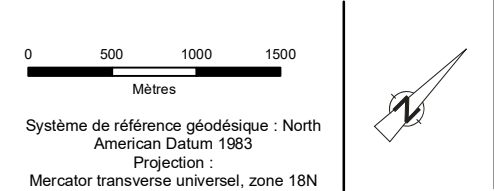
Original signé

Bruno Dupré, biol., M. Sc.

Figures



Source : Limites de la zone d'étude, Limites du CEEM de Nicolet, Zone prioritaire d'intervention, zone d'intervention potentielle : CDC, 2018. Hydrographie, routes: RHN, 2017. Base cartographique : Service d'imagerie du gouvernement du Québec, 2018.

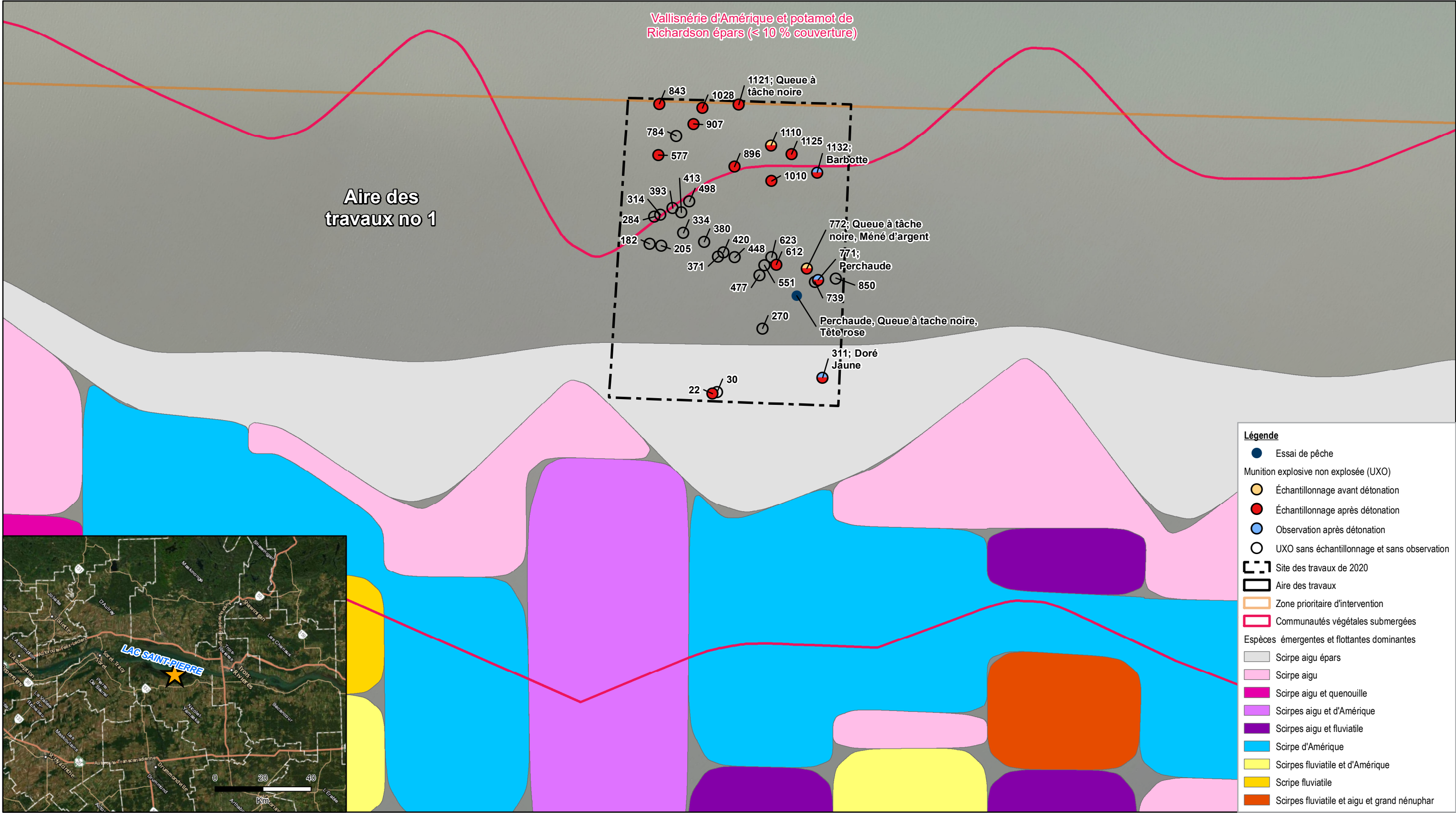


CONSTRUCTION DÉFENSE CANADA (CDC)
RAPPORT DE SURVEILLANCE DES DÉTONATIONS IN SITU EN 2020
ATTÉNUATION DU RISQUE À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE LIÉ AUX MUNITIONS EXPLOSIVES NON EXPLOSÉES
AU LAC SAINT-PIERRE

LOCALISATION DE L'AIRES DES TRAVAUX NO 1

11179956-E4
4 janvier 2021

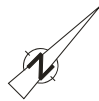
FIGURE 1



Source : Limites de la zone d'étude, Limites du CEEM de Nicolet, Zone prioritaire d'intervention, zone d'intervention potentielle : CDC, 2018. Hydrographie, routes: RHN, 2017. Relevé terrain : GHD, 2019. Base cartographique : Service d'imagerie du gouvernement du Québec, 2018.

0 60 120 180
Mètres

Système de référence géodésique : North American Datum 1983
Projection : Mercator transverse universel, zone 18N



CONSTRUCTION DÉFENSE CANADA (CDC)
RAPPORT DE SURVEILLANCE DES DÉTONATIONS IN SITU EN 2020
ATTÉNUATION DU RISQUE À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE LIÉ AUX MUNITIONS EXPLOSIVES NON EXPLOSÉES
AU LAC SAINT-PIERRE
ESPÈCES DE POISSONS CAPTURÉES AVANT ET APRÈS
LES DÉTONATIONS ET ESPÈCES OBSERVÉES

11179956-E4
4 janvier 2021

FIGURE 2

Annexes

Annexe A

Sommaire des résultats des pressions sonores dans l'air

Tableau A. 1

Résumé des résultats de la surveillance du niveau de pression acoustique dans l'air
Rapport de surveillance de la détonation des UXO 2020
Lac Saint-Pierre

#	Heure de la détonation	N° de l'UXO	Détonation HE	Inerte	Calibre	Masse de la charge	Nombre de sacs de sable	Orientation par rapport à l'UXO	Distance par rapport à l'UXO	Pression de crête mesurée		Conformité aux limites de surpression ⁽²⁾	
										Sur l'eau dB	En rive dB	126 dB Oui/Non	130 dB pour 20 % des explosions totales Oui/Non
					Type	kg			m				
1	10/22/20 12:52 PM	1110	✓		3"50 cal	0,521	20	N	91,1	113,3 dB	-	Oui	-
							20	SE	2504,3	-	85,2 dB	Oui	-
2	10/22/20 3:51 PM	772	✓		3"50 cal	0,521	20	N	90,9	121,9 dB (1)	-	Oui	-
							20	SE	2307,2	-	85,6 dB	Oui	-
3	10/23/20 9:53 AM	739		✓	90 mm	0,072	50	SO	85,8	122,1 dB (1)	-	Oui	-
							50	SE	2287,4	-	---	-	-
4	10/23/20 10:40 AM	771		✓	90 mm	0,072	50	SO	89,7	122,1 dB (1)	-	Oui	-
							50	SE	2291,1	-	---	-	-
5	10/23/20 12:01 PM	850		✓	90 mm	0,072	50	N	86,6	122,1 dB (1)	-	Oui	-
							50	SE	2298,1	-	---	-	-
6	10/23/20 2:13 PM	612		✓	90 mm	1,047	50	S	79,6	122,1 dB (1)	-	Oui	-
							50	SE	2307,5	-	---	-	-
7	10/23/20 3:19 PM	623		✓	90 mm	1,047	50	S	80,3	122,1 dB (1)	-	Oui	-
							50	SE	2318,9	-	---	-	-
8	10/23/20 4:49 PM	270		✓	90 mm	1,047	50	S	88,1	122,1 dB (1)	-	Oui	-
							50	SE	2199,5	-	---	-	-
9	10/26/20 9:05 AM	1010		✓	90 mm	1,047	50	E	1070,3	108,7 dB	-	Oui	-
							50	SE	2519,6	-	85,1 dB	Oui	-
10	10/26/20 10:17 AM	1125		✓	90 mm	0,072	50	E	1059,4	107,7 dB	-	Oui	-
							50	SE	2569,8	-	83,9 dB	Oui	-
11	10/26/20 11:45 AM	1132		✓	90 mm	0,072	50	E	1007,4	103,6 dB	-	Oui	-
							50	SE	2548,4	-	89,4 dB	Oui	-
12	10/28/20 10:05 AM	1121		✓	90 mm	0,072	50	E	1175,9	108,2 dB	-	Oui	-
							50	SE	2625,9	-	94,2 dB	Oui	-
13	10/28/20 11:38 AM	896		✓	90 mm	0,072	50	E	1136,7	107,4 dB	-	Oui	-
							50	SE	2522,8	-	79,8 dB	Oui	-
14	10/28/20 1:04 PM	907		✓	90 mm	0,072	50	E	1227,9	111,3 dB	-	Oui	-
							50	SE	2583,9	-	87,9 dB	Oui	-
15	10/28/20 2:27 PM	1028		✓	90 mm	0,072	50	E	1226,4	114,8 dB	-	Oui	-
							50	SE	2612,2	-	106,9 dB	Oui	-
16	10/28/20 4:12 PM	843		✓	90 mm	0,072	50	E	1293,8	115,7 dB	-	Oui	-
							50	SE	2611,3	-	111,9 dB	Oui	-
17	10/29/20 8:44 AM	577		✓	90 mm	0,072	30	E	1260,5	115,7 dB	-	Oui	-
							30	SE	2526,2	-	119,5 dB	Oui	-
18	10/29/20 9:54 AM	784		✓	90 mm	0,072	30	E	1245,9	104,5 dB	-	Oui	-
							30	SE	2561,2	-	116,3 dB	Oui	-
19	10/29/20 12:06 PM	311A		✓	3"50 cal	0,072	30	E	899,3	108,9 dB	-	Oui	-
							30	SE	2205,9	-	121,7 dB	Oui	-
19	10/29/20 12:39 PM	311B	✓		3"50 cal	0,521	30	E	899,3	108,1 dB	-	Oui	-
							30	SE	2205,9	-	121,9 dB	Oui	-
20	10/29/20 2:00 PM	30	✓		3"50 cal	0,521	30	E	1071,5	105,7 dB	-	Oui	-
							30	SE	2147,6	-	119,4 dB	Oui	-
21	10/29/20 2:32 PM	22	✓		3"50 cal	0,521	30	E	1079,0	101,1 dB	-	Oui	-
							30	SE	2143,7	-	125,0 dB	Oui	-
22	11/4/20 8:52 AM	413		✓	90 mm	0,072	50	E	1191,1	108,3 dB	-	Oui	-
							50	SE	2435,5	-	86,5 dB	Oui	-
23	11/4/20 9:55 AM	314		✓	90 mm	0,072	50	E	1222,8	102,8 dB	-	Oui	-
							50	SE	2427,5	-	90,8 dB	Oui	-
24	11/4/20 11:37 AM	551		✓	90 mm	0,072	30	E	1032,5	106,3 dB	-	Oui	-
							30	SE	2369,1	-	91,1 dB	Oui	-
25	11/4/20 12:30 PM	420		✓	90 mm	0,072	50	E	1104,1	103,1 dB	-	Oui	-
							50	SE	2378,9	-	88,0 dB	Oui	-
26	11/4/20 1:22 PM	477		✓	90 mm	0,072	30	E	1035,7	102,9 dB	-	Oui	-
							30	SE	2351,3	-	96,7 dB	Oui	-
27	11/4/20 2:27 PM	205		✓	90 mm	0,072	50	E	1206,7	103,4 dB	-	Oui	-
							50	SE	2376,7	-	94,2 dB	Oui	-
28	11/4/20 3:18 PM	448		✓	90 mm	0,072	30	E	1083,6	93,4 dB	-	Oui	-
							30	SE	2373,4	-	101,2 dB	Oui	-
29	11/4/20 4:13 PM	371		✓	90 mm	0,072	30	E	1110,5	88,3 dB	-	Oui	-
							30	SE	2370,2	-	108,7 dB	Oui	-
30	11/5/20 8:47 AM	380		✓	90 mm	0,072	30	E	1139,7	115,1 dB	-	Oui	-
							30	SE	2391,7	-	--	-	-
31	11/5/20 9:44 AM	498		✓	90 mm	0,072	30	E	1184,5	121,9 dB (1)	-	Oui	-
							30	SE	2455,3	-	114,5 dB	Oui	-
32	11/5/20 10:42 AM	393		✓	90 mm	0,072	30	E	1207,2	119,9 dB	-	Oui	-
							30	SE	2441,0	-	118,0 dB	Oui	-
33	11/5/20 12:04 PM	334		✓	90 mm	0,072	30	E	1177,5	118,3 dB	-	Oui	-
							30	SE	2402,3	-	122,9 dB	Oui	-
34	11/5/20 1:09 PM	284		✓	105 mm	0,072	50	E	1231,5	122,1 dB (1)	-	Oui	-
							50	SE	2423,3	-	132,9 dB	-	Non
35	11/5/20 2:27 PM	182		✓	155 mm	0,108	50	E	1225,9	122,1 dB (1)	-	Oui	-
							50	SE	2378,0	-	127,4 dB	-	Oui

Note :

(1) Unité surchargée en raison de la pression émise par la détonation. La valeur pourrait être biaisée à la baisse.

(2) Référence aux valeurs limites selon la *Loi sur la qualité de l'environnement du Québec* – chapitre Q-2, r. 7.1 : Règlement sur les carrières et sablières.

Annexe B

Sommaire des résultats de la surveillance des pressions acoustiques sous-marines

Tableau B.1

Résumé des résultats de la surveillance du niveau de pression acoustique dans l'eau
Rapport de surveillance de la détonation des UXO 2020
Lac Saint-Pierre

#	Heure de la détonation	N° de l'UXO	Détonation HE	Inerte	Calibre	Masse de la charge, W	Orientat ion, par rapport à l'UXO	Distance par rapport à l'UXO, R	Pression de crête mesurée (kPa)				Nombre de sacs de sable	Résistance du substrat	Rideau de bulles ⁽¹⁾	Emplacement de la barge par rapport à l'UXO
						kg		m	Hydrophone 1	Hydrophone 2	Hydrophone 3	Hydrophone 4			Oui/Non	Pression
1	10/22/20 12:52 PM	1110	✓		3"50 cal	0.521	S	35.7	101.2 kPa	-	-	-	20	-	Non	-
					3"50 cal	0.521	N	44.1	-	111.7 kPa	-	-	20	-	Non	-
					3"50 cal	0.521	N	72.4	-	-	85.7 kPa	-	20	-	Non	-
					3"50 cal	0.521	N	91.1	-	-	-	64.8 kPa	20	-	Non	-
2	10/22/20 3:51 PM	772	✓		3"50 cal	0.521	S	36.2	48.3 kPa	-	-	-	20	-	Oui	-
					3"50 cal	0.521	N	40.2	-	34.1 kPa	-	-	20	-	Oui	-
					3"50 cal	0.521	N	67.2	-	-	-	-	20	-	Oui	-
					3"50 cal	0.521	N	90.9	-	-	-	7.7 kPa	20	-	Oui	-
3	10/23/20 9:53 AM	739	✓		90 mm	0.072	NE	37.3	32.1 kPa	-	-	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	0.072	SO	47.3	-	7.4 kPa	-	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	0.072	SO	68.7	-	-	3.1 kPa	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	0.072	SO	85.8	-	-	-	5.3 kPa	50	Meuble	Oui	-
4	10/23/20 10:40 AM	771	✓		90 mm	0.072	NE	32.6	23.6 kPa	-	-	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	0.072	SO	51.6	-	20.3 kPa	-	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	0.072	SO	72.6	-	-	5.7 kPa	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	0.072	SO	89.7	-	-	-	5.9 kPa	50	Meuble	Oui	-
5	10/23/20 12:01 PM	850	✓		90 mm	0.072	S	48.5	16.5 kPa	-	-	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	0.072	N	44.0	-	21.5 kPa	-	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	0.072	N	57.8	-	-	25.1 kPa	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	0.072	N	86.6	-	-	-	41.1 kPa	50	Meuble	Oui	-
6	10/23/20 2:13 PM	612	✓		90 mm	1.047	N	51.5 (2)	95.9 kPa	-	-	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	1.047	S	40.3 (2)	-	5.5 kPa	-	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	1.047	S	56.7 (2)	-	-	2.2 kPa	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	1.047	S	79.6 (2)	-	-	-	7.1 kPa	50	Meuble	Oui	-
7	10/23/20 3:19 PM	623	✓		90 mm	1.047	N	42.2 (2)	33.3 kPa	-	-	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	1.047	S	41.6 (2)	-	5.9 kPa	-	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	1.047	S	59.3 (2)	-	-	2.9 kPa	-	50	Meuble	Oui	-
					90 mm	1.047	S	80.3 (2)	-	-	-	6.3 kPa	50	Meuble	Oui	-
8	10/23/20 4:49 PM	270	✓		90 mm	1.047	N	55.5	2.7 kPa	-	-	-	50	-	Oui	-
					90 mm	1.047	S	45.7	-	12.7 kPa	-	-	50	-	Oui	-
					90 mm	1.047	S	67.9	-	-	4.8 kPa	-	50	-	Oui	-
					90 mm	1.047	S	88.1	-	-	-	7.5 kPa	50	-	Oui	-
9	10/26/20 9:05 AM	1010	✓		90 mm	1.047	N	37.4	59.3 kPa	-	-	-	50	Meuble	Oui	30 psi
					90 mm	1.047	N	40.6	-	90.7 kPa	-	-	50	Meuble	Oui	30 psi
					90 mm	1.047	N	61.7	-	-	94.4 kPa	-	50	Meuble	Oui	30 psi
					90 mm	1.047	N	85.2	-	-	-	113.7 kPa	50	Meuble	Oui	30 psi
10	10/26/20 10:17 AM	1125	✓		90 mm	0.072	S	41.0	33.3 kPa	-	-	-	50	Meuble	Oui	30 psi
					90 mm	0.072	N	43.7	-	101.1 kPa	-	-	50	Meuble	Oui	30 psi
					90 mm	0.072	N	62.3	-	-	66.5 kPa	-	50	Meuble	Oui	30 psi
					90 mm	0.072	N	87.8	-	-	-	64.7 kPa	50	Meuble	Oui	30 psi
11	10/26/20 11:45 AM	1132	✓		90 mm	0.072	S	37.7	47.3 kPa	-	-	-	50	Meuble	Oui	30 psi
					90 mm	0.072	N	43.5	-	79.4 kPa	-	-	50	Meuble	Oui	30 psi
					90 mm	0.072	N	66.4	-	-	63.0 kPa	-	50	Meuble	Oui	30 psi
					90 mm	0.072	N	83.0	-	-	-	88.9 kPa	50	Meuble	Oui	30 psi
12	10/28/20 10:05 AM	1121	✓		90 mm	0.072	N	41.3	18.9 kPa	-	-	-	50	-	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	44.9	-	10.3 kPa	-	-	50	-	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	61.9	-	-	6.3 kPa	-	50	-	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	84.5	-	-	-	4.3 kPa	50	-	Oui	79 psi
13	10/28/20 11:38 AM	896	✓		90 mm	0.072	N	48.2	11.4 kPa	-	-	-	50	-	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	36.2	-	9.1 kPa	-	-	50	-	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	61.3	-	-	4.3 kPa	-	50	-	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	80.9	-	-	-	3.5 kPa	50	-	Oui	79 psi
14	10/28/20 1:04 PM	907	✓		90 mm	0.072	N	44.3	9.1 kPa	-	-	-	50	Dur	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	41.0	-	7.6 kPa	-	-	50	Dur	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	55.5	-	-	5.3 kPa	-	50	Dur	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	76.5	-	-	-	4.3 kPa	50	Dur	Oui	79 psi
15	10/28/20 2:27 PM	1028	✓		90 mm	0.072	N	41.9	17.2 kPa	-	-	-	50	Dur	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	38.7	-	14.0 kPa	-	-	50	Dur	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	61.9	-	-	10.0 kPa	-	50	Dur	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	81.5	-	-	-	7.2 kPa	50	Dur	Oui	79 psi
16	10/28/20 4:12 PM	843	✓		90 mm	0.072	N	38.2	37.2 kPa	-	-	-	50	Dur	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	41.7	-	9.0 kPa	-	-	50	Dur	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	63.2	-	-	6.8 kPa	-	50	Dur	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	S	82.0	-	-	-	4.7 kPa	50	Dur	Oui	79 psi
17	10/29/20 8:44 AM	577	✓		90 mm	0.072	S	45.5	6.1 kPa	-	-	-	30	Dur	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	N	38.7	-	9.1 kPa	-	-	30	Dur	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	N	59.6	-	-	3.1 kPa	-	30	Dur	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	N	73.3	-	-	-	3.1 kPa	30	Dur	Oui	79 psi
18	10/29/20 9:54 AM	784	✓		90 mm	0.072	S	39.4	7.3 kPa	-	-	-	30	-	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	N	41.7	-	22.0 kPa	-	-	30	-	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	N	58.9	-	-	13.2 kPa	-	30	-	Oui	79 psi
					90 mm	0.072	N	80.9	-	-	-	18.2 kPa	30	-	Oui	79 psi
19	10/29/20 12:06 PM	311A	✓		3"50 cal	0.072	S	41.4	0.5 kPa	-	-	-	30	-	Oui	79 psi
					3"50 cal	0.072	N	37.9	-	0.9 kPa	-	-	30	-	Oui	79 psi
					3"50 cal	0.072	N	62.4	-	-	0.6 kPa	-	30	-	Oui	79 psi
					3"50 cal	0.072	N	84.8	-	-	-	1.7 kPa	30	-	Oui	79 psi
19	10/29/20 12:39 PM	311B	✓		3"50 cal	0.521	S	41.4	7.9 kPa	-	-	-	30	-	Oui	79 psi
					3"50 cal	0.521	N	37.9	-	13.4 kPa	-	-	30	-	Oui	79 psi
					3"50 cal	0.521	N	62.4	-	-	3.0 kPa	-	30	-	Oui	79 psi
					3"50 cal	0.521	N	84.8	-	-	-	5.8 kPa	30	-	Oui	79 psi
20	10/29/20 2:00 PM	30	✓		3"50 cal	0.521	S	43.0	12.3 kPa	-	-	-	30	-	Oui	79 psi
					3"50 cal	0.521	N	42.5	-	8.6 kPa	-	-	30	-	Oui	79 psi
					3"50 cal	0.521	N	57.0	-	-	1.7 kPa	-	30	-	Oui	79 psi
					3"50 cal	0.521	N	80.3	-	-	-	5.0 kPa	30	-	Oui	79 psi
21	10/29/20 2:32 PM	22	✓		3"50 cal	0.521	S	37.6	6.6 kPa	-	-	-	30	-	Oui	79 psi
					3"50 cal	0.521	N	46.3	-	1.8 kPa	-	-	30	-	Oui	

#	Heure de la détonation	N° de l'UXO	Détonation HE	Inerte	Calibre	Masse de la charge, W	Orientation par rapport à l'UXO	Distance par rapport à l'UXO, R	Pression de crête mesurée (kPa)				Nombre de sacs de sable	Résistance du substrat	Rideau de bulles ⁽¹⁾		Emplacement de la barge par rapport à l'UXO
						kg		m	Hydrophone 1	Hydrophone 2	Hydrophone 3	Hydrophone 4			Oui/Non	Pression	
24	11/4/20 11:37 AM	551		✓	90 mm	0.072	S	60.9	20.1 kPa	-	-	-	30	Medium	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	54.3	-	22.3 kPa	-	-	30	Medium	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	70.5	-	-	14.5 kPa	-	30	Medium	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	97.5	-	-	-	25.2 kPa	30	Medium	Oui	79 psi	Ouest
25	11/4/20 12:30 PM	420		✓	90 mm	0.072	S	59.3	65.1 kPa	-	-	-	50	Meuble	Non	-	Est
					90 mm	0.072	N	62.0	-	160.9 kPa	-	-	50	Meuble	Non	-	Est
					90 mm	0.072	N	80.8	-	-	111.8 kPa	-	50	Meuble	Non	-	Est
					90 mm	0.072	N	103.4	-	-	-	137.1 kPa	50	Meuble	Non	-	Est
26	11/4/20 1:22 PM	477		✓	90 mm	0.072	S	52.8	7.1 kPa	-	-	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	58.2	-	7.8 kPa	-	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	74.1	-	-	4.2 kPa	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	97.3	-	-	-	5.2 kPa	30	Meuble	Oui	79 psi	Ouest
27	11/4/20 2:27 PM	205		✓	90 mm	0.072	S	61.4	118.6 kPa	-	-	-	50	Dur	Non	-	-
					90 mm	0.072	N	70.8	-	154.6 kPa	-	-	50	Dur	Non	-	-
					90 mm	0.072	N	82.4	-	-	132.5 kPa	-	50	Dur	Non	-	-
					90 mm	0.072	N	102.6	-	-	-	182.3 kPa	50	Dur	Non	-	-
28	11/4/20 3:18 PM	448		✓	90 mm	0.072	S	47.7	13.9 kPa	-	-	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	40.0	-	-	-	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	64.3	-	-	72.2 kPa	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	92.2	-	-	-	75.5 kPa	30	Meuble	Oui	79 psi	Ouest
29	11/4/20 4:13 PM	371		✓	90 mm	0.072	S	41.0	17.1 kPa	-	-	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Nord-ouest
					90 mm	0.072	N	39.4	-	-	-	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Nord-ouest
					90 mm	0.072	N	60.8	-	-	4.9 kPa	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Nord-ouest
					90 mm	0.072	N	79.5	-	-	-	4.4 kPa	30	Meuble	Oui	79 psi	Nord-ouest
30	11/5/20 8:47 AM	380		✓	90 mm	0.072	S	42.5	13.2 kPa	-	-	-	30	Moyen	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	39.1	-	10.0 kPa	-	-	30	Moyen	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	64.1	-	-	4.6 kPa	-	30	Moyen	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	85.0	-	-	-	16.4 kPa	30	Moyen	Oui	79 psi	Ouest
31	11/5/20 9:44 AM	498		✓	90 mm	0.072	S	39.2	14.8 kPa	-	-	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Sud-est
					90 mm	0.072	N	40.1	-	11.1 kPa	-	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Sud-est
					90 mm	0.072	N	67.0	-	-	5.1 kPa	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Sud-est
					90 mm	0.072	N	83.6	-	-	-	4.9 kPa	30	Meuble	Oui	79 psi	Sud-est
32	11/5/20 10:42 AM	393		✓	90 mm	0.072	S	41.5	7.8 kPa	-	-	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Est
					90 mm	0.072	N	47.4	-	135.0 kPa	-	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Est
					90 mm	0.072	N	66.3	-	-	64.1 kPa	-	30	Meuble	Oui	79 psi	Est
					90 mm	0.072	N	85.0	-	-	-	86.3 kPa	30	Meuble	Oui	79 psi	Est
33	11/5/20 12:04 PM	334		✓	90 mm	0.072	S	42.1	58.2 kPa	-	-	-	30	Dur	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	40.2	-	6.5 kPa	-	-	30	Dur	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	61.0	-	-	2.4 kPa	-	30	Dur	Oui	79 psi	Ouest
					90 mm	0.072	N	79.0	-	-	-	2.6 kPa	30	Dur	Oui	79 psi	Ouest
34	11/5/20 1:09 PM	284		✓	105 mm	0.072	S	57.3	4.1 kPa	-	-	-	50	Dur	Oui	79 psi	Ouest
					105 mm	0.072	N	61.2	-	6.4 kPa	-	-	50	Dur	Oui	79 psi	Ouest
					105 mm	0.072	N	81.6	-	-	4.5 kPa	-	50	Dur	Oui	79 psi	Ouest
					105 mm	0.072	N	103.3	-	-	-	5.8 kPa	50	Dur	Oui	79 psi	Ouest
35	11/5/20 2:27 PM	182		✓	155 mm	0.108	S	101.6	2.5 kPa	-	-	-	50	-	Oui	79 psi	Ouest
					155 mm	0.108	N	103.7	-	47.1 kPa	-	-	50	-	Oui	79 psi	Ouest
					155 mm	0.108	N	118.5	-	-	45.9 kPa	-	50	-	Oui	79 psi	Ouest
					155 mm	0.108	N	139.0	-	-	-	34.4 kPa	50	-	Oui	79 psi	Ouest

Note :

(1) Rideau de bulles avec un rayon de 10 m de l'UXO ciblé

(2) Distances estimées à l'aide de journaux photos et de distances nominales de référence de 40 m pour les hydrophones 1 et 2, de 60 m pour l'hydrophone 3 et de 80 m pour l'hydrophone 4.

Annexe C

Coordonnées des projectiles

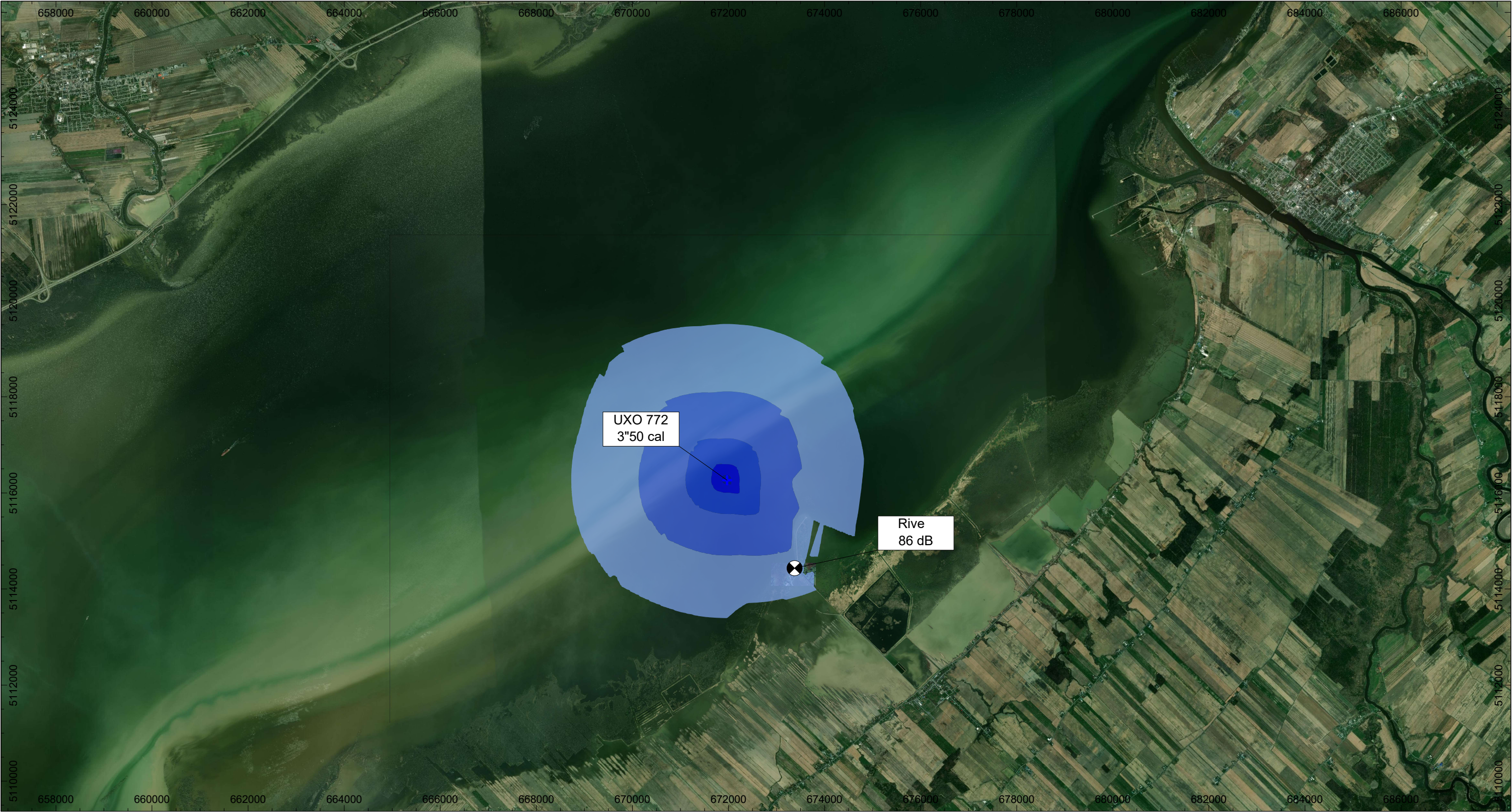
Tableau C.1

Coordonnées UTM des UXO
Rapport de surveillance de la détonation des UXO 2020
Lac Saint-Pierre

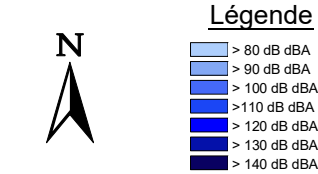
N°	N° DE L'UXO	Taille	UXO UTM Zone 18		Degrés et décimales	
			X	Y	Latitude	Longitude
1	1110	3"50 cal	671784,05	5116367,55	46,179213	-72,774275
2	772	3"50 cal	671971,30	5116264,65	46,178240	-72,771888
3	739	90 mm	671996,15	5116258,70	46,178180	-72,771569
4	771	90 mm	671997,90	5116264,65	46,178233	-72,771544
5	850	90 mm	672016,80	5116287,40	46,178433	-72,771291
6	612	90 mm	671930,70	5116233,15	46,177967	-72,772425
7	623	90 mm	671916,35	5116236,30	46,177999	-72,77261
8	270	90 mm	671989,50	5116141,80	46,177131	-72,771697
9	1010	90 mm	671826,75	5116325,90	46,178827	-72,773737
10	1125	90 mm	671818,70	5116381,20	46,179327	-72,773822
11	1132	90 mm	671870,5	5116389,95	46,179392	-72,773148
12	1121	90 mm	671697,95	5116377,35	46,179323	-72,775386
13	896	90 mm	671765,85	5116299,30	46,178604	-72,774536
14	907	90 mm	671667,85	5116301,40	46,178647	-72,775804
15	1028	90 mm	671659,45	5116330,80	46,178914	-72,775902
16	843	90 mm	671603,80	5116284,95	46,178515	-72,776639
17	577	90 mm	671662,95	5116223,35	46,177947	-72,775895
18	784	90 mm	671661,20	5116267,10	46,178340	-72,775902
19,1	311A	3"50 cal	672117,95	5116154,75	46,177215	-72,770030
19,2	311B	3"50 cal	672117,95	5116154,75	46,177215	-72,770030
20	30	3"50 cal	672010,85	5116013,70	46,175973	-72,771467
21	22	3"50 cal	672007,35	5116006,35	46,175908	-72,771515
22	413	90 mm	671757,45	5116183,10	46,177561	-72,774686
23	314	90 mm	671735,75	5116155,45	46,177318	-72,774977
24	551	90 mm	671917,40	5116218,80	46,177841	-72,772603
25	420	90 mm	671854,05	5116185,55	46,177558	-72,773435
26	477	90 mm	671923,35	5116201,30	46,177683	-72,772532
27	205	90 mm	671772,85	5116120,10	46,176990	-72,774510
28	448	3"50 cal	671873,30	5116192,90	46,177620	-72,773183
29	371	90 mm	671853,00	5116174,00	46,177455	-72,773453
30	380	90 mm	671819,05	5116175,40	46,177476	-72,773892
31	498	90 mm	671753,95	5116205,50	46,177763	-72,774724
32	393	90 mm	671742,05	5116177,85	46,177517	-72,774888
33	334	90 mm	671783,70	5116161,40	46,177359	-72,774354
34	284	105 mm	671730,85	5116146,00	46,177234	-72,775044
35	182	155 mm	671757,10	5116108,90	46,176894	-72,774718

Annexe D

Figures des contours des niveaux de pression sonore dans l'air



Source: Google Satellite

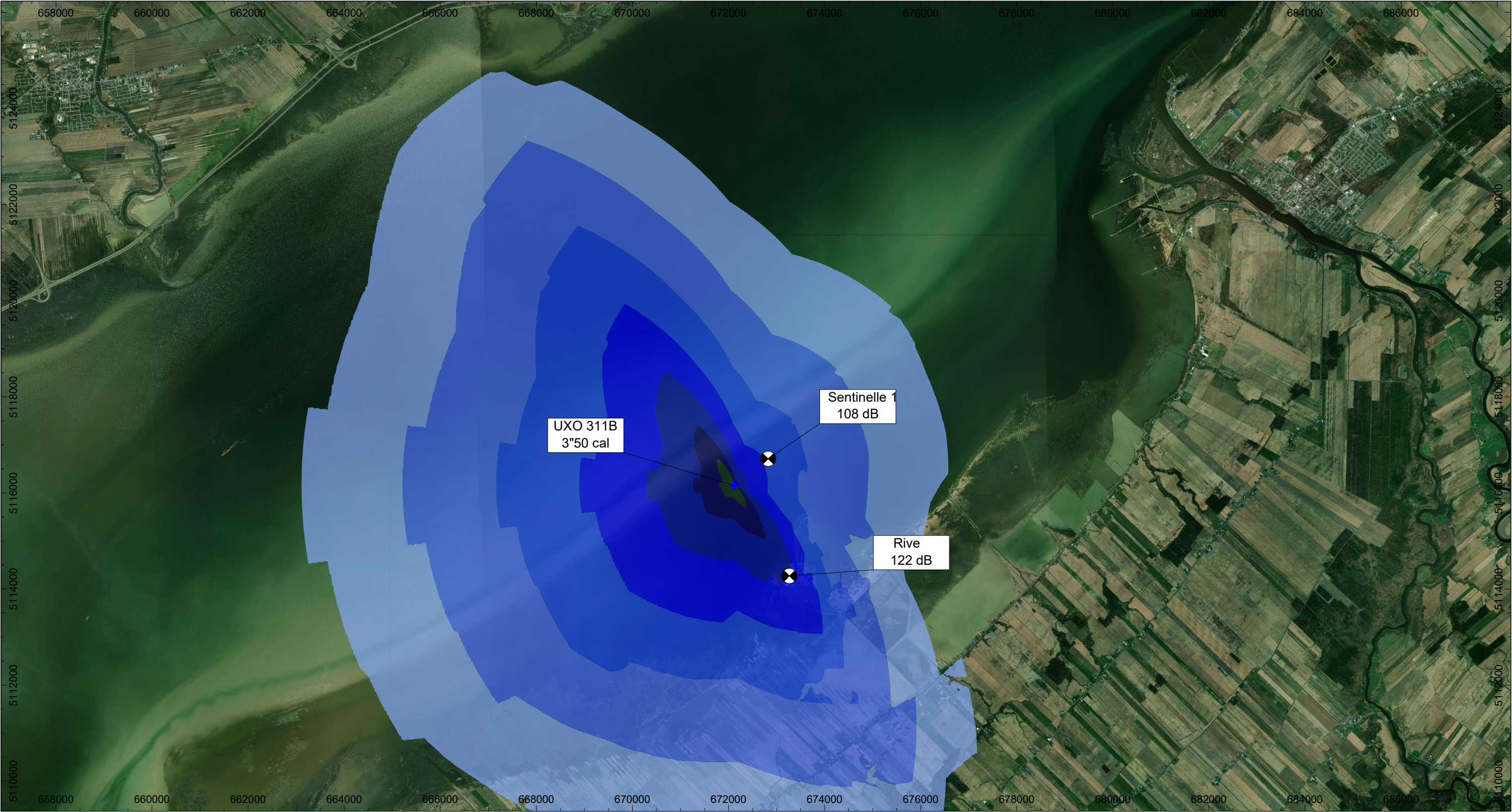


CONSTRUCTION DÉFENSE CANADA (CDC)
RAPPORT DE SURVEILLANCE DES DÉTONATIONS IN SITU EN 2020
ATTÉNUATION DU RISQUE À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE LIÉ AUX MUNITIONS EXPLOSIVES NON EXPLOSÉES
AU LAC SAINT-PIERRE

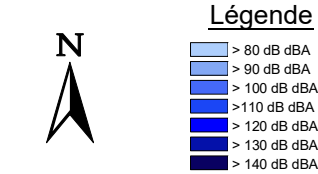
UXO 772 - 3"50 cal HE et 2 charges creuses (20 sacs de sable)

11179956
18.01.2021

Figure D.1



Source: Google Satellite

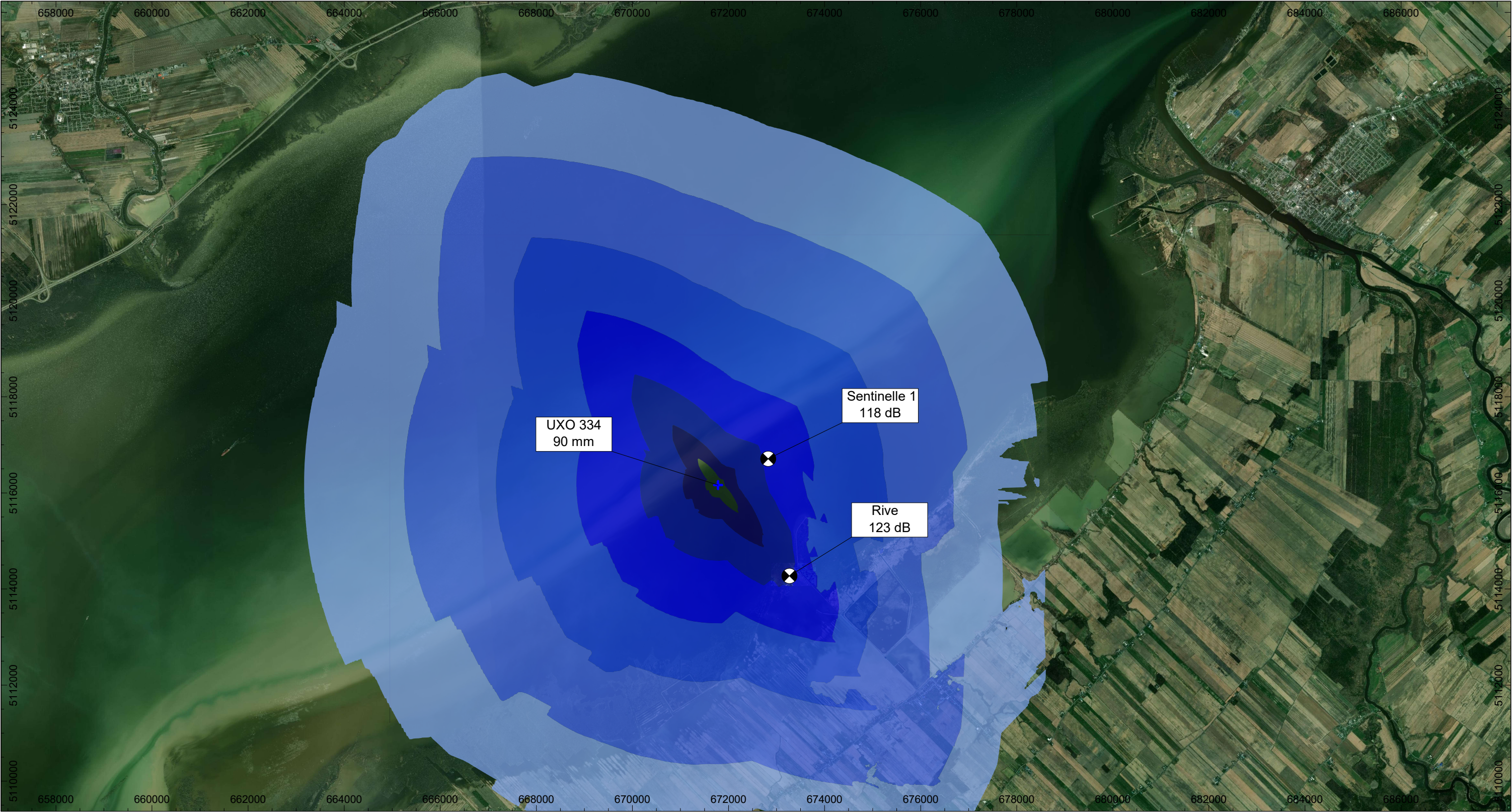


CONSTRUCTION DÉFENSE CANADA (CDC)
RAPPORT DE SURVEILLANCE DES DÉTONATIONS IN SITU EN 2020
ATTÉNUATION DU RISQUE À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE LIÉ AUX MUNITIONS EXPLOSIVES NON EXPLOSÉES
AU LAC SAINT-PIERRE

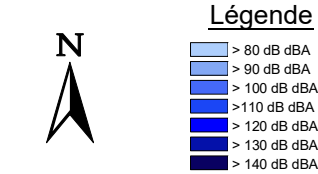
UXO 311B - 3"50 cal HE et 2 charges creuses (30 sacs de sable)

11179956
18.01.2021

Figure D.2



Source: Google Satellite

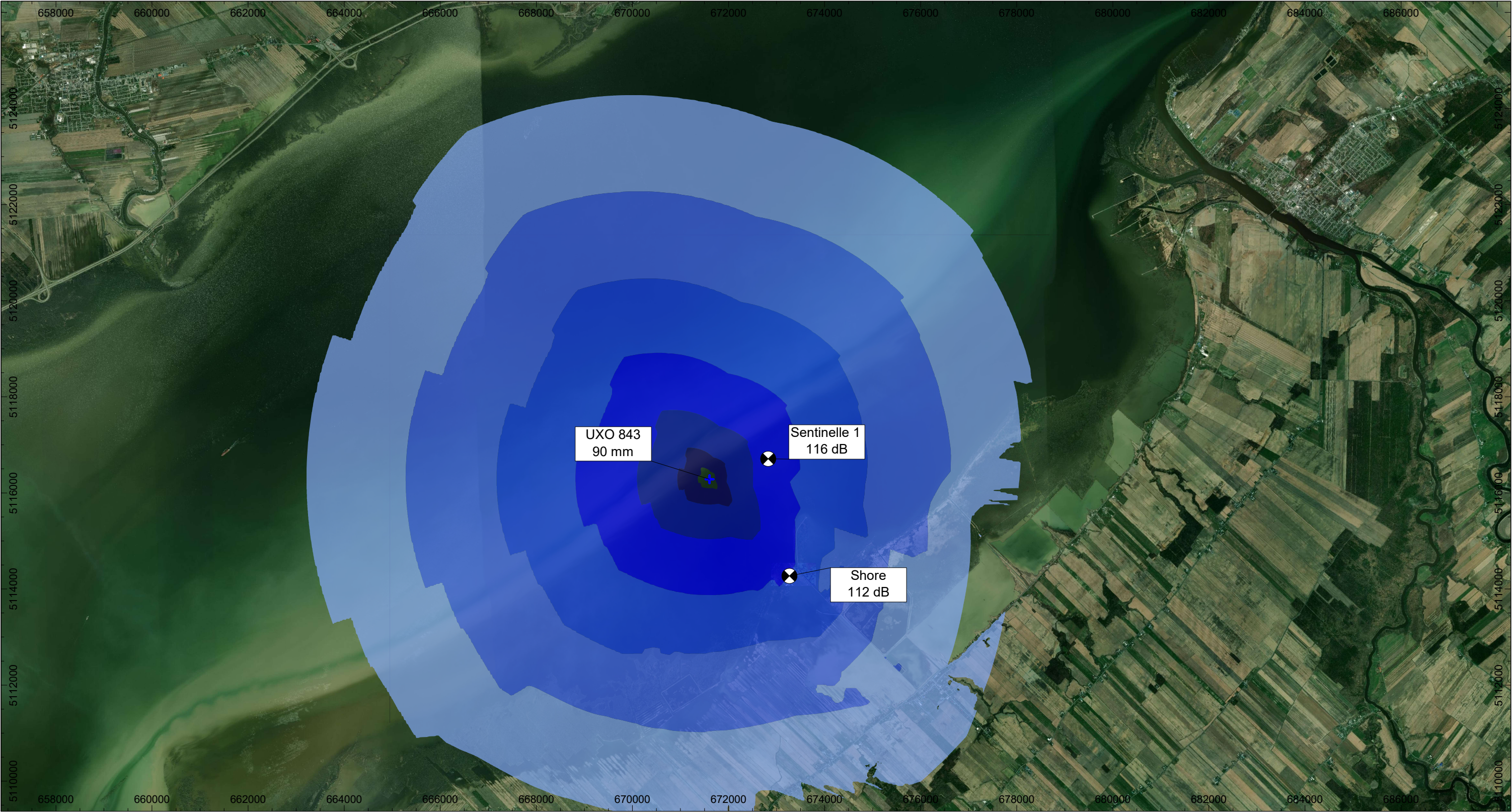


CONSTRUCTION DÉFENSE CANADA (CDC)
RAPPORT DE SURVEILLANCE DES DÉTONATIONS IN SITU EN 2020
ATTÉNUATION DU RISQUE À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE LIÉ AUX MUNITIONS EXPLOSIVES NON EXPLOSÉES
AU LAC SAINT-PIERRE

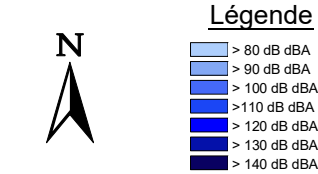
UXO 334 - 90 mm inerte et 2 charges creuses (30 sacs de sable)

11179956
18.01.2021

Figure D.3



Source: Google Satellite

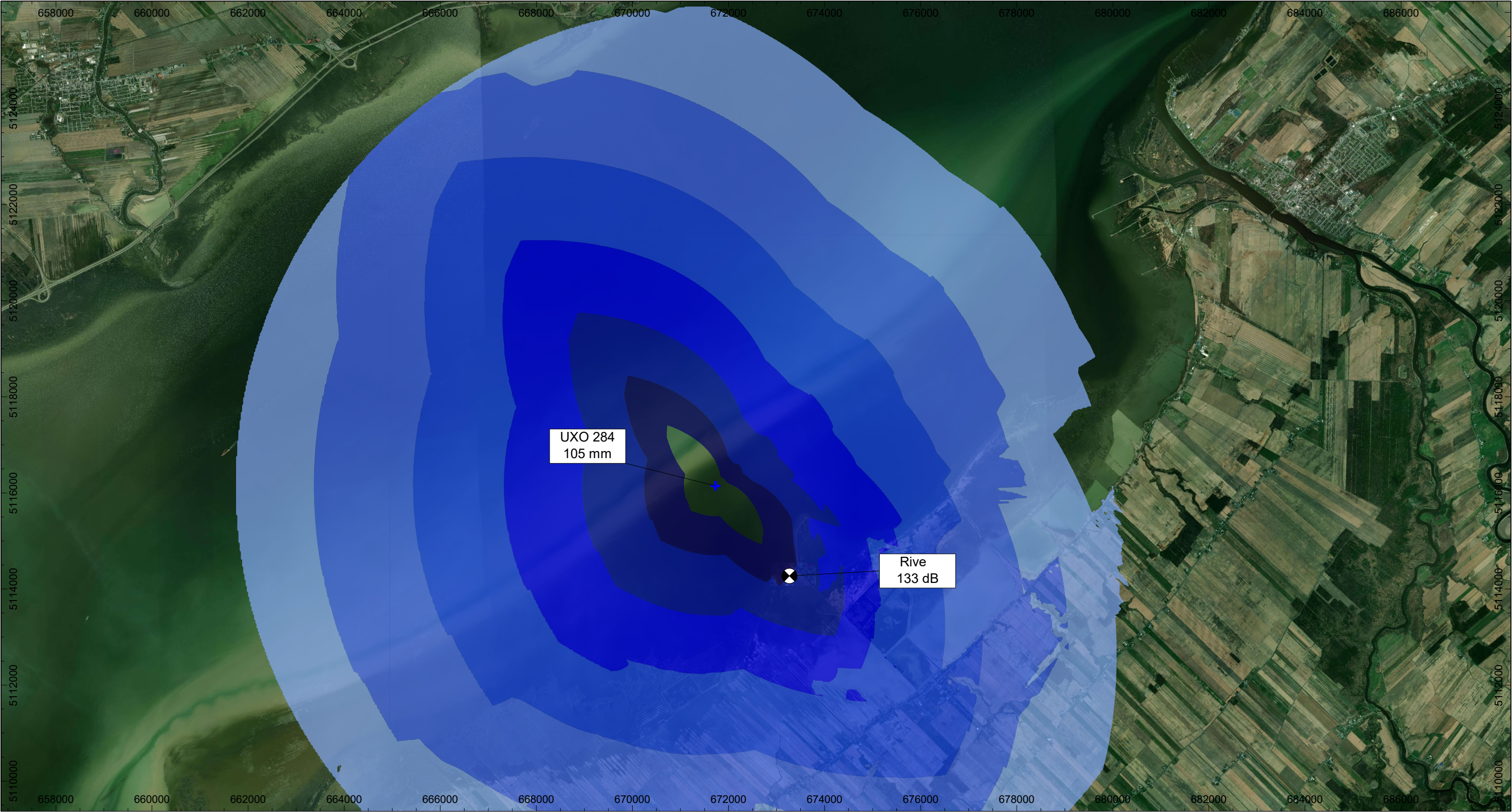


CONSTRUCTION DÉFENSE CANADA (CDC)
RAPPORT DE SURVEILLANCE DES DÉTONATIONS IN SITU EN 2020
ATTÉNUATION DU RISQUE À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE LIÉ AUX MUNITIONS EXPLOSIVES NON EXPLOSÉES
AU LAC SAINT-PIERRE

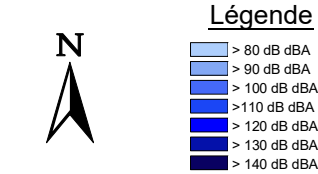
UXO 843 - 90 mm inerte et 2 charges creuses (50 sacs de sable)

11179956
18.01.2021

Figure D.4



Source: Google Satellite

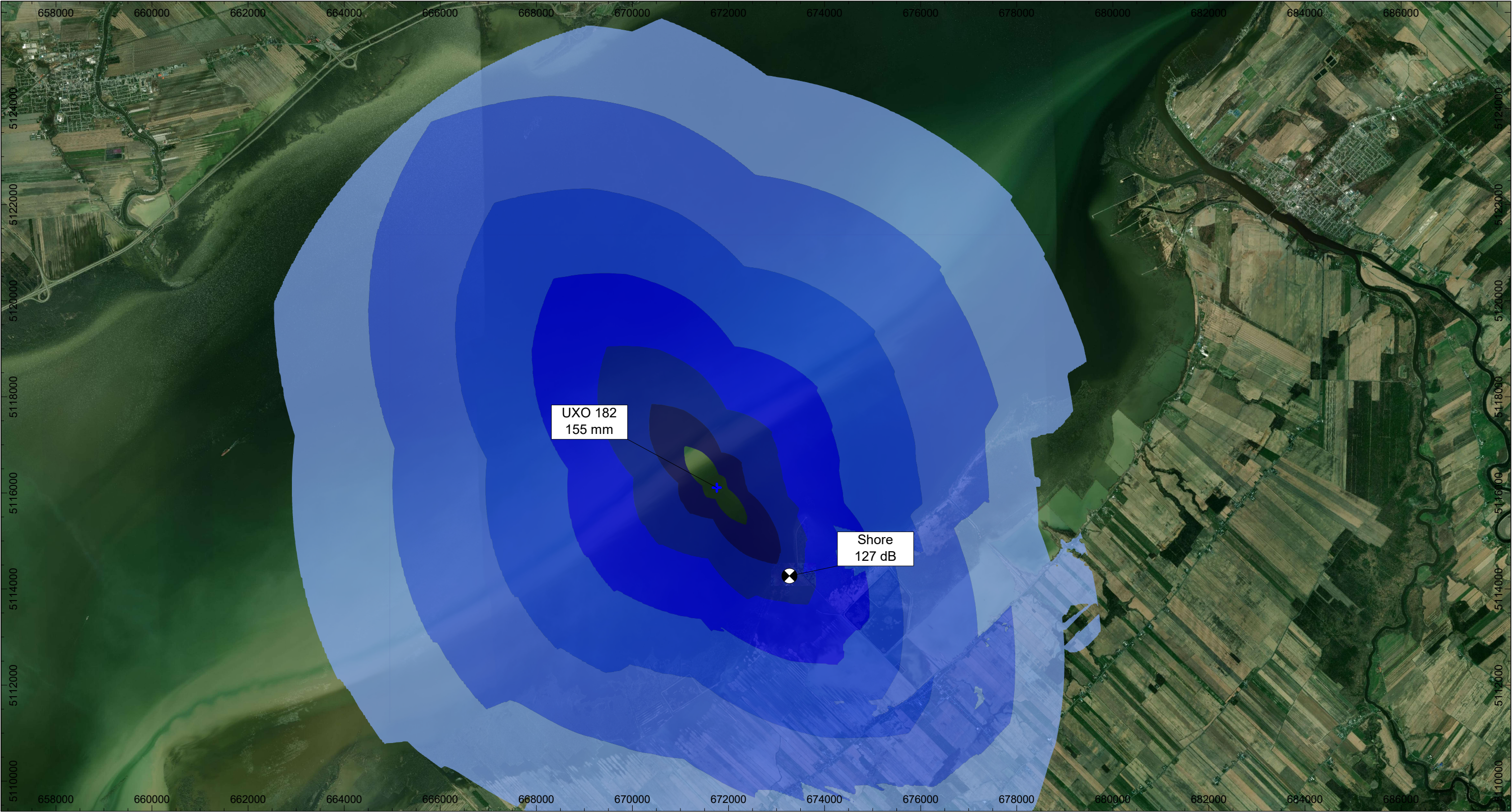


CONSTRUCTION DÉFENSE CANADA (CDC)
RAPPORT DE SURVEILLANCE DES DÉTONATIONS IN SITU EN 2020
ATTÉNUATION DU RISQUE À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE LIÉ AUX MUNITIONS EXPLOSIVES NON EXPLOSÉES
AU LAC SAINT-PIERRE

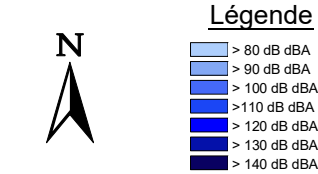
UXO 284 - 105 mm inerte et 2 charges creuses (50 sacs de sable)

11179956
18.01.2021

Figure D.5



Source: Google Satellite



CONSTRUCTION DÉFENSE CANADA (CDC)
RAPPORT DE SURVEILLANCE DES DÉTONATIONS IN SITU EN 2020
ATTÉNUATION DU RISQUE À LA SÉCURITÉ PUBLIQUE LIÉ AUX MUNITIONS EXPLOSIVES NON EXPLOSÉES
AU LAC SAINT-PIERRE

UXO 182 - 155 mm inerte et 3 charges creuses (50 sacs de sable)

11179956
18.01.2021

Figure D.6

Annexe E

Figures des résultats des pressions acoustiques sous-marines

Figure E.1 : Niveaux de pression générée par la détonation de projectiles 3''50 contenant de la matière explosive

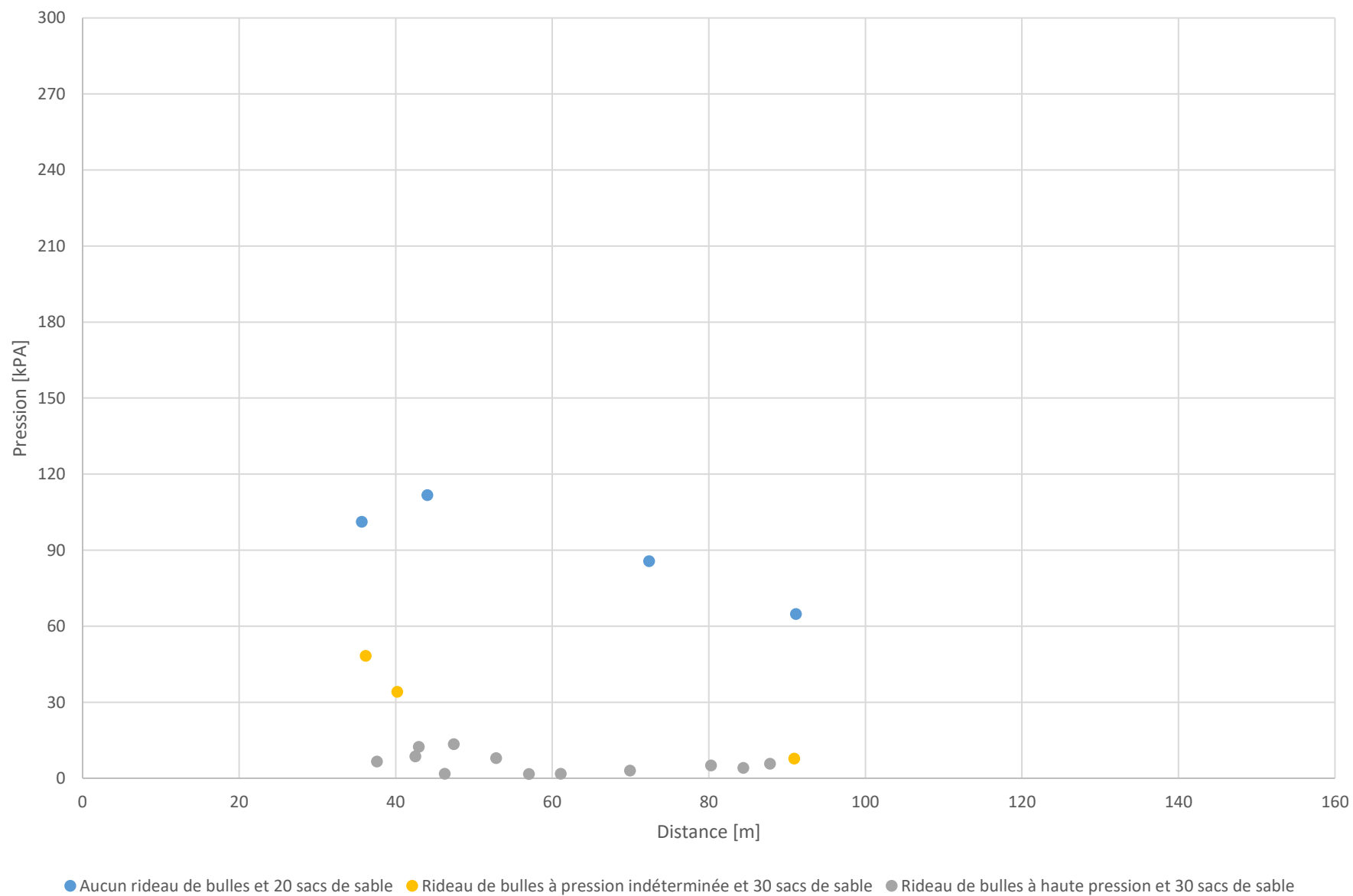


Figure E.2 : Niveaux de pression générée par les explosifs donneurs (projectiles inertes), triés selon le type de rideau de bulles, avec 50 sacs de sables

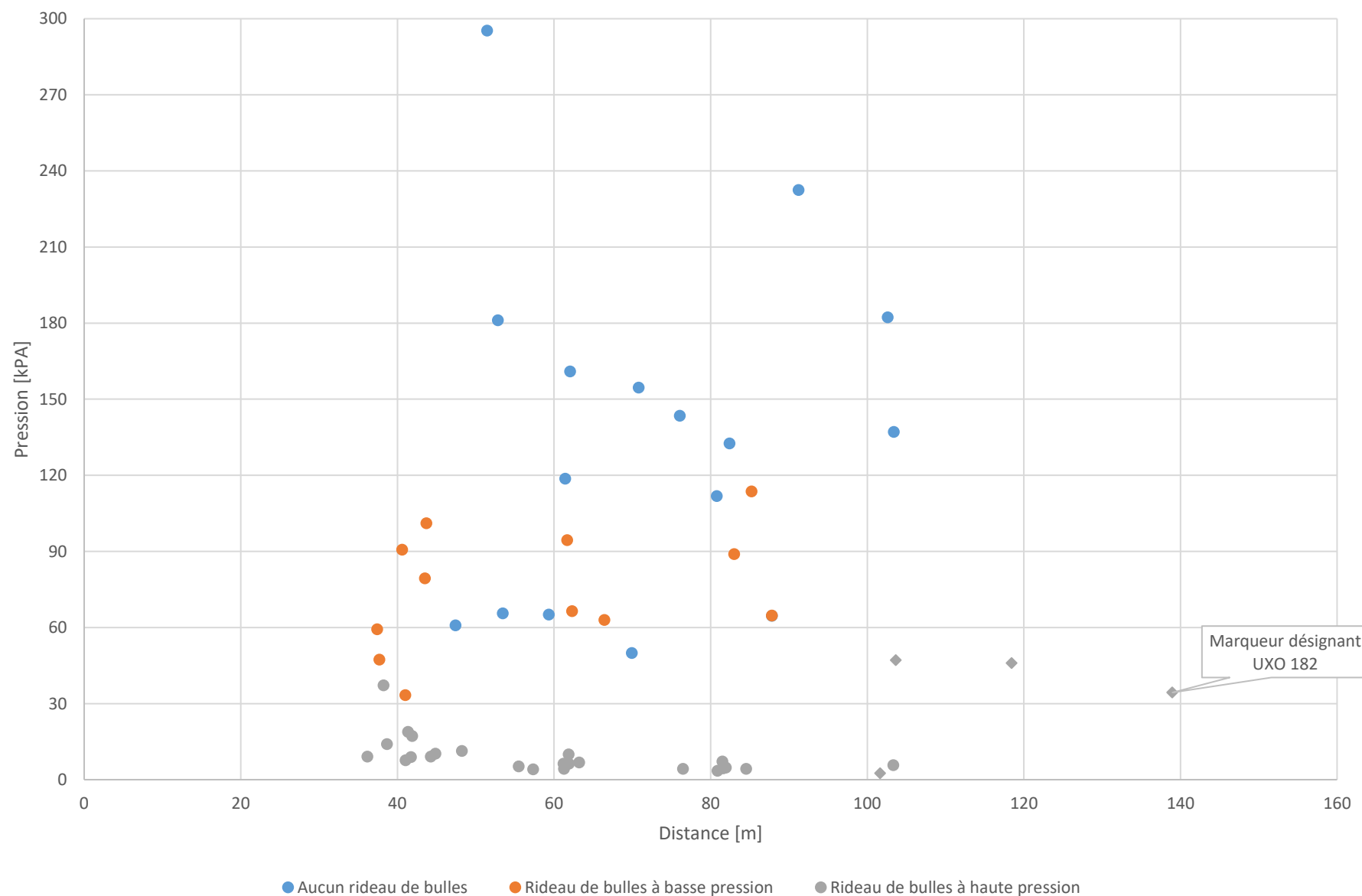


Figure E.3 : Niveaux de pression générée par toutes les détonations, triés selon le type de rideau de bulles

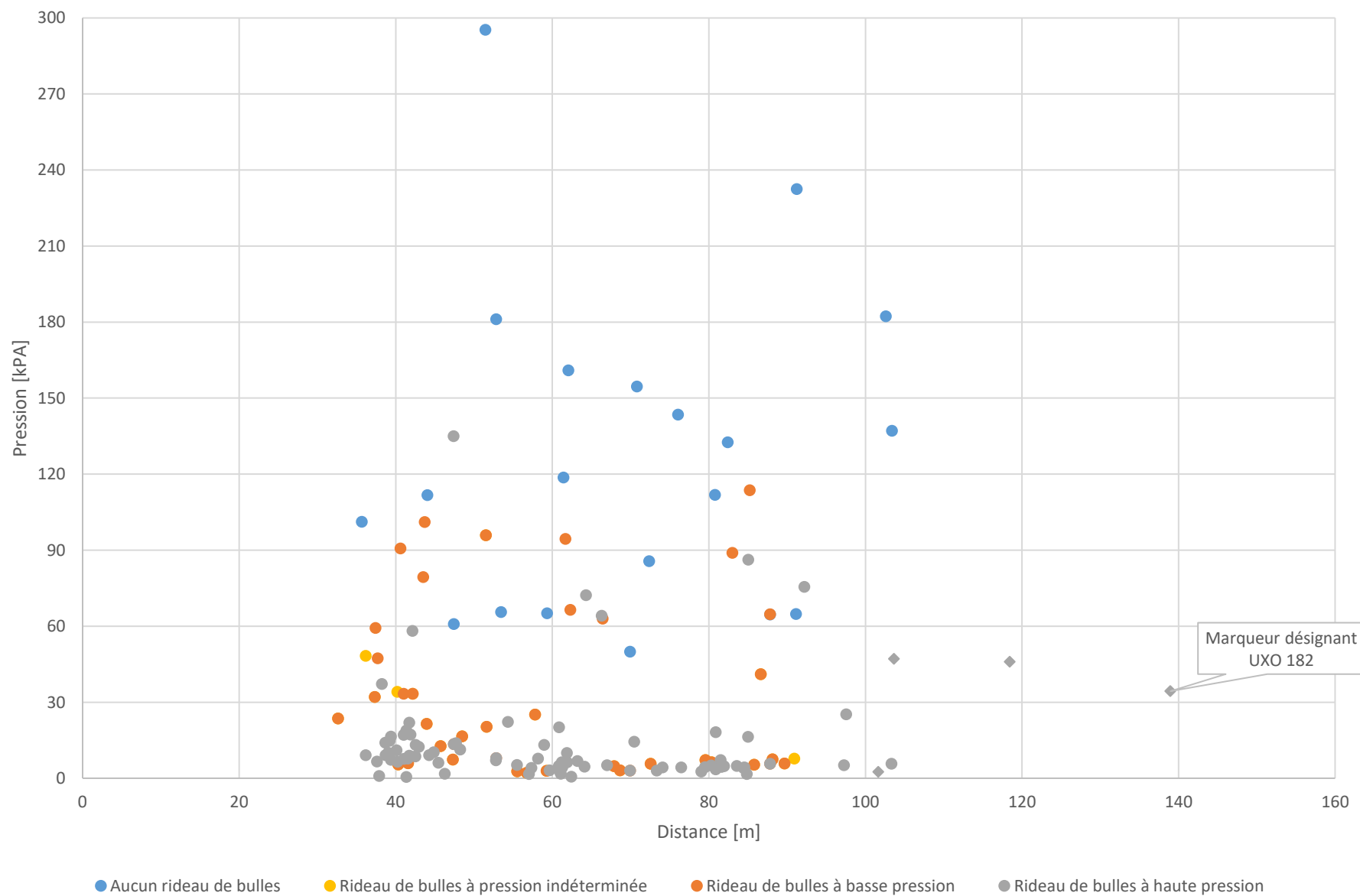


Figure E.4 : Niveaux de pression générée par les explosifs donneurs (projectiles inertes), triés selon le nombre de sacs de sable avec rideau de bulles à haute pression

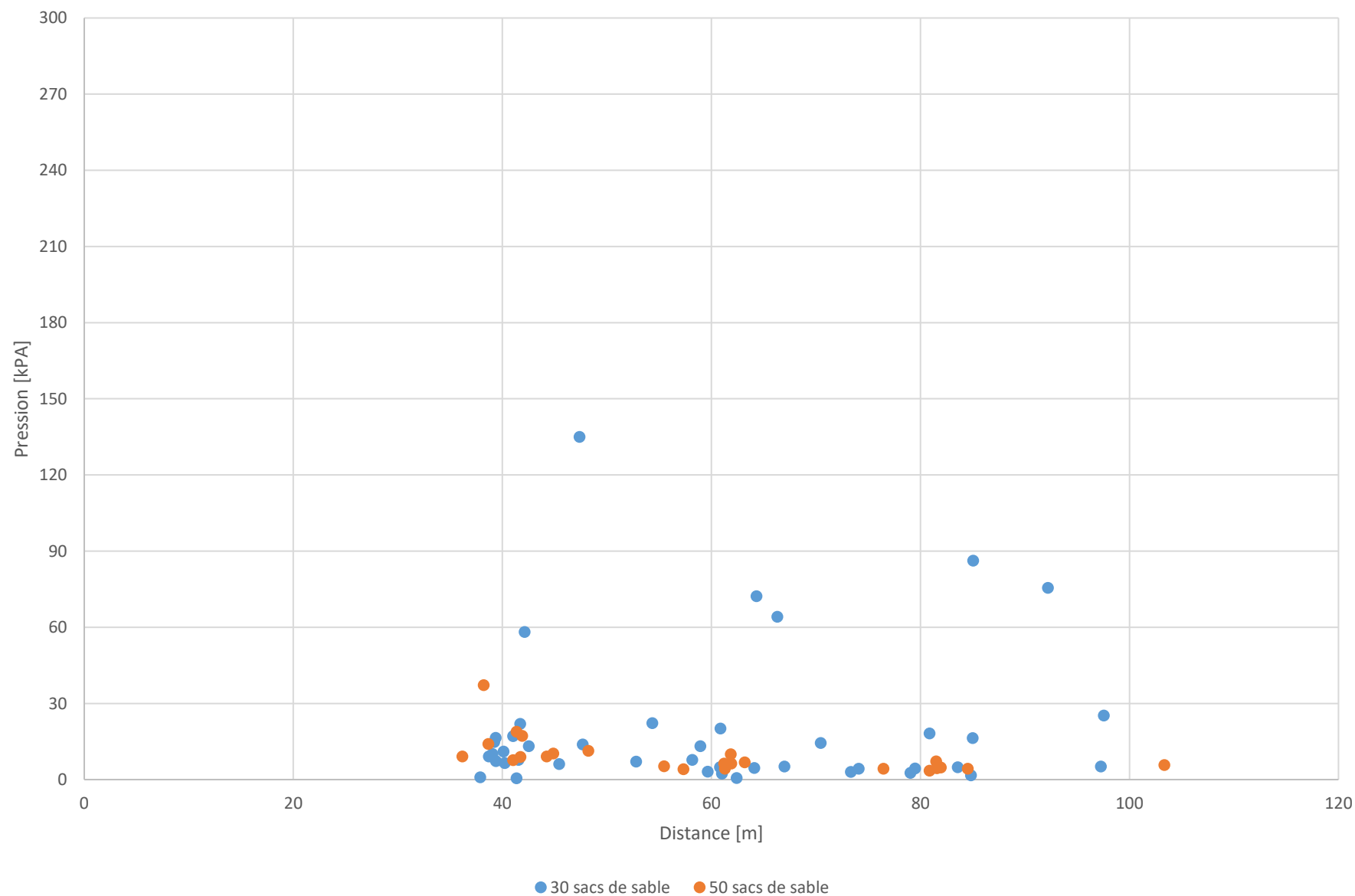
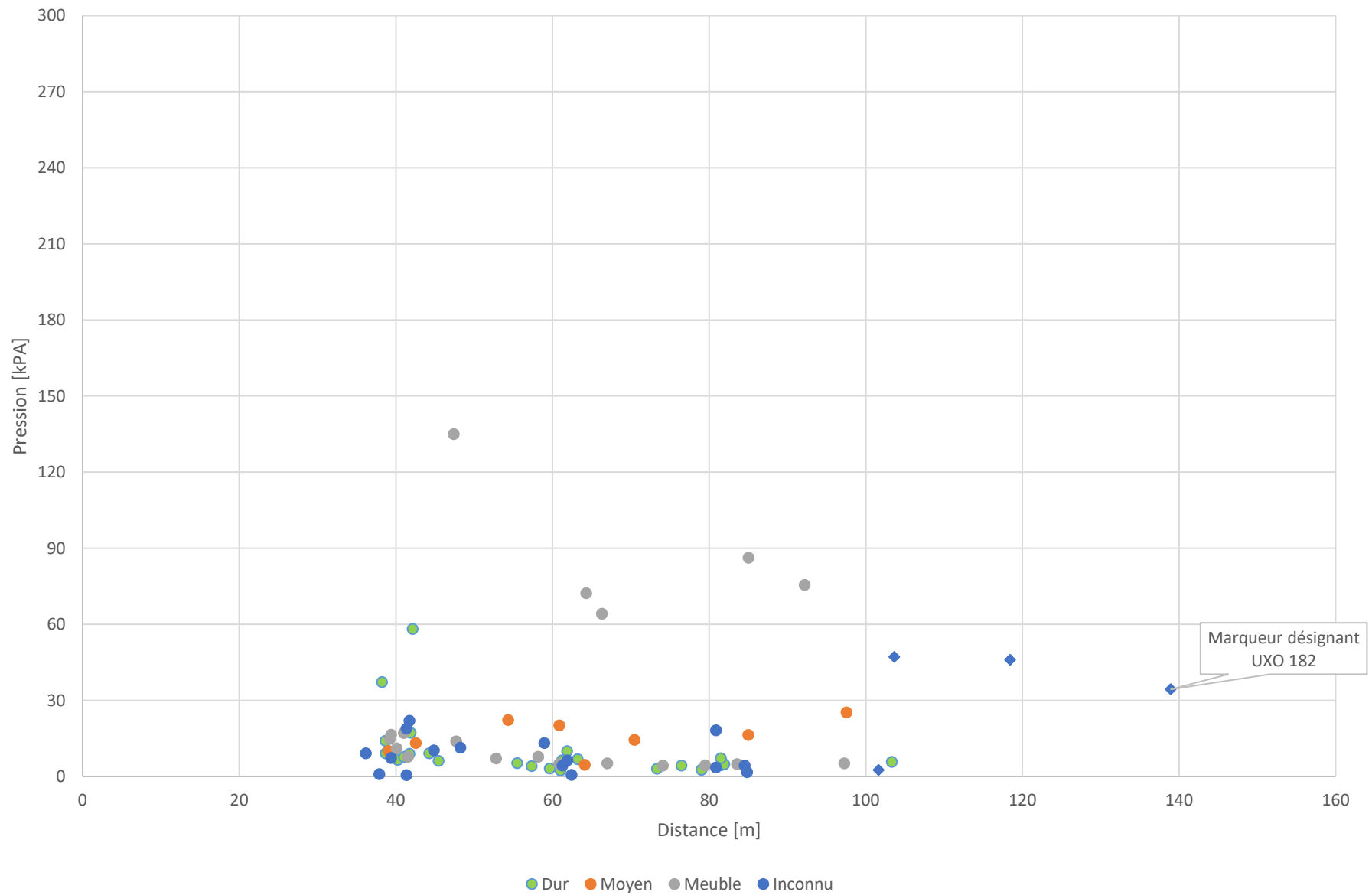


Figure E.5 : Niveaux de pression générée par les explosifs donneurs (projectiles inerte), triés selon le type de substrat, avec rideau de bulles à haute pression



Annexe F

Terminologie de base sur l'acoustique et les explosifs

Annexe F

Terminologie de base sur l'acoustique et les explosifs

Rapport de surveillance de la détonation des UXO 2020 – Pression subaquatique et mortalité des poissons

Liste des acronymes et abréviations

dB	décibel
dBA	décibel A
dB _{max}	niveau de pression acoustique maximal
dB _{mq}	unités de la moyenne quadratique du niveau de pression acoustique
HF	haute fréquence
Hz	Hertz
AHA	autorisation de harcèlement accessoire (<i>Incidental Harassment Authorization</i>)
kHz	kilohertz
km	kilomètre
kNm	mètre kilonewton
L _{E, p}	niveau de pression acoustique cumulé
L _{eq}	niveau de pression acoustique continu équivalent
BF	basse fréquence
L _{crête}	niveau de bruit de crête
m	mètre
m ²	mètre carré
MF	fréquence moyenne
msec	milliseconde
NMFS	<i>National Marine Fisheries Service</i> (Service national de la Pêche maritime des États-Unis)
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> (Agence nationale d'observation océanique et atmosphérique des États-Unis)
PK	niveau de pression acoustique de crête
MPEP	modèle de perte d'étalement pratique

DPS	déplacement permanent du seuil
re	référence
MQ	moyenne quadratique
s ⁻¹	cycle par seconde
FAS	formule d'atténuation simplifiée
SEL	niveau d'exposition sonore (<i>sound exposure level</i>)
SEL _{cum}	niveau d'exposition sonore cumulatif (<i>Cumulative Sound Exposure Level</i>)
SPL	niveau de pression acoustique (<i>Sound Pressure Level</i>)
SPL _{peak}	niveau de pression acoustique de crête (<i>Peak Sound Pressure level</i>)
T	taux d'atténuation du bruit sous-marin
PT	perte de transmission
μPa	micropascal

D. 1 Terminologie

Les termes suivants sont utilisés pour discuter du son et des caractéristiques d'une source sonore.

D.1.1 Son

Le son est produit lorsqu'un milieu élastique (tel que l'air ou l'eau) est mis en mouvement, généralement par un objet vibrant à l'intérieur du milieu⁶. Le résultat est une perturbation mécanique (l'« onde sonore ») qui s'éloigne de la source et se propage à une vitesse dépendant du milieu (la « vitesse du son »)⁶.

D.1.2 Bruit

Le bruit est un son indésirable. Le fait qu'un son soit perçu comme du bruit dépend souvent du récepteur (c'est-à-dire de l'animal ou du système qui détecte le son)⁶.

D.1.3 Bruit ambiant (*ambient noise*)

La combinaison de tous les sons à un endroit particulier, que ces sources soient situées près ou loin, est le bruit ambiant. Le bruit ambiant comprend les sources naturelles et les sources anthropiques⁶.

D.1.4 Décibel

Le décibel (dB) est une unité de mesure utilisée pour décrire un dixième de bel avec des unités de dB et des valeurs de référence de 1 μPa (dans l'eau à 1 mètre) et 20 μPa (dans l'air à 1 mètre). C'est une unité de niveau lorsque la base du logarithme est la dixième racine de 10, et les quantités concernées sont proportionnelles à la puissance¹. Il est utilisé pour mesurer l'amplitude sonore⁵.

D.1.5 Hertz

Le hertz (Hz) est une unité de mesure utilisée pour décrire une unité de fréquence correspondant au nombre de cycles par seconde (s⁻¹). Un hertz correspond à un cycle par seconde⁴.

D.1.6 Amplitude sonore (*sound amplitude*)

L'amplitude sonore est l'attribut physique du son le plus étroitement associé à l'aspect subjectif de son volume. L'amplitude sonore est généralement caractérisée par la mesure de la pression acoustique ou du mouvement des particules⁶.

D.1.7 Bruits impulsifs (*Impulsive sounds*)

Les bruits impulsifs ont des durées courtes, des temps de montée rapides, un contenu fréquentiel large et des pressions sonores de pointe élevées. Les bruits impulsifs sont souvent produits par des processus impliquant une libération rapide d'énergie ou des chocs mécaniques⁶.

D.1.8 Impédance acoustique (*Acoustic impedance*)

L'impédance acoustique est une propriété du milieu de propagation (air, eau ou tissu) qui peut être décrite comme la résistance au passage d'une onde de pression. L'impédance acoustique dépend de la densité et de la vitesse du son dans un milieu. Lorsque les ondes sonores rencontrent un milieu avec une impédance acoustique différente (par exemple, à l'interface air-eau), elles se réfléchissent et se réfractent, créant des conditions de propagation plus complexes. Par exemple, le son voyageant dans l'air (faible impédance) rencontrant la surface de l'eau (haute impédance) sera largement réfléchi, empêchant la plupart de l'énergie sonore dans l'air d'être transmise dans l'eau⁶.

D.2 Métriques sonores

Les métriques sonores décrites ici peuvent être utilisées pour quantifier l'exposition à un son ou à une explosion.

D.2.1 Niveau d'exposition sonore (*Sound Exposure Level*)

Le niveau d'exposition sonore (SEL) est le niveau sonore constant sur une seconde qui a la même quantité d'énergie acoustique que le son original qui varie dans le temps (c'est-à-dire l'énergie totale d'un événement). Le SEL a des unités de dB et des valeurs de référence 1 μPa sec (dans l'eau à 1 mètre) et 20 μPa sec (dans l'air à 1 mètre). SEL est calculé en additionnant la pression cumulée au carré sur la durée de l'événement².

D.2.2 Niveau de pression acoustique (*Sound Pressure Level*)

Le niveau de pression acoustique (SPL) est une mesure du niveau sonore qui ne représente que la composante de pression du son. SPL a des unités de dB et des valeurs de référence 1 μPa (dans l'eau à 1 mètre) et 20 μPa (dans l'air à 1 mètre). SPL est 10 fois le logarithme à la base 10 du rapport entre la pression quadratique moyenne dans le temps d'un son dans une bande de fréquences déterminée et le carré de la pression de référence 1.

D.2.3 Moyenne quadratique du niveau de pression acoustique (*Root Mean Squared [RMS] Sound Pressure Level*)

La moyenne quadratique du niveau de pression acoustique est une mesure en décibels de la racine carrée de la moyenne de pression au carré. Elle a des unités de dB_{mq} et des valeurs de référence 1 μPa (dans l'eau à 1 mètre) et 20 μPa (dans l'air à 1 mètre). Pour les impulsions, la moyenne quadratique du niveau de pression acoustique est la moyenne des pressions au carré sur le temps qui sont incluses dans la partie de la forme d'onde contenant 90 % de l'énergie sonore de l'impulsion².

D.2.4 Niveau de pression acoustique de crête (*Peak Sound pressure Level*)

Le niveau de pression acoustique de crête est la pression acoustique instantanée maximale d'un son à impulsion courte ou d'une durée sonore courte. Le niveau de pression acoustique de crête a des unités de dB, des valeurs de référence 1 μPa (dans l'eau à 1 mètre) et 20 μPa (dans l'air à 1 mètre) et les abréviations suivantes : $L_{\text{crête}}$, SPL_{peak} , dB_{peak} et PK.

D.2.5 Mouvement des particules (*Particle Motion*)

Les particules d'un milieu (par exemple, l'eau ou l'air) oscillent autour de leur position d'origine au passage d'une onde sonore. Ce mouvement est quantifié en utilisant le déplacement moyen (m ou dB re 1 μm), la vitesse (m/s ou dB re 1 nm/s^2) et l'accélération (m/s^2 ou dB re 1 $\mu\text{m/s}^2$) des particules. Le mouvement des particules est directionnel, contrairement à la mesure de la pression. Loin d'une source sonore et sans frontières susceptibles de provoquer des interférences d'ondes, la vitesse des particules est directement proportionnelle à la pression acoustique⁶.

D.2.6 Impulsion (*Impulse*)

L'impulsion est une mesure utilisée pour décrire la composante de pression et de temps d'une onde de pression. L'impulsion n'est généralement prise en compte que pour les expositions de haute énergie à des sources impulsives. Plus précisément, l'impulsion positive est l'intégrale sur le temps de la pression positive de crête initiale et a des unités de Pascal-secondes (Pa-s). L'impulsion est une grandeur mesurée distincte du terme « impulsif », qui n'est pas un terme de mesure, mais qui décrit plutôt un type de son⁶.

D.2.7 Surpression (*Overpressure*)

La surpression est la pression positive produite par une explosion. La pression positive est causée par une élévation quasi instantanée de la pression ambiante à une pression de crête extrêmement élevée, comme celle produite par les explosifs⁶.

D.3 Prédire comment le son se propage

Le concept des ondes sonores voyageant de leur source à un récepteur est relativement simple. Cependant, décrire la propagation du son est assez complexe. La complexité est double. Premièrement, il y a la présence simultanée de plusieurs ondes sonores de différentes fréquences et niveaux de source. Deuxièmement, il y a la présence de divers phénomènes qui affectent les ondes sonores, tels que les réflexions, la réfraction, la diffraction, les types de fond et les conditions des surfaces. Ces phénomènes peuvent entraîner des interférences d'ondes sonores à la fois constructives (additives) ou destructives (annulantes) qui affectent la propagation du son.

D.3.1 Vitesse du son (*Speed of sound*)

La vitesse du son dépend des caractéristiques du milieu dans lequel il se déplace (par exemple, la densité et la compressibilité). Le son se propage plus rapidement à travers un support moins compressible⁶. La vitesse approximative du son est de 1 500 m/s dans l'eau de mer et de 340 m/s dans l'air, mais elle varie en fonction des conditions environnementales (par exemple, la pression, la température et, dans le cas de l'eau de mer, la salinité). La vitesse du son, avec m/s comme unité, est le multiple de la fréquence (s^{-1}) et de la longueur d'onde (m)⁶.

D.3.2 Directivité de la source (*Source directivity*)

La plupart des sonars et autres sources acoustiques actives n'émettent pas le son dans toutes les directions. Au contraire, ils émettent des sons sur une plage d'angles limitée, afin de concentrer l'énergie sonore sur une zone ou un objet d'intérêt spécifique⁶.

D.3.3 Atténuation sonore (*Sound attenuation*)

Lorsqu'une onde sonore traverse un milieu, le niveau sonore diminue avec la distance de la source sonore. Ce phénomène est appelé atténuation, qui est décrit en termes de perte de transmission (PT). Les principaux contributeurs à l'atténuation du son sont l'étalement géométrique, l'absorption acoustique, la diffusion, la diffraction, les interférences par trajets multiples et les effets de frontière⁶.

D.3.3.1 Perte d'étalement géométrique (*Geometrical Spreading Loss*)

La perte d'étalement est un effet géométrique représentant l'affaiblissement régulier d'une onde sonore lorsqu'elle se propage à partir d'une source. L'étalement décrit la réduction de la pression acoustique causée par l'augmentation de la surface à mesure que la distance par rapport à une source sonore augmente⁶.

D.3.3.2 Absorption (*Absorption*)

L'absorption est la conversion de l'énergie acoustique en énergie cinétique dans les particules du milieu de propagation. L'absorption est directement liée à la fréquence sonore, les fréquences plus élevées ayant des taux d'absorption plus élevés⁶.

D.3.3.3 Réfraction (*Refraction*)

Lorsqu'une onde sonore se propageant dans un milieu rencontre un deuxième milieu de densité différente (par exemple, la limite air-eau), une partie du son incident sera réfléchi dans le premier milieu et une partie sera transmise dans le second milieu. La direction de propagation changera lorsque l'onde sonore pénètre dans le deuxième milieu; ce phénomène est appelé réfraction. La réfraction peut également se produire dans un seul milieu si les propriétés du milieu changent suffisamment pour provoquer une variation de la vitesse du son. La réfraction du son résultant des variations spatiales de la vitesse du son est l'un des phénomènes les plus importants qui affectent la propagation du son dans l'eau⁶.

D.3.3.4 Réflexion et propagation par trajets multiples (*Reflection and Multipath Propagation*)

La propagation par trajets multiples est un phénomène durant lequel le son peut non seulement parcourir un trajet direct (sans réflexion) d'une source vers un récepteur, mais aussi être réfléchi depuis la surface ou le fond plusieurs fois avant d'atteindre le récepteur. L'existence de multiples trajets sonores, ou rayons, arrivant en un seul point peut entraîner des interférences multitrajets, une condition qui permet l'ajout et l'annulation entre les ondes sonores, entraînant la fluctuation des niveaux sonores sur de courtes distances⁶.

Références citées

- (1) ANSI (American National Standards Institute). 1999. *Maximum permissible ambient noise levels for audiometric test rooms* (ANSI S3.1-1999). New York: Acoustical Society of America.
- (2) Buehler, D., R. Oestman, J. Reyff, K. Pommerench, et B. Mitchell. 2015. *Technical guidance for assessment and mitigation of the hydroacoustic effects of pile driving on fish*. Report No. CTHWNP-RT-15-306.01.01. California Department of Transportation, Division of Environmental Analysis. Hazardous Waste, Air, Noise, Paleontology Office, Sacramento, California, USA.
- (3) ISO (International Organization for Standardization). 2017. *Underwater Acoustics-Terminology*, ISO 18405. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- (4) NMFS (National Marine Fisheries Service). 2018. *2018 Revisions to: Technical guidance for assessing the effects of anthropogenic sound on marine mammal hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts*. U.S. Dept. of Commer., NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59, 167 p.
- (5) NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2015. *Ocean Explorer – Understanding Ocean Acoustic*. Available at:
<https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/sound01/background/acoustics/acoustics.html>.
- (6) United States Department of the Navy. 2017. *Atlantic Fleet – Training and Testing Draft Environmental Impact Statement/Overseas Environmental Impact Statement (Volume 1)*. Available at:
https://media.defense.gov/2018/Aug/16/2001955256/-1/-1/1/VOLUME_I_AFTT_DRAFT_EIS_OEIS.PDF

Annexe G

Spécifications des hydrophones et données de calibration

Annexe H

Spécifications des équipements du rideau de bulles

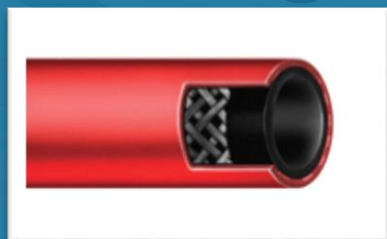
Tuyau résistant à la chaleur

Utilisé à la sortie des compresseurs à air des systèmes d'aération, ce tuyau aide à dissiper la chaleur fournie par le compresseur qui pourrait affecter la performance et l'intégrité des autres tuyaux et composantes du système.

Composé de caoutchouc copolymère conçu pour air comprimé (avec peu ou sans huile).

La couleur rouge peut pâlir ou décolorer avec le temps et/ou l'exposition à l'eau. Cela est dû à la pigmentation de la couleur et cela n'affecte en rien la performance du produit.

Le tuyau flotte si utilisé dans l'eau.



Caractéristiques

- Renforcé par gaine de fil à haute résistance. 2 gaines pour les tuyaux 1/4", 3/8" et 1/2" et 4 gaines pour tuyaux plus gros.
- Enduit extérieur rouge et lisse en caoutchouc de néoprène conçu pour résister à l'usure, l'huile, le pétrole et les intempéries.



Variation de température tolérée :

-30°C (-22°F) à 70°C (158°F) si en continu
80°C (176°F) si intermittent

Dimensions disponibles (I.D.) :

1/4", 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1.25", 1.5"

Pression maximale :

250 psi (1.72Mpa)

« Torpedo^{MC} » Tuyau lesté d'alimentation d'air

Le **Torpedo^{MC}** est un tuyau lesté et renforcé fait au Canada pour différentes applications industrielles.

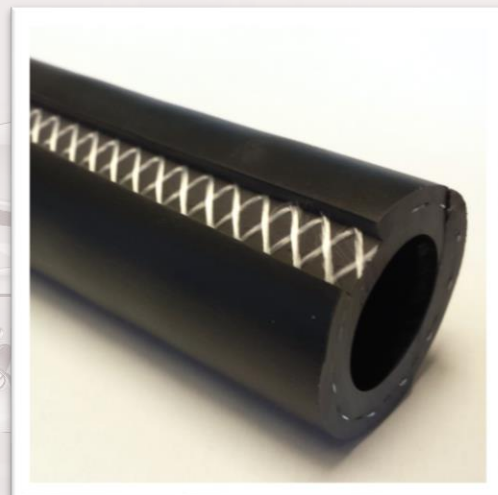
Le **Torpedo^{MC}** est fait à partir d'un PVC flexible renforcé le rendant plus résistant à la chaleur qu'un tuyau lesté régulier.

La conception industrielle du **Torpedo^{MC}** inclut une gaine tressée faite de polyester qui lui permet de résister à l'éclatement et de garder sa forme.

Le PVC résiste à la détérioration, la corrosion et les rayons UV. Le **Torpedo^{MC}** résiste aussi à une grande variation de produits chimiques, de salinité, de variation de pH et de température.

La paroi épaisse du tuyau aide à prévenir la perforation, l'étirement, l'entortillement et leste le tuyau pour bien le garder au fond de l'eau.

Le **TorpedoTM** est conçu et a été testé pour un usage dans l'eau. Les performances du tuyau peuvent être affectées si utilisé hors de l'eau et exposé au soleil.



Applications

- Aération
- Déglaçage
- Rideaux de bulles
- Circulation
- Transfert eau / air

Dimensions et formats

- Offert en : 1/2", 3/4", 1", 1.25" et 1.5" ID
- Disponible au pied, au rouleau ou en bobine
- Se coupe avec un X-Acto

Marchés

- Eaux Usées
- Lixiviat
- Agriculture
- Eau potable
- Secteur de l'énergie
- Mines

Pour le détail sur les performances, les dimensionnements, l'installation et les prix, contactez-nous.



TORI12 - Pression maximale 150 PSI – 10.3 BAR
0.575" DI x 0.955" DE, 0.35 lb/pi
1.46 cm DI x 2.43 cm DE, 0.52 kg/m

TORI34 - Pression maximale 300 PSI – 20.7 BAR
0.8" DI x 1.4" DE, 0.79 lb/pi
2 cm DI x 3.5 cm DE, 0.92 kg/m

TORI1.0 - Pression maximale 150 PSI – 10.3 BAR
1.06" DI x 1.8" DE, 1.2 lb/pi
2.69 cm x 4.63 cm DE, 1.79 kg/m

TORI1.25 - Pression maximale 150 PSI – 10.3 BAR
1.325" DI X 2.255" DE, 1.9 lb/pi
3.37 cm DI x 5.73 cm DE, 2.82 kg/m

TORI1.5 - Pression maximale 150 PSI – 10.3 BAR
1.550" DI X 2.630" DE, 2.6 lb/pi
3.94 cm DI x 6.68 cm DE, 3.87 kg/m

« Tuyau Bulle® » Diffuseur linéaire

Le **Tuyau Bulle®** est un diffuseur linéaire flexible fait au Canada, résistant à l'entortillement et garde sa forme originale.

Avec une rangée de perforations sur chaque côté, le **Tuyau Bulle®** est un diffuseur extrêmement efficace dans une vaste gamme d'application. La version principale du tuyau inclus un ballast fusionné au tube perforé pour garder le tuyau au fond de l'eau. Une version non lestée est également disponible.

Pour les applications industrielles, des longueurs variables de **Tuyau Bulle®** sont disponibles. L'installation est facilitée par le câble d'acier inoxydable intégré.

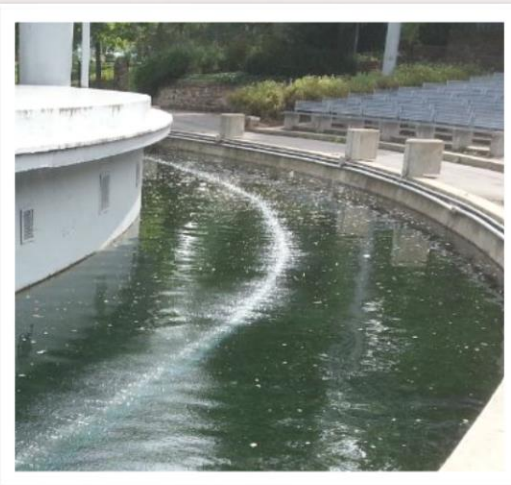
Le **Tuyau Bulle®** ne contient aucune pièce mobile, son entretien est facile et rapide.

Le **Tuyau Bulle®** est conçu pour résister à la détérioration due à l'exposition aux rayons UV, aux produits chimiques, à la salinité et aux variations de pH et de température.

"Globalement, les résultats obtenus pour le Tuyau-Bulle® sont excellents et offrent des transferts d'oxygène parmi les plus haut que GSEE a observé."

- GSEE, Inc.

Consultants en Environnement
Lavergne, TN, Sept. 2011



Applications

- Aération
- Atténuation d'ondes de choc
- Barrière aquatique
- Mélange
- Réduction de pathogènes

Dimensions et formats

- 4 dimensions : 1/2", 3/4", 1" et 1.25" ID
- Lesté ou non-lesté (1" ID disponible lesté seulement)
- Disponible en rouleaux ou bobines
- Longueurs sur mesure disponibles

Marchés

- Lacs, étangs et canaux
- Eaux usées
- Aquaculture
- Marinas et ports
- Eau potable

Tuyau Bulle®



Pour le détail sur les performances, les dimensionnements, l'installation et les prix, contactez-nous.

Pression minimale requise¹ :

20 psi – 1.4 BAR (Note¹: Capacité du compresseur)

Pression d'opération maximale suggérée² :

1/2" ID et 3/4" ID : 50 psi – 3.4 BAR

1" et 1.25" ID : 70 psi – 4.8 BAR

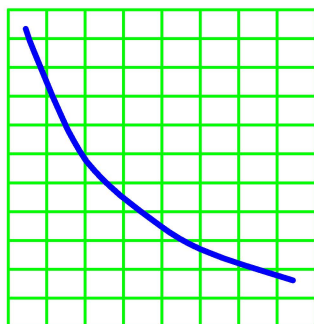
(Note²: + profondeur et conception du retour de pression)

BOYAU NOIR LESTÉ & RENFORCÉ DE QUALITÉ INDUSTRIELLE, RÉSISTANT AUX U.V.

CODE	DIMENSIONS	PRESSION	ÉCLATEMENT	POIDS / MÈTRE	FLEXIBILITÉ	DENSITÉ DU TUYAU	FORMATS
TORI12	D.I. 14.6mm X D.E. 24.26mm	MAX 10.3 BAR (150psi) @ 20°C (68°F)	30 BAR (437psi)	0.52 kg/m	Rayon de 102mm	1,126 g/cm ³	15 & 30m (rouleaux) / 152m (Bobines)
TORI34	D.I. 20.3mm X D.E. 35.56mm	MAX 20.7 BAR (300 psi) @ 20°C (68°F)	22.5 BAR (327psi)	0.92 kg/m	Rayon de 114mm	1,184 g/cm ³	91m (Bobines)
TORI1.0	D.I. 26.8mm X D.E. 46.36mm	MAX 10.3 BAR (150psi) @ 20°C (68°F)	25.1 BAR (365psi)	1.57 kg/m	Rayon de 152mm	1,058 g/cm ³	91m & 152m (Bobines)
TORI1.25	D.I. 33.7mm X D.E. 57.28mm	MAX 10.3 BAR (150psi) @ 20°C (68°F)	36.2 BAR (565psi)	2.39 kg/m	Rayon de 178mm	1,097 g/cm ³	91m (Bobines)
TORI1.5	D.I. 39.4mm X D.E. 66.80mm	MAX 10.3 BAR (150psi) @ 20°C (68°F)	N/D	2.82 kg/m	Rayon de 203mm	1,104 g/cm ³	152m (Bobines)

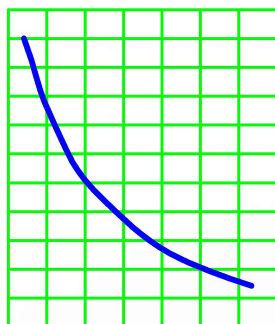
TOLÉRANCE À LA CHALEUR

% de la Pression à la Température Ambiante



Température en Fahrenheit

% de la Pression à la Température Ambiante



Température en Celsius

Toutes les analyses ont été pratiquées à une température ambiante de 20°C(68°F). C'est à cette température que les propriétés physiques du matériau sont optimales.

Prendre note que le choix des raccords utilisés influence grandement les propriétés du matériau.

Produits Étang.ca Ltée. fourni ces chartes à titre informatif seulement et ne peut garantir l'exactitude de celles-ci.

Le tuyau Torpedo™ est conçu pour être dans l'eau. L'exposition de ce tuyau hors de l'eau peut affecter sa performance si exposé à la chaleur.



PROPRIÉTÉ	VALEURS	NORMES
DURETÉ SHORE A	75	ASTM D-2240
DENSITÉ	1.74	ASTM D-792
RÉSISTANCE À LA TRACTION, PSI (75 MIL)	1600	ASTM D-638
ÉLONGATION % (75 MIL)	300	ASTM D-638
100% MODULE, PSI (75 MIL)	600	ASTM D-638

TOUTE INFORMATION CONTENUE DANS CE DOCUMENT EST LA PROPRIÉTÉ EXCLUSIVE DE PRODUITS ETANG.CA LTÉE. TOUTE REPRODUCTION PARTIELLE OU ENTIÈRE EST STRICTEMENT INTERDITE SANS AU PRÉALABLE AVOIR REÇU L'AUTORISATION ÉCRITE DE PRODUITS ETANG.CA LTÉE.

ALL INFORMATION CONTAINED IN THIS DOCUMENT IS PROPRIETARY TO CANADIAN POND.CA PRODUCTS LTD. DUPLICATION OR TRANSMITTAL OF THIS DOCUMENT IS STRICTLY PROHIBITED WITHOUT THE WRITTEN CONSENT OF CANADIANPOND.CA PRODUCTS LTD.



	DESSINÉ PAR / DRAWN BY:	NOM / NAME:	DATE:
	APPROUVÉ PAR / APPROVED BY:	D. MARTIN	03-04-2020
513 KNOWLTON ROAD, KNOWLTON, QUÉBEC, JOE 1W0, TEL: 450-243-0976, FAX: 450-243-1834			

TITRE / TITLE:

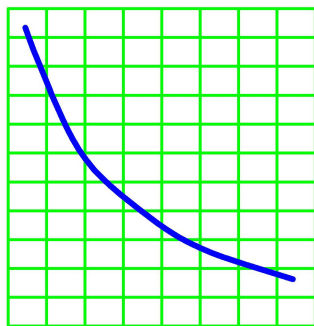
TUYAU TORPEDO^{MC}

BOYAU NOIR LESTÉ & RENFORCÉ DE QUALITÉ INDUSTRIELLE, RÉSISTANT AUX U.V.

CODE	DIMENSIONS	PRESSION	ÉCLATEMENT	POIDS / MÈTRE	FLEXIBILITÉ	DENSITÉ DU TUYAU	FORMATS
TORI12	D.I. 14.6mm X D.E. 24.26mm	MAX 10.3 BAR (150psi) @ 20°C (68°F)	30 BAR (437psi)	0.52 kg/m	Rayon de 102mm	1,126 g/cm ³	15 & 30m (rouleaux) / 152m (Bobines)
TORI34	D.I. 20.3mm X D.E. 35.56mm	MAX 20.7 BAR (300 psi) @ 20°C (68°F)	22.5 BAR (327psi)	0.92 kg/m	Rayon de 114mm	1,184 g/cm ³	91m (Bobines)
TORI1.0	D.I. 26.8mm X D.E. 46.36mm	MAX 10.3 BAR (150psi) @ 20°C (68°F)	25.1 BAR (365psi)	1.57 kg/m	Rayon de 152mm	1,058 g/cm ³	91m & 152m (Bobines)
TORI1.25	D.I. 33.7mm X D.E. 57.28mm	MAX 10.3 BAR (150psi) @ 20°C (68°F)	36.2 BAR (565psi)	2.39 kg/m	Rayon de 178mm	1,097 g/cm ³	91m (Bobines)
TORI1.5	D.I. 39.4mm X D.E. 66.80mm	MAX 10.3 BAR (150psi) @ 20°C (68°F)	N/D	2.82 kg/m	Rayon de 203mm	1,104 g/cm ³	152m (Bobines)

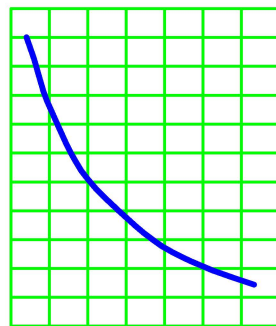
TOLÉRANCE À LA CHALEUR

% de la Pression à la Température Ambiante

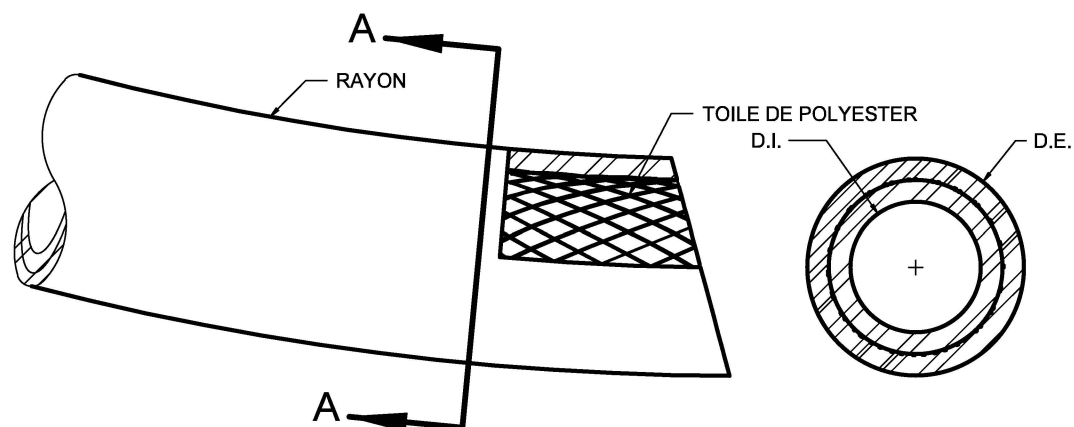


Température en Fahrenheit

% de la Pression à la Température Ambiante



Température en Celsius



Toutes les analyses ont été pratiquées à une température ambiante de 20°C(68°F). C'est à cette température que les propriétés physiques du matériau sont optimales.

Prendre note que le choix des raccords utilisés influence grandement les propriétés du matériau.

Produits Étang.ca Ltée. fourni ces chartes à titre informatif seulement et ne peut garantir l'exactitude de celles-ci.

Le tuyau Torpedo™ est conçu pour être dans l'eau. L'exposition de ce tuyau hors de l'eau peut affecter sa performance si exposé à la chaleur.

PROPRIÉTÉ	VALEURS	NORMES
DURETÉ SHORE A	75	ASTM D-2240
DENSITÉ	1.74	ASTM D-792
RÉSISTANCE À LA TRACTION, PSI (75 MIL)	1600	ASTM D-638
ÉLONGATION % (75 MIL)	300	ASTM D-638
100% MODULE, PSI (75 MIL)	600	ASTM D-638

TOUTE INFORMATION CONTENUE DANS CE DOCUMENT EST LA PROPRIÉTÉ EXCLUSIVE DE PRODUITS ETANG.CA LTÉE. TOUTE REPRODUCTION PARTIELLE OU ENTIÈRE EST STRICTEMENT INTERDITE SANS AU PRÉALABLE AVOIR REÇU L'AUTORISATION ÉCRITE DE PRODUITS ETANG.CA LTÉE.

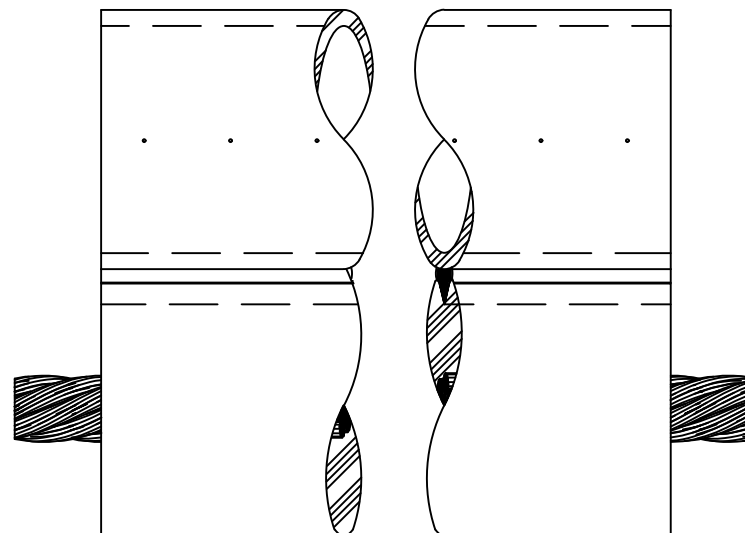
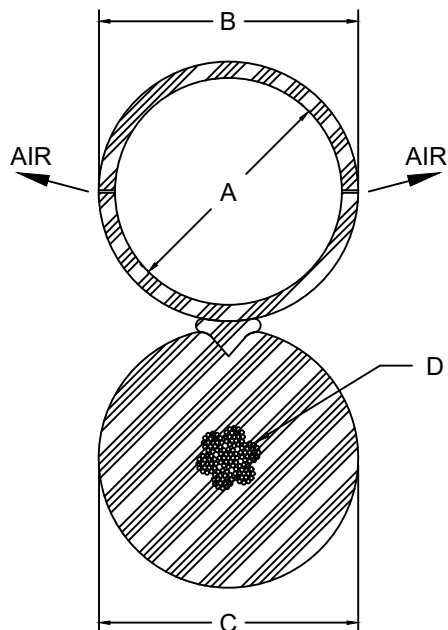
ALL INFORMATION CONTAINED IN THIS DOCUMENT IS PROPRIETARY TO CANADIAN POND.CA PRODUCTS LTD. DUPLICATION OR TRANSMITTAL OF THIS DOCUMENT IS STRICTLY PROHIBITED WITHOUT THE WRITTEN CONSENT OF CANADIANPOND.CA PRODUCTS LTD.



	DESSINÉ PAR / DRAWN BY:	NOM / NAME:	DATE:
	APPROUVÉ PAR / APPROVED BY:	D. MARTIN	03-04-2020
513 KNOWLTON ROAD, KNOWLTON, QUÉBEC, JOE 1W0, TEL: 450-243-0976, FAX: 450-243-1834			

TITRE / TITLE:

TUYAU TORPEDO^{MC}



DIMENSIONS

CODE	TUYAU BULLE®	DI. TUBE	DE. TUBE	DE. BALLAST	CÂBLE D'ACIER
		A	B	C	D
BUB12NW	1/2 (15 MM) NON-LESTÉ	0.575" (14.6 MM)	0.700" (17.8 MM)		
BUB12NMNSF	1/2 (15 MM) NON-LESTÉ	0.575" (14.6 MM)	0.700" (17.8 MM)		
BUB12	1/2 (15 MM) LESTÉ	0.575" (14.6 MM)	0.700" (17.8 MM)	0.970" (24.6 MM)	
BUB34NW	3/4 (20 MM) NON-LESTÉ	0.825" (14.6 MM)	1.013" (25.7 MM)		
BUB34	3/4 (20 MM) LESTÉ	0.825" (14.6 MM)	1.013" (25.7 MM)	1.170" (29.7 MM)	1/4" (6.4 MM)
BUB1.0	1" (25 MM) LESTÉ	1.075" (27.3 MM)	1.2" (30.5 MM)	1.550" (39.4 MM)	1/4" (6.4 MM)
BUB1.25	1 1/4" (30 MM) LESTÉ	1.325" (33.7 MM)	1.513" (38.4 MM)	1.550" (39.4 MM)	1/4" (6.4 MM)

*7-19 TORON TRESSÉ (INOX.316)

TEMPÉRATURE

Minimum:	-32.8°F (-36°C)
Maximum Sans Pression:	140°F (60°C)
Maximum Sous Pression:	100.4°F (38°C)

PARAMÈTRES

CODE	TUYAU BULLE®	PRESSION		POIDS
		MINIMUM	MAXIMUM**	
BUB12NW	1/2 (15 MM) NON-LESTÉ	20 PSI (1.4 BAR)	50 PSI (3.4 BAR)	0.1 lb/ft (0.15 kg/m)
BUB12NMNSF	1/2 (15 MM) NON-LESTÉ	20 PSI (1.4 BAR)	50 PSI (3.4 BAR)	0.1 lb/ft (0.15 kg/m)
BUB12	1/2 (15 MM) LESTÉ	20 PSI (1.4 BAR)	50 PSI (3.4 BAR)	0.6 lb/ft (0.9 kg/m)
BUB34NW	3/4 (20 MM) NON-LESTÉ	20 PSI (1.4 BAR)	70 PSI (4.8 BAR)	0.2 lb/ft (0.30 kg/m)
BUB34	3/4 (20 MM) LESTÉ	20 PSI (1.4 BAR)	70 PSI (4.8 BAR)	1.0 lb/ft (1.5 kg/m)
BUB1.0	1" (25 MM) LESTÉ	20 PSI (1.4 BAR)	70 PSI (4.8 BAR)	1.65 lb/ft (2.45 kg/m)
BUB1.25	1 1/4" (30 MM) LESTÉ	20 PSI (1.4 BAR)	70 PSI (4.8 BAR)	1.70 lb/ft (2.52 kg/m)

** LECTURE MAXIMALE DE RETOUR DE PRESSION À NE PAS DÉPASSER DURANT L'OPÉRATION

PROPRIÉTÉS

PROPRIÉTÉS	VALEUR	MÉTHODE D'ESSAI
Gravité et/ou Densité Spécifique	1.5	ASTM D 792
Dureté de la Rive	56 ± 3	ASTM D 2240
Force de Tension @ 100%	500 PSI	ASTM D 638
Élongation Ultime	360%	ASTM D 412
Température Fragile	-34°F (-36.7°C)	ASTM D 412
Force de Larme	130 PLI	ASTM D 1004
Force de Tension au Repos	1000 PSI	ASTM D 412

NOTES :

- THE PLANS AND DRAWING INCLUDED IN THIS DOCUMENT ARE PRELIMINARY **AND SHOULD NOT BE USED FOR THE CONSTRUCTION OR INSTALLATION OF THE SYSTEM.**

- ALL INFORMATION CONTAINED IN THIS DOCUMENT IS PROPRIETY TO CANADIAN POND.CA PRODUCTS LTD. DUPLICATION OR TRANSMITTAL OF THIS DOCUMENT IS STRICTLY PROHIBITED WITHOUT THE WRITTEN CONSENT OF CANADIAN POND.CA PRODUCTS LTD.

- RESULTS AND PERFORMANCES PROPOSED IN THIS DOCUMENT ARE THEORETICAL AND MAY BE INFLUENCED BY MANY FACTORS UNKNOWN DURING THE DESIGN PHASE.

Date: 25/04/2019

Dess. Y.Desroches

Desi. XX

Veri. XX

Appr. XX

570 CHEMIN KNOWLTON, LAC-BROME,
QUÉBEC, JOE 1VO,
TEL.: 450 243-0976, FAX.: 450 243-1834

Cliet:

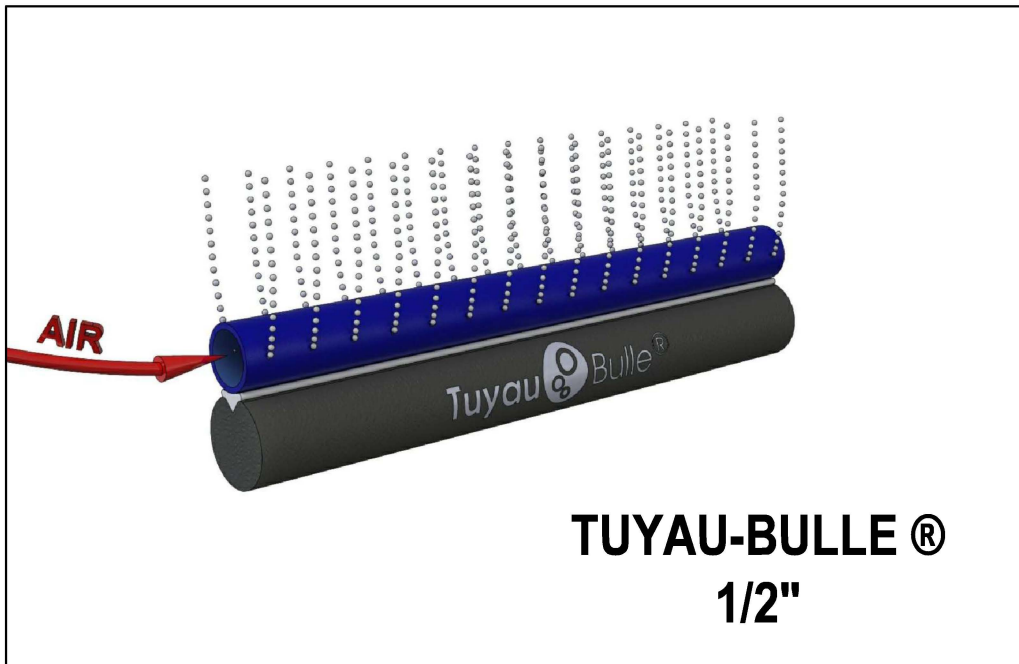
Titre: Dessin Technique - FR

Scale NTS Sheet 1 OF 1 Format 11" x 17" Rev V1

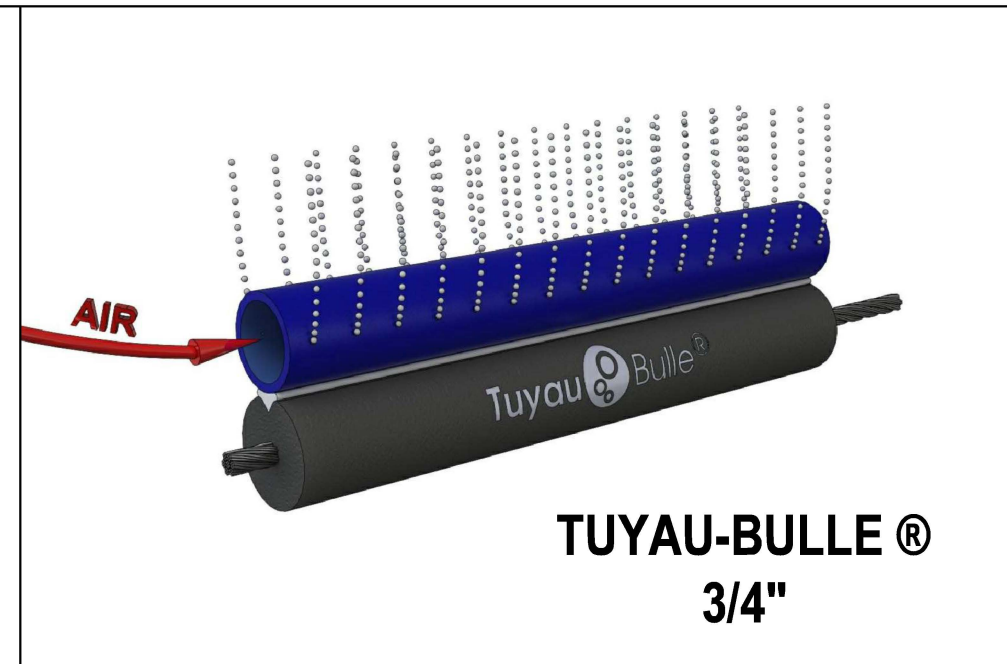


MODIFICATIONS

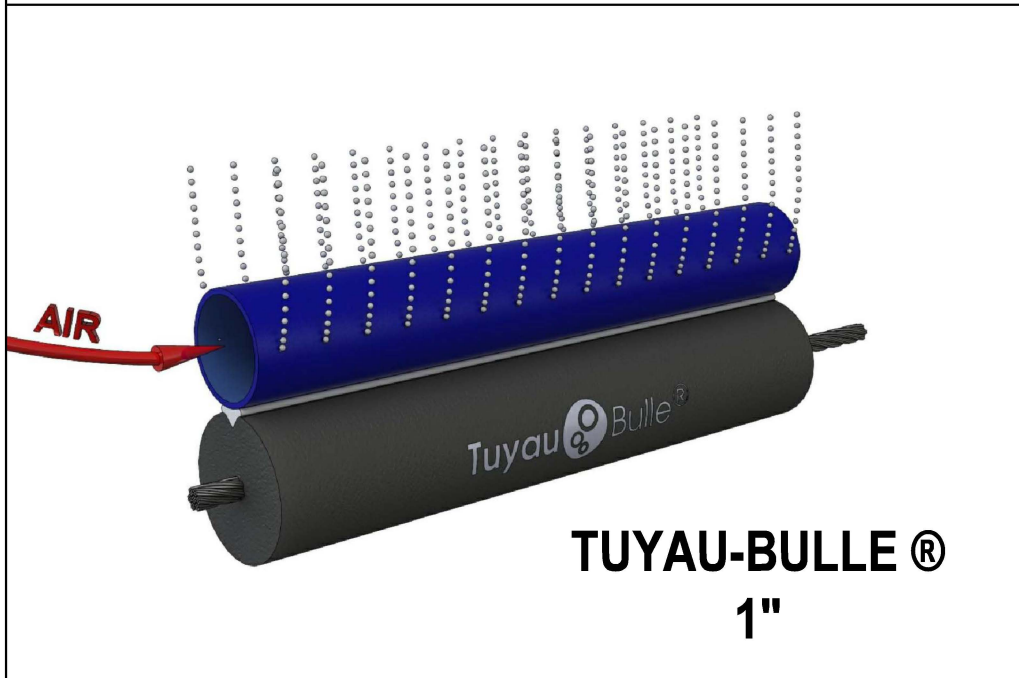
Rev	Notes	Date



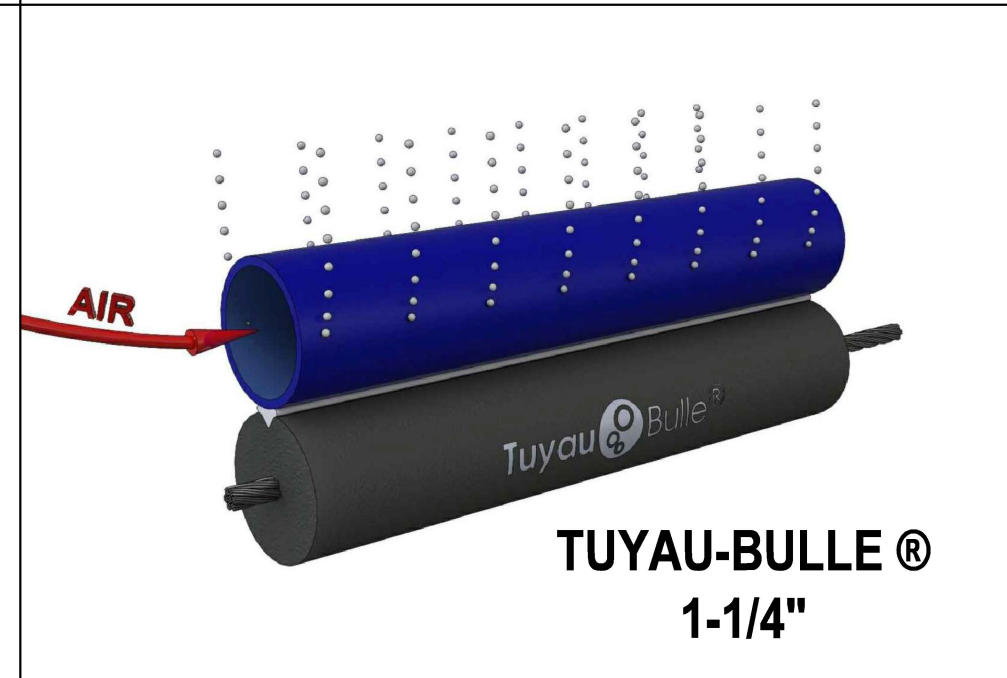
TUYAU-BULLE ®
1/2"



TUYAU-BULLE ®
3/4"



TUYAU-BULLE ®
1"



TUYAU-BULLE ®
1-1/4"

TOUTE INFORMATION CONTENUE DANS CE DOCUMENT EST LA PROPRIÉTÉ EXCLUSIVE DE PRODUITS ETANG.CA LTÉE. TOUTE REPRODUCTION PARTIELLE OU ENTIÈRE EST STRICTEMENT INTERDITE SANS AU PRÉALABLE AVOIR REÇU L'AUTORISATION ÉCRITE DE PRODUITS ETANG.CA LTÉE.

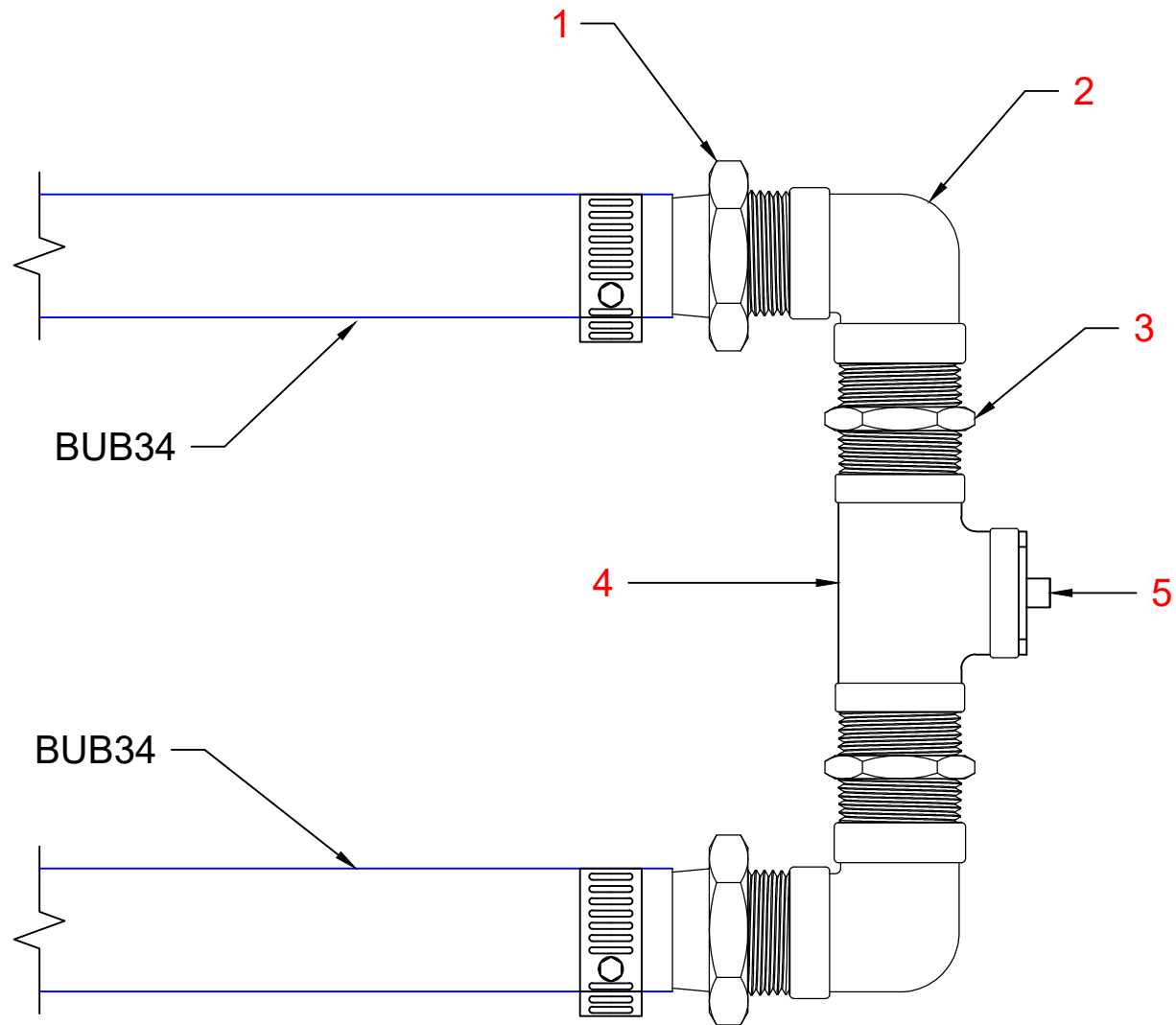
ALL INFORMATION CONTAINED IN THIS DOCUMENT IS PROPRIETARY TO CANADIAN POND.CA PRODUCTS LTD. DUPLICATION OR TRANSMITTAL OF THIS DOCUMENT IS STRICTLY PROHIBITED WITHOUT THE WRITTEN CONSENT OF CANADIANPOND.CA PRODUCTS LTD.



	DESSINÉ PAR / DRAWN BY:	NOM / NAME:	DATE:
	APPROUVÉ PAR / APPROVED BY:	D. MARTIN	04-03-2019
513 KNOWLTON ROAD, KNOWLTON, QUÉBEC, JOE 1W0, TEL: 450-243-0976, FAX: 450-243-1834			

TITRE / TITLE:

TUYAU-BULLE ®




Bill Of Material			
ITEM	QTY/ QTÉ	CODE	DESCRIPTION
1	2	zADAPT34-316	3/4" Barb 316, cl150 SS Adapter
2	2	zELB34-90-316	90°, 3/4" 316 Stainless Steel Elbow
3	2	zNIPH34-316	3/4" Stainless Steel Hexagonal Nipple
4	1	zTEE34-316	3/4" FNPT 316 Stainless Steel "T"
5	1	zPLUG34NPT-316	- 3/4" NPT Threaded Stainless Steel Square head plug

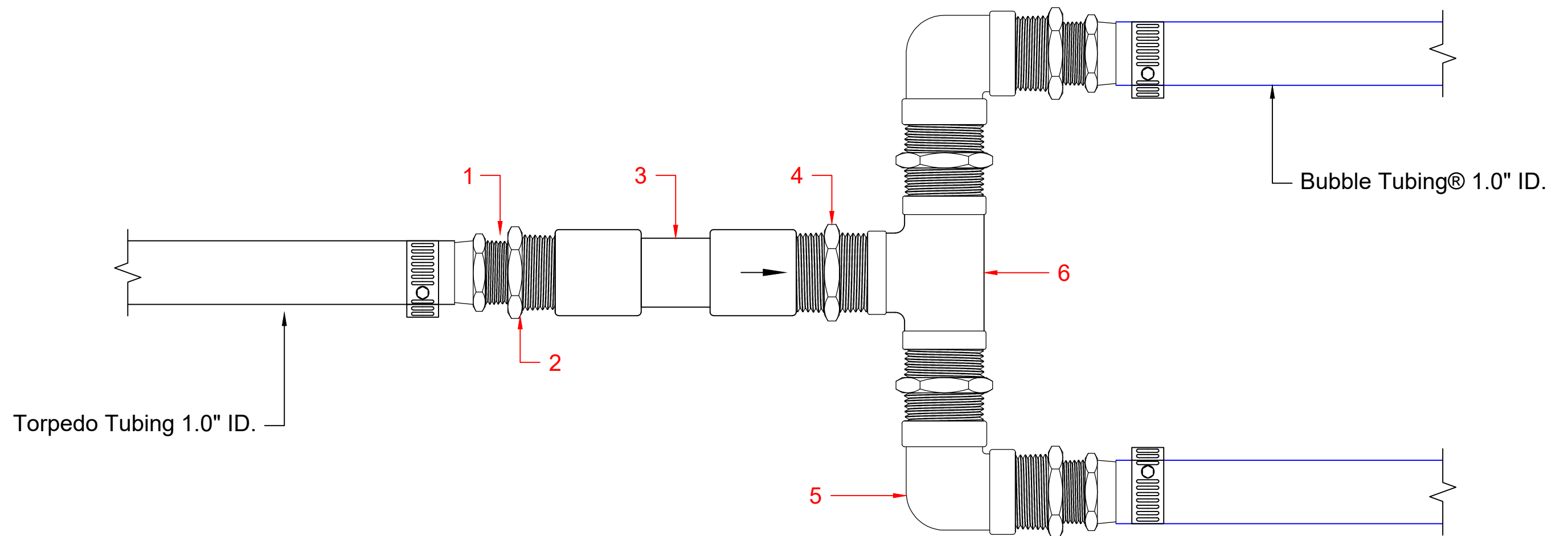
NOTES :

- THE PLANS AND DRAWING INCLUDED IN THIS DOCUMENT ARE PRELIMINARY AND SHOULD NOT BE USED FOR THE CONSTRUCTION OR INSTALLATION OF THE SYSTEM.


- ALL INFORMATION CONTAINED IN THIS DOCUMENT IS PROPRIETY TO CANADIAN POND.CA PRODUCTS LTD. DUPLICATION OR TRANSMITTAL OF THIS DOCUMENT IS STRICTLY PROHIBITED WITHOUT THE WRITTEN CONSENT OF CANADIAN POND.CA PRODUCTS LTD.

- RESULTS AND PERFORMANCES PROPOSED IN THIS DOCUMENT ARE THEORETICAL AND MAY BE INFLUENCED BY MANY FACTORS UNKNOWN DURING THE DESIGN PHASE.

Date: 06/03/2020		Client: N/A		MODIFICATIONS		
Draw.	D. Gauthier, eng.	Title: 00-U34-316		Vers.	Notes	Date
Desi.	XX	Scale NTS	Sheet 1 OF 1	Format 11" x 17"	Vers. V1.1	
Veri.	XX					
Appr.	XX					
570 CHEMIN KNOWLTON, LAC-BROME, QUÉBEC, J0E 1V0, TEL.: 450 243-0976, FAX.: 450 243-1834						



Item	Qty	Code	Description
1	3	zADAPT1.0-316	1" Barb 316, cl150 Stainless Steel Adapter
2	3	zRH1.25-1-316	SS Hex Reducer 1.25" MNPT to 1.0" FNPT
3	1	zCV1.25-316	316 Stainless Steel Check Valve - 1.25" FNPT
4	3	zNIPH1.25-316	1.25" Hexagonal 316, cl150 SS Nipple
5	2	zELB1.25-90-316	1.25" NPT, 90° 316 Stainless Steel Elbow
6	1	zTEE1.25-316	1.25" NPT Stainless Steel "T"

NOTES : - THE PLANS AND DRAWING INCLUDED IN THIS DOCUMENT ARE PRELIMINARY <u>AND SHOULD NOT BE USED FOR THE CONSTRUCTION OR INSTALLATION OF THE SYSTEM.</u> - ALL INFORMATION CONTAINED IN THIS DOCUMENT IS PROPRIETY TO CANADIAN POND.CA PRODUCTS LTD. DUPLICATION OR TRANSMITTAL OF THIS DOCUMENT IS STRICTLY PROHIBITED WITHOUT THE WRITTEN CONSENT OF CANADIAN POND.CA PRODUCTS LTD. - RESULTS AND PERFORMANCES PROPOSED IN THIS DOCUMENT ARE THEORETICAL AND MAY BE INFLUENCED BY MANY FACTORS UNKNOWN DURING THE DESIGN PHASE.		Date: 15/10/2019	Client: N/A				MODIFICATIONS		
		Draw. D. Gauthier	Title: 00-Y1.25-316(1.0in)_BOM				Vers.	Notes	Date
		Desi.	Scale NTS	Sheet 3 of 8	Format 11" x 17"	Vers. V1			
		Veri.							
		Appr.							
		570 CHEMIN KNOWLTON, LAC-BROME, QUÉBEC, J0E 1V0, TEL.: 450 243-0976, FAX.: 450 243-1834							



about GHD

GHD is one of the world's leading professional services companies operating in the global markets of water, energy and resources, environment, property and buildings, and transportation. We provide engineering, environmental, and construction services to private and public sector clients.

Jonathan Olson

Jonathan.Olson@ghd.com
418.425.0821

Bruno Dupré

Bruno.Dupre@ghd.com
418.425.0816

www.ghd.com