

## **Avis du comité d’experts sur les exigences environnementales de travaux préliminaires de TransCanada dans la rivière Batiscan (Sainte-Genève- de-Batiscan) et le fleuve Saint-Laurent (Saint-Augustin-de-Desmaures et Lévis)**

**Août 2015**

<sup>1</sup>Ghislain Chouinard<sup>a</sup>, Christian Dupuis<sup>b</sup>, Serge Leroueil<sup>c</sup>, Pierre Magnan<sup>d</sup>

<sup>a</sup> 64 rue Rouse  
Dieppe (Nouveau-Brunswick)  
E1A 0W1

<sup>b</sup> Département de géologie et génie géologique  
Pavillon Adrien-Pouliot  
1065, avenue de la Médecine  
Université Laval  
Québec (Québec)  
G1V 0A6

<sup>c</sup> Département de génie civil et de génie des eaux  
Pavillon Adrien-Pouliot  
1065, avenue de la Médecine  
Université Laval  
Québec (Québec)  
G1V 0A6

<sup>d</sup> Chaire de recherche du Canada en écologie des eaux douces  
Université du Québec à Trois-Rivières  
C.P. 500  
Trois-Rivières (Québec)  
G9A 5H7

<sup>1</sup> liste des auteurs par ordre alphabétique

## Table des Matières

Résumé.....	ii
1. Introduction.....	1
2. Approche et méthodes d'analyse du Comité.....	5
3. Description et pratiques usuelles pour les travaux sismiques .....	6
4. Description générale des sites des projets et des travaux préliminaires proposés.....	13
a) Rivière Batiscan (Sainte-Genève-de-Batiscan).....	13
b) Fleuve Saint-Laurent (Saint-Augustin-de-Desmaures et Lévis).....	16
5. Impacts potentiels de travaux sismiques.....	22
a) Milieu terrestre.....	22
i. Mobilisation .....	22
ii. Impacts potentiels sur les populations humaines et les structures .....	23
iii. Impacts potentiels sur la végétation et la faune .....	23
iv. Impacts potentiels sur la stabilité des berges .....	23
v. Impacts potentiels de contamination.....	24
vi. Mesures d'atténuation.....	25
vii. Lignes directrices.....	25
b) Milieu aquatique .....	26
i. Mobilisation .....	26
ii. Impacts potentiels sur la vie aquatique .....	27
iii. Impact potentiel sur l'habitat du poisson .....	30
iv. Impact potentiel des explosifs sur la toxicité des milieux aquatiques.....	30
v. Mesures d'atténuation.....	33
vi. Lignes directrices .....	34
6. Avis scientifique du Comité.....	36
a) Milieu terrestre.....	37
b) Milieu aquatique .....	38
i. Méthodes de détonation .....	38
ii. Périodes sensibles et espèces d'intérêt pour la conservation .....	39
7. Remerciements.....	52
8. Références.....	53

## Résumé

En juin 2015, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) a décidé de créer un comité d'experts (ci-après le Comité) afin de lui fournir un avis scientifique sur les exigences environnementales de travaux de relevés sismiques proposés par la firme TransCanada aux traverses de la rivière Batiscan (hauteur de Sainte-Geneviève-de-Batiscan) et du fleuve Saint-Laurent (hauteur de Saint-Augustin-de-Desmaures et Lévis) dans le cadre du projet Oléoduc Énergie Est. Ce rapport présente les analyses, les considérations et l'avis scientifique du Comité sur les travaux proposés.

L'avis scientifique du Comité concernant les exigences environnementales est basé sur les meilleures pratiques actuelles et utilisées dans plusieurs juridictions. Le Comité est d'avis que plusieurs des exigences environnementales identifiées sont adéquates pour atténuer les impacts potentiels des travaux. Cependant, le Comité est d'avis que seuls les canons à air devraient être utilisés en milieu aquatique compte tenu des risques de contamination avec l'usage des explosifs. De même, le Comité est d'avis que la période des travaux permise pour la réalisation des travaux devrait être du 1er septembre au 15 décembre pour la rivière Batiscan et du 15 septembre au 30 novembre dans le fleuve Saint-Laurent afin d'éviter les périodes sensibles pour les poissons. Deux tableaux présentent les recommandations du Comité pour chacune des exigences environnementales de ces projets, à la section 6 du rapport.

Le Comité considère que les approches, les considérations et les conclusions de base soutenant son avis peuvent s'appliquer à d'autres projets de relevés sismiques proposés dans des milieux similaires, ailleurs au Québec.

## 1. Introduction

La compagnie TransCanada (TC) souhaite développer un projet d'oléoduc de quelques 4600 kilomètres de longueur (<http://www.oleoducenergieest.com/>, consulté le 29 juillet 2015) qui assurerait le transport d'environ 1,1 millions de barils de pétrole brut par jour en provenance de l'Ouest canadien (Alberta et Saskatchewan) vers des raffineries de l'est du Canada. Le projet comprendrait :

- la conversion d'une partie de la canalisation principale canadienne (3000 kilomètres de conduites existantes en Saskatchewan, au Manitoba et en Ontario), un réseau de gazoducs, pour le transport de pétrole;
- la construction de nouveaux tronçons de pipelines sur une longueur d'environ 1 400 kilomètres en Alberta, en Ontario, au Québec et au Nouveau-Brunswick pour relier le pipeline converti;
- la construction d'installations connexes telles que les stations de pompage, les terminaux de stockage et les installations maritimes.

La portion québécoise du projet demeure à confirmer. Toutefois, les documents soumis à l'Office national de l'énergie font état :

- d'un nouveau pipeline qui exigera une superficie de 4320 ha (longueur totale de 720 km avec une emprise de 60 m de largeur pour la construction);
- de deux stations de comptage aux points de livraison de Montréal et Lévis;
- de onze stations de pompage.

Au départ, TC prévoyait construire un terminal maritime et des réservoirs de stockage de pétrole à Cacouna. Le 2 avril 2015, le promoteur a avisé le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) qu'il arrêterait le développement du complexe de Cacouna et qu'il retirait ce volet du projet.

Dans le cadre des travaux préparatoires à la réalisation de son projet Oléoduc Énergie Est, TC prévoit le franchissement de nombreux cours d'eau incluant certaines rivières d'importance et plusieurs petits cours d'eau en milieux agricole et forestier. Pour ce faire, elle a effectué des sondages géotechniques et elle doit, dans certains cas, à l'aide de levés sismiques, valider les méthodes de franchissement pour la traversée des cours d'eau majeurs, ainsi qu'évaluer les sites qui seront destinés à l'implantation de futures infrastructures.

Le 24 avril 2015, TC signifiait au gouvernement du Québec sa volonté de conduire des travaux préliminaires au cours des prochaines semaines afin de parfaire ses connaissances du territoire québécois et ainsi préciser le tracé de l'oléoduc, prendre une décision sur l'opportunité de construire un port pétrolier et finaliser son projet en sol québécois. Les prochains travaux ayant fait l'objet de demandes de certificat d'autorisation (CA) au MDDELCC de la part de TC comportent des relevés sismiques en milieux terrestre et aquatique dans 1) la rivière Batiscan (hauteur de Sainte-Geneviève-de-Batiscan) et 2) le fleuve Saint-Laurent (hauteur de Saint-Augustin-de-Desmaures et de Lévis). Dans les deux cas, l'objectif des relevés sismiques est de

caractériser le roc sous le lit du cours d'eau afin de déterminer une méthode appropriée pour l'installation d'un oléoduc sous son lit. Selon TC, dans les documents transmis au MDDELCC (page 7 du document de TransCanada intitulé 3390100\_0713\_FO01\_V3\_20140717\_AUTORISATIONS\_BATISCAN et page 5 du document 3390100\_0713\_FO01\_VF\_20140814\_AUTORISATIONS\_FLEUVE\_ST\_LAURENT), des relevés sismiques sont nécessaires sur ces deux cours d'eau parce que les études par forages géotechniques ne permettent pas de conclure sur la faisabilité de ces traverses par forage dirigé.

Les travaux préliminaires mentionnés ci-haut sont assujettis à divers lois et règlements. Par exemple, les travaux doivent se faire dans le respect du paragraphe 35 (1) de la Loi sur les pêches et des articles 32, 33 et 36 de la Loi sur les espèces en péril (lois du Canada). Au Québec, l'article 128.6 de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune (LCMVF) concernant les habitats fauniques est pertinent à ces travaux. Dans le contexte du travail du Comité, les articles 20 et 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE) qui relève du MDDELCC sont particulièrement significatifs. L'article 20 de la LQE indique :

*« Nul ne doit émettre, déposer, dégager ou rejeter ni permettre l'émission, le dépôt, le dégagement ou le rejet dans l'environnement d'un contaminant au-delà de la quantité ou de la concentration prévue par règlement du gouvernement. »*

*La même prohibition s'applique à l'émission, au dépôt, au dégagement ou au rejet de tout contaminant, dont la présence dans l'environnement est prohibée par règlement du gouvernement ou est susceptible de porter atteinte à la vie, à la santé, à la sécurité, au bien-être ou au confort de l'être humain, de causer du dommage ou de porter autrement préjudice à la qualité du sol, à la végétation, à la faune ou aux biens. »*

À l'article 22 de la LQE on peut lire :

*« Nul ne peut ériger ou modifier une construction, entreprendre l'exploitation d'une industrie quelconque, l'exercice d'une activité ou l'utilisation d'un procédé industriel ni augmenter la production d'un bien ou d'un service s'il est susceptible d'en résulter une émission, un dépôt, un dégagement ou un rejet de contaminants dans l'environnement ou une modification de la qualité de l'environnement, à moins d'obtenir préalablement du ministre un certificat d'autorisation. »*

*Cependant, quiconque érige ou modifie une construction, exécute des travaux ou des ouvrages, entreprend l'exploitation d'une industrie quelconque, l'exercice d'une activité ou l'utilisation d'un procédé industriel ou augmente la production d'un bien ou d'un service dans un cours d'eau à débit régulier ou intermittent, dans un lac, un étang, un marais, un marécage ou une tourbière doit préalablement obtenir du ministre un certificat d'autorisation... »*

La réalisation de sondages géotechniques préliminaires à l'implantation d'un projet en milieu terrestre est soustraite à l'application du premier alinéa de l'article 22 de la LQE, tel que le prévoit l'alinéa 5° de l'article 2 du Règlement relatif à l'application de la LQE (Q-2, r. 3) :

*«À moins qu'il ne s'agisse de la réalisation de tout ou partie d'un projet destiné à des fins d'accès public ou à des fins municipales, industrielles, commerciales ou publiques sur*

*une rive ou dans une plaine inondable au sens de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (c. Q-2, r. 35), sont soustraits à l'application du premier alinéa de l'article 22 de la Loi:*

*5° les travaux préliminaires d'investigation, de sondage, de recherche, d'expériences hors usine ou de relevés techniques préalables à tout projet ».*

Donc, étant donné que les relevés sismiques proposés par TC se retrouvent sur les rives ainsi que dans des cours d'eau à débit réguliers, des CA sont requis et ont fait l'objet de demandes de la part de TC dans les deux régions mentionnées plus haut. Une demande de CA a été reçue au MDDELCC pour le projet de la rivière Batiscan le 29 juillet 2014 et modifiée le 23 octobre 2014 et une autre, pour le fleuve Saint-Laurent, a été reçue en date du 21 août 2014.

Depuis la réception des deux demandes de CA, des analyses exhaustives et des expertises de ces dossiers ont été menées par le personnel du MDDELCC. À plusieurs reprises, des questions et demandes de clarification ont été acheminées à TC afin d'obtenir une image claire des travaux et des méthodes proposés. TC a fourni des réponses à toutes les demandes d'informations supplémentaires. L'analyse a permis au personnel du MDDELCC d'établir un certain nombre d'exigences environnementales pour éliminer ou minimiser les impacts de ces travaux préliminaires sur l'environnement.

Étant donné l'ampleur du projet de TC, le ministre du MDDELCC donnait au Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) le mandat suivant le 8 juin dernier (MDDELCC 2015a).

- valider la composition d'un comité d'experts responsable d'émettre un avis sur les exigences environnementales identifiées pour la réalisation des travaux préliminaires de TC pour lesquels des demandes de CA ont été soumises au MDDELCC;
- mener une enquête et une audience publique sur la portion québécoise du projet Énergie Est.

Le 3 juillet 2015, le BAPE a validé la composition du comité d'experts proposée par le MDDELCC dont le mandat initial est d'émettre un avis sur les exigences environnementales devant baliser ces travaux préliminaires. Plus précisément, le mandat assigné au comité d'experts comporte deux volets principaux:

- émettre un avis scientifique afin d'avaliser les exigences environnementales devant baliser les travaux préliminaires de TC relatifs aux relevés sismiques en milieux terrestre et aquatique, pour lesquels des demandes d'autorisation ont été déposées, et ainsi s'assurer que les conditions exigées par le Ministère sont adéquates et conformes aux meilleures pratiques;
- suggérer, s'il y a lieu, de meilleures pratiques pour les travaux de relevés sismiques et de sondages géotechniques en milieux terrestre et aquatique.

Le mandat du comité d'experts était limité exclusivement aux travaux préliminaires à effectuer par TC en 2015 aux fins d'acquisition de données et de validation de méthodes de

franchissement à privilégier pour la traversée de cours d'eau. Cependant, dans les travaux préliminaires présentés, on ne fait pas mention de collecte d'information relative à des mouvements de terrain pouvant impliquer les berges de rivières. Le Comité juge bon de signaler cet enjeu important ici, au cas où celui-ci n'aurait pas déjà été pris en considération.

En particulier, dans la Section 2.4.3 du document de TC présentant le projet Oléoduc Énergie Est, ainsi que dans les Annexes 6 et 7, il est question de méthodes de franchissement de cours d'eau et de critères permettant de choisir une méthode en particulier. Le Comité constate que la stabilité des berges de cours d'eau dans lesquelles l'oléoduc sera enfoui n'est pas mentionnée. En effet, de nombreux cours d'eau de l'est du Canada, particulièrement au Québec, ont creusé leur lit dans des dépôts d'argiles sensibles et ont des berges qui sont fréquemment le siège de glissements de terrain pouvant rétrogresser sur plusieurs centaines de mètres. En voici quelques exemples :

- Le glissement de terrain de Saint-Liguori qui s'est produit le 3 juillet 1989 le long de la Rivière Rouge, qui a rétrogressé sur une centaine de m (Grondin et Demers, 1996). La cause est un soulèvement du fond de la rivière causé par de fortes pressions artésiennes sous le lit de la rivière;
- Le glissement de terrain de Lemieux, le 20 juin 1993, le long de la Rivière South Nation, Ontario, qui a rétrogressé sur une distance de 600 m (Evans et Brooks, 1994);
- Le déluge du Saguenay en juillet 1996 et les crues générées qui ont conduit à des érosions massives le long des rivières Chicoutimi, Aux-Sables et des Ha! Ha!;
- Le glissement de terrain qui s'est produit à Saint-Jude le 10 Mai 2010 et qui a causé la mort de quatre membres d'une même famille. Les raisons principales semblent être de l'érosion en pied de talus et des pressions interstitielles élevées sous le pied de talus (Locat et collab. 2011);
- En 1663, un tremblement de terre de magnitude supérieure à 7,0 a provoqué des dizaines de glissements de terrain, dont certains des plus grands répertoriés au Québec (Saint-Jean-Vianney, Betsiamites, etc.) (Locat 2011).

Si l'oléoduc devait être pris dans un tel glissement de terrain, il y aurait un risque de bris et de déversement de pétrole. La stabilité des berges et du fond de la rivière doit donc être étudiée et éventuellement, des méthodes de stabilisation doivent être définies avant de pouvoir choisir une méthode de franchissement. Entre autres aspects à considérer se trouvent la présence de glissements dans la région, la géométrie du talus, la présence d'érosion, les caractéristiques géotechniques du sol, le régime hydrogéologique, la possibilité de crue, la sismicité au site, etc. On parle donc d'investigation importante. Même pour un franchissement sans tranchée, il faut savoir à quelle distance du cours d'eau l'oléoduc doit être enfoui sous le niveau de la rivière pour ne pas être affecté par des glissements de terrain.

Outre cette observation, le contenu du rapport du Comité se limite entièrement au mandat qui lui a été assigné, c'est à dire de fournir un avis scientifique sur les travaux préliminaires proposés par TC en 2015 aux points de traverse proposés de la rivière Batiscan et du fleuve Saint-Laurent et sur, s'il y a lieu, les meilleures pratiques pour les travaux sismiques de ce genre.

## 2. Approche et méthodes d'analyse du Comité

Les travaux considérés par le Comité concernent des relevés sismiques pour la traversée de deux cours d'eau qui impliquent des levés en milieux aquatiques et en milieux terrestres. Pour les relevés en milieux aquatiques, le Comité s'est référé au cheminement proposé par Pêches et Océans Canada pour étudier l'effet d'explosifs utilisés dans l'eau ou à proximité (Figure 1).

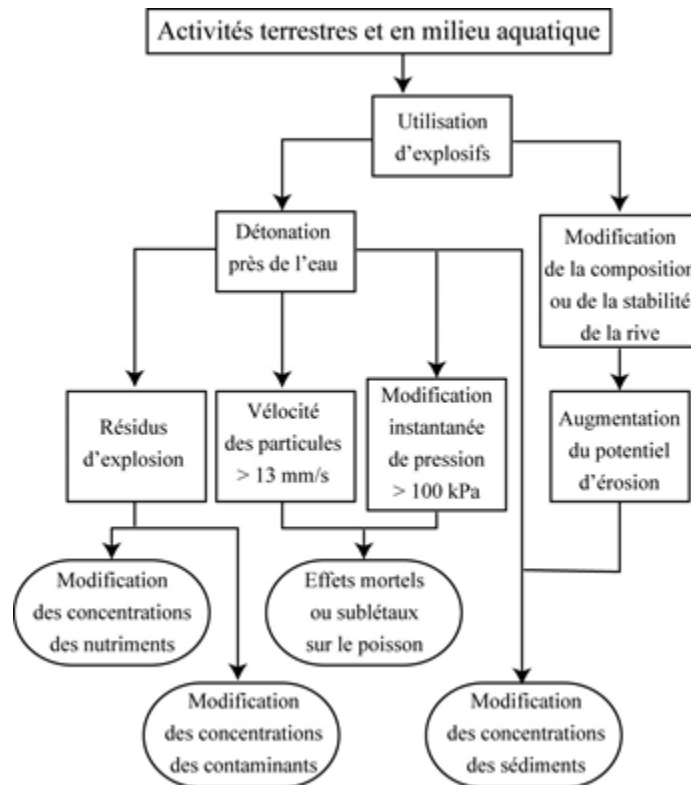


Figure 1. Organigramme pour étudier les effets d'explosifs dans l'eau ou à proximité, adapté de Pêches et Océans Canada (Note : Il semble qu'il y avait incohérence entre les critères sur la « Vélocité des particules > 13 mm/s » et « Modification instantanée de pression < 100 kPa ». La figure a été modifiée pour inscrire « > 100 kPa » pour la modification instantanée de pression. Par ailleurs, il est important de considérer que le critère sur la vélocité, > 13 mm/s, s'applique au niveau des sédiments des frayères et que le critère sur la pression indique que l'onde de compression dans la colonne d'eau ne doit pas générer une modification de pression > 100 kPa là où il y a des poissons.

Cet organigramme montre quatre préoccupations majeures :

- 1- Les effets des détonations sur le poisson. Cette préoccupation pourrait s'élargir aux effets sur la vie aquatique.
- 2- Les effets des résidus des explosions sur l'environnement.
- 3- Les effets des détonations sur les sédiments. De manière plus générale, on pourrait parler des effets sur l'habitat de la faune aquatique.
- 4- Les effets des explosifs sur les rives (stabilité et modification de la composition).



Pour les relevés terrestres, seules les préoccupations (2) et (4) demeureront, auxquelles on pourrait ajouter celles sur l'être humain et les structures construites.

Pour faire leurs analyses et émettre leurs recommandations, les experts du Comité ont :

1. Fait une lecture approfondie des documents fournis par TransCanada, le MDDELCC, le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) associés aux deux projets et de plusieurs rapports techniques et articles scientifiques répertoriés par les membres du Comité.
2. Demandé des précisions au promoteur sur certains aspects des projets par le biais du MDDELCC. À cet effet, ils ont aussi eu une conférence téléphonique avec des représentants de TC le 29 juillet 2015, en présence d'un représentant du MDDELCC.
3. Précisé les pratiques qui sont suivies pour des travaux sismiques, en particulier en milieu aquatique (Section 3).
4. Précisé la problématique en s'informant sur le contexte environnemental ainsi que sur la flore, la faune et en particulier les espèces de poissons rencontrées localement (Section 4).
5. Précisé les impacts potentiels de travaux sismiques sur l'environnement, principalement sur la base de la littérature (Section 5).
6. Présenté leur avis sur les différentes exigences environnementales identifiées pour les relevés sismiques (Section 6).

### **3. Description et pratiques usuelles pour les travaux sismiques**

Les méthodes géophysiques permettent de mieux comprendre les matériaux qui composent le sol en profondeur (Telford et collab. 1990). La qualité de l'information et de l'image qui est générée dépend avant tout du contraste de propriétés physiques entre les structures d'intérêt et leur milieu. Il est ainsi possible d'utiliser des ondes électromagnétiques, des ondes acoustiques et même des variations dans le champ gravitationnel de la terre pour obtenir une image des structures. La méthode à utiliser dépend des objectifs à atteindre et les contrastes de propriétés physiques qui existent entre les différents matériaux. La profondeur d'investigation et la résolution sont aussi d'importants facteurs à considérer. En général, le niveau d'incertitude croît avec la profondeur, car l'énergie qui voyage entre la source et l'appareil de mesure est atténuée par le milieu.

Les méthodes sismiques permettent d'ausculter les matériaux géologiques en mesurant les variations de leurs propriétés élastiques. Il existe principalement deux types de levés sismiques soit (1) la sismique réflexion, et (2) la sismique réfraction.

La sismique réfraction est enseignée dans plusieurs universités au Canada, dans les programmes de génie géologique ou de génie civil. L'utilisation première de cette technique est d'identifier le contact entre les sédiments et le socle rocheux. L'énergie nécessaire pour ce type de levé est généralement 10 à 100 fois plus faible que l'énergie qui doit être employée dans les levés de sismique réflexion lorsqu'utilisée pour l'exploration pétrolière, car cette interface se situe

généralement à quelques dizaines de mètres sous la surface du sol.

La sismique réflexion a en effet été développée à prime abord pour l'exploration pétrolière. Elle permet d'imager les bassins sédimentaires et d'identifier des structures géologiques qui sont propices pour piéger des hydrocarbures. Ces structures sont généralement situées à quelques kilomètres de profondeur et il est donc nécessaire d'utiliser des sources sismiques beaucoup plus puissantes.

La sismique réflexion a longtemps été trop onéreuse pour être utilisée pour la géotechnique ou pour cartographier les aquifères. La réduction des coûts des sismographes et l'apparition de sources à faible impact (Pugin et collab. 2013) ont favorisé l'émergence de la sismique réflexion pour l'étude de problèmes dans ces domaines. La sismique réfraction reste toutefois la méthode la mieux connue dans le contexte de la géotechnique et est fréquemment utilisée pour évaluer la profondeur au rock et pour identifier sa qualité.

### Principes physiques importants

À la frontière entre deux milieux, l'énergie peut-être, soit transmise au second milieu, réfléchi dans la direction de son incidence ou réfractée le long de l'interface (Figure 2).

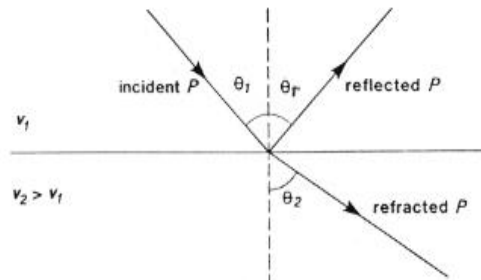


Figure 2 : Schéma qui illustre la différence entre la réflexion (reflected) et réfraction (refracted) d'énergie entre 2 milieux à partir d'une source d'impulsion.  
(tiré de [http://www.eos.ubc.ca/courses/eosc350/content/methods/meth\\_6/raypaths.html](http://www.eos.ubc.ca/courses/eosc350/content/methods/meth_6/raypaths.html))

Les différences dans la propagation de l'énergie entre les deux milieux sont indicateurs des différences d'impédance acoustique des milieux. Ce sont les ondes réfractées qui sont à l'origine des travaux proposés par TC. Il est important de comprendre que ces ondes réfractées ne sont détectées que si le contraste de l'impédance acoustique y est propice. C'est le cas lorsque le média sous-jacent permet à une onde acoustique de se propager à une vitesse plus grande que le milieu d'origine. Ainsi, la portion de l'onde acoustique dont l'angle d'incidence est supérieur à l'angle critique est alors réfractée le long de l'interface (Figure 3).

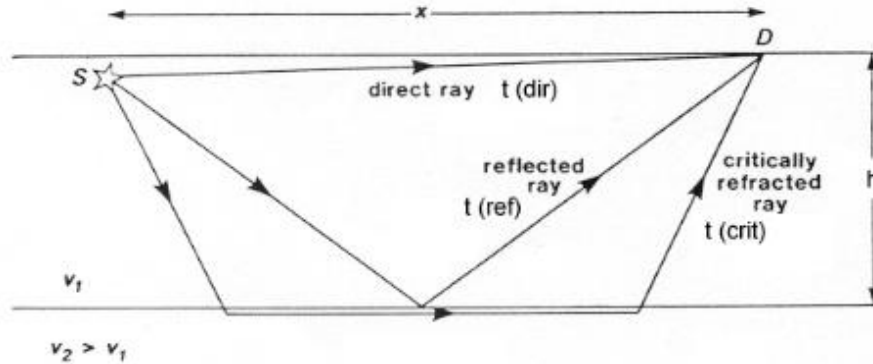


Figure 3 : Trajectoires empruntés par les ondes sismiques. Les ondes voyagent entre la source (S) et le receveur (D). Trois arrivées sont observées au receveur:(1) L'onde réfractée (refracted ray), (2) l'onde directe (direct ray) et (3) l'onde réfléchie (reflected ray).  
(tiré de [http://www.eos.ubc.ca/courses/eosc350/content/methods/meth\\_6/raypaths.html](http://www.eos.ubc.ca/courses/eosc350/content/methods/meth_6/raypaths.html))

Parce que ces réfractés voyagent à la vitesse du deuxième milieu, elles devancent les arrivées de l'onde acoustique qui se propage dans le premier milieu. Les points d'intersection entre ces deux ondes permettent d'évaluer la vitesse de propagation des ondes de compression dans les deux milieux ainsi que l'épaisseur du premier milieu (Figure 4).

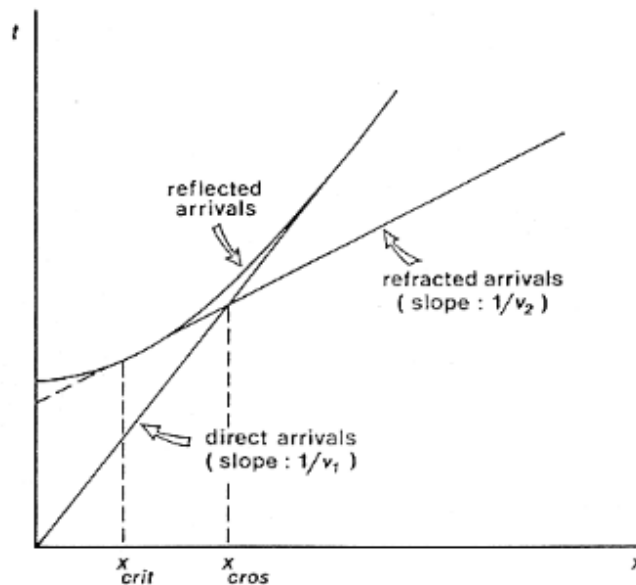


Figure 4 : Illustration des temps d'arrivées à une distance x pour l'onde directe, l'onde réfracté et l'onde réfléchie.  
(Tiré de [http://www.eos.ubc.ca/courses/eosc350/content/methods/meth\\_6/raypaths.html](http://www.eos.ubc.ca/courses/eosc350/content/methods/meth_6/raypaths.html))

Si d'autres interfaces existent, les ondes qui avaient un angle d'incidence plus faible que l'angle

critique et qui ont été transmises dans le deuxième milieu peuvent à nouveau subir une réfraction lorsque l'angle critique est atteint. Dans le cas d'une interface qui présente un pendage, les vitesses et les points d'intersection observés sont asymétriques par rapport au point de tir.

Afin de pouvoir mesurer les ondes réfractées à l'interface entre deux milieux, il est important d'avoir des points de tir et des receveurs avec un espacement suffisant qui permettent l'intersection des ondes directes et réfractées ainsi qu'une bonne évaluation des vitesses de propagation (Figure 5).

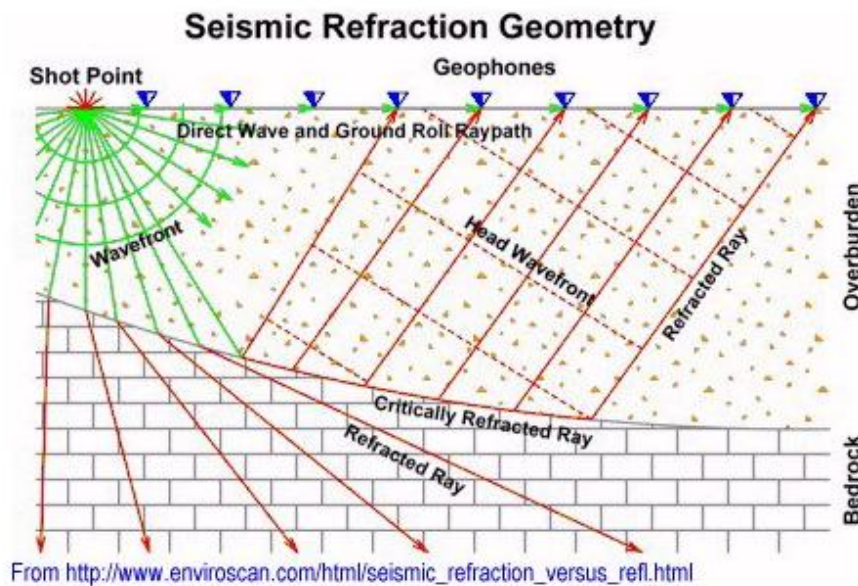


Figure 5 : Illustration de la géométrie d'acquisition standard pour la sismique réfraction. Le point de tir est à l'extrémité gauche de la ligne de receveurs.

Plus les interfaces visées sont profondes, plus les distances entre les receveurs et les points de tir devront être grandes. De façon conceptuelle, l'onde acoustique, lorsqu'elle se propage dans le milieu, distribue son énergie sur un volume qui croît en fonction de la distance de la source au point d'observation (Figure 5). Par conséquent, la densité d'énergie décroît en fonction de la distance qui sépare la source d'un point d'observation. Il faut aussi compter sur les pertes d'énergie (viscoélastiques et diffractions spéculaires) qui peuvent se produire dans certains milieux. Ces modes d'atténuation sont ainsi les facteurs qui peuvent rendre nécessaire l'augmentation de l'énergie de la source à un seuil suffisant pour que les ondes directes et réfractées puissent être enregistrées sur les receveurs les plus distants.

La transmission ou le couplage de l'énergie de la source au milieu est un important facteur à considérer afin d'obtenir de bons résultats. On entend par couplage la proportion de l'énergie qui sera transmise au milieu versus la portion qui sera absorbée à proximité du point de tir. L'absorption de l'énergie est causée par des déformations plastiques du milieu. On entend par déformation plastique des déformations dans le milieu qui ne retournent pas à leur état initial.

Les milieux saturés en eau sont parmi les meilleurs pour la transmission des ondes sismiques alors que les sédiments secs et grossiers sont parmi les matériaux les plus atténuateurs. Ceci s'explique par le fait que l'eau est un liquide incompressible et donc demeure dans un état élastique, peu importe le niveau d'énergie auquel elle est soumise. Un espace poreux de sédiments secs par contre, est rempli d'air qui peut facilement absorber l'onde de choc et par conséquent, ce milieu est peu propice à la propagation d'ondes acoustiques. La nature des sédiments de surface et la localisation des points de tir déterminent donc la source sismique la plus appropriée pour les travaux de sismique.

Les étudiants de premier cycle dans les programmes de génie géologique apprennent qu'une masse de 4,5 kg frappée sur une plaque de métal sera généralement suffisante pour faire l'acquisition de données de sismique réfraction. Les sites choisis pour ces travaux sont souvent des terrains argileux où le couplage de la source au milieu est très bon. En pratique, il y a souvent des endroits où les sédiments de surface sont moins appropriés pour ce type de source. Il est alors possible d'utiliser des sources plus puissantes afin de pouvoir atteindre les objectifs du levé de sismique réfraction.

La masse accélérée et le 'buffalo-gun' sont alors des sources qui sont souvent utilisées pour les travaux sur la terre ferme. Le 'buffalo-gun' est une source qui utilise des cartouches de calibre 12 sans les plombs. Ces cartouches, qui contiennent souvent de la poudre noire, sont insérées dans le 'buffalo-gun'. Ce dernier est inséré dans un trou d'une profondeur de 1 à 1,5 m. Le trou est généralement rempli d'eau afin de permettre un bon couplage. Les inconvénients avec cette source sont que des trous de tir doivent être faits et il doit y avoir assez d'eau à proximité afin de les remplir. Si le sol est composé de graviers grossiers et de blocs angulaires, il peut être impossible de creuser les trous nécessaires avec une tarière ou de maintenir suffisamment d'eau dans le trou. Dans cette situation, le 'buffalo-gun' est à déconseiller.

La masse accélérée utilise une masse de 45 kg ou plus qui est montée sur un système qui permet de l'accélérer vers le sol. Ce système peut être fabriqué avec des bandes élastiques, comme une arbalète, ou avec un système pneumatique à l'azote. La masse accélérée à l'inconvénient d'être plus lourde que le 'buffalo-gun' et il est donc nécessaire d'avoir une voie d'accès qui permet le déplacement de la source sur un chariot ou une remorque. L'impact de la masse est distribué sur une plaque de métal qui répartit l'énergie. La taille de la plaque est choisie en fonction du terrain afin de limiter son enfoncement. Mis à part l'éclaircissement nécessaire pour permettre le déplacement de la source, son impact sur l'environnement est négligeable.

En plus des trois sources ci-haut mentionnées, il est possible d'utiliser des explosifs chimiques. Ceux-ci permettent d'augmenter l'énergie au-delà de ce qui peut être atteint avec les trois sources précédentes. Les inconvénients des explosifs sont largement les mêmes que ceux du 'buffalo-gun'. Les trous pour installer les charges peuvent être difficiles à faire avec une tarière et une foreuse peut être nécessaire afin d'avoir des trous suffisamment profonds pour assurer un bon couplage de cette énergie. Si tel est le cas, les coûts de forages peuvent devenir importants. Dans les endroits où le couplage est faible, les forages pour les points de tir peuvent être forés sous le niveau de la nappe phréatique. Cette pratique améliore le couplage, mais peut demander d'importants investissements pour l'installation des charges. Les contraintes de la voie d'accès

pour la foreuse dictent alors le déboisement nécessaire pour construire la voie d'accès. Ces sources sont néanmoins couramment utilisées sur des terrains accidentés qui ne permettent pas l'accès de véhicules. L'utilisation de charge explosive en milieu terrestre est souvent considérée comme la plus respectueuse de l'environnement, car le déboisement nécessaire pour son déploiement est significativement moindre que celui nécessaire pour d'autres sources.

Les sources mécaniques, comme la masse et la masse accélérée, ne peuvent pas être utilisées dans les zones de transitions ou dans des cours d'eau, car le mouvement de la masse est ralenti par l'eau. Les sources à impulsion sont alors utilisées.

Il existe plusieurs méthodes pour créer une impulsion dans la colonne d'eau. Les canons à air, les sources explosives et les sources à décharge électrique sont les exemples les mieux connus. Pour le profilage de sédiments peu profond, les sources de type 'boomer' et 'sparker' à décharge électrique sont préférées, car leur bande passante est supérieure aux canons à air.

Dans le cas d'une source boomer, un champ électromagnétique à forte intensité force la déformation d'une plaque d'aluminium ce qui crée une onde acoustique. Ce type de source est souvent utilisé dans les lacs et les estuaires pour étudier les sédiments près des berges.

La source 'sparker' utilise une décharge électrique à très haut voltage qui ionise l'eau et crée un effet de cavitation. Les 'sparkers' sont utiles dans les environnements où l'eau est saline, car il doit y avoir suffisamment de conduction ionique pour que le phénomène d'ionisation puisse se produire. Les ondes à haute fréquence nous permettent d'avoir une meilleure résolution, mais la profondeur d'investigation s'en trouve diminuée.

Les canons à air ont été conçus pour les levés de sismique réflexion en mer. L'air comprimé est expulsé à une grande vitesse hors du canon ce qui cause une rapide augmentation de la pression à proximité du canon. Le volume et le débit d'air qui sont déchargés affectent la pression observée et la forme de l'ondelette qui est créée. Un canon de plus fort volume aura le potentiel de créer une variation de pression plus forte. Ceci est semblable à deux ballons d'anniversaires qui sont gonflés à deux tailles différentes avant de les crever. Celui qui contient le plus d'air produira l'onde sonore de plus forte intensité. Cependant, dans le cas du canon à air, le débit du canon, c'est à dire la vitesse à laquelle il se vide influence la qualité de l'excitation sismique produite. Lorsque le canon se vide, une bulle d'air est rapidement générée à proximité. La pression à l'intérieur de la bulle lui fait prendre de l'expansion et elle remonte vers la surface. Le rythme d'expansion de la bulle est plus rapide que son ascension de sorte que la pression de l'eau à l'extérieur de la bulle devient éventuellement plus grande qu'à l'intérieur. Alors la bulle s'effondre sur elle-même et la pression à l'intérieur des plus petites bulles créées est à nouveau plus grande qu'à l'extérieur. Ce cycle se poursuit jusqu'à ce que la bulle se rende à la surface. À chaque cycle, le niveau d'énergie libéré est plus faible qu'à l'étape antérieure. L'intensité de l'onde de compression est exprimée en décibels (dB), son énergie en J/m<sup>2</sup> et sa pression acoustique en kilopascal (kPa).

Le train de bulles engendre des oscillations dans le train d'ondes généré par un canon à air. C'est-à-dire qu'il y a réverbération de l'excitation qui peut rendre l'interprétation plus difficile. Il est possible de réduire ces effets d'oscillation en utilisant plusieurs canons à air. Ces groupes de

canons permettent aussi d'altérer l'orientation de la source en utilisant des patrons d'interférence constructive qui permettent d'augmenter le niveau d'énergie dirigé vers le fond marin et de limiter le montant d'énergie qui se répartit latéralement (IAGC 2012).

Dans les milieux marins, l'utilisation de charges explosives chimiques était plus courante avant les années 1980 (e.g. Bamford et collab. 1976, Prodehl et Mooney 2012). Bamford et collab. (1976) décrivent l'utilisation de charges de 136 kg durant leurs travaux, mais Prodehl et Mooney (2012) décrivent des expériences des années 1970 qui ont utilisé jusqu'à 4000 kg d'explosifs. Ils décrivent d'ailleurs que les charges les plus imposantes ne produisaient pas nécessairement de meilleurs résultats pour l'imagerie sismique. Les pionniers de ces méthodes ont rapidement constaté qu'ils pouvaient obtenir de meilleurs résultats en divisant l'explosif en plus petites charges pour mieux diriger l'énergie.

Ces charges explosives ont été largement abandonnées dans les travaux de sismique réflexion en haute mer au profit des canons à air. Plusieurs raisons peuvent expliquer cet abandon, mais l'évolution du canon à air, qui permet de mieux diriger l'énergie, de reproduire des signaux de source de grande fidélité et la fréquence de répétition élevée entre les tirs y est pour beaucoup. Ils ont aussi l'avantage de ne pas contenir de produits qui peuvent être toxiques à la vie aquatique.

L'utilisation de sources explosives non confinées dans les cours d'eau à des fins de sismique réfraction n'est pas bien documentée dans la littérature scientifique. Celle-ci se concentre plutôt sur les effets physiologiques des ondes acoustiques de forte amplitude sur la vie aquatique. Il est généralement accepté que les canons à air sont moins dommageables que les explosifs pour les poissons (voir section 5).

Le meilleur analogue qui peut être trouvé dans la littérature pour les travaux proposés par TC est les levés sismiques qui sont faits dans les zones dites de transition. Ces zones comportent des eaux peu profondes où les systèmes d'acquisition marine ne peuvent s'aventurer à cause de la taille de leur appareillage et où les profondeurs sont trop importantes pour que les appareillages de sismique terrestre puissent y être utilisés. Cette zone de transition est aussi particulière, car elle est souvent considérée comme un écosystème fragile et important qui doit être conservé. Certaines firmes qui se spécialisent dans l'acquisition des données dans cette zone de transition sismiques ont adapté les receveurs et les sources afin de limiter les impacts sur ces environnements.

Le choix des points de tir et des positions des receveurs est généralement fait en considérant les objectifs du levé de sismique réfraction, les défis logistiques, les coûts associés au déploiement ainsi que l'impact potentiel sur l'environnement. Cette optimisation et la configuration du levé n'ont pas de solutions uniques. Historiquement, les géophones, les hydrophones et les sismographes étaient des instruments très dispendieux. Jusqu'à tout récemment, il fallait compter entre \$1000 et \$2500 par receveur. Par conséquent, les systèmes dédiés à la géotechnique comportent souvent un nombre réduit de receveurs (habituellement entre 12 et 48). La conséquence d'un nombre restreint de receveurs est l'augmentation du nombre de points de tirs qui sont nécessaires pour produire des informations de qualité à la géotechnique.

Les compagnies qui offrent le service d'acquisition sismique dans les zones de transition

proposent l'utilisation de groupe de canons à air et d'un système d'acquisition sismique avec un grand nombre de receveurs qui sont installés au fond de l'eau. À titre d'exemple, le système SeaRay 428 de Sercel (<http://www.sercel.com/products/Pages/searay-428.aspx>) peut avoir des receveurs sur une distance allant jusqu'à 37 km et déployé à des profondeurs jusqu'à 500 m. Ces receveurs sont déployés à partir d'un bateau à faible tirant d'eau et ils sont remontés à la surface à la fin du levé sismique. Ils ont un impact sur l'habitat du poisson qui est comparable à une ancre de bateau de plaisance.

La solution proposée par TC emploie une approche dite inverse où l'effort est plus important au niveau des sources que des receveurs. Dans le contexte d'un levé de sismique réfraction en eau peu profonde, ceci représente la solution logistique la plus facile et la plus économique. Le milieu aquatique permet un bon couplage et il n'est pas nécessaire de faire des forages pour accommoder des charges. Cette technique permet aussi d'installer les receveurs seulement sur les rives ce qui réduit les coûts des équipements nécessaires pour l'acquisition. Cependant, si les explosifs posent un risque de contamination des cours d'eau, une approche qui préconise moins de points de tir au profit d'une installation avec un plus grand nombre de receveurs au fond de l'eau mérite d'être considérée. En augmentant les nombres de receveurs, il devrait être possible de réduire le nombre de points de tir par un facteur de 5 à 10.

Les impacts potentiels de travaux sismiques sont traités à la Section 5.

#### **4. Description générale des sites des projets et des travaux préliminaires proposés**

##### **a) Rivière Batiscan (Sainte-Geneviève-de-Batiscan)**

L'emplacement des relevés sismiques sur la rivière Batiscan consiste en les abords nord et sud (à l'exclusion d'une zone de 10 à 15 m de la ligne des hautes eaux selon la pente) et de la rivière Batiscan, à la hauteur de Sainte-Geneviève-de-Batiscan, sur une distance d'environ 780 m (Figure 6). À cet endroit, la rivière Batiscan a une largeur d'environ 250 m et la ligne de levés sismiques proposée en milieu terrestre s'étend sur une distance d'environ 530 m. Selon les documents déposés par TC, le milieu terrestre est composé de zones ouvertes, de plantations d'érable argenté et d'érable rouge, de marécages riverains, d'herbiers aquatiques et de marais. Les milieux humides terrestres se trouvent principalement du côté nord de la rivière et cumulent une longueur d'environ 190 m.



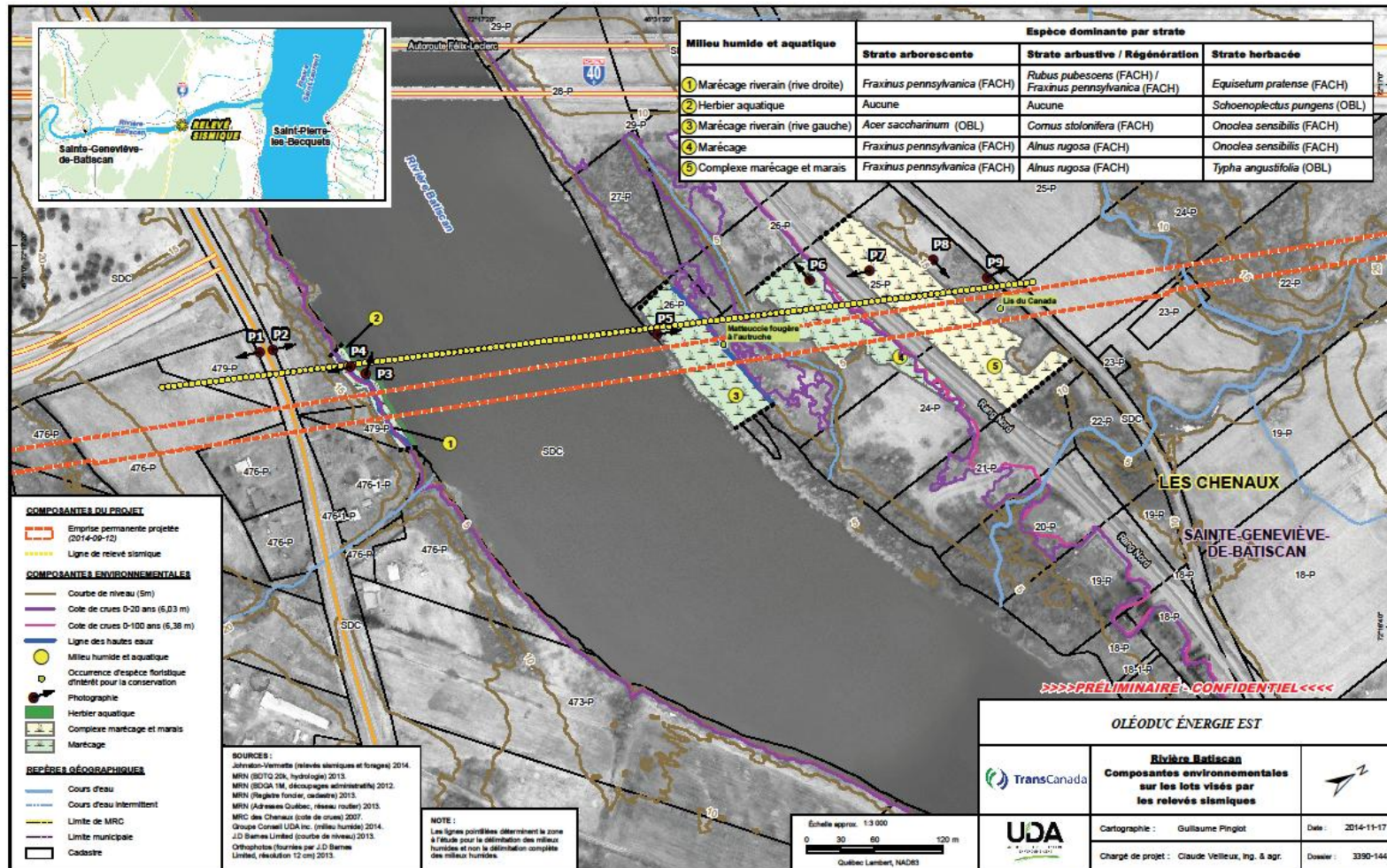


Figure 6 : Emplacements des travaux sismiques proposés sur les abords et dans la rivière Batiscan (Figure fournie par TransCanada)

Tableau 1 - Longueur de la ligne sismique pour chaque section – rivière Batiscan

Cours d'eau	Section terrestre rive nord (m)	Cours d'eau (m)	Section terrestre rive sud (m)	Longueur totale (m)
Rivière Batiscan	350	250	180	780

Source : TransCanada

Selon les informations fournies par TC, la rivière Batiscan a une profondeur maximale d'environ 1,5 m à 2 m à cet endroit, ce qui peut varier selon les périodes de l'année.

Sur le milieu terrestre, les inventaires floristiques fournis dans les documents indiquent que les espèces dominantes d'arbres sont le frêne rouge (*Fraxinus pennsylvanica*) et l'érable argenté (*Acer saccharinum*), que les espèces d'arbustes dominantes sont la ronce pubescente (*Rubus pubescens*), le cornouiller stolonifère (*Cornus stolonifera*) et l'aulne rugueux (*Alnus rugosa*), et que les espèces d'herbacés dominantes sont le prêle des prés (*Equisetum pratense*), la scirpe d'Amérique (*Schoenoplectus pungens*) et l'onoclée sensible (*Onoclea sensibilis*). La quenouille à feuille étroite (*Typha angustifolia*) est l'espèce dominante dans les herbiers aquatiques de ce milieu.

Selon TC, les données du Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec (CDPNQ) consultées en 2013 ne font pas état de la présence d'espèces floristiques à statut précaire dans le secteur des relevés sismiques. Cependant, TC note que des inventaires réalisés sur les portions terrestres de la ligne sismique à la rivière Batiscan ont permis de noter la présence de deux espèces floristiques vulnérables à la récolte soit la matteuccie fougère-à-l'autruche (*Matteuccia struthiopteris* var. *pennsylvanica*) et le lis du Canada (*Lilium canadense*). Les individus de lis du Canada répertoriés dans le secteur sont situés approximativement à 20 m de la ligne sismique. Par conséquent, les lis du Canada ne seront pas affectés par les travaux localisés principalement sur la ligne sismique. La matteuccie fougère-à-l'autruche n'est pas une plante rare au Québec mais sa collecte pour l'alimentation est une activité répandue et des interdictions sont en place pour limiter la collecte des plants entiers ou des parties souterraines de la plante (<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/matteuccie/> consulté le 26 juillet, 2015).

Dans le milieu aquatique, les inventaires réalisés dans le secteur du relevé pour le compte de TC indiquent la présence des espèces suivantes : achigan à petite bouche (*Micropterus dolomieu*), barbue de rivière (*Ictalurus punctatus*), baret (*Morone americana*), chevalier blanc (*Moxostoma anisurum*), chevalier rouge (*Moxostoma macrolepidotum*), doré jaune (*Sander vitreus*), doré noir (*Sander canadensis*), esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*), fouille-roche zébré (*Percina caprodes*), méné à tache noire (*Notropis hudsonius*), méné paille (*Notropis stramineus*), méné pâle (*Notropis volucellus*), omisco (*Percopsis omiscomaycus*), ouitouche (*Semotilus corporalis*), raseux-de-terre gris (*Etheostoma olmstedii*) et raseux-de-terre noir (*Etheostoma nigrum*). Selon les pêches effectuées Articles 23-24, quatre espèces répertoriées se trouvaient à un stade de maturité sexuelle indiquant une reproduction imminente mais la présence de frayères n'a pu être confirmée.

D'autres espèces de poissons sont aussi susceptibles de se retrouver dans le secteur du relevé. Selon la Société d'aménagement et de mise en valeur du bassin de la Batiscan (SAMBBA), plus

d'une cinquantaine d'espèces de poissons se retrouvent dans le bassin versant de la rivière Batiscan (SAMBBA 2015). Par exemple, le poulamon atlantique (*Microgadus tomcod*) remonte la rivière Batiscan jusqu'à la hauteur de Sainte-Geneviève de Batiscan pour la fraie en hiver (SAMBBA 2015).

Selon le CDPNQ, (<http://www.cdpnq.gouv.qc.ca/>), trois espèces de poissons vulnérables ou susceptibles d'être désignées menacées peuvent se retrouver dans le secteur des relevés sismiques projetés par TC, à un moment ou un autre de l'année : l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) en migration, l'alse savoureuse (*Dorosoma cepedianum*), qui peut remonter d'une vingtaine de km la rivière Batiscan, et le fouille-roche gris (*Percina copelandi*). En plus des poissons, une espèce bivalve, l'obovarie olivâtre (*Obovaria olivaria*), est susceptible de se retrouver dans ce secteur; le CDPNQ a identifié une zone comme un habitat pour l'obovarie olivâtre à approximativement 150 m en amont de la ligne sismique.

Les travaux proposés sur le site Batiscan comportent des relevés sismiques sur terre et en milieu aquatique sur l'axe transversal de la rivière. Une ligne sismique de 12 géophones serait installée sur chaque rive de la rivière. Les géophones seraient reliés par câbles à un sismographe qui serait relié à un système de « radio blasting » via un connecteur de déclenchement. Pour les relevés sismiques sur terre, une charge explosive variant entre 0,5 et 2,0 kg serait enfouie à au moins 1 m de profondeur. Le trou serait ensuite rempli et recouvert d'une toile géotextile pour éviter la projection de sols lors de l'explosion. Les charges seraient installées à tous les 55 m des deux côtés de la rivière, pour un total estimé d'une douzaine de détonations pour la partie terrestre. Avant le début des relevés sismiques, des tests de détonation seraient effectués pour déterminer la charge explosive permettant d'obtenir un signal optimal.

Dans le milieu aquatique de la rivière, TC indique qu'elle entend privilégier l'utilisation de canons à air comprimé de taille allant de 10 à 120 po<sup>3</sup>. Cependant, TC évalue les chances de succès avec cette méthode à 60% et propose d'utiliser des charges explosives si la méthode par canons à air ne donne pas un signal sismique adéquat. Dans les deux cas (canons à air ou explosifs), la distance entre les points du relevé sismique en milieu aquatique serait de 10 m pour un total d'environ 25 tirs.

TC indique qu'on entend procéder à des tests avec les canons à air avant le début des relevés pour déterminer si le signal est adéquat. Si ces tests indiquent que le signal ne l'est pas, TC indique qu'elle entend procéder aux relevés sismiques avec des explosifs de charge variant entre 0.06 et 0.5 kg.

## **b) Fleuve Saint-Laurent (Saint-Augustin-de-Desmaures et Lévis)**

L'emplacement des relevés sismiques proposés pour le fleuve Saint-Laurent (Figures 7a et b) inclut les abords nord et sud du fleuve ainsi que sa traverse à la hauteur de Saint-Augustin-de-Desmaures et Lévis, sur une distance totale d'environ 4540 mètres. À cet endroit, le fleuve a une largeur d'environ 3515 mètres, y compris la zone de battures de la réserve de Saint-Augustin-de-

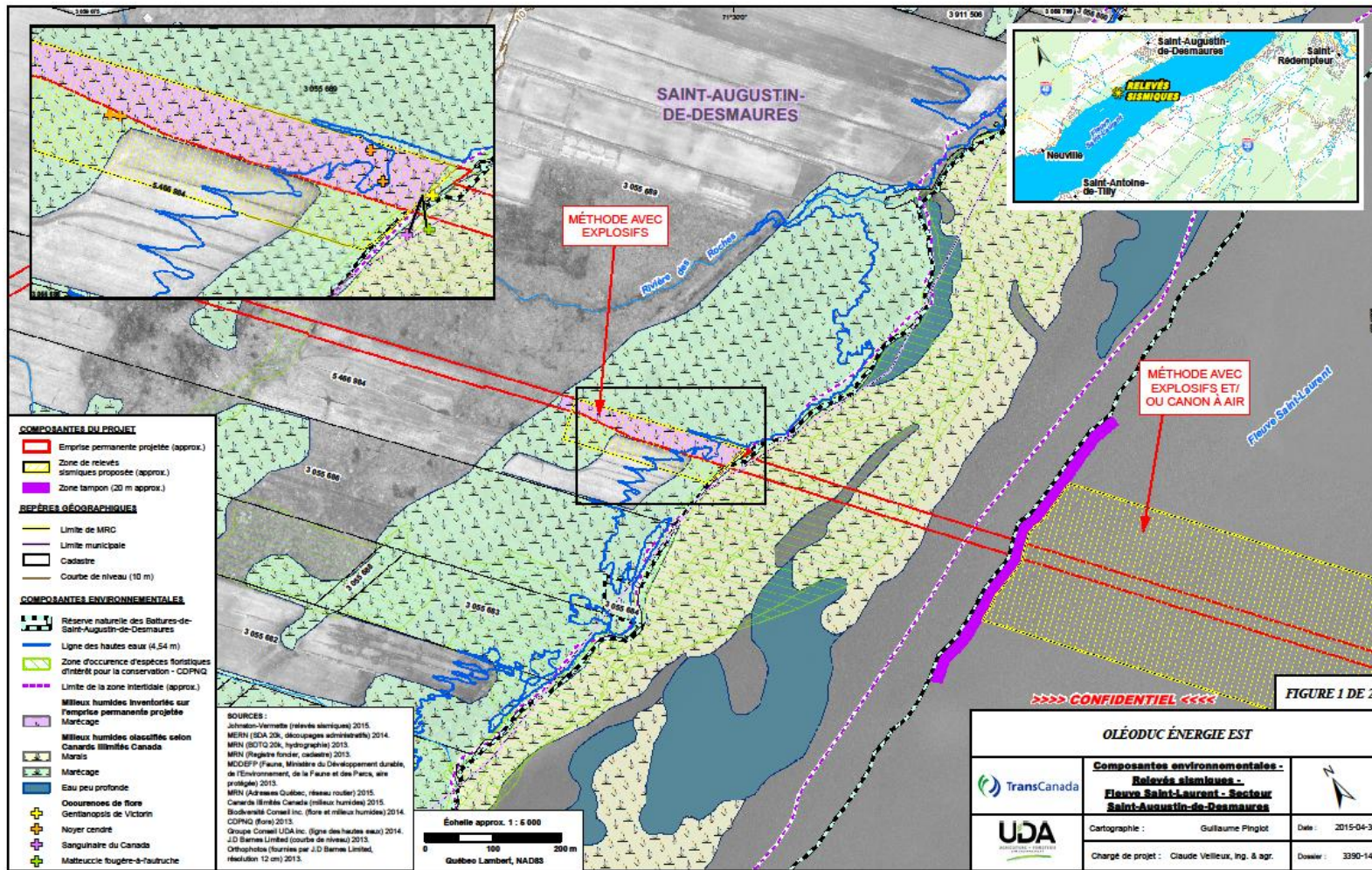


Figure 7a : Emplacements des travaux sismiques proposés du côté nord du fleuve Saint-Laurent (Figure fournie par TransCanada).

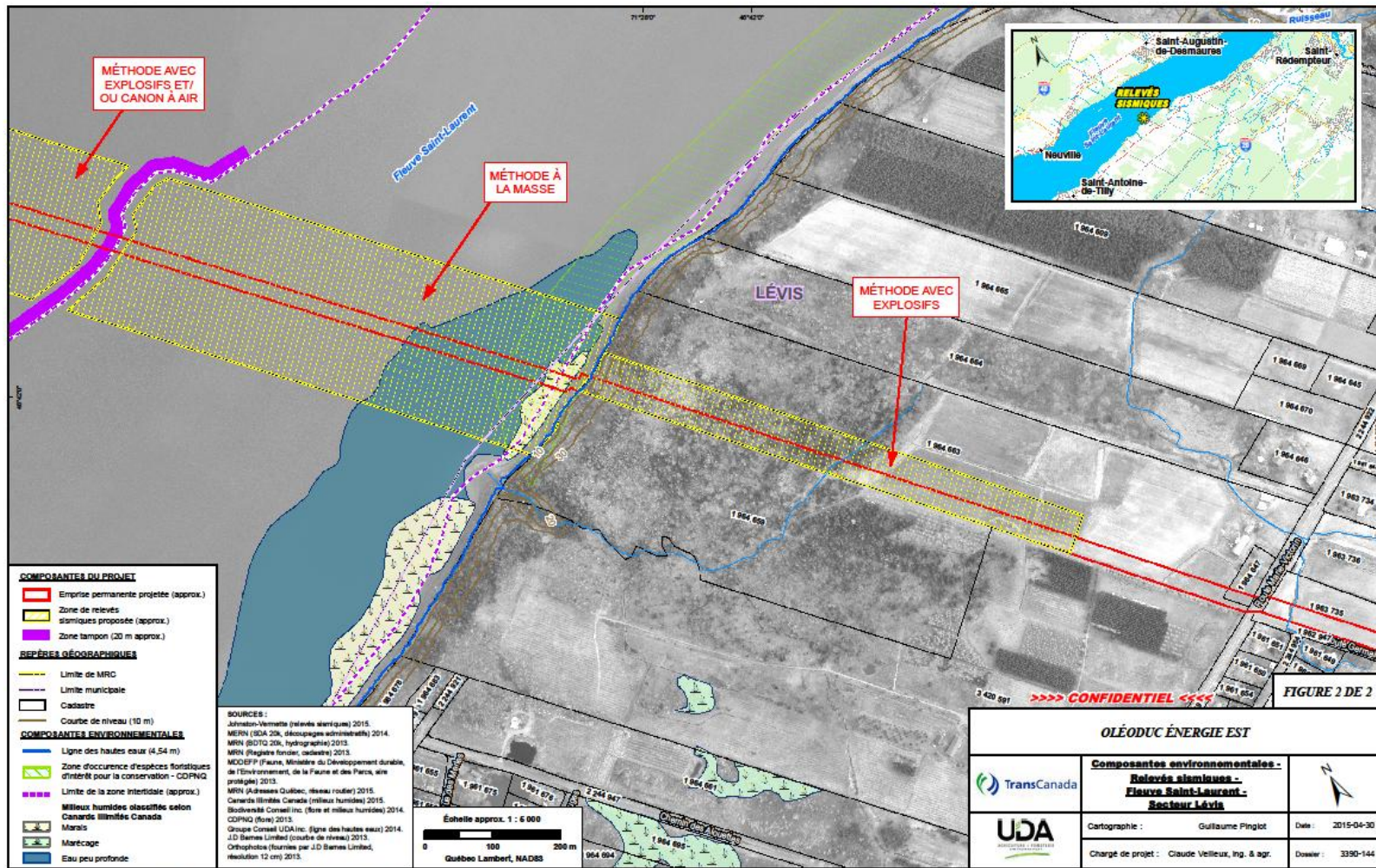


Figure 7b : Emplacements des travaux sismiques proposés sur le côté sud du fleuve Saint-Laurent (Figure fournie par TransCanada).

Desmaures au nord et la zone intertidale au sud. La ligne de levés sismiques proposée en milieu terrestre s'étend sur une distance totale d'environ 1025 mètres. Selon les documents déposés par TC, le milieu terrestre au nord des battures est un marécage arborescent riverain sur une distance d'environ 400 m. Des relevés sismiques ne seront pas effectués à l'intérieur des battures de la réserve de Saint-Augustin-de-Desmaures.

Tableau 2 : Longueur de la ligne sismique pour chaque section d'un axe du fleuve Saint-Laurent

Cours d'eau	Section terrestre rive droite (m)	Cours d'eau (m)	Section terrestre rive gauche (m)	Longueur totale (m)
Fleuve Saint-Laurent	775	3515	250	4540

Source : TransCanada

À cet endroit, le fleuve Saint Laurent a une profondeur maximale d'une vingtaine de mètres. L'amplitude des marées dans ce secteur est assez importante, atteignant entre 4 et 5 m. (<http://www.marees.gc.ca/fra/station?sid=3270>, consulté le 27 juillet 2015)

En ce qui a trait à la flore terrestre, la zone des relevés sismiques proposée se trouve à 20 m de la réserve naturelle des Battures-de-Saint-Augustin-de-Desmaures, sur la rive nord du fleuve. Dans la zone terrestre du relevé sismique sur la rive nord, les inventaires floristiques ont relevé une cinquantaine d'espèces d'arbres, d'arbustes et d'herbacés. Quatre espèces d'intérêt pour la conservation recensées dans ce secteur sont la gentiane de Victorin (*Gentianopsis virgata* subsp. *victorinii*), le noyer cendré (*Juglans cinerea*), la matteuccie fougère-à-l'autruche d'Amérique et la sanguinaire du Canada (*Sanguinaria canadensis*). La gentiane de Victorin est une espèce désignée menacée au Québec <http://www.mddep.gouv.qc.ca/biodiversite/especes/> et au Canada (<http://www.registrelep.gc.ca>).

Sur la rive sud, les inventaires ont identifié l'habitat comme étant propice pour le bident d'Eaton (*Bidens eatonii*), la cicutaire de Victorin (*Cicuta maculata*), l'isoète de Tuckerman (*Isoetes tuckermanii*) et la zizanie naine (*Zizania aquatica*), mais aucune espèce en état précaire n'a été identifiée.

Il est à noter que les Battures-de-Saint-Augustin-de-Desmaures représentent un habitat pour les bivalves comme l'obovarie olivâtre, l'elliptio à dents fortes (*Elliptio crassidens*) et l'elliptio pointu (*Elliptio dilatata*), qui sont des espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables, mais l'espèce la plus rapprochée du site des travaux se retrouve à 1,4 km du site. Le rapport de TC note aussi que les battures de Saint-Augustin-de-Desmaures localisées à proximité des travaux sont utilisées par plus de 200 espèces d'oiseaux comme halte de migration, aire d'alimentation et de nidification. Des regroupements de bernaches du Canada et d'oies des neiges sont notamment observés régulièrement.

Pour ce qui est de l'ichtyofaune, le secteur du relevé sismique se retrouve sur le tronçon Grondine - St Nicolas du Réseau de suivi ichtyologique (RSI) du MFFP. Dans ce secteur, le MFFP a répertorié 37 espèces de poissons en 1997 et en 2006

([http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/poissons/section\\_fleuve.asp?bassin=Saint-Laurent&plan\\_eau=Grondine%20-%20Saint-Nicolas](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/poissons/section_fleuve.asp?bassin=Saint-Laurent&plan_eau=Grondine%20-%20Saint-Nicolas), consulté le 27 juillet, 2015; Tableau 3).

Tableau 3. Espèces de poissons répertoriées dans le Réseau de suivi ichtyologique du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs en 1997 et en 2006 dans le tronçon de Grondine - Saint-Nicolas.

Achigan à petite bouche	<i>Micropterus salmoides</i>
Alose à gésier	<i>Dorosoma cepedianum</i>
Alose savoureuse	<i>Alosa sapidissima</i>
Barbue de rivière	<i>Ictalurus punctatus</i>
Baret	<i>Morone americana</i>
Carpe	<i>Cyprinus carpio</i>
Chevalier blanc	<i>Moxostoma anisurum</i>
Chevalier rouge	<i>Moxostoma macrolepidotum</i>
Crapet de roche	<i>Ambloplites rupestris</i>
Crapet soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>
Doré jaune	<i>Sander vitreus</i>
Doré noir	<i>Sander canadensis b</i>
Éperlan arc-en-ciel	<i>Osmerus mordax</i>
Épinoche à trois épines	<i>Gasterosteus aculeatus</i>
Esturgeon jaune	<i>Acipenser fulvescens</i>
Esturgeon noir	<i>Acipenser oxyrinchus</i>
Fondule barré	<i>Fundulus diaphanus</i>
Fouille-roche gris	<i>Percina copelandi</i>
Fouille-roche zébré	<i>Percina caprodes a</i>
Gaspareau	<i>Alosa pseudoharengus</i>
Gobie à taches noires	<i>Neogobius melanostomus</i>
Grand brochet	<i>Esox Lucius</i>
Grand corégone	<i>Coregonus clupeaformis</i>
Lamproie argentée	<i>Ichthyomyzon unicuspis</i>
Laquaiche argentée	<i>Hiodon tergisus</i>
Lotte	<i>Lota lota</i>
Malachigan	<i>Aplodinotus grunniens</i>
Méné à museau arrondi	<i>Pimephales notatus</i>
Méné à tache noire	<i>Notropis hudsonius</i>
Méné émeraude	<i>Notropis atherinoides</i>
Meunier noir	<i>Catostomus commersoni</i>
Meunier rouge	<i>Catostomus catostomus</i>
Naseux des rapides	<i>Rhinichthys cataractae</i>
Omisco	<i>Percopsis omiscomaycus</i>
Perchaude	<i>Perca flavescens</i>
Poulamon Atlantique	<i>Microgadus tomcod</i>
Raseux-de-terre gris	<i>Etheostoma olmsted</i>

Dans le secteur du relevé sismique proposé, l'inventaire effectué par TC a révélé la présence des espèces suivantes : barbus de rivière, baret, chevalier rouge, cyprinidés non identifiés, doré jaune, doré noir, esturgeon jaune, meunier noir et meunier rouge. En plus de ces espèces, l'esturgeon noir, le gaspareau, le grand brochet, la perchaude et le poulamon atlantique y ont été documentés historiquement. De plus, d'autres espèces comme l'anguille d'Amérique, l'alose savoureuse, le gaspareau, le saumon Atlantique (*Salmo salar*) et d'autres espèces pourraient se retrouver dans ce secteur lors de leur migration. L'alose savoureuse (espèce vulnérable) ainsi que l'esturgeon noir, l'esturgeon jaune, et l'anguille d'Amérique (susceptible d'être désignées vulnérables ou menacées) sont des espèces d'intérêt de conservation qui peuvent se retrouver dans ce secteur.

Lors des relevés, la présence d'herbiers aquatiques sur les rives du cours d'eau a été identifiée. Selon les documents de TC, ces derniers pourraient constituer des sites potentiels de fraie pour les espèces d'eau calme et les cyprinidés. Cependant, les observations effectuées par TC n'ont pas permis de confirmer la présence de sites de fraie dans la zone proposée pour les relevés sismiques. Ces mêmes herbiers peuvent constituer des zones d'alevinage, mais selon les relevés de TC, peu d'alevins ont été capturés et ont pu être identifiés. Cependant, des juvéniles de l'esturgeon jaune ont été répertoriés durant les travaux et ces herbiers pourraient servir comme habitat de croissance.

Finalement, aucune espèce de mammifères marins ne se retrouve dans ce secteur, la limite normale de distribution des bélugas se retrouvant en aval de l'Île d'Orléans, au niveau de St-Jean-Port-Joli (MPO 2012), soit à une distance de près de 100 km.

Sur le fleuve, la ligne sismique principale serait perpendiculaire au courant et se ferait par longueurs de 250 à 400 m avec un chevauchement pouvant atteindre 250 m. De manière générale, il y aurait 12 géophones installés sur chaque rive et au moins un hydrophone. Les détonations seraient fournies par de l'explosif (charges de 0,06 à 0,5 kg) attaché à une bouée à une profondeur de 0,5 à 1 m. Un nombre total de 460 tirs est anticipé le long de cette ligne. Des relevés suivant neuf lignes dans le sens du courant seraient aussi effectués sur une longueur de 115 m. Les détonations (cinq par ligne) seraient fournies par des canons à air comprimé (10 à 40 po<sup>3</sup>) ou par des explosifs (si le signal obtenu par l'utilisation de canons à air n'est pas adéquat) pour un total de 45 tirs.

TC indique qu'elle entend procéder à des tests avec les canons à air et avec les charges explosives afin de déterminer la taille des canons et des explosifs à utiliser afin d'obtenir un signal adéquat pour caractériser les formations en dessous du lit du fleuve.

Pour les parties intertidales et terrestres, on peut distinguer :

- La réserve des battures de Saint-Augustin-de-Desmaures, d'une longueur d'environ 400 m, dans lesquelles il n'y aurait pas de levés sismiques.
- Immédiatement au nord des battures, dans le marécage arborescent riverain, sur une longueur d'environ 250 m, où il y aurait des levés sismiques. Ce sont des charges explosives de 0,5 à 2 kg qui seraient utilisées. On anticipe une quinzaine de tirs.
- La zone intertidale au sud du fleuve (environ 700 m), où les levés sismiques seraient réalisés « à la masse ».



- La zone terrestre au sud de la zone intertidale (775 m) où les levés sismiques seraient réalisés à l'explosif 0,5 à 2 kg On anticipe environ 45 tirs.

Lorsqu'utilisées sur terre, les charges explosives seraient enfouies à au moins 1 m de profondeur. Le trou serait ensuite rempli et recouvert d'une toile géotextile pour éviter la projection de sols lors de l'explosion. La charge explosive serait déterminée par des essais effectués avant la réalisation d'un premier profil.

## **5. Impacts potentiels de travaux sismiques**

### **a) Milieu terrestre**

Une partie des travaux de relevés sismiques proposés par TC à la rivière Batiscan et au fleuve Saint-Laurent se retrouvent dans des milieux humides dans la bande riveraine et la plaine inondable de ces cours d'eau. Les milieux humides sont par définition des écosystèmes très productifs de par les nombreuses interactions entre les organismes présents (De Groot et collab. 2007) et rendent plusieurs services écosystémiques, entre autres, le maintien de la qualité de l'eau par la filtration des écoulements, la séquestration du carbone et la réduction des inondations (Zedler et Kercher 2005, MDDELCC 2015b). Il est donc essentiel de mettre des mesures en place pour réduire les impacts sur ces milieux.

#### **i. Mobilisation**

En milieu terrestre, la mobilisation pour effectuer les travaux sismiques entraîne, au besoin, l'aménagement de chemins d'accès temporaires pour se rendre sur les lieux. Il y a ensuite débroussaillage de la ligne sismique sur quelques mètres de largeur pour faire la pose des géophones et les forages des trous afin de placer les charges pour les relevés sismiques. Les trous pour disposer les explosifs sont généralement d'un diamètre d'environ 10 cm. Cette mobilisation peut entraîner le piétinement ou la destruction de plantes et d'arbustes, y compris des plantes d'espèces d'intérêt pour la conservation si elles sont présentes dans le milieu. Une perte de végétaux favorise aussi le transport des sédiments.

Dans la zone de la rive d'un cours d'eau, l'enlèvement de plantes, d'arbustes et d'arbres augmente les risques (Beeson et Doyle 1995) et le transport de sédiment dans le cours d'eau, surtout dans les régions de pente abrupte, ce qui peut affecter l'habitat du poisson. Grâce à son réseau de racines, la végétation riveraine augmente aussi la capacité de la rive à résister aux forces de cisaillement et d'arrachement produites par le courant (MDDELCC 2015b).

Dans les milieux humides riverains, l'utilisation de machinerie trop lourde peut résulter en la création d'ornières, la destruction de la végétation et l'altération des habitats. Finalement, lors de la mobilisation, l'utilisation d'équipements mécaniques peut entraîner le déversement d'hydrocarbures sur le sol et la contamination du milieu.

## ii. Impacts potentiels sur les populations humaines et les structures

Au niveau des impacts de l'utilisation des explosifs, l'impulsion génère du bruit, des vibrations ainsi qu'un relèvement des sols. Les détonations d'explosifs dans les carrières créent du mécontentement chez les populations avoisinantes à cause de l'effet de sursautement dû au bruit soudain qui est supérieur au bruit ambiant (Jacobs 1995). Des détonations d'explosifs, comme celles utilisées dans les mines avec des charges importantes (>1000 kg), peuvent avoir des impacts sur les structures et les fondations d'édifices selon la fréquence des vibrations et le type de construction (Siskind et collab. 1980). Quoique les charges explosives utilisées dans les relevés sismiques soient normalement plus faibles comparées à ce qui est utilisé dans les carrières et les mines, il peut en résulter des impacts selon la distance entre les tirs et les structures ou populations.

## iii. Impacts potentiels sur la végétation et la faune

Le débroussaillage lors de la mobilisation pour l'installation des charges et des géophones ainsi que les détonations des explosifs et la détonation peuvent entraîner la destruction de plantes sur la ligne sismique. Historiquement, des bulldozers étaient utilisés pour créer les lignes sismiques (Lee et Boutin 2006) ce qui causait des impacts de longue durée à la végétation. L'utilisation de technologies modernes et l'utilisation de meilleures pratiques depuis le milieu des années 1990 a donné lieu à une réduction considérable de la largeur des lignes sismiques (Schmidt 2004). Les travaux de van Rensen et collab. (2015) indiquent que la végétation des zones plus humides prend le plus de temps à se régénérer, dans certains cas jusqu'à 50 ans. La régénération des plantes dépend aussi d'autres facteurs dont la largeur ainsi que l'utilisation des lignes sismiques par des véhicules tout-terrain.

Pour ce qui est de la faune, l'activité humaine lors du travail d'installation des charges peut faire en sorte que plusieurs espèces s'éloignent du site des travaux. Une étude menée sur l'abondance des oiseaux dans les Territoires du Nord-Ouest le long de nouvelles lignes sismiques (Ashenurst et Shannon 2008) a révélé que les effets enregistrés sur l'abondance n'étaient pas statistiquement importants pour la plupart des groupes d'oiseaux. Cependant dans la plupart des habitats, la tendance s'est traduite par la présence d'un plus grand nombre d'oiseaux dans les transects de référence que dans les lignes sismiques, et ce, dans la plupart des habitats. Dans le nord de l'Alberta, Dyer et collab. (2002) ont trouvé que les lignes sismiques n'entravent pas les déplacements de caribous, contrairement aux routes où la présence de véhicules a un effet de barrière semi-perméable. Toujours en Alberta, une étude de Gainer (1995) a révélé que la création de lignes sismiques a donné lieu à l'expansion de l'aire de distribution du cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*).

## iv. Impacts potentiels sur la stabilité des berges

La détonation d'explosifs dans ou à proximité d'un talus induit des vibrations et des efforts dans le sol qui peuvent altérer la stabilité des berges. Il est de la responsabilité du promoteur de s'assurer que ses travaux, en particulier les relevés sismiques, n'affecteront pas les talus des cours d'eau traversés.

Dans le cas de la rivière Batiscan, le talus en rive droite a une hauteur d'environ 16 m et peut poser des problèmes de stabilité. En rive gauche, le talus est moins haut et séparé de la rivière par un marécage et ne devrait pas poser de problème de stabilité. Selon les rapports des forages effectués de chaque côté de la rivière (Forages QEEP-029 et QEEP-031) et transmis par TC (Batiscan\_River\_Geotechnical\_Site\_Investigation\_QC\_Part2.pdf), les talus sont dans un dépôt de silt et argile qui est probablement sensible, les valeurs de N déduites des essais de Pénétration Standard étant généralement de 0 ou de 1.

Dans un courriel envoyé au MDDELCC le 31 juillet 2015, TC indique que

23-24

Cette information indique que TC se préoccupe de l'impact potentiel des relevés sismiques sur la stabilité des berges de la rivière Batiscan.

Dans le cas du fleuve Saint-Laurent, la rive gauche (nord) est formée de marécages sur plusieurs centaines de mètres et il n'y a donc pas d'instabilités de talus potentielles. La rive droite (sud) est bordée d'un talus d'une soixantaine de mètres de hauteur. Selon les rapports de forages effectués du côté sud du fleuve (forages QEEP-070 et QEEP-063 en particulier) et transmis par TC (St. Lawrence Geotechnical Site Investigation\_EE4930-JOV-C-RP-0202\_RevA.pdf), il s'agit d'un talus rocheux constitué de shales avec des lits sableux et silteux intercalés. En s'éloignant du haut du talus vers le sud, le socle rocheux est recouvert de sable, silt et gravier (till), de dense à très dense. La stabilité de ce talus ne devrait pas être affectée par les relevés sismiques, mais TC devrait s'en assurer en vérifiant en particulier que des fissures ou le pendage des couches ne sont pas défavorables.

#### **v. Impacts potentiels de contamination**

En cas de combustion incomplète, certains résidus d'explosifs dont des nitrates pourraient aussi se retrouver dans le substrat. Pour l'explosif proposé dans le cadre de l'étude, le PowerFrac, trois composés principaux soit la nitroglycérine, la nitrocellulose et le dinitrate d'éthylène glycol pourraient être remis dans le milieu. Ces composés peuvent se dégrader par différents procédés dont la biodégradation, mais certains des composés dont la nitroglycérine et le dinitrate d'éthylène glycol sont mobiles dans l'eau et peuvent être source de contamination des eaux surtout à de fortes concentrations.

Les nitrates se retrouvent de façon naturelle dans les sols. Ils proviennent de la fixation de l'azote atmosphérique par certaines espèces végétales, les légumineuses, qui sont capables, grâce à des bactéries qui vivent en symbiose avec elles, de capter l'azote et de le transformer en matière organique azotée dans leurs racines. Aucune étude sur la contamination possible des sols par les résidus d'explosifs pour des relevés sismiques n'a pu être répertoriée.

Cependant, il existe plusieurs études sur la contamination des sols dans les champs de tirs et les zones de conflits. Une rétrospective de la distribution et du devenir des explosifs dans le sol (Pichtel 2012) indique que bien des composés des explosifs dont la nitroglycerine peuvent se

dégrader par l'action de bactéries et autres processus biologiques et chimiques. Pennington et collab. (1995) ont démontré que certains explosifs comme le TNT sont naturellement dégradés dans les sols. Cette biodégradation naturelle aurait donc tendance à atténuer les risques de contamination. Finalement, Clausen et collab. (2011) ont trouvé que la nitroglycérine et le dinitrotolène induit dans le sol par le biais d'exercices militaires n'avaient pas tendance à se répandre dans le sol, mais demeuraient à la source. Il semble donc que dans les cas où les charges ont explosé et demeurent en l'absence de contact avec l'eau courante, les risques de contamination dans le milieu terrestre sont faibles.

#### **vi. Mesures d'atténuation**

En ce qui a trait aux vibrations causées par les détonations, l'utilisation de la charge minimale requise et la conformité aux règlements sur les distances à respecter entre le lieu des travaux et diverses structures permettent d'éviter les dommages physiques aux structures. Pour ce qui est des bruits, des avis à la population sur les travaux le déroulement des travaux le jour et le respect des normes (ex : critères de bruit de la note d'instructions 98-01, disponible à l'adresse suivante : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/publications/note-instructions/98-01/note-bruit.pdf> ) peuvent réduire les effets sur la population humaine.

En milieu terrestre, il existe plusieurs méthodes d'atténuation pour réduire les impacts de la mobilisation et la réalisation des relevés sismiques. Les pratiques usuelles en construction de routes comme l'utilisation de barrières à sédiments afin d'empêcher les sédiments de ruisseler dans des cours d'eau, le déboisement ou la dévégétalisation minimale pour la construction et la remise en état des sites perturbés à la fin des travaux permettent de réduire les impacts. Une autre mesure d'atténuation est de réduire au minimum la largeur des lignes de relevés sismiques. En Alberta, les lignes sismiques qui étaient auparavant de 7 à 8 m sont maintenant d'environ 2,5 m de large (AECOM 2009). Les déplacements à pieds dans les zones sensibles peuvent aider à limiter la destruction de plantes. De plus, la ligne sismique peut souvent aussi être légèrement adaptée de manière à éviter certaines plantes d'intérêt pour la conservation ou à faire la coupe d'arbres matures.

En ce qui concerne les explosifs, une mesure d'atténuation des possibilités de contamination est de ne pas mettre d'explosifs dans un trou où une source d'eau courante qui a été perforée (source ou aquifère) [http://www.qp.alberta.ca/documents/Regs/2006\\_284.pdf](http://www.qp.alberta.ca/documents/Regs/2006_284.pdf)). Il convient aussi de remplir les trous suites aux explosions et de replacer la végétation déplacée aux sites des tirs (« Exploration Regulations, Alberta Regulation 284/2006 »)

#### **vii. Lignes directrices**

Il existe un grand nombre de lignes directrices qui peuvent s'appliquer aux travaux de relevés sismiques. Au Québec, il existe des lignes directrices pour les travaux de construction en milieu naturels à proximité des cours d'eau, similaires à celles d'autres juridictions, et ces pratiques peuvent guider plusieurs des travaux terrestres reliés aux relevés sismiques comme la construction de chemin d'accès. Au Nouveau-Brunswick, des lignes directrices traitent de diverses techniques pour la prévention de l'érosion (barrières à sédiments, rétablissement de la végétation) près des cours d'eau (GNB 1997). En Ontario, les lignes directrices

environnementales pour les chemins d'accès et les traverses de cours d'eau comportent des mesures similaires (OMNR 1990) pour prévenir ou atténuer les effets néfastes sur l'environnement.

Il existe aussi des lignes directrices plus spécifiques pour les relevés sismiques. Au Québec, les pratiques recommandées pour la réalisation de travaux de sondage minier (MDDELCC 2014) fournissent des lignes directrices pour le déroulement de travaux d'exploration sismique. De même, dans les Territoires du Nord-Ouest, il existe des lignes directrices spécifiquement pour les travaux de relevés sismiques (AANDC 2011). Entre autres sur le plan terrestre, ces lignes directrices favorisent l'utilisation de technologies de relevés de moindre impact. La coupe de lignes sismiques étroites réduit à la fois la destruction des plantes et réduit aussi les impacts sur la distribution et les habitudes des animaux et des oiseaux. La technique de débroussailler en n'abimant pas les racines permet également une régénération plus rapide.

Certaines des meilleures pratiques sont entérinées dans des lois. Ainsi en Colombie-Britannique, les règlements pour l'exploration géophysique (« Geophysical Exploration Regulations ») <http://www.bclaws.ca/civix/document/id/complete/statreg/1215528698>) relatives au « Oil and Gas Activities Act » régissent plusieurs pratiques. Le règlement dicte, entre autres, les distances à respecter entre les trous des charge et des structures (ex : demeures, lignes téléphoniques, etc.), le remplissage des trous ainsi que le nettoyage des équipements et déchets. Dans les cas de charges non-explosées, une deuxième charge est posée dans le forage pour faire exploser les charges ou bien le trou de forage est colmaté de façon règlementaire.

De même en Alberta, les règlements pour l'exploration ont des obligations similaires. Une de celles-ci est l'obligation de ne pas mettre de charge explosive dans le forage si une source d'eau ou un aquifère est perforé et que de l'eau jaillisse du trou de forage.

## **b) Milieu aquatique**

Plusieurs articles scientifiques, rapports techniques et quelques rétrospectives de la littérature ont été publiés au cours des 20 dernières années sur les impacts potentiels des sondages sismiques sur la vie et les habitats aquatiques, que ce soit à partir de canons à air ou d'explosifs. Cette section présente les principales connaissances sur le sujet ainsi que les lignes directrices qui ont été établies par différentes organisations gouvernementales de l'Amérique du Nord pour les sondages sismiques en milieux aquatiques. Au Québec, le BAPE a publié en 2004 un rapport d'enquête et d'audience publique sur les enjeux liés aux levés sismiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Ce rapport concerne la sismique réflexion, qui utilise des sources de détonation très puissantes, comparativement au présent avis qui analyse les impacts de la sismique réfraction. On fera donc référence à ce rapport du BAPE dans la mesure où les considérations se référant à la sismique réflexion s'appliquent à la sismique réfraction (par ex. : impact de niveaux de bruits donnés sur la vie aquatique).

### **i. Mobilisation**

En plus des effets décrits pour le milieu terrestre (ci-haut), la mobilisation nécessaire à la réalisation de relevés sismiques aux abords des milieux aquatiques peut entraîner des impacts

importants si les mesures appropriées ne sont pas prises. La principale préoccupation de cette mobilisation est le relargage de sédiments dans les plans d'eau (Cott et collab. 2015). Les différentes voies de relargage des sédiments en lien avec la réalisation de travaux aux abords des cours d'eau sont principalement le ruissellement de surface et l'érosion des berges (Cott et collab. 2015). L'introduction de sédiments dans les milieux aquatiques peut affecter la santé et le comportement des poissons, directement, ou indirectement en affectant leur habitat (DFO 2000). À titre d'exemple, le colmatage d'une frayère située à proximité des travaux avant la période de reproduction pourrait compromettre son utilisation par les géniteurs. D'autre part, le colmatage d'une frayère après la ponte des œufs aurait quant à lui un impact direct sur la survie et de développement des œufs et des larves (Franssen et collab. 2012, 2014). De la même manière, le ruissellement pourrait entraîner les hydrocarbures générés par un déversement en milieu terrestre.

## ii. Impacts potentiels sur la vie aquatique

La grande majorité des études sur l'impact des sondages sismiques sur la vie aquatique ont porté sur les poissons alors qu'un certain nombre sur le zooplancton, les invertébrés benthiques, les tortues et les mammifères aquatiques. Comme les mammifères aquatiques ne représentent pas un enjeu dans les travaux proposés par TC, il n'en sera pas question dans cette section.

### a. *Le zooplancton et les invertébrés benthiques*

Dans son rapport sur les enjeux environnementaux liés aux levés sismiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent, un comité d'experts (Comité expert 2004) rapporte qu'à une courte distance (1 à 5 m) des canons à air, il n'y a aucune survie du phytoplancton et du zooplancton (Thomson et collab. 2000). Les effets sont plus ou moins importants selon la répartition de la biomasse dans la colonne d'eau. Seulement 1% de cette biomasse sera perdue si elle est uniformément distribuée dans les 50 premiers m du rayon de l'onde sonore (Davis et collab. 1998). Selon ce comité, les levés sismiques pourraient ainsi causer un effet négligeable sur le plancton.

Dans une rétrospective de la littérature, Keevin et Hempen (1997), concluent que les invertébrés sont insensibles aux ondes de compression résultant d'explosions subaquatiques. L'absence de structure contenant du gaz, comme la vessie natatoire des poissons, pourrait expliquer pourquoi les levés sismiques n'entraînent pas de mortalité chez ces organismes, ce qui a également été évoqué par Simmonds et MacLennan (2005).

Wright (1982) ainsi que Wright et Hopky (1998) considèrent également que les mortalités de mollusques et de crustacés exposés à des détonations d'explosifs seraient négligeables. Ces auteurs reconnaissent cependant que peu de données sont disponibles sur le sujet et que les effets sublétaux des explosifs sur ces organismes, incluant les modifications de comportement, sont peu connus.

Dans un avis scientifique sur l'évaluation des impacts des bruits sismiques sur les poissons, les invertébrés, les tortues et les mammifères marins, MPO (2004) mentionne qu'en raison de la rareté d'études sur le zooplancton et les invertébrés, notamment de ceux tirés d'expériences en mer, il est extrêmement difficile d'évaluer les impacts d'un type particulier de bruits sismiques, ou plus généralement, du bruit sur une espèce en particulier. Cet avis mentionne qu'aucun cas documenté de mortalité d'invertébrés imputable à l'exposition à des bruits sismiques dans des

conditions de prospection en mer n'a été trouvé. Dans des conditions expérimentales, des effets létaux et/ou sublétaux, y compris des effets sur la structure externe, ont parfois été observés chez des invertébrés exposés aux émissions d'un canon à air situé à proximité (moins de 5 m). Par conséquent, les experts consultés considèrent qu'il est peu probable que l'exposition à des bruits sismiques entraîne directement la mort d'invertébrés (MPO 2004).

Toujours selon l'avis de MPO (2004), il existe une série de publications établissant les effets de l'exposition prolongée à des bruits non sismiques sur la physiologie de crustacés dans des conditions expérimentales. Les effets incluent une baisse des taux de croissance et de reproduction ainsi que des modifications du comportement, ce qui indique que certains invertébrés sont sensibles au bruit. Chez un gastéropode (mollusque), des signes de stress ont été observés dans des conditions de prospection sismique en mer. Chez d'autres espèces, de tels effets étaient rarement présents, sauf pour quelques signes d'excitation chez des crabes soumis à des sons comparativement à des crabes témoins. Cependant, le manque de renseignements ne permet pas d'évaluer la vraisemblance d'effets sublétaux ou physiologiques sur les crustacés (MPO 2004). Ces considérations ne pourraient être valables dans le cadre du présent avis, car les expositions au bruit générées par les détonations seront ponctuelles.

En conclusion, compte tenu du niveau d'énergie mis en œuvre en sismique réflexion et de la faible durée des relevés, il semble que leurs effets soit négligeables sur le zooplancton et les invertébrés benthiques.

#### *b. Les poissons*

Les effets des relevés sismiques sur les poissons peuvent être létaux et sublétaux (Wright et Hopky 1998; Govoni et collab. 2003; Simmonds et MacLennan 2005). Le niveau des dommages est associé à la source d'émission (canons à air ou explosifs), la taille et le type de charges, la méthode de détonation, la distance du point de détonation, la profondeur ainsi que l'espèce et le stade du cycle vital visés (Wright et Hopky 1998; Simmonds et MacLennan 2005). Des équations ont été développées pour calculer la propagation du bruit et de la pression en fonction de la distance d'une source d'émission (ex. Wright et Hopky 1998; Simmonds et MacLennan 2005). Ces dernières permettent entre autres de calculer le rayon à l'intérieur duquel une explosion sera susceptible d'avoir un impact sur la vie aquatique (Keevin 1998).

La plupart des connaissances sur l'effet des relevés sismiques sur les poissons ont été obtenues à l'aide d'expériences de confinement de spécimens dans des cages placées à différentes distances de sources d'émission qui variaient en intensité, ou par l'observation de poissons morts suite à une détonation. Les poissons soumis à de fortes ondes de pression peuvent mourir ou être blessés et développer par la suite des infections (Govoni et collab. 2003). D'autres effets sublétaux sont plus subtils et ne peuvent être détectés que par un examen histopathologique des tissus (Govoni et collab. 2003). La principale structure affectée par l'onde de pression des relevés sismiques est la vessie natatoire (Wright 1982, Wright et Hopky 1998). D'autres effets sublétaux qui ont été rapportés sont des blessures vasculaires, des barotraumatismes ainsi que des dommages aux tissus de la vessie natatoire, des reins, du foie, de la rate, du pancréas, des sinus veineux et aux yeux, suite à une expansion rapide de la vessie natatoire associée à l'onde de compression causée par une détonation (Wright et Hopky 1998; Govoni et collab. 2003; Simmonds et MacLennan 2005; Godard et collab. 2008; Popper et collab. 2013; Cott et collab. 2015).

Les changements de comportement sont un autre effet sublétal qui a été observé chez différentes espèces de poissons ayant subi une onde de compression causée par des détonations (Wright et Hopky 1998; MPO 2004; Comité expert 2004; Simmonds et MacLennan 2005; Worcester 2006; Popper and Hastings 2009; Cott et collab. 2015). Selon Wright et Hopky (1998), ces effets peuvent être intensifiés en présence de glace ou de substrats durs. En se basant sur une rétrospective de la littérature concentrée principalement sur les impacts des détonations de canons à air, Worcester (2006) a jugé qu'il existe une probabilité élevée que certains poissons situés dans un rayon de quelques centaines de mètres d'une zone d'activité sismique affichent des réactions de surprise, modifient leur vitesse de nage ou leur direction ou encore, leur répartition verticale, avec un retour probable à la normale dans les minutes ou les heures suivant l'exposition. Il existe une probabilité moindre, mais tout de même raisonnable, que les levés sismiques aient un effet sur la répartition horizontale et la capturabilité de certains poissons dans certaines conditions (p. ex. pendant la migration de poissons pélagiques en milieu marin) (Worcester 2006). Toujours selon cet auteur, les levés sismiques sont peu susceptibles d'entraîner une mortalité immédiate des poissons, même si des dommages physiques sublétaux et des problèmes physiologiques peuvent apparaître à proximité immédiate des canons à air et pourraient éventuellement causer une mortalité différée ou des effets chroniques. Le potentiel de perturbation que représentent les levés sismiques pour les communications et d'autres activités fondées sur le son chez les poissons est en grande partie méconnu (Worcester 2006).

En plus des effets létaux, les œufs en incubation et les larves de poissons sont également susceptibles de subir des effets sublétaux en lien avec les vibrations (vitesse des particules) et les ondes de pression causées par les détonations (Wright 1982; Wright et Hopky 1998; Cott et collab. 2015).

Les travaux de Wright (1982) ont montré que des ondes de pression supérieures à 100 kPa peuvent entraîner des effets létaux et sublétaux chez les poissons adultes. Les travaux de Traxler et collab. (1993) vont dans le même sens : cet auteur a confiné trois espèces de poissons, l'achigan à grande bouche, le crapet arlequin (*Lepomis macrochirus*) et le barbus de rivière, dans des cages flottantes directement au-dessus et à différentes distances de deux sources d'explosifs confinés dans les sédiments d'un lac du Texas. Les charges qui ont produit des ondes de pression de moins de 36 kPa n'ont entraîné aucune mortalité immédiate ni de blessures internes.

Les résultats d'autres études supportent également que les stades larvaires et juvéniles sont affectés à l'intérieur des valeurs rapportées par Wright (1982) et Traxler et collab. (1993) au paragraphe précédent. Par exemple, les travaux de Cox et collab. (2012) ont mis en évidence que des détonations de forte intensité produites par de petits canons à air (655,5 cm<sup>3</sup>) ont entraîné des mortalités importantes chez différents stades embryonnaires du touladi (*Salvelinus namaycush*) lorsque ces derniers étaient à moins de 0,1 m de la source d'émission. Cependant, la mortalité des embryons n'était pas différente de celle des groupes contrôles à une distance de 2,7 m, et ce, tant à 5 m qu'à 15 m de profondeur. Il en est de même pour les travaux de Govoni et collab. (2008) qui ont porté sur les larves de deux espèces de poissons (*Leiostomus xanthurus* et *Lagodon rhomboides*). Ces derniers ont montré que 100% des individus affichaient des blessures à des pressions de 278 à 692 kPa à 3 m de la source, de 14% à 17%, à des pressions de 123 à 290 kPa à 7,5 et 17 m de la source, et de 0%, à des pressions de 79 à 117 kPa à 17 m de la source.



Les détonations à proximité ou dans les masses d'eau peuvent aussi affecter les poissons en créant des ondes de pression dans les sédiments à l'intérieur desquels les œufs de poissons sont en incubation (Cott et collab. 2015). Dans ce cas, l'intensité de ces ondes de pression est caractérisée par la vitesse de pointe des particules (angl. : peak particle velocity; PPV; Wright 1982; Wright et Hopky 1998). Les résultats d'expériences sur le terrain chez le touladi (Faulkner et collab. 2006) et en laboratoire chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) (Faulkner et collab. 2008) ont montré que des PPV de 28,6 et de 132,3 mm/s, respectivement, n'affectaient pas l'incubation de ces deux espèces. Faulkner et collab. (2008) présentent également des résultats issus de la littérature qui montrent que des PPV variant entre 276 et 925 mm/s causent seulement 10% de mortalité chez différentes formes de saumon du Pacifique. De la même manière, aucune blessure n'a été observée sur des œufs de truite arc-en-ciel exposés à des pressions > 270 kPa dans le delta de la rivière Mackenzie (Peters et collab. 2006). Ces résultats suggèrent que les œufs sont moins sensibles que les larves et les adultes aux ondes sismiques.

### iii. Impact potentiel sur l'habitat du poisson

Peu d'études se sont concentrées sur l'impact des levés sismiques sur l'habitat du poisson comme tel. L'utilisation de canon à air ou d'explosifs à l'intérieur ou à proximité d'habitats du poisson peut entraîner des altérations physiques et (ou) chimiques de ces derniers (Wright et Hopky 1998; BAPE 2004). À titre d'exemple, Wright et Hopky (1998) écrivent « *la sédimentation attribuable à l'utilisation d'explosifs peut recouvrir les frayères ou réduire, voire éliminer, les formes de vie benthiques dont le poisson s'alimente* ». De plus, les produits dérivés des explosions peuvent libérer des composés dans l'eau comme les nitrates et de l'ammoniaque qui peuvent être toxiques pour les poissons (voir section suivante).

### iv. Impact potentiel des explosifs sur la toxicité des milieux aquatiques

Des recherches à l'aide de différents moteurs de recherche ont d'abord mis en évidence qu'il existe très peu d'études sur l'impact potentiel des explosifs sur la toxicité des milieux aquatiques, ce que les rapports du BAPE (2004) et du Comité expert (2004) ont confirmé. La meilleure source de renseignements sur le sujet aura été les différents avis experts sollicités par le MDDELCC dans le cadre de la présente analyse auprès de sa Direction générale des politiques de l'eau (DGPE 2014), de sa Direction du suivi de l'état de l'environnement (DSÉE, 2015) et du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ 2015), tous trois déposés à l'Annexe 9 de son rapport interne sur les demandes de CA de TC (MDDELCC 2015c).

D'abord, Wright et Hopky (1998) déconseillent l'utilisation d'explosifs confinés et surtout d'explosifs non confinés à l'intérieur ou à proximité des eaux de pêche canadiennes, et recommandent l'utilisation d'autres méthodes, potentiellement moins destructives, dans la mesure du possible. Ces auteurs mentionnent que l'utilisation d'explosifs dans l'habitat du poisson ou à proximité peut entraîner une altération chimique de ces habitats, parce que l'ammoniac ou des composés similaires, qui peuvent être toxiques pour le poisson et d'autres organismes aquatiques, sont des sous-produits de la détonation d'explosifs. Ces auteurs rappellent également

qu'il est interdit d'utiliser du nitrate d'ammonium à l'intérieur ou à proximité des eaux de pêche canadiennes en raison de la production de ces sous-produits toxiques. Il précisent que le rejet de substances nocives dans des eaux où vivent des poissons est interdit en vertu du paragraphe 36(3) de la Loi sur les pêches sauf en cas de dérogation par règlement, et qu'aucun règlement pris en application de la Loi sur les pêches ne permet le rejet de sous-produits de l'utilisation de mélanges du nitrate d'ammonium et du fuel-oil.

Keevin et Hempen (1997) mentionnent que les explosifs commerciaux sont conçus pour des réactions balancées en oxygène. Les combustibles d'explosifs et leurs agents oxydant produisent leur plus grande réaction énergétique lorsqu'il n'y a ni déficit ni surplus d'oxygène. Le problème des tirs dans l'eau est qu'une réaction non optimale est refroidie ou « humidifiée » par l'eau, rendant la réaction plus faible. Les détonations non balancées, refroidies par l'eau, peuvent produire des quantités de gaz toxiques en plus grandes quantités, en plus de ne pas produire l'effet désiré. Ces auteurs mentionnent également que les vapeurs (angl.: fumes) produites par les réactions de détonation sont des sous-produits gazeux toxiques (principalement monoxyde de carbone et oxydes nitreux et nitriques) et que certains d'entre eux se retrouvent sous forme de substances dissoutes dangereuses dans les masses d'eau, pouvant avoir des effets nuisibles sur la vie aquatique. Les explosions sous-marines créent des conditions qui peuvent augmenter la production de ces vapeurs toxiques, comme une résistance de l'eau ou des amorces inadéquates (Konya et Walter 1985; cité par Keevin et Hempen 1997). Aussi, les explosifs autorisés qui sont utilisés dans l'industrie minière ne devraient pas être utilisés comme explosifs en milieu aquatique parce qu'ils sont moins efficaces et produisent des vapeurs plus toxiques dans le milieu aqueux.

L'avis du DGPE (2014) est d'abord venu confirmer, dix ans après les avis du BAPE (2004) et du Comité expert (2004), qu'après plusieurs recherches, et consultations auprès de collègues (DGPE, DSÉE, DGÉE) et de chercheurs dans le domaine de la sismique « le manque flagrant d'informations justifiant la méthode de levés proposée ainsi que l'intensité des sources sismiques prévues en regard des objectifs du projet [explosifs en milieu aquatique] ». Selon cet avis, la sismique par réflexion (qui n'utilise généralement pas d'explosifs) pourrait être considérée en priorité. Celle-ci permettrait l'utilisation de sources sismiques moins puissantes et donc moins dommageables pour l'environnement, tout en permettant d'obtenir un profil des sols et du roc d'une profondeur probablement suffisante pour les besoins du projet (DGPE 2014).

Les recherches faites dans le cadre de l'avis du DGPE (2014) ont également permis de constater que la réalisation de levés sismiques à l'aide de charges explosives en milieu aquatique n'est pas une méthode très répandue, ni recommandée. Cet avis mentionne également que la plupart des références citées dans la section 4.1.2 de la demande du TC ne traitent pas de l'utilisation d'explosifs pour les levés sismiques, mais de canons à air.

L'avis du DGPE (2014) mentionne que le fabricant de l'explosif qui serait utilisé, le PowerFrac, indique qu'il a été conçu pour satisfaire les besoins des carrières et des exploitations à ciel ouvert. Il n'est aucunement mentionné qu'il est approprié pour une utilisation en milieu aquatique. De surcroît, la possibilité que des résidus de nitroglycérine (jusqu'à 20 % de la composition), qui ne se dissolvent pas dans l'eau, puissent être mobilisés dans le cours d'eau à l'extérieur de la zone d'impact tout en conservant leur propriété explosive apparaît à haut potentiel de risque. L'avis du

DGPE (2014) cite une communication personnelle à l'effet que l'utilisation d'explosifs non confinés pour la réalisation de levés sismiques en milieu aquatique est la méthode la plus dommageable sur le plan environnemental.

L'avis du CEAEQ (2015) mentionne que les explosifs OSX™ 8 Z ou 8 L sont composés de pentolite, un mélange de 2,4,6-trinitrotoluène (TNT) et de tétranitrate de pentaérythrite (PETN), auquel sont ajoutés des enzymes pour faciliter la dégradation des explosifs. Les informations disponibles sur le TNT mettent en évidence son potentiel toxique pour les organismes aquatiques ainsi que son potentiel mutagène. Par ailleurs, c'est un composé énergétique qui se dégrade plus ou moins facilement dans les milieux aquatiques, dépendamment des conditions environnementales et des microorganismes présents. Il est vraisemblable que le TNT sera partiellement réduit dans le fleuve Saint-Laurent et que les hydroxyamines et les amines produites auront tendance à se fixer à la matière organique des sédiments (CEAEQ 2015). Cependant, les informations colligées par cet organisme n'ont pas permis de déterminer quels seraient le devenir et les effets de ces métabolites s'ils étaient ingérés par des organismes benthiques, des invertébrés ou des poissons. Pour ce qui est du PETN, il existe très peu d'information sur son devenir en milieu aquatique, que ce soit sur les processus de dégradation de ce composé énergétique ou sur sa toxicité vis-à-vis des organismes aquatiques. Il apparaît donc difficile de prédire son devenir dans la colonne d'eau du fleuve Saint-Laurent, en particulier dans les sédiments, de même que la toxicité de ce composé énergétique pour les organismes qui pourraient y être exposés (CEAEQ 2015).

L'avis du CEAEQ (2015) conclut qu'étant donné que le succès de détonation n'est pas de 100 %, que les risques de combustion incomplète sont élevés, qu'un grand nombre de tirs sont prévus sans que l'on sache la proportion de ces tirs qui se feront par explosifs, il existe un risque d'émission de TNT et de PETN dans la colonne d'eau du fleuve Saint-Laurent au niveau des zones identifiées pour les relevés de sismique réfraction. De plus, l'avis du CEAEQ mentionne que les données analysées ne permettent pas de porter un avis éclairé sur le devenir du TNT et du PETN pouvant être émises sous forme dissoute, dans le milieu, à la suite de cette combustion incomplète. Ces informations permettraient par ailleurs d'estimer les concentrations d'exposition des organismes présents dans le Saint-Laurent, au niveau des zones identifiées pour les relevés de sismique réfraction, et donc d'évaluer les impacts potentiels de ces deux composés énergétiques pour les organismes présents dans les milieux concernés. Enfin, on note qu'en cas de dégradation du TNT et du PETN, des nitrites seront produits. Il conviendrait donc d'estimer les concentrations de nitrites émises dans le milieu, au regard des concentrations de TNT et PETN pouvant être émises, pour évaluer les risques pour les organismes (CEAEQ 2015).

L'avis du DSÉE (2015) a quant à lui porté sur une analyse comparative des deux explosifs [Powerefrac et OSX™ 8 L et 8 Z] proposés par TC et présente de l'information sur leurs impacts potentiels et leur devenir, basée sur la composition de chacun de ces explosifs. On y mentionne d'entrée de jeu que dans l'état actuel du dossier, il manque trop d'informations pour établir une recommandation sur l'autorisation de cette demande. On mentionne également que bien que les effets toxiques de l'OSX™ semblent plus faibles que ceux du PowerFrac, sur la base des informations actuelles, d'autres considérations devront être prises en compte dans l'analyse de cette demande, comme la possibilité d'utiliser des explosifs uniquement lorsque c'est requis et d'optimiser l'utilisation de plus petites charges. En conclusion, l'avis mentionne que l'utilisation

des explosifs devrait être envisagée seulement lorsqu'aucune autre technique ne peut être utilisée et là où les risques d'impacts sont à leur minimum.

#### v. Mesures d'atténuation

Différentes mesures d'atténuation ont été proposées pour diminuer l'impact des détonations engendrées par des explosifs ou des canons à air.

i) Éviter les périodes où l'activité et la vulnérabilité biologique sont élevées.

Cette mesure fait référence aux « périodes de restriction pour les poissons » dans le rapport du MDDELCC (2015c) ou des « périodes sensibles » dans le présent rapport. Il s'agit essentiellement d'éviter de perturber le milieu avec des détonations pendant les périodes de reproduction, d'incubation des œufs et de développement des premiers stades larvaires des poissons sur les frayères, ainsi que pendant les migrations vers un site de reproduction ou de croissance. Cette mesure est proposée dans les lignes directrices de Pêches et Océans Canada (Wright et Hopky 1998). Keevin (1998) mentionne également que 23 états américains considéraient cette mesure dans leur processus d'évaluation des projets à cette date. Plus récemment, le Alaska Department of Fish and Game recommandait également cette mesure dans ses « Blasting Standard for the Proper Protection of Fish » (Timothy 2013).

ii) Observation pré-détonation pour détecter la présence de poissons.

Keevin (1998) rapporte que sept états américains recommandent ou requièrent que des inventaires soient faits avant les détonations, à l'aide de sonar ou d'autres techniques, afin de détecter la présence d'individus. Selon lui, ces inventaires ont cependant une valeur limitée si d'autres méthodes ne sont pas utilisées pour limiter la mortalité des poissons après les avoir détectés.

iii) Éloignement des poissons du rayon d'impact des détonations à l'aide de différentes méthodes d'effarouchement.

Cette approche fait l'hypothèse que le bruit ou la pression causée par de petites charges va effrayer les poissons dans la zone immédiate et ainsi, diminuer l'impact de plus grandes charges d'explosifs (Keevin 1998). Différentes approches ont été proposées à cet effet :

a. Utilisation de faibles charges explosives précédant les détonations de levés sismiques afin d'éloigner les poissons.

Keevin (1998) rapporte de nombreux exemples où de petites charges explosives n'ont pas été efficaces pour effrayer les poissons. De plus, Keevin (1998) rapporte des exemples où des mortalités de poissons ont été documentées suite à l'utilisation de telles charges sur le terrain et recommande d'utiliser des méthodes non explosives pour effectuer de l'effarouchement;

b. Émission de sons ou production de bruit.

Les lignes directrices de Pêches et Océans Canada suggèrent « l'installation de dispositifs bruyants, comme une conduite d'évacuation de compresseur d'air, afin d'éloigner les poissons du site », sans entrer plus en détail au chapitre des moyens (Wright et Hopky 1998). Dans sa rétrospective de la littérature, Keevin (1998) mentionne que les études ayant évalué l'efficacité de production de son sous l'eau dans le but d'éloigner les poissons se sont concentrées sur les clupéidés et les salmonidés. Ces études ont utilisé différents dispositifs pour émettre des sons à des fréquences variant entre 10kHz et 1000 kHz. À titre d'exemple, Haymes and Patrick (1986) ont utilisé un dispositif pneumatique à haut débit (angl. : pneumatic poppers) émettant des sons de faible (20 kHz) et haute (1000 kHz) fréquences pour éloigner du gaspareau (*Alosa pseudoharengus*) près de la centrale nucléaire de Pickering en Ontario. Ces auteurs ont observé que ce dispositif avait permis de réduire de 99% la quantité de gaspareaux entrant dans la structure expérimentale. Cependant, l'efficacité d'un tel système pour d'autres espèces demeure inconnue et cette approche demande plus de recherche avant d'être proposée pour l'effarouchement des poissons (Keevin 1998).

Le Comité expert (2004) mentionne que parmi les mesures qui peuvent être envisagées pour réduire l'impact des ondes sismiques sur les organismes biologiques, on retrouve le démarrage progressif des levés sismiques [à l'aide de canons à air];

iv) Enlèvement ou l'exclusion du poisson du lieu de travail avant la détonation.

Cette mesure, est proposée dans les lignes directrices de Pêches et Océans Canada, (Wright et Hopky 1998). Elle consiste essentiellement en la capture des poissons au lieu de la détonation, à l'aide d'une seine, et en leur relocalisation en dehors de la zone d'impact;

v) Déploiement de rideaux de bulles autour de la zone de détonation.

Cette mesure, qui est proposée dans les lignes directrices de Pêches et Océans Canada, permettrait de rompre l'onde de choc créée par une détonation (Wright et Hopky 1998). Sur la base des travaux revus par Keevin (1998), cette approche s'est avérée très efficace pour réduire la pression de pointe suivant une explosion, soit de l'ordre de 80 à 99% dans certaines expériences. Cependant, plusieurs objections d'ordre logistique sont soulevées pour son utilisation, dont les difficultés de produire de l'air comprimé en quantité suffisante pour déployer effectivement un rideau de bulles autour de la zone d'impact, de déplacer le système d'un site à l'autre et le coût très élevé de son utilisation (Keevin 1998).

## vi. Lignes directrices

Pêches et Océans Canada a publié les « Lignes directrices concernant l'utilisation d'explosifs à l'intérieur ou à proximité des eaux de pêche canadiennes » en 1998 (Wright et Hopky 1998). Elles présentent les méthodes et pratiques de conservation et de protection du poisson, des mammifères marins et de leur habitat contre les effets découlant de la force destructrice des explosifs ainsi que les procédures de demandes et d'examen des projets. Parmi ces lignes directrices, voici les points les plus pertinents en regard de la présente analyse :

**Extrait des « Lignes directrices concernant l'utilisation d'explosifs à l'intérieur ou à proximité des eaux de pêche canadiennes » (Wright et Hopky 1998)**

1. *Les promoteurs envisageant l'utilisation d'explosifs sont encouragés à consulter dès le début de leur planification les autorités locales ou régionales compétentes du MPO (annexe I) afin de trouver des solutions de rechange à l'utilisation d'explosifs, de déterminer les ressources biologiques et les habitats menacés et de définir des mesures d'atténuation efficaces.*
2. *Lorsque l'administration des pêches relève d'organismes provinciaux ou territoriaux de gestion des ressources ou encore de conseils autochtones de gestion des ressources, le promoteur est vivement encouragé à consulter les autorités compétentes.*
3. *On déconseille l'utilisation d'explosifs confinés et, en particulier, d'explosifs non confinés à l'intérieur ou à proximité des eaux de pêche canadiennes, et on recommande l'utilisation d'autres méthodes potentiellement moins destructives dans la mesure du possible.*
4. *Il est interdit d'utiliser du nitrate d'ammonium et du fuel-oil à l'intérieur ou à proximité des eaux de pêche en raison de la production de sous-produits toxiques (ammoniaque).*

Nota

- *Le rejet de substances nocives dans des eaux où vivent des poissons est interdit en vertu du paragraphe 36(3) de la Loi sur les pêches, sauf en cas de dérogation par règlement. Aucun règlement pris en application de la Loi sur les pêches ne permet le rejet de sous-produits de l'utilisation de mélanges du nitrate d'ammonium et du fuel-oil.*
8. *Il est interdit de faire détoner dans un habitat du poisson ou à proximité des explosifs qui produisent ou peuvent produire un changement de pression instantané (c'est-à-dire surpression) supérieur à 100 kPa (14,5 psi) dans la vessie natatoire d'un poisson.*
  9. *Il est interdit de faire détoner des explosifs qui produisent ou risquent de produire une vitesse de crête des particules supérieure à 13 mm/s-1 dans une frayère pendant la période d'incubation des oeufs.*

En 2011, un consortium d'agences gouvernementales canadiennes<sup>1</sup> a publié des lignes directrices s'appliquant aux activités sismiques terrestres sur les Territoires du Nord-Ouest. Ces lignes directrices stipulent que l'usage d'explosifs ne devrait pas causer un changement de pression

---

<sup>1</sup> Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest, Affaires indiennes et du Nord canadien; Environnement Canada et Pêche et Océans Canada.

instantanée dans la colonne d'eau plus grand que 50 kPa ou une vitesse de crête des particules supérieur à 13 mm/seconde.

Keevin (1998) a effectué une rétrospective des recommandations que font les agences de ressources naturelles américaines pour atténuer les impacts des explosions subaquatiques. Cette rétrospective l'a d'abord amené à constater qu'il n'y avait [en 1998] aucune ligne directrice ou réglementation à cet effet aux États-Unis. Les décisions étaient laissées aux agences de chacun des états et l'autorité réglementaire pouvait impliquer plus d'une agence à l'intérieur d'un même état. Au moins un état a émis des « standards » que les promoteurs doivent respecter, c'est l'Alaska dont le Department of Natural Resources – Division of Oil and Gas a émis les mesures d'atténuation suivantes (Alaska Department of Natural Resources 2003 - référence non disponible citée dans Cott et collab. 2003). Ces standards stipulent que :

*« L'utilisation d'explosifs sera prohibée en eau libre dans les lacs et rivières abritant des poissons. Des explosifs ne devront pas être utilisés sous ou à proximité de lacs et rivières abritant des poissons si la détonation produit une augmentation de pression supérieure à 2.5 psi, à moins que le plan d'eau, incluant son substrat, soit entièrement gelé. » [Note: 2.5 psi = 17.2 kPa].*

En 2013, l'Alaska Department of Fish and Game a cependant publié d'autres standards qui indiquaient que ces derniers allaient être appliqués aux projets où les impacts des explosions sur les poissons et leurs embryons ne pouvaient être évités et devrait être minimisés et atténués (Timothy 2013). Ces standards étaient à l'effet que :

*« Les hydrophones utilisés pour mesurer les pressions et les géophones utilisés pour mesurer les vibrations seront placés dans des habitats appropriés, aussi près que possible du point de détonation, sans risquer d'endommager les équipements. L'augmentation de pression instantanée dans la colonne d'eau, les habitats de croissance et les corridors de migration sera limitée à un maximum de 7.3 psi lorsque des poissons seront présents. La vitesse de crête des particules dans les sédiments des frayères sera limité à un maximum de 2.0 po/s pendant les premiers stades d'incubation des embryons, avant que l'épibiose soit complétée [mise en place des tissus fondamentaux de l'embryon]. [Note : 7,3 psi = 50 kPa; 2,0 po/s = 50,8 mm/s]»*

En utilisant les équations indiquées par Wright et Hopky (1998) qui relie charge d'explosif, distance au point de détonation et surpression causée par l'onde de compression, on trouve que pour une charge d'explosif de 0,5 kg, charge maximale envisagée par TC, la surpression deviendrait inférieure à 100 kPa pour une distance supérieure à 2,5 m. À une distance de 5 m, la surpression serait de 32 kPa. En utilisant les données de Krail (2010) pour un canon de 100 pouces cube qui a une pression interne de 6000 psi avant sa décharge, la surpression observée à une distance de 5 m sera approximativement de 84 kPa.

## 6. Avis scientifique du Comité

Les recommandations du Comité pour chacun des enjeux et exigences du MDDELCC et/ou MMFQ et/ou MPO sont présentées aux Tableaux 4 et 5. L'essentiel du texte de la section 6 porte sur les recommandations qui nécessitent de plus amples informations, soit parce qu'elles apportent un complément ou qu'elles sont différentes des exigences proposées par une des

instances gouvernementales. L'avis scientifique du Comité sur les exigences environnementales pour les projets de relevés sismiques aux traverses de la rivière Batiscan et du fleuve Saint-Laurent sont fondés sur les meilleures pratiques courantes utilisées au Canada et ailleurs. En ce sens, le Comité considère que les approches et les conclusions de base soutenant son avis peuvent s'appliquer à d'autres projets de relevés sismiques qui seraient proposés dans des milieux similaires ailleurs au Québec.

Concernant les forages géotechniques qui pourraient être réalisés dans le cadre du projet Oléoduc Énergie Est, les meilleures pratiques et les exigences environnementales sont les mêmes que celles qui peuvent exister pour n'importe quel autre projet de construction.

D'autre part, le Comité comprend que le Centre de contrôle environnemental du Québec effectuera un suivi des travaux afin de s'assurer que les différentes exigences du CA sont respectées.

### **a) Milieu terrestre**

De façon générale, le Comité considère que les impacts potentiels de ces travaux en milieu terrestre peuvent être considérés comme étant mineurs lorsque l'on fait appel aux meilleures pratiques environnementales existantes pour la construction de chemins d'accès et de travail près des cours d'eau. Les cartes fournies indiquent la présence de routes près des zones de relevés sismiques terrestres et la construction de chemins d'accès temporaires devrait donc couvrir de faibles distances. Ces cartes indiquent qu'il n'y a pas de cours d'eau à traverser pour se rendre aux sites des relevés sismiques terrestres à partir des routes existantes.

Étant donné la faible surface affectée, le Comité a jugé que l'utilisation de méthodes manuelles (débroussaillage) et d'équipements légers, le forage de trous pour les explosifs en milieu terrestre et l'installation de géophones auraient des impacts mineurs sur le territoire avec l'application des exigences environnementales identifiées. Les impacts sont largement limités à la destruction de plantes sur le lieu exact du forage et au piétinement de plantes sur 1 à 2 m de chaque côté de la ligne sismique mais sans abatage d'arbre mature. Le balisage de zones comportant des espèces d'intérêt pour la conservation assurerait une protection pour ces espèces. Le Comité est d'avis que la désignation d'endroits pour faire le plein de carburant des équipements est une exigence qui devrait être ajoutée et qui fait partie des meilleures pratiques pour ce travail.

Le Comité considère que la mise en place d'un plan d'intervention afin de limiter les risques de contamination dans les cas d'explosions partielles ou de non détonation est suffisante comme mesure d'atténuation compte tenu des faibles charges utilisées, la mobilité restreinte et la dégradation naturelle des composés explosifs (biodégradation et minéralisation) qui peut s'effectuer en milieu terrestre.



## b) Milieu aquatique

Le Comité a jugé que la majorité des exigences environnementales identifiées pour le milieu aquatique dans le rapport du MDDELCC (2015c) sont acceptables à quelques exceptions près. Le Comité recommande des modifications importantes aux exigences environnementales pour deux enjeux particuliers.

### i. Méthodes de détonation

Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale vis-à-vis l'utilisation des explosifs devrait être modifiée. Seule l'utilisation des canons à air devrait être permise, tant dans la rivière Batiscan que dans le fleuve Saint-Laurent, et ce, pour deux raisons principales : leur potentiel de toxicité et le fait que d'autres techniques d'usage courant seraient plus appropriées d'un point de vue environnemental.

D'abord, trois grands constats se dégagent vis-à-vis l'utilisation des explosifs pour des levés sismiques en milieux aquatiques (section 5). Premièrement, il y a actuellement un manque important de connaissances sur l'impact des explosifs en milieux aquatiques pour établir de façon rigoureuse que leur utilisation est acceptable d'un point de vue environnemental. Deuxièmement, il semble se dégager un consensus assez général à l'effet que les explosifs représentent un fort potentiel de contamination pour les milieux aquatiques en raison des composés toxiques qu'ils pourraient libérer en cas de non détonation ou de combustion partielle et même complète. À cet effet, les fiches de données de sécurité des explosifs suggérés (PowerFrac, OSX-L, OSX-Z) indiquent que ces derniers contiennent des éléments toxiques et qu'ils sont « Toxique pour la vie aquatique, entraîne des effets néfastes de longue durée ». Troisièmement, la réalisation de levés sismiques à l'aide de charges explosives en milieu aquatique n'est pas une méthode très répandue, ni recommandée. Bien qu'il soit probable que les risques de contamination soient faibles avec les charges d'explosifs proposées, l'absence d'informations sur le devenir de résidus d'explosifs suggère le recours à l'approche de précaution (Bureau du Conseil Privé 2003), étant donné que les explosifs proposés peuvent être toxiques pour la vie aquatique.

La solution proposée par TC emploie une approche dite inverse où l'effort fourni est plus important au niveau des sources que des récepteurs. Dans le contexte d'un levé de sismique réflexion en eau peu profonde, ceci représente la solution logistique la plus facile et la plus économique. Le milieu aquatique permet un bon couplage et il n'est pas nécessaire de faire des forages pour accommoder les charges. Cette technique permet aussi d'installer les récepteurs seulement sur les rives ce qui réduit les coûts des équipements nécessaires pour l'acquisition. Le Comité est cependant d'avis que le levé de sismique réflexion proposé par TC ne représente pas la configuration qui a le moins d'impacts sur l'environnement et c'est pourquoi le Comité recommande que les meilleures pratiques adoptées pour les zones de transitions soient utilisées pour les travaux.

Le Comité considère que les tirs sismiques en milieu aquatique sont les éléments qui ont le plus de potentiel d'avoir un impact négatif sur la vie aquatique. Par conséquent, TC devrait faire appel à une méthode et une géométrie d'acquisition qui minimisent le nombre de points de tir nécessaire pour obtenir l'information. À cette fin, la méthode de sismique réflexion inverse telle que proposée par TC est à éviter, car elle place trop d'importance sur de nombreux points de tir.

Le Comité est d'avis que les points de tir peuvent être réduits d'un facteur de 5 à 10 en installant des receveurs conçus pour le déploiement dans les zones de transitions au fond des cours d'eau. Ces receveurs peuvent être installés jusqu'à une profondeur de 500 m et peuvent être déployés sur une distance allant jusqu'à 37 km. Cette installation a peu d'impacts sur les voies navigables et l'impact sur le fond marin est négligeable. À cause de la nature de la propagation des ondes sismiques, chaque receveur additionnel peut remplacer un point de tir qui avait été prévu. Ainsi, le nombre de points de tir nécessaire pourra être réduit à son essentiel et par conséquent le risque associé à la source sismique sera réduit à son minimum. Il est aussi important de noter que la puissance de la source n'aura pas à être aussi élevée dans cette configuration ce qui réduira davantage les impacts potentiels en milieu aquatique.

Les explosifs posent un risque de contamination des cours d'eau, et les fiches signalétiques incluent des avertissements de toxicité extrême en milieu aquatique. C'est pourquoi le Comité ne peut pas recommander l'usage de source explosive non confinée dans un milieu aquatique. Le Comité recommande l'utilisation de canons à air dans une configuration qui assurera que la limite de pression instantanée ne dépasse pas 100 kPa à une distance de 5 m du canon. À titre d'exemple, un canon de 100 pouces cubes à une pression interne de 6000 psi devrait satisfaire ces critères. Afin de s'assurer que la limite de 100 kPa n'est pas dépassée, un hydrophone avec une courbe d'étalonnage adéquate devra être placé à une distance de 5 m à partir de l'embouchure du canon. Il devra être placé de façon à être le plus près possible de l'axe principal où l'énergie du canon y est la plus importante. La puissance de chaque tir devra être enregistrée afin de démontrer que la limite de surpression a été respectée durant le levé. Il est important de rappeler que la limite de 13 mm/s au niveau des frayères serait plus restrictive pour la puissance du canon à air, mais que ce facteur est atténué par les dates recommandées de réalisation des travaux par le Comité (voir section suivante).

## **ii. Périodes sensibles et espèces d'intérêt pour la conservation**

En ce qui concerne l'effet sur les poissons lors des périodes sensibles (fraie, alevinage, migration) et sur les espèces d'intérêt pour la conservation dans la rivière Batiscan, le Comité recommande que TC réalise ses intervention en milieu aquatique entre le 1er septembre et le 15 décembre. Avant cette période, plusieurs espèces sont soit en périodes de reproduction, d'incubation ou d'alevinage, notamment l'esturgeon jaune et le doré jaune (Scott et Crossman 1974). Après cette période, le poulamon atlantique commence à remonter la rivière pour sa période de reproduction à la mi-décembre (Fortin et collab. 1990). Dans le cas du fleuve, TC devra réaliser les travaux en milieu aquatique entre le 15 septembre et le 30 novembre afin de protéger les migrations de deux espèces, soit le poulamon atlantique et le saumon atlantique. Le poulamon atlantique, qui effectue sa migration de reproduction entre l'estuaire du Saint-Laurent et les rivières Sainte-Anne et Batiscan à l'automne, passe à la hauteur de Grondines<sup>2</sup> à partir de

---

<sup>2</sup> Point le plus près de la traverse Saint-Augustin-de-Desmaures – Lévis qui documente la chronologie de la migration de reproduction du poulamon atlantique.

la mi-décembre (Belzile et Leclerc 1992). Puisque Grondines est à quelques 50 km en amont de la zone proposée de relevé sismique sur le fleuve, le poulamon devrait passer à la hauteur de St Augustin-de-Desmaures avant le 15 décembre. Pour cette raison, le Comité a jugé que la date butoir du 30 novembre serait plus appropriée. Le saumon atlantique a été réintroduit dans la rivière Jacques-Cartier en 1979 et fait depuis cette date l'objet d'un suivi rigoureux par la Corporation du bassin de la Jacques-Cartier (CBJC). Généralement, la dévalaison des saumoneaux qui retournent vers la mer se produit entre la mi-mai et la mi-juillet alors que la montaison des madeleineaux et des rédibermarins se déroule entre la mi-juin et la mi-septembre (CBJC 2009).

Tableau 4: Enjeux environnementaux, exigences environnementales identifiées et avis scientifique du Comité d'experts sur ces exigences pour les relevés sismiques proposés à la traverse de la rivière Batiscan

Enjeu environnemental	Exigences environnementales identifiées par le MDDELCC et/ou le MFFP et/ou le MPO	Avis scientifique du Comité
Général		
Avis pour permettre le suivi des travaux par les autorités gouvernementales	TC devra contacter la direction régionale du Centre de contrôle environnemental du Québec au moins deux jours avant le début des travaux (engagement de TC dans lettre datée du 25 novembre 2014).	Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale identifiée est adéquate.
Conformité des travaux en lien avec les exigences	TC devra avoir un surveillant en environnement sur le chantier pour assurer que le chantier soit surveillé pendant les heures de travail (engagement de TC dans lettre datée du 2 septembre 2014).	Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale identifiée devrait être précisée de la façon suivante: TC devra avoir un surveillant en environnement sur le chantier pour assurer que le chantier soit surveillé pendant les heures de travail et s'assurer du respect des engagements environnementaux et fauniques.
Émission de vibrations lors des travaux	TC devra informer les résidents dans un rayon de 500 m des zones de dynamitage de l'horaire des travaux (engagement de TC dans lettre datée du 2 septembre 2014). TC devra effectuer les relevés sismiques entre 7 h et 19 h (engagement de TC dans lettre datée du 2 septembre 2014).	Le Comité est d'avis que les exigences environnementales identifiées sont adéquates.
Gestion des déchets	TC devra récupérer l'ensemble des matières résiduelles et les gèrera conformément à la réglementation (engagement de TC dans lettre datée du 2 septembre 2014). TC récupèrera l'ensemble des matériaux et outils (tubes à chocs, câbles de détonation, bouées, etc.) à la fin des travaux (engagement de TC dans lettre datée du 2 septembre 2014).	Le Comité est d'avis que les exigences environnementales identifiées sont adéquates.

Tableau 4: Enjeux environnementaux, exigences environnementales identifiées et avis scientifique du Comité d'experts sur ces exigences pour les relevés sismiques proposés à la traverse de la rivière Batiscan

<b>Enjeu environnemental</b>	<b>Exigences environnementales identifiées par le MDDELCC et/ou le MFFP et/ou le MPO</b>	<b>Avis scientifique du Comité</b>
Déversement potentiel d'hydrocarbures des équipements motorisés utilisés pour le travail	La machinerie utilisée par TC devra être propre et exempte de toute fuite de produits pétroliers. TC devra avoir une trousse d'urgence disponible en tout temps en cas de déversement d'hydrocarbures pendant la durée des travaux.	Le Comité est d'avis qu'en plus des exigences environnementales identifiées l'exigence environnementale suivante devrait être ajoutée : TC devra effectuer le plein d'hydrocarbures dans les équipements utilisés pour le travail dans un endroit désigné et conçu pour éviter toute contamination dans le cas de déversement.
Suivi sur les travaux réalisés	TC devra fournir au MDDELCC et au MFFP, un rapport de suivi contenant les informations suivantes : date, heure et durée des travaux; méthode et charge utilisée (nombre, localisation et profondeur de l'eau lors des tirs); mesures des dépressions engendrées dans le sol ou le littoral par les tirs (diamètre, profondeur, ...); niveau d'eau dans l'érablière argentée en rive gauche lors des travaux; méthode d'effarouchement du poisson utilisée et délais entre les détonations dissuasives et les tirs de levés; information concernant le déplacement et la mortalité des poissons; toutes autres informations pertinentes (engagement de TC dans lettre datée du 12 mai 2015). Le rapport de suivi devra être déposé au Ministère au plus tard trois mois après les travaux.	Le Comité est d'avis qu'en plus des exigences environnementales identifiées le rapport devrait aussi contenir des données de suivi des pressions engendrées à 5 m du point de détonation pour chaque détonation en milieu aquatique.
<b>Milieu terrestre</b>		
Contamination en cas d'explosions partielles ou de non détonation	TC devra présenter au Ministère, avant l'émission du CA, un plan d'intervention afin de limiter les risques de contamination dans les cas d'explosions partielles ou de non détonation.	Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale identifiée est adéquate. Le Comité est aussi d'avis que le MDDELCC devrait approuver le plan d'intervention avant d'émettre le CA.

Tableau 4: Enjeux environnementaux, exigences environnementales identifiées et avis scientifique du Comité d'experts sur ces exigences pour les relevés sismiques proposés à la traverse de la rivière Batiscan

Enjeu environnemental	Exigences environnementales identifiées par le MDDELCC et/ou le MFFP et/ou le MPO	Avis scientifique du Comité
Perte de végétation due à l'aménagement de chemins d'accès temporaires (au besoin), des sites de relevés sismiques (débroussaillage), et la perturbation des sols à proximité des relevés sismiques	TC devra restaurer l'ensemble des zones perturbées par les travaux dans leur état d'origine (végétalisation avec des espèces indigènes du milieu, niveau du sol rétabli) immédiatement après les travaux de relevés sismiques (si les conditions observées sur le terrain suite aux travaux l'exigent) (engagement de TC dans lettre datée du 25 novembre 2014).	Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale identifiée est adéquate.
Augmentation locale et temporaire du niveau de bruit lors des tirs	TC utilisera la puissance minimale requise afin de recevoir un signal de qualité tout en limitant les impacts sur le milieu.	Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale identifiée devrait être précisée comme suit : TC devra utiliser la puissance minimale requise afin de recevoir un signal de qualité tout en limitant les impacts sur le milieu. TC devra faire l'utilisation de charges d'explosifs ne dépassant pas 2 kg qui devront respecter les critères de bruit de la note d'instructions 98-01, disponible à l'adresse suivante : <a href="http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/publications/note-instructions/98-01/note-bruit.pdf">http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/publications/note-instructions/98-01/note-bruit.pdf</a>
Projection de sols		Le Comité est d'avis que l'utilisation d'une toile géotextile pour empêcher la projection de sols, tel que proposée par TC, est une mesure adéquate et devrait être une exigence environnementale pour les travaux.
Impacts sur la flore et faune terrestre y compris les espèces terrestres d'intérêt pour la conservation		Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale suivante devrait être identifiée dans le CA afin de minimiser les risques d'érosion associés aux travaux : Aucun arbre mature ne doit être coupé dans les marécages riverains de la rivière Batiscan.
Déstabilisation des berges		Le Comité est d'avis que TC doit s'assurer que les relevés sismiques ne vont pas affecter la stabilité des talus. Dans le cas de la rive droite (sud) de la rivière, l'indication que le tir le plus proche du haut du talus sera à 40 m semble adéquate.

Tableau 4: Enjeux environnementaux, exigences environnementales identifiées et avis scientifique du Comité d'experts sur ces exigences pour les relevés sismiques proposés à la traverse de la rivière Batiscan

Enjeu environnemental	Exigences environnementales identifiées par le MDDELCC et/ou le MFFP et/ou le MPO	Avis scientifique du Comité
Milieu Aquatique		
Effets sur certaines moules (obovarie olivâtre) à statut précaire et la mise en suspension de sédiments.	TC devra s'assurer que les déplacements avec des embarcations ou des barges doivent avoir lieu lorsque le niveau d'eau est suffisant dans la rivière pour éviter tout frottement sur le littoral de la rivière afin d'éviter d'endommager certaines moules à statut précaire et la mise en suspension de sédiments.	Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale identifiée est adéquate.
Mortalité de poissons ou d'autres organismes aquatiques due aux bruits et différences de pression causés par les relevés sismiques	<p><u>1-Méthodes de levés sismiques et source d'impulsion</u>            TC devra favoriser l'utilisation d'un canon à air de puissance intermédiaire et la puissance augmentée progressivement (à coup de 20 pouces cubes) jusqu'au 120 pouces cubes, si requis. Si le canon à air ne produit pas un signal adéquat, TC devra utiliser la puissance ou la charge explosive minimale requise (entre 0,06 kg et 0,5 kg par tir) afin de recevoir un signal de qualité.</p>	<p>Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale devrait être modifiée. Le Comité est d'avis que seule l'utilisation de canons à air ne donnant pas une surpression supérieure à 100 kPa à une distance de 5 m de l'embouchure du canon devrait être utilisée dans la rivière Batiscan.            TC devra, en tout temps lors des tirs, vérifier avec un hydrophone témoin que la surpression n'excède pas 100 kPa. L'hydrophone pour la mesure de l'onde de surpression devra être à une distance radiale de 5 m à partir de l'embouchure du canon. Il devra être placé de façon à être le plus près possible de l'axe principal où l'énergie du canon y est la plus importante. TC devra utiliser la puissance minimale nécessaire afin de recevoir un signal de qualité.</p>
	<p><u>2 -Effarouchement et éloignement des poissons</u>            TC devra respecter les périodes de restriction et effectuer l'effarouchement des poissons ainsi que le retrait des petits poissons de zones d'herbier; (MDDELCC)            TC devra effectuer des détonations dissuasives à l'aide d'un détonateur sismique 60 à 120 secondes avant chaque tir ou détonation afin d'éloigner les poissons de la source d'impulsion (MPO).</p>	<p>Le Comité est d'avis que les exigences environnementales identifiées devraient être modifiées comme suit :            TC devra effectuer des détonations dissuasives à l'aide d'un petit canon à air (20 po<sup>3</sup>) de 60 à 120 secondes avant chaque tir du relevé sismique afin d'éloigner les poissons de la source d'impulsion            TC devra faire l'usage d'un échosondeur pour vérifier l'efficacité des détonations dissuasives par l'absence de poissons.</p>

Tableau 4: Enjeux environnementaux, exigences environnementales identifiées et avis scientifique du Comité d'experts sur ces exigences pour les relevés sismiques proposés à la traverse de la rivière Batiscan

Enjeu environnemental	Exigences environnementales identifiées par le MDDELCC et/ou le MFFP et/ou le MPO	Avis scientifique du Comité
Mortalité de poissons ou d'autres organismes aquatiques due aux bruits et différences de pression causés par les relevés sismiques	<p><u>3-Relocalisation des poissons des habitats de qualité en zone littorale</u>            TC devra effectuer des pêches à la seine dans les habitats de qualité en zone littorale (p. ex. : herbiers aquatiques) dans un rayon adapté à la méthode de détonation utilisée afin de relocaliser les poissons à l'extérieur de celui-ci (MPO).</p>	Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale identifiée est adéquate.
	<p><u>4-Observation de mortalité.</u>            TC devra mettre en oeuvre le plan d'action suivant (MPO):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Arrêt des relevés sismiques.</li> <li>o Avis aux autorités réglementaires concernées, le cas échéant.</li> <li>o Réévaluation des sources d'impulsion utilisées. Apporter les ajustements, le cas échéant.</li> <li>o Réévaluation des mesures d'atténuation utilisées. Apporter les ajustements, le cas échéant.</li> <li>o Essais préliminaires afin de valider l'efficacité des ajustements mis en place.</li> <li>o Reprise des relevés sismiques.</li> </ul>	Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale identifiée est adéquate
Effets sur les poissons lors des périodes sensibles (fraie, alevinage, migration) et sur les espèces d'intérêt pour la conservation	<p>TC devra réaliser des travaux entre le 15 juillet et le 15 décembre afin d'éviter les périodes de restriction pour les poissons. (MDDELCC).</p> <p>TC devra réaliser les interventions en eau, sur la rivière Batiscan, entre le 1er septembre et le 15 décembre, soit en dehors de la période sensible pour les poissons (fraie et alevinage), notamment pour l'esturgeon jaune, le doré jaune et le poulamon atlantique (MPO).</p>	Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale identifiée devrait être la suivante : TC devra réaliser les interventions en eau, sur la rivière Batiscan, entre le 1er septembre et le 15 décembre.
Mise en suspension de sédiments		Le Comité juge qu'aucune exigence environnementale n'est nécessaire. La mise en suspension de sédiments sera en effet locale et de courte durée.



Tableau 5 : Enjeux environnementaux, exigences environnementales identifiées et avis scientifique du Comité d'experts sur ces exigences pour les relevés sismiques proposés à la traverse du fleuve Saint-Laurent

Enjeu environnemental	Exigences environnementales identifiées par le MDDELCC et/ou le MFFP et/ou le MPO	Avis scientifique du Comité
Général		
Avis pour permettre le suivi des travaux par les autorités gouvernementales	<p>TC devra contacter la direction régionale du Centre de contrôle environnemental du Québec (CCEQ) au moins deux jours avant le début des travaux (engagement de TC dans lettre datée du 12 mai 2015).</p> <p>TC devra aviser les responsables de l'usine de filtration de la ville de Québec (Sainte-Foy) au moins 48 heures avant le début des travaux (engagement de TC dans lettre datée du 12 mai 2015).</p>	Le Comité est d'avis que les exigences environnementales identifiées sont adéquates.
Conformité des travaux en lien avec les exigences	TC devra avoir la présence d'un surveillant des travaux en tout temps lors des relevés et celui-ci devra s'assurer du respect des engagements environnementaux et fauniques.	Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale identifiée devrait être précisée de la façon suivante : TC devra avoir un surveillant en environnement sur le chantier pour assurer que le chantier soit surveillé pendant les heures de travail et s'assurer du respect des engagements environnementaux et fauniques.
Émission de vibrations lors des travaux	<p>TC devra informer les résidents dans un rayon de 500 m de l'horaire des travaux.</p> <p>TC devra effectuer les relevés sismiques entre 7 h et 19 h (engagement de TC dans lettre du 13 mai 2015).</p>	Le Comité est d'avis que les exigences environnementales identifiées sont adéquates.
Gestion des déchets	<p>TC devra retirer de la zone de dynamitage tous les débris d'explosion et autres produits et équipements connexes.</p> <p>TC devra récupérer de l'ensemble des résidus et matières résiduelles et les gérer conformément à la réglementation.</p> <p>TC devra récupérer l'ensemble des matériaux et outils (tubes à chocs, câbles de détonation, bouées, etc.) à la fin des travaux.</p>	Le Comité est d'avis que les exigences environnementales identifiées sont adéquates.
Déversement potentiel d'hydrocarbures des équipements motorisés utilisés pour le travail	<p>TC devra s'assurer que la machinerie utilisée soit propre et exempte de toute fuite de produits pétroliers.</p> <p>TC devra avoir une trousse d'urgence disponible en tout temps en cas de déversement d'hydrocarbures pendant la durée des travaux.</p>	<p>Le Comité est d'avis qu'en plus des exigences environnementales identifiées l'exigence environnementale suivante devrait être ajoutée :</p> <p>TC devra effectuer le plein d'hydrocarbures dans les équipements utilisés pour le travail dans un endroit désigné et conçu pour éviter toute contamination dans le cas de déversement.</p>

Tableau 5 : Enjeux environnementaux, exigences environnementales identifiées et avis scientifique du Comité d'experts sur ces exigences pour les relevés sismiques proposés à la traverse du fleuve Saint-Laurent

<b>Enjeu environnemental</b>	<b>Exigences environnementales identifiées par le MDDELCC et/ou le MFFP et/ou le MPO</b>	<b>Avis scientifique du Comité</b>
Suivi sur les travaux réalisés	TC devra fournir au MDDELCC et au MFFP un rapport de suivi contenant les informations suivantes, au plus tard trois mois après la réalisation des travaux : date, heure et durée des travaux; méthode et charge utilisée (nombre, localisation et profondeur de l'eau lors des tirs); mesures des dépressions engendrées dans le sol ou le littoral par les tirs (diamètre, profondeur, ...); information concernant le déplacement et la mortalité des poissons; toutes autres informations pertinentes; une section sur la remise en état des lieux dans le marécage riverain à Saint-Augustin-de-Desmaures, incluant une annexe photographique.	Le Comité est d'avis que les exigences environnementales identifiées sont adéquates.
<b>Milieu terrestre</b>		
Contamination en cas d'explosions partielles ou de non détonation.	TC devra déposer au Ministère avant l'émission du CA, un plan d'intervention afin de limiter les risques de contamination dans les cas d'explosions partielles ou de non détonation.	Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale identifiée est adéquate. Le Comité est aussi d'avis que le MDDELCC devrait approuver le plan d'intervention avant d'émettre le CA.
Perte de végétation due à l'aménagement de chemins d'accès temporaires (au besoin), des sites de relevés sismiques (débroussaillage), et la perturbation des sols à proximité des relevés sismiques	TC devra limiter au strict minimum le débroussaillage dans les zones touchées. TC devra faire la restauration de l'ensemble des zones perturbées (milieux humides riverains) suite à la réalisation des travaux.	Le Comité est d'avis que les exigences environnementales identifiées sont adéquates.
Augmentation locale et temporaire du niveau de bruit lors des tirs	TC devra utiliser la puissance minimale requise afin de recevoir un signal de qualité tout en limitant les impacts sur le milieu.	Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale identifiée devrait être précisée comme suit : TC utilisera la puissance minimale requise afin de recevoir un signal de qualité tout en limitant les impacts sur le milieu. TC fera l'utilisation de charges d'explosifs ne dépassant pas 2 kg qui devront respecter les critères de bruit de la note d'instructions 98-01, disponible à l'adresse suivante : <a href="http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/publications/note-instructions/98-01/note-bruit.pdf">http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/publications/note-instructions/98-01/note-bruit.pdf</a>

Tableau 5 : Enjeux environnementaux, exigences environnementales identifiées et avis scientifique du Comité d'experts sur ces exigences pour les relevés sismiques proposés à la traverse du fleuve Saint-Laurent

<b>Enjeu environnemental</b>	<b>Exigences environnementales identifiées par le MDDELCC et/ou le MFFP et/ou le MPO</b>	<b>Avis scientifique du Comité</b>
Projection de sols	TC devra faire l'utilisation d'une toile géotextile à la surface du trou de dynamitage dans le marécage riverain pour éviter la projection de sols.	Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale identifiée est adéquate.
Impacts sur la flore et faune terrestre y compris les espèces terrestres d'intérêt pour la conservation	<p>TC devra éviter les perturbations anticipées sur les espèces floristiques d'intérêt pour la conservation par la mise en place de mesures d'atténuation, notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Délimiter et identifier les occurrences et/ou les zones (selon le cas) d'espèces floristiques d'intérêt pour la conservation avant le début des travaux;</li> <li>- Adapter la ligne sismique (localisation des géophones et des tirs) de façon à éviter les occurrences et/ou les zones (selon le cas) d'espèces floristiques d'intérêt pour la conservation (engagement de TC dans lettre datée du 18 juin 2015);</li> </ul> <p>Aucun arbre mature ne doit être coupé dans le marécage riverain à Saint-Augustin-de-Desmaures (engagement de TC dans lettre datée du 7 juillet 2015).</p>	<p>Le Comité est d'avis qu'en plus des exigences environnementales identifiées, les exigences environnementales suivantes devraient être identifiées dans le CA afin de minimiser les risques pour les espèces floristiques d'intérêt.</p> <p>TC devra baliser les zones abritant des espèces floristiques à statut précaire (désignées menacées, vulnérables ou susceptibles de l'être) sur le terrain afin d'y éviter tout empiètement lors des travaux.</p> <p>Dans le cas où un empiètement dans ces zones ne pourrait être évité, TC devra s'assurer que les déplacements et autres interventions devront être effectués sans l'usage de machinerie.</p>
Déstabilisation des berges		Le Comité est d'avis que TC doit s'assurer que les relevés sismiques ne vont pas affecter la stabilité des talus.

Tableau 5 : Enjeux environnementaux, exigences environnementales identifiées et avis scientifique du Comité d'experts sur ces exigences pour les relevés sismiques proposés à la traverse du fleuve Saint-Laurent

Enjeu environnemental	Exigences environnementales identifiées par le MDDELCC et/ou le MFFP et/ou le MPO	Avis scientifique du Comité
Milieu Aquatique		
Mortalité de poissons ou d'autres organismes aquatiques due aux bruits et différences de pression causés par les levés sismiques	<p><u>1-Méthodes de levés sismiques et source d'impulsion</u>            TC devra utiliser en tout temps la puissance minimale requise des canons à air afin de recevoir un signal de qualité (entre 10 à 40 po<sup>3</sup> par tir). (MPO)            TC devra utiliser la puissance minimale requise afin de recevoir un signal de qualité tout en limitant les impacts sur le milieu. (MDDELCC)            TC devra utiliser la charge explosive minimale requise pour recevoir un signal de qualité (entre 0,06 kg et 0,5 kg par tir). (MPO)            Faire les travaux dans la zone intertidale à marée basse de façon à ce que les poissons soient absents et faire les déplacements à pieds. (MPO)            - Pour les relevés sismiques dans la zone infratidale :            o Mettre en place une zone tampon de 20 m sur le fleuve, où aucun relevé ne sera effectué, entre le début de la zone des travaux et les limites sud de la réserve naturelle des Battures-de-Saint-Augustin-de-Desmaures ainsi qu'une zone tampon de 20 m à la limite nord de la zone intertidale du côté sud du fleuve. (MPO)</p>	<p>Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale devrait être modifiée. Le Comité est d'avis que seule l'utilisation de canons à air ne donnant pas une surpression supérieure à 100 kPa à une distance de 5 m de l'embouchure du canon devrait être utilisée dans le fleuve Saint-Laurent.            TC devra, en tout temps lors des tirs, vérifier avec un hydrophone témoin que la surpression n'excède pas 100 kPa. L'hydrophone pour la mesure de l'onde de surpression devra être à une distance radiale de 5 m à partir de l'embouchure du canon. Il devra être placé de façon à être le plus près possible de l'axe principal où l'énergie du canon y est la plus importante. TC devra utiliser la puissance minimale nécessaire afin de recevoir un signal de qualité.            Le Comité est d'avis que la mise en place d'une zone tampon aux limites de la réserve naturelle des Battures-de-Saint-Augustin-de-Desmaures ainsi qu'une zone tampon de 20 m à la limite nord de la zone intertidale du côté sud du fleuve est une exigence environnementale adéquate.</p>

Tableau 5 : Enjeux environnementaux, exigences environnementales identifiées et avis scientifique du Comité d'experts sur ces exigences pour les relevés sismiques proposés à la traverse du fleuve Saint-Laurent

Enjeu environnemental	Exigences environnementales identifiées par le MDDELCC et/ou le MFFP et/ou le MPO	Avis scientifique du Comité
Mortalité de poissons ou d'autres organismes aquatiques due aux bruits et différences de pression causés par les levés sismiques	<p><u>2-Effarouchement et éloignement des poissons</u>            TC devra utiliser un détonateur sismique 60 à 120 secondes avant chaque détonation explosive afin d'éloigner les poissons de la source d'impulsion.            TC devra utiliser une méthode mécanique (coup de marteau sur une tige métallique) avant chaque tir de canon à air afin d'éloigner les poissons de la source d'impulsion. (MPO)</p>	<p>Le Comité est d'avis que les exigences environnementales identifiées devraient être modifiées comme suit :            TC devra effectuer des détonations dissuasives à l'aide d'un petit canon à air (20 po<sup>3</sup>) de 60 à 120 secondes avant chaque tir du relevé sismique afin d'éloigner les poissons de la source d'impulsion            TC devra faire l'usage d'un échosondeur pour vérifier l'efficacité des détonations dissuasives par l'absence de poissons.</p>
	<p><u>3-Observation de mortalité.</u>            TC devra mettre en place un observateur à bord d'une embarcation afin de surveiller s'il y a mortalité de poisson. L'observateur devra se trouver en aval des travaux, en tenant compte du changement de direction du courant causé par les marées.            Advenant l'observation de mortalité de poisson, mettre en oeuvre le plan d'action suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Arrêt des relevés sismiques.</li> <li>o Avis aux autorités réglementaires concernées, le cas échéant.</li> <li>o Réévaluation des sources d'impulsion utilisées. Apporter les ajustements, le cas échéant.</li> <li>o Réévaluation des mesures d'atténuation utilisées. Apporter les ajustements, le cas échéant.</li> <li>o Essais préliminaires afin de valider l'efficacité des ajustements mis en place.</li> <li>o Reprise des relevés sismiques. (MPO)</li> </ul>	<p>Le Comité est d'avis que les exigences environnementales identifiées par le MPO sont adéquates et devraient être incorporées dans le CA</p>

Tableau 5 : Enjeux environnementaux, exigences environnementales identifiées et avis scientifique du Comité d'experts sur ces exigences pour les relevés sismiques proposés à la traverse du fleuve Saint-Laurent

<b>Enjeu environnemental</b>	<b>Exigences environnementales identifiées par le MDDELCC et/ou le MFFP et/ou le MPO</b>	<b>Avis scientifique du Comité</b>
Effets sur les poissons lors des périodes sensibles (fraie, alevinage, migration) et sur les espèces d'intérêt pour la conservation	TC devra réaliser les relevés en dehors des périodes sensibles pour le secteur St-Augustin-Lévis qui se situe entre le 31 mars et le 15 juillet en raison de la fraie et de l'alevinage des nombreuses espèces de poissons de fraie printanière présentes dans le secteur. (MPO) TC devra réaliser les travaux en milieu aquatique entre le 1er septembre et le 31 mars afin d'éviter les périodes de restriction pour les poissons. (MDDELCC)	Le Comité est d'avis que l'exigence environnementale devrait être la suivante: TC devra réaliser les travaux en milieu aquatique entre le 15 septembre et le 30 novembre afin d'éviter les périodes de restriction pour les poissons.
Mise en suspension de sédiments		Le Comité juge qu'aucune exigence environnementale n'est nécessaire. La mise en suspension de sédiments se produira localement dans les eaux moins profondes et sera de courte durée.

## **7. Remerciements**

Le Comité d'experts désire exprimer ses remerciements au personnel du MDDELCC et du MFFP pour sa collaboration au cours de la préparation de ce rapport.

## 8. Références

- AANDC. 2011. Northern land use guidelines. Vol. 09a: Northwest Territories seismic operations. Aboriginal Affairs and Northern Development Canada, Gatineau, QC, 47 p.
- AECOM. 2009 Considerations in Developing Oil and Gas Industry Best Practices in the North. Environmental Studies Research Funds Report No. 175, 43 p. Calgary Alberta.
- Ashenhurst, A. R. et S. J. Hannon. 2008. Effects of Seismic Lines on the Abundance of Breeding Birds in the Kendall Island Bird Sanctuary, Northwest Territories, Canada. *Arctic* 61(2):190-198
- Bamford, D., S. Faber, B. Jacob, W. Kaminski, K. Nunn, C. Prodehl, K. Fuchs, R. King et P. Willmore. 1976, A lithospheric seismic profile in Britain – I Preliminary results, *Geophys. J. Int.*, 44:145-160
- BAPE 2004. Les enjeux liés aux levés sismiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Bureau d'audiences publiques sur l'environnement, Rapport 193, xiv + 128 p.
- Beeson, C. E. et P. F. Doyle. 1995. Comparison of bank erosion at vegetated and non-vegetated channel bends. *Water Resour. Bull.*, 31: 983-990.
- Belzile, L. et M. Leclerc. 1992. Ligne Radisson-Nicolet-Des Cantons : synthèse des études sur le poulamon atlantique. Rapport synthèse présenté par le Groupe Environnement Shooner inc. à la Vice-présidence Environnement d'Hydro-Québec. 34 p.
- Bureau du Conseil privé. 2003. Cadre d'application de la précaution dans un processus décisionnel scientifique en gestion du risque. Bureau du Conseil privé, Ottawa (Ontario), 13 p. Disponible au lien : <http://www.pco-bcp.gc.ca/docs/information/publications/precaution/precaution-fra.pdf>
- CBJC. 2009. Bilan de 25 ans d'effort 1981 - 2006 - La réintroduction du saumon atlantique dans la rivière Jacques-Cartier. Corporation du bassin de la Jacques-Cartier, 76 p. et 2 annexes.
- CEAEQ. 2015. Demande d'avis / Réalisation de relevés sismiques dans le fleuve Saint-Laurent à Saint-Augustin-de-Desmaures et Lévis, à l'aide de charges explosives de type OSX 8 L et 8 Z. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec N/Réf.: SCW : 961454
- Clausen, J. L., C. Scott et I. Osgerby. 2011. Fate of nitroglycerin and dinitrotoluene in soil at small arms training ranges. *Soil Sediment Contam.*, (20) 649–671
- Comité expert. 2004. Rapport du comité d'experts sur les enjeux environnementaux liés aux levés sismiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Déposé au ministre de L'Environnement et au ministre des Ressources Naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec. 183 p. + une annexe.



- Cott, P. A., B. W. Hanna, et J. A. Dahl. 2003. Discussion on seismic exploration in the Northwest Territories 2000–2003. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2648: vi +36 p.
- Cott, P. A., A. Schein, B. W. Hanna, T. A. Johnston, D. A. MacDonald et J. M. Gunn. 2015. Implications of linear developments on northern fishes. *Environ. Rev.* 23: 177–190 [dx.doi.org/10.1139/er-2014-0075](https://doi.org/10.1139/er-2014-0075)
- Cox, B. S. A. M. Dux, M. C. Quist et C. S. Guy. 2012. Use of a Seismic Air Gun to Reduce Survival of Nonnative Lake Trout Embryos: A Tool for Conservation?, *N. Am. J. Fish. Manage.* 32:2, 292-298, DOI: 10.1080/02755947.2012.675960
- Davis, R. A., D. H. Thompson et C. I. Malme. 1998. Environmental assessment of seismic exploration on the Scotian Shelf, Halifax, Canada/Nova Scotia Offshore Petroleum Board; 181 p.
- DFO. 2000. Effects of sediment on fish and their habitat. DFO Pacific Region Habitat Status Report 2000/01. Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, ON.
- De Groot, R. S., M. A. M. Stuij, C. M. Finlayson et N. Davidson. 2007. Évaluation des zones humides : Orientations sur l'estimation des avantages issus des services écosystémiques des zones humides, Rapport technique RAMSAR n°3/Série des publications techniques de la CDB n°27. Secrétariat de la Convention de RAMSAR, Gland, Suisse et Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, Montréal, Canada.
- DGPE. 2014. Avis concernant les travaux de levés sismiques en rive et littoral dans la rivière Batiscan dans le cadre du projet d'aménagement de l'Oléoduc Énergie Est de TransCanada, Sainte-Geneviève-de-Batiscan. Direction générale des politiques de l'eau, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. N/Réf.: 7450-04-01-00235-01 SCW : 927902 et 930805.
- DSÉE. 2015. Demande d'avis / Réalisation de relevés sismiques dans le fleuve Saint-Laurent à Saint-Augustin-de-Desmaures et Lévis, à l'aide de charges explosives de type OSX 8 L et 8 Z. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. N/Réf.:SAVEX-14352 et 14389 : SCW 961452.
- Dyer, S. J., J. P. O'Neill, S. M. Wasel et S. Boutin. 2002. Quantifying barrier effects of roads and seismic lines on movements of female woodland caribou in northeastern Alberta. *Can. J. Zool.* 80: 839–845
- Evans, S. G. et G. R. Brooks, 1994. An earthflow in sensitive Champlain Sea sediments at Lemieux, Ontario, June 20, 1993, and its impact on the South Nation River, *Rev. can. géotech.* 31: 384-394.

- Faulkner, S. G., W.M. Tonn, M. Welz, et D. R. Schmitt. 2006. Effects of Explosives on Incubating Lake Trout Eggs in the Canadian Arctic, *N. Am. J. Fish. Manage.*, 26:4, 833-842, DOI: 10.1577/M05-132.1.
- Fortin, R., M. Léveillé, P. Laramée et Y. Mailhot. 1990. Reproduction and year-class strength of the Atlantic tomcod (*Microgadus tomcod*) in the Sainte-Anne River at La Pérade, Quebec. *Can. J. Zool.* 68: 1350-1359.
- Franssen, J., M. Lapointe et P. Magnan. 2014. Geomorphic controls on fine sediment reinfiltration into salmonid spawning gravels and the implications for spawning habitat rehabilitation. *Geomorphology* 211: 11-21.
- Franssen, J., C. Blais, M. Lapointe, F. Bérubé, N. Bergeron et P. Magnan. 2012. Asphyxiation and entombment mechanisms in fines rich spawning substrates: experimental evidence with brook trout embryos. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 69: 587-599.
- Gainer, R. 1995. Range extension of white-tailed deer. *Alberta Naturalist*, 25: 34-36.
- Gangbazo, G., A. R. Pesant, G. M. Barnett, J. P. Charuest et D. Cluis 1995. Water Contamination by Ammonium Nitrogen Following the Spreading of Hog Manure and Mineral Fertilizers. *J. Environ. Qual.*, 24:420-425
- GNB 1997. Directives techniques relatives aux modifications de cours d'eau - Octobre 1997. Gouvernement du Nouveau-Brunswick, Ministère de l'Environnement et des Gouvernements locaux, Direction des évaluations et des agréments, Fredericton, Nouveau-Brunswick, 123 p.  
<http://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/env/pdf/Water-eau/DirectivesRelativesModificationsCoursEau.pdf>
- Godard, D. R., L. Peters, R. Evans, K. Wautier, P. A. Cott, B. Hanna, et V. Palace. 2008. Development of histopathology tools to assess instantaneous pressure change-induced effects in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) early life stages. Environmental Studies Research Funds, Report #164. 93 p.
- Govoni, J. J., L. R. Settle, et M. A. West, 2003. Trauma to juvenile pinfish and spot inflicted by submarine detonations. *J. Aquat. Anim. Health.* 15: 111–119. doi: 10.1577/H02-030.
- Govoni, J. J., M. A. West, L. R. Settle, R. T. Lynch et M. D. Greene. 2008. Effects of Underwater Explosions on Larval Fish: Implications for a Coastal Engineering Project. *J. Coastal Res.*, 24:(2B), Supplement (Mar., 2008): 228-233
- Grondin, G. et D. Demers. 1996. The 1989 Saint-Liguori flakeslide : characterization and remedial works. *Proc. 7th Int. Symp. on Landslides, Trondheim*, 2 : 743-748.

- Hauer, G. et G. James. 2009, Transition zone acquisition: operating in shallow water with land equipment, Petroleum Africa November 2009.  
[https://www.iongeo.com/content/documents/Resource%20Center/Articles/PETAFR\\_TZoneAcquisition\\_110109.pdf](https://www.iongeo.com/content/documents/Resource%20Center/Articles/PETAFR_TZoneAcquisition_110109.pdf)
- Haymes, G. T. et P. H. Patrick. 1986. Exclusion of adult alewife, *Alosa pseudoharengus*, using low-frequency sound for application at water intakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43: 855–86.
- IAGC 2002, Airgun Arrays and Marine Mammals, International Association of Geophysical Contractors, Houston, USA, 16 p. Disponible au lien  
[http://www.cnlopb.ca/pdfs/mkiseislab/mki\\_app\\_b.pdf](http://www.cnlopb.ca/pdfs/mkiseislab/mki_app_b.pdf)
- Jacobs, S. S. 1995. An Assessment of the Perceived Effects of Quarry Blasting on a Suburban Residential Area. Final Report to Commonwealth of Pennsylvania Department of Environmental Resources Contract No. 163878
- JNCC 201, Joint Nature Conservation Committee guidelines for minimising the risk of injury to marine mammals from using explosives. Joint Nature Conservation Committee, Aberdeen, Scotland, 16 p. Disponible en format électronique au lien  
[http://jncc.defra.gov.uk/pdf/JNCC\\_Guidelines\\_Seismic%20Guidelines\\_Aug%202010.pdf](http://jncc.defra.gov.uk/pdf/JNCC_Guidelines_Seismic%20Guidelines_Aug%202010.pdf)
- Keevin, T. M. 1998. A Review of Natural Resource Agency Recommendations for Mitigating the Impacts of Underwater Blasting. *Rev. Fish. Sci.*, 6:4, 281-313, DOI: 10.1080/10641269891314302
- Keevin, T. M. et G. L. Hempen. 1997. The environmental effects of underwater explosions with methods to mitigate impacts. U.S. Army Corps of Engineers, St. Louis District, 1222 Spruce Street. St. Louis, Missouri 63103-2833.
- Krail, P. M. 2010. Airguns: Theory and operation of the marine seismic source. Course notes for GEO-391, Principles of airgun operation. University of Texas at Austin, Texas, 44 p.  
[http://repositories.lib.utexas.edu/bitstream/handle/2152/11226/Principles%20of%20airgun%20operation\\_final\\_5\\_2011.pdf](http://repositories.lib.utexas.edu/bitstream/handle/2152/11226/Principles%20of%20airgun%20operation_final_5_2011.pdf)
- Lee, P. et S. Boutin. 2006. Persistence and developmental transition of wide seismic lines in the western Boreal Plains of Canada. *J. Environ. Manage.* 78, 240–250.
- Locat, J. 2011. La localisation et la magnitude du séisme du 5 février 1663 (Charlevoix) revues à l'aide des mouvements de terrain. *Rev. can. géotech.*, 48(8) : 1266-1286.
- Locat, P., D. Demers, D. Robitaille, T. Fournier, F. Noël, F., S. Leroueil, A. Locat et G. Lefebvre, 2011. The Saint-Jude landslide of May 10, 2010, Québec, Canada. *Proc. 11th Int. Symp. on Landslides, Banff*, 1: 635-640.

- MDDEP. 2012. Les milieux humides et l'autorisation environnementale, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du patrimoine écologique et des parcs, Direction des politiques de l'eau et Pôle d'expertise hydrique et naturel. 41 pages + annexes.
- MDDELCC. 2014 Pratiques recommandées dans le cadre de travaux de sondage minier. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 4 p.
- MDDELCC. 2015a Communiqué de presse. Le ministre Heurtel confie un mandat au BAPE dans le cadre du projet Énergie Est de TransCanada. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Disponible au lien <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/Infuseur/communiqué.asp?no=3176>
- MDDELCC. 2015b. Guide d'interprétation, Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, Direction des politiques de l'eau, 131 p.
- MDDELCC. 2015c. Projet Oléoduc Énergie Est par TransCanada. Analyse des demandes d'autorisation pour la réalisation de travaux préliminaires. Rapport interne préparé par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, Pôle d'expertise des secteurs hydrique et naturel en collaboration avec la Direction générale des évaluations environnementales et stratégiques. 26 p. + 10 annexes.
- MPO. 2004. Évaluation des renseignements scientifiques sur les impacts des bruits sismiques sur les poissons, les invertébrés, les tortues et les mammifères marins Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rapp. sur l'état des habitats 2004/002.
- MPO. 2012. Programme de rétablissement du béluga (*Delphinapterus leucas*), population de l'estuaire du Saint-Laurent au Canada, Série de Programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril, Pêches et Océans Canada, Ottawa, 93 + XI p.
- OMNR. 1990. Environmental Guidelines For Access Roads and Water Crossings. Ontario Ministry of Natural Resources, Toronto, Ontario, 65 p.
- Pennington, J. C., C. A. Hayes, K.F. Myers, M. Ochman, D. Gulnison, D. R. Felt et F. McCormick. 1995. Fate of 2,4,6-Trinitrotoluene in a Simulated Compost System, *Chemosphere*, 30:429-438.
- Peters, L., V. Palace, P. Cott, R. E. Evans, K. Wautier et D. Godard. 2006. Examination of the potential effects of instantaneous pressure changes on eggs, sac fry and juvenile rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*). In 136<sup>th</sup> Annual American Fisheries Society Meeting, 10–14 September 2006, Lake Placid, NY

- Pichtel, J. 2012. Distribution and Fate of Military Explosives and Propellants in Soil: A Review. Applied and Environmental Soil Science, Article ID 617236, 33 pages
- Popper, A. N. et M. C. Hastings. 2009. The effects of anthropogenic sources of sound on fishes. J. Fish Biol., 75: 455–489, doi:10.1111/j.1095-8649.2009.02319.x
- Popper, A. N., M. Halvorsen, B. Casper, B. et T. Carlson. 2013. Effects of pile sound on non-auditory tissues of fish. U.S. Department of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, OCS Study BOEM 2012-105. 60 p.
- Prodehl, C. et W. D. Mooney. 2012, Exploring the Earth's Crust: History and Results of Controlled-Source Seismology, Geological Society of America Memoir 208, Boulder, Colorado. 764 p.
- Pugin, A. J.-M., S. E. Pullan et J. A. Hunter. 2013. Shear-wave high-resolution seismic reflection in Ottawa and Quebec City, Canada, The Leading Edge, 32(3), p.250-255.
- Schmidt, D., 2004. The evolution of seismic line clearing. The Source 1, 12–15.
- SAMBBA. 2015. Zone de gestion intégrée de l'eau Batiscan-Champlain. Plan directeur de l'eau: Portrait du bassin versant de la rivière Batiscan. Société d'aménagement et de mise en valeur du bassin de la Batiscan, VERSION DÉPOSÉE POUR APPROBATION GOUVERNEMENTALE. 195 p. + Annexes.
- Scott, W. B. et E. J. Crossman. 1974. Poissons d'eau douce du Canada. Office des recherches sur les pêcheries du Canada, Ottawa No. 184. 1026 p.
- Simmonds, J. et D. MacLennan. 2005. Fisheries acoustics: theory and practice, 2nd ed. Blackwell Science, xvii+ 430 p.
- Siskind, D. E, M. S. Stagg, J. W. Kopp et C. H. Dowding. 1980. Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting. U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, Report of Investigations No 8507, iii+77 p.
- Thomson, D. H., J. W. Lawson, J. W. et A. Muecke. 2000. Proceeding of a workshop to develop methodologies for conducting research on the effects of seismic exploration on the Canadian east coast fishery, Halifax, Nova Scotia.
- Telford, W. M., L. P. Geldart, R. E. Sheriff. 1990. Applied Geophysics, Cambridge, UK: Cambridge University Press, Cambridge, UK, 770 p.
- Timothy, J. 2013. Alaska Blasting Standard for the Proper Protection of Fish. Alaska Department of Fish and Game. Technical Report No. 13-03, 5 p.

- Traxler, S. L., B. R. Murphy et T. L. Linton. 1993. Subsediment seismic explosions do not injure caged fishes in a freshwater reservoir, *J. Freshwater Ecol.*, 8:1, 73-75, DOI: 10.1080/02705060.1993.9664726
- van Rensen, C. K., S. E. Nielsen, B. White, T. Vinge et V. J. Lieffers. 2015. Natural regeneration of forest vegetation on legacy seismic lines in boreal habitats in Alberta's oil sands region. *Biol Conserv.*184:127–135
- Worcester, T. 2006. Effects of Seismic Energy on Fish: A Literature Review. *Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2006/092, 66 p.
- Wright, D. G. 1982. A discussion paper on the effects of explosives on fish and marine mammals in the waters of the Northwest Territories. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1052. 16 p.
- Wright, D. G. et G. E. Hopky. 1998. Lignes directrices concernant l'utilisation d'explosifs à l'intérieur ou à proximité des eaux de pêche canadiennes. *Rap. Tech. Can. Sci. Hal. Aquat.* 2107, iv + 34 p.
- Zedler, J. B. et S. Kercher 2005. Wetland resources: Status, Trends, Ecosystem Services, and Restorability. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 30:39–74