

324

PR1.5.3

Projet Oléoduc Énergie Est de
TransCanada – section québécoise
6211-18-018

Annexe Vol 5-44

Étude de faisabilité de traverse par FDH – Conversion en Ontario – Rivière Madawaska



Projet Oléoduc Énergie Est

Étude de faisabilité de traverse par FDH

Conversion en Ontario : Rivière Madawaska

Préparé par :

ENGINEERING TECHNOLOGY INC.

#24, 12110 - 40 Street SE
Calgary, AB T2Z 4K6

Numéro de projet :

547

Date :

23 juillet 2014



Déclaration des limitations et qualifications

Le rapport ci-joint (le « Rapport ») a été préparé par Engineering Technology Inc. (le « Consultant ») au bénéfice du client (le « Client »), selon l'entente signée par le Consultant et le Client, incluant l'étendue des travaux détaillée dans celle-ci (« l'Entente »).

Les renseignements, les données, les recommandations et les conclusions contenus dans le Rapport :

- sont limités à l'étendue, au calendrier et aux autres contraintes et limitations de l'Entente ainsi qu'aux qualifications contenues dans le rapport (les « Limitations »);
- représentent le jugement professionnel du Consultant en fonction des limitations et des normes de l'industrie pour la préparation de rapports similaires;
- peuvent être fondés sur des renseignements fournis au Consultant qui n'ont pas été vérifiés de façon indépendante;
- n'ont pas été mis à jour depuis la date de délivrance du Rapport et leur exactitude est limitée à la période et aux circonstances dans le cadre desquels ils ont été recueillis, traités, effectués ou soumis;
- doivent être lus comme un tout et des sections ne devraient pas être lues à l'extérieur de leur contexte;
- ont été préparés aux seules fins décrites dans le rapport et l'entente;
- pour ce qui est des conditions souterraines, environnementales ou géotechniques, elles peuvent être fondées sur des tests limités en supposant que ces conditions sont uniformes et ne varient pas géographiquement ou en fonction du temps.

Sauf dispositions expressément contraires dans le Rapport ou l'Entente, le Consultant :

- ne sera pas tenu responsable de tout événement ou circonstance qui puisse être survenu depuis la date de préparation du Rapport ou pour toute inexactitude contenue dans les renseignements fournis au Consultant;
- reconnaît que le Rapport représente son jugement professionnel tel que décrit ci-dessus aux seules fins décrites dans le Rapport et l'Entente, mais le Consultant n'émet aucune autre représentation quant au Rapport ou toute partie le composant;
- en ce qui a trait aux conditions souterraines, environnementales ou géotechniques, n'est pas responsable de la variabilité de ces conditions en fonction de la géographie ou du temps.

Le rapport doit être traité de façon confidentielle et ne peut être utilisé ou invoqué par des tierces parties, sauf :

- tel que convenu par le consultant et le client;
- tel que requis par la loi;
- pour l'usage des agences de réglementation gouvernementales.

Tout usage de ce Rapport est assujéti à cette Déclaration des limitations et qualifications. Tout dommage causé par l'usage abusif de ce Rapport ou des sections le composant sera la responsabilité de la partie qui en fait cet usage.

Cette Déclaration des limitations et qualifications est jointe au Rapport et en fait partie intégrante.



Liste de diffusion

Nombre de copies papier	PDF requis	Nom de la compagnie / association
	1	Stantec Consulting Ltd.

Journal de révision

Révision n°	Révisé par	Date	Description de la version / révision
A	PI	14 août 2013	Conception préliminaire
1	PI	15 janvier 2014	Émis pour commentaires
2	PI	23 janvier 2014	Émis pour ingénierie de base
3	PI	24 avril 2014	Révisé - Émis pour ingénierie de base
4	PI	15 mai 2014	Révisé - Émis pour ingénierie de base
5	PI	23 juillet 2014	Révisé - Émis pour ingénierie de base

Signatures Entec Inc.

Rapport préparé par :

Peter Inglis, E.I.T.
Directeur de projets, Installations sans tranchée

Rapport révisé par :

Dale Larison, P. Eng.
V.-P. Ingénierie



1. Introduction

Engineering Technology Inc. (Entec) a évalué un projet de traverse par forage dirigé horizontal (FDH) de la rivière Madawaska en Ontario pour le Projet Oléoduc Énergie Est. La traverse par FDH proposée d'un oléoduc en acier de 1067 mm (NPS 42) remplacera le pipeline de gaz naturel en acier existant de 914 mm (NPS 36) de TransCanada. L'information géotechnique a été fournie par LVM Inc. (LVM).

Un forage dirigé horizontal (FDH) d'intersection est jugé une méthode techniquement faisable pour la traverse proposée de la rivière Madawaska. Les considérations de conception et de faisabilité sont discutées dans ce rapport. Un forage par méthode d'intersection, dans laquelle deux FDH sont entrepris (un de chaque côté de la traverse) et se rencontrent (intersection) vers le centre de la traverse, est proposé en raison du besoin d'isoler la géologie de surface indésirable de la trajectoire de forage au moyen d'une gaine de forage. Même si techniquement un forage d'intersection possède deux « entrées », à des fins de clarté, le côté sur lequel la zone de préparation de l'oléoduc est contenue sera considéré la « sortie ».

2. Caractéristiques du site

2.1 Topographie

La traverse proposée est située à 63 km à l'ouest d'Ottawa, en Ontario, sur un site adjacent au chemin Stewartville. Le site de la traverse est environ à un kilomètre en aval du barrage hydroélectrique de la Centrale Stewartville de la compagnie Ontario Power Generation sur la rivière Madawaska. Veuillez vous reporter au dessin de conception préliminaire de l'Annexe B.

La vallée de la rivière Madawaska possède une profondeur d'environ 40 mètres, avec des parois de vallée relativement abruptes et des plateaux relativement plats au sommet de ces parois. La limite supérieure naturelle du niveau de l'eau n'a pas été déterminée en raison de l'influence du barrage hydroélectrique immédiatement en amont. Même si les aires de travail anticipées pour ce projet sont à l'extérieur des parois de la vallée principale, l'accès à la rive le long de la trajectoire de forage proposée est possible des deux côtés par des chemins existants. Le côté nord est actuellement fermé par une clôture d'Ontario Power. L'accès côté sud est bloqué par une barrière verrouillée (Ontario Power).

En raison de la géométrie de la vallée de la rivière et des changements de direction de l'emprise près de la rivière, un forage dirigé horizontal à l'intérieur de l'emprise existante n'est pas réalisable. La trajectoire de forage proposée pour le FDH dévie de l'emprise existante au nord du chemin Flat Rapids et revient près du chemin Stewartville au sud de la rivière.

L'entrée de la trajectoire de forage proposée est du côté nord de la rivière, à l'intérieur d'une zone défrichée existante, immédiatement au sud de l'emprise existante et au nord du chemin Flat Rapids. Il semble que cet espace dégagé existant serait adéquat pour une aire de travail de 50 m x 60 m, avec un minimum de travaux de nivelage et de déboisement requis. Un chemin existant partant du chemin Flat Rapids et traversant un chemin privé devrait constituer une route d'accès adéquate pour l'équipement. Alternativement, il sera possible d'accéder au site avec des travaux d'aménagement minimes directement à partir du chemin Flat Rapids et le long de l'emprise vers l'aire de travail. Pendant la visite du site, l'emprise était envahie par des herbes hautes et des arbustes. Cet emplacement a été choisi pour des considérations d'accès pour l'équipement et pour limiter les besoins en défrichage. Une portion de l'emprise existante nettoyée, adjacente à l'aire de travail, pourrait aussi être utilisée pour l'équipement et l'entreposage, le tout étant conditionnel à l'épaisseur du recouvrement et aux exigences de proximité de TransCanada Pipelines.

La sortie proposée est à environ 1073 m vers le sud-sud-est, adjacent à et au sud d'une route d'accès privée existantes, et aussi adjacente à et à l'ouest de l'emprise existante. Il semble qu'une aire de sortie de 40 m par 50 m



pourrait être aménagée dans cette zone avec un peu de défrichage dans la portion sud. L'accès pour l'équipement se ferait directement par le chemin Stewartville.

En raison de la présence de plusieurs demeures près de l'emprise existante et sensiblement dans l'axe de l'alignement proposé, l'espace de préparation sur le côté nord de la traverse a été jugé impraticable en raison de la grande variété d'équipements requis (et de l'espace requis en conséquence) pendant les opérations de tirage. Toutefois, en se fondant sur les observations sur le terrain, il semble que l'espace de travail le plus pratique pour le forage et le tirage du tuyau serait du côté sud de la traverse, près de l'emprise. L'information d'arpentage pour le profil du terrain de l'aire de préparation de l'oléoduc n'était pas disponible au moment de la rédaction de ce rapport. L'espace de préparation de l'oléoduc serait principalement situé sur une terre boisée ou défrichée, à l'intérieur ou près de la bordure de l'emprise. Il y a une ligne de transport d'électricité en hauteur qui traverse la route d'accès adjacente à l'espace de travail de la sortie et qui se prolonge en parallèle de l'espace de travail proposé et le long de l'emprise et de l'espace de préparation du tirage. Un espace de travail supplémentaire pourrait devoir être défriché pour permettre une distance suffisante avec la ligne de transport. L'espace de travail de préparation sera finalisé pendant l'étape de conception détaillée.

2.2 Conditions souterraines

Une étude géotechnique a été réalisée à cet emplacement par Entec et LVM à l'automne 2013. Cinq trous de forage près de la trajectoire de forage proposée, distribués le long de la trajectoire, ont été forés par George Downing Estate Drilling. L'inscription des données de forage et les tests en laboratoires ont été effectués par LVM et le rapport relatif à ceux-ci (24-P-0003858-0-00-300-GE-001-0A) est inclus dans l'Annexe D de ce rapport de faisabilité.

En général, la géologie trouvée dans la zone du projet est constituée de dépôts glaciomarins et marins de limon et d'argile, reposant sur un sous-sol rocheux constitué de couches interstratifiées de calcaire et de dolomie. Le sous-sol du Trou de forage 1, le plus près de l'entrée (que la trajectoire de forage traverse avant d'atteindre le sous-sol rocheux), est constitué d'un limon argileux meuble à légèrement compact et de limon argileux, jusqu'à une profondeur de 8,3 m sous la surface. Les conditions de sol rencontrées dans le Trou de forage 5, le plus près de la sortie, sont constituées de sable meuble et humide, d'argile et de gravier avec traces de limon, jusqu'à une profondeur de 10,4 m. Des blocs rocheux fracturés et des galets ont été trouvés sur une couche de 1,2 m au-dessus du sous-sol rocheux. La qualité moyenne du sous-sol rocheux était de passable à bonne, avec une moyenne de 68 % (RQD) et une résistance à la compression non confinée moyenne de 88 MPa.

En général, le sous-sol rocheux rencontré est favorable à une traverse par FDH. Le sous-sol rocheux principalement constitué de calcaire et de dolomie devrait fournir une bonne stabilité pour une durée de forage prolongée. Toutefois, on s'attend à ce que l'usure des outils de forage et une progression plus lente du forage influencent les coûts totaux et le calendrier du projet. Les zones fracturées du sous-sol rocheux (faible qualité) présentent un risque de pertes de liquides et une contamination possible de puits artésiens (discuté ci-dessous). Le sous-sol meuble et chargé en blocs rocheux rencontré au-dessus du sous-sol rocheux est généralement un matériau qui se prête mal à l'excavation d'un trou de forage, c'est pourquoi la conception proposée a été conçue principalement avec l'intention d'isoler la couche superficielle du sous-sol de la trajectoire de forage par le truchement d'une gaine de forage.

3. Considérations sur la conception des FDH

3.1 Contraintes exercées sur la canalisation

Les conditions d'exploitation de l'oléoduc ont été spécifiées par TransCanada. Pour la portion de conversion du Projet Oléoduc Énergie Est, la pression maximale d'exploitation (PME) est fixée à 6895 kPa. La PME spécifique de ce site, déterminée par la différence d'élévation entre la station de pompage en amont et le point le plus bas de la traverse, est moins élevée que cette pression. Les calculs de FDH pour cette traverse utilisent la PME de 6895 kPa du projet, puisqu'elle est plus conservatrice que la PME spécifique de l'emplacement. La canalisation sera soumise à des températures comprises entre 5 et 60°C. Une pression d'essai de 8619 kPa (1,25 x la PME) a aussi été spécifiée pour la canalisation. L'épaisseur de paroi minimale requise pour cette installation, sur la base des conditions



d'exploitation fournies, a été déterminée par Entec à 19,1 mm, avec l'utilisation d'un acier de grade 483 MPa. Un rayon de courbure minimum admissible pour l'installation de l'oléoduc a été déterminé sur la base de la contrainte maximale admissible combinant les effets de pression, de température et de cintrage.

Tableau 1 : Spécifications de l'oléoduc et conditions de procédé

Propriété	Valeur	Unités
Diamètre extérieur	1067	mm
Tolérance d'épaisseur (TÉ)	0	% de l'ÉPN
Épaisseur de paroi nominale	19,1	mm
Grade/Limite élastique minimale spécifiée (LEMS)	483	MPa
Catégorie	II	S. O.
T1 (température de conception minimale)	5	°C
T2 (température d'exploitation maximale)	60	°C
Pression maximale d'exploitation (PME)	6895	kPa
Pression d'essai (PE)	8619	kPa
Rayon minimal	530	m
Rayon de conception	1200	m

Puisqu'un forage dirigé horizontal utilise une section de tuyau préassemblée tirée dans un trou de forage courbé, la technique avec FDH utilise la déformation élastique admissible de la canalisation pour permettre l'installation de l'oléoduc. Pour accommoder cette contrainte de déformation, les matériaux utilisés pour la portion de FDH de l'oléoduc possèdent généralement une paroi plus épaisse ou un grade d'acier plus élevé que le reste de l'oléoduc.

Un rayon minimal de 530 mètres a été déterminé en fonction des déviations de guidage enregistrées lors de projets précédents de FDH à grand diamètre. Un rayon de conception de 1 200 m a été choisi pour accommoder une géométrie de trajectoire de forage et des tolérances de guidage de FDH pratiques. La contrainte maximale attendue pendant l'exploitation correspond à environ 99,33 % de la contrainte de cisaillement admissible. Selon la norme CSA-Z662-11, la contrainte de cisaillement admissible est égale à 50 % de la limite élastique minimale spécifiée (LEMS). Cette contrainte maximale serait observée à n'importe quel emplacement le long de la trajectoire de forage où le tuyau est assujéti au rayon minimal de 530 m. La canalisation choisie satisfait à toutes les exigences de la norme CSA-Z662-11 sous les conditions spécifiées. La détermination finale des conditions d'exploitation de l'oléoduc et des matériaux des canalisations sera effectuée lors de la conception détaillée.

La limite du rayon minimal spécifiée ne doit pas être dépassée, car les contraintes d'exploitation de la tuyauterie pourraient excéder les limites du matériau, provoquant la rupture de l'oléoduc. Toutes les déviations mesurées dans la géométrie du trou de forage pendant la construction et qui excèdent cette limite devraient être immédiatement corrigées.

La géométrie de l'oléoduc devrait être calculée à l'aide de la méthode de courbure minimale, qui est une norme acceptée de l'industrie pour le forage dirigé horizontal. Les mesures d'inclinaison à la verticale du trou de forage et de la direction (azimut) sont généralement prises au minimum à tous les 10 mètres et mises en moyenne avec les trois dernières mesures prises. Ceci procure une valeur de mesure de la courbe du trou de forage légèrement lissée; ceci est devenu une spécification généralement utilisée pour les forages horizontaux dirigés.



3.2 Géométrie

Selon les informations de spécifications de l'oléoduc, de géométrie particulière de l'emplacement et géotechniques, un forage dirigé horizontal semble faisable à cet emplacement. La profondeur de la trajectoire de forage proposée a été conçue pour s'adapter à la géométrie générale de la vallée de la rivière et aux aires de travail présélectionnées, comme discuté à la Section 2.0, et pour minimiser la longueur de gaine de forage nécessaire pour isoler le matériel du terrain de couverture (discuté ci-dessous). La tangente d'entrée a été déterminée à 17 degrés (en général, près de l'angle d'entrée maximal pour les machines de forage de FDH) afin de minimiser la longueur de forage entre la surface et la partie supérieure du sous-sol rocheux. La tangente de sortie a été conçue à 12 degrés pour faire un compromis entre le besoin de limiter la longueur de gaine de forage requise pour atteindre le sous-sol rocheux et celui de minimiser la hauteur de soulèvement requise pour permettre à la section de tirage de pénétrer dans le trou de forage. En raison du grand rayon de cintrage requis pour un oléoduc de cette dimension et des angles d'entrée et de sortie relativement prononcés, le trou de forage sera relativement profond en dessous du cours d'eau. L'épaisseur de couverture minimale sous la rivière sera d'environ 44,8 m. La longueur totale du forage sera d'environ 1092 m.

Un forage se faisant d'une élévation basse vers une élévation légèrement plus élevée est désirable afin de minimiser la pression annulaire pendant le forage du trou pilote et de favoriser le retour du fluide vers la machine de forage pendant la durée du forage; cependant, des changements d'élévation faibles produisent habituellement des retours de fluide vers les deux extrémités du forage et c'est ce qui est attendu pour la traverse de la rivière Madawaska. Reportez-vous au dessin de conception préliminaire de l'Annexe B pour la géométrie détaillée de la trajectoire de forage.

3.3 Gaine de forage

Pour atténuer les effets négatifs, les matériaux faibles ou non consolidés sont généralement isolés du trou de forage à l'aide d'une gaine de forage en acier préinstallée, qui permet le passage des outils de forage vers les matériaux plus convenables, comme l'argile raide ou le sous-sol rocheux.

Le Trou de forage 1 (BH-1), le plus près de l'entrée, a mis à jour du limon argileux et de l'argile limoneuse meubles à compacts au-dessus du sous-sol rocheux, jusqu'à une profondeur de 8,3 m. En général, ces matériaux pourraient s'avérer acceptables pour un FDH petit et de courte durée. Toutefois, les projets à grand diamètre et d'une durée prolongée, comme celui de la rivière Madawaska, présentent un risque accru en raison de l'instabilité du trou de forage, puisque l'argile meuble et le limon absorbent l'humidité des fluides de forage et s'érodent au fil du temps. Par conséquent, il est suggéré qu'une gaine de forage de 31 m soit installée jusqu'au sous-sol rocheux à un angle de 17 degrés afin de réduire le risque représenté par l'instabilité du trou de forage pendant toute la durée du projet. Le trou de forage le plus près de la sortie, BH-5, contenait un sous-sol de recouvrement meuble et des blocs fracturés qui doivent être isolés de la trajectoire de forage. Il est recommandé que les 11,6 mètres de sous-sol de surface, près de la sortie, soient isolés du trou de forage. Par conséquent, une gaine de forage de 53 m est requise à un angle de 12 degrés du côté de la sortie.

Il est recommandé que le diamètre de la gaine de forage soit au minimum de 0,3 m (12 pouces) plus grand que celui du trépan aléueur de l'étape finale. Pour ce projet, on s'attend à ce que la dimension de l'alésage final soit de 1372 mm (54 po). Le diamètre du trou de forage est discuté à la section 3.5 ci-dessous. Par conséquent, le diamètre de gaine de forage minimum recommandé est de 1676 mm (66 po)

Il est improbable qu'une gaine de plus de 40 m de longueur puisse être installée en une seule longueur, en raison du frottement superficiel entre la surface de la gaine et les sols environnants. Par conséquent, il est souvent nécessaire de « télescoper » la gaine jusqu'au sous-sol rocheux, méthode dans laquelle une section de grande largeur est d'abord installée jusqu'à une profondeur maximale, avant d'être vidée à la tarière. La prochaine gaine de diamètre plus petit est ensuite installée à la base à travers la plus large et enfoncée sur la distance restante jusqu'au fond rocheux. Pour des gaines mesurant jusqu'à 75 m, il est recommandé que la gaine initiale de 1829 mm (72 po) (dia. ext.) soit installée jusqu'au refus, qu'elle soit vidée à la tarière et complétée avec une gaine de 1676 mm (66 po) (dia. ext.) installée jusqu'au sous-sol rocheux.



3.4 Dimensions de l'équipement

Les traverses de ce diamètre et d'une telle distance sont considérées de gros projets de FDH. Plusieurs traverses par FDH de diamètre et de longueur similaires ont été réalisées au Canada. La force de traction nécessaire pour l'installation de cet oléoduc est estimée à 432 988 lb. Cependant, en raison du diamètre du trou de forage nécessaire pour cet oléoduc, un appareil de forage possédant un couple de rotation suffisant pour faire tourner l'outillage de forage est nécessaire. La capacité minimale suggérée pour l'appareil de forage qui sera utilisé pour ce projet est : 625 000 lb de force de tirage/poussée et 80 000 pi-lb de couple de rotation. Plusieurs entrepreneurs en FDH canadiens possèdent l'équipement et l'expertise nécessaires pour installer de façon sécuritaire un oléoduc de cette taille.

3.5 Diamètre du trou de forage

Le trou de forage pour une traverse par FDH doit être plus large que la canalisation à installer. Ceci, permet d'allouer un jeu pour le déplacement des déblais qui pourraient ne pas avoir été délogés du trou, ainsi que pour permettre aux liquides de forage de circuler jusqu'à l'entrée ou la sortie, selon les progrès du tirage. Un trou de forage plus grand permet aussi de tolérer quelques petites déviations dans la géométrie du trou de forage, même si ceci n'est pas, en général, explicitement calculé ou prévu pendant la conception. La norme de l'industrie prévoit l'utilisation d'un trou de forage d'au moins 1,5 fois le diamètre de la canalisation pour les tuyaux de 0,61 m ou moins ou, pour les tuyaux plus grands que 0,61 m, le diamètre du tuyau plus 0,3 m. Dans plusieurs cas, il est nécessaire d'augmenter le diamètre du trou de forage au-delà de ces minimums pour contrebalancer les conditions de trou défavorables, comme la présence de pierres, de roches ou de roches fracturées, ou pour permettre plus d'espace pour les déviations attendues dans le trou de forage.

Pour cette canalisation de 1067 mm, un diamètre de trou de forage minimal de 1372 mm (54 po) est requis. Ultimement, l'entrepreneur en FDH sera responsable de l'évaluation des conditions de forage et de la condition du trou de forage pendant les opérations de forage, afin de déterminer si un format de trépan aléueur plus gros est nécessaire pour installer l'oléoduc de façon sécuritaire. Si des problèmes sont redoutés avec le trou de forage, il est recommandé de procéder, avant le tirage de l'oléoduc, au tirage d'une section de canalisation d'essai de 30 m de long, possédant les mêmes spécifications et le même revêtement que l'oléoduc à installer, et que celle-ci soit vérifiée pour y déceler d'éventuels dommages au revêtement et à la section de tuyau. Ceci peut aider à déterminer si un trépan aléueur plus gros ou un autre conditionnement du trou est nécessaire avant de tirer la section entière de la canalisation.

3.6 Soulèvement de la canalisation et rupture

Avant d'être tirée sous la rivière, la section d'oléoduc sera habituellement étendue en une section continue. Une aire de travail d'une largeur approximative de 20 mètres sera requise pour une longueur équivalente à la longueur totale du forage (environ 1150 mètres, incluant un espace additionnel pour les mouvements de l'équipement), vers la direction est/sud-est à partir du point de sortie. Pour réduire la friction et éviter les dommages à la canalisation, celle-ci devra être tirée à un angle égal à celui du trou de forage. Pour cela, la section principale devra être soulevée sous forme de courbe à l'aide de tracteurs à flèches latérales et de grues équipées de berceaux de levage de tuyau. Les points de levage devront être espacés de façon à limiter les contraintes dans le tuyau. Un plan de levage détaillé (charge des points de levage, hauteurs et espacements) devra être développé pour cette traverse pendant la phase d'ingénierie détaillée.

3.7 Contrôle de la flottabilité

Puisqu'il s'agit d'une canalisation de grand diamètre, les forces de flottabilité (poussée hydrostatique) sont significatives. L'utilisation d'un programme de contrôle de la flottabilité visant à minimiser l'installation de forces de tirage et les contraintes d'installation sur la canalisation et le revêtement est nécessaire. Le programme de contrôle



de la flottabilité devrait consister à remplir complètement la canalisation avec de l'eau ou à remplir une doublure avec de l'eau pour créer une condition de flottabilité neutre.

4. Faisabilité du FDH, risques associés et mesures d'atténuation

4.1 Perte de contrôle du guidage

Les formations de sol meuble ou des changements majeurs dans les propriétés des formations peuvent engendrer des problèmes de guidage. Ces problèmes surviennent lorsque la formation n'offre pas assez de résistance au trépan pour lui permettre d'effectuer un changement de direction. À l'intersection de formations plus dures, comme le sous-sol rocheux, une géologie plus dure, des laminations ou des inclusions peuvent empêcher le trépan de répondre aux commandes de direction à un angle d'incidence peu élevé ou le faire dévier hors limite à un angle d'incidence plus élevé. Si des déviations dépassant les tolérances sont mesurées, une petite portion du trou de forage est habituellement forée à nouveau pour permettre d'effectuer des réglages à la trajectoire du trou de forage. Dans les cas extrêmes, il peut être nécessaire de forer à nouveau en élargissant le trou et, si nécessaire, de cimenter une partie du forage. Le déplacement de la foreuse à un autre endroit pour reprendre le forage, habituellement dans le même espace de travail, est aussi une possibilité. Réduire le diamètre du trépan et utiliser un angle de cintrage plus élevé sur le moteur à boue peuvent aider à pénétrer des formations plus dures, mais cela peut aussi mener à des déviations importantes lors du forage d'une formation géologique inattendue. Il est possible que plusieurs tailles de trépan aléueur et plusieurs configurations d'angle de cintrage soient nécessaires pour compléter le trou pilote dans le respect des tolérances. On ne prévoit aucune difficulté de forage sur le site de la rivière Madawaska. Toutefois, en raison de la nature variable de la géologie, le risque de rencontrer des formations géologiques non identifiées est toujours présent pendant un FDH.

4.2 Perte de circulation et fuites de fluide

Le risque de perte de fluide est à son niveau le plus élevé lors du forage du trou pilote, alors que la petite taille du trou de forage entraîne une pression circulatoire plus élevée et que les déblais peuvent plus facilement boucher le trou. Le fluide peut se propager dans des failles du sous-sol rocheux, des matériaux meubles déplacés ou le vide entre les matériaux non consolidés. Un système de fluide de forage adéquatement entretenu et planifié par un technicien en fluides de forage expérimenté est essentiel. La perte de circulation peut affecter les coûts et les échéanciers en augmentant les additifs pour fluide de forage nécessaires, le temps requis pour mélanger le nouveau fluide de forage, la quantité d'eau nécessaire et la fréquence des va-et-vient et des nettoyages du trou pour réduire la pression annulaire. Dans certains cas, une perte de circulation incontrôlée requiert qu'une partie du trou de forage soit cimentée et forée à nouveau. Dans d'autres cas, la perte de circulation dans le trou de forage ne peut être prévenue et entraîne des fuites dans la surface du sol ou une masse d'eau. C'est ce qu'on appelle communément une fracturation (frac-out). L'entrepreneur en FDH doit avoir de l'équipement de surveillance en place pour détecter toute fracturation ainsi que de l'équipement, des matériaux et des procédures prêts pour contenir et nettoyer les pertes de fluide par fracturation. Le risque de fracturation peut être réduit en gardant la pression du fluide de forage basse, en gardant le trou de forage propre, en utilisant un fluide de forage aux propriétés adéquates, en permettant un temps de circulation et un volume adéquats pour éliminer les déblais et en procédant à des va-et-vient pour nettoyer mécaniquement le trou de forage.

L'isolement du sous-sol de surface à l'emplacement de la rivière Madawaska aidera à réduire les chances de pertes de fluide dans les matériaux meubles. La qualité généralement bonne du sous-sol rocheux est aussi un argument favorable aux faibles pertes de fluide. Malgré tout, des fractures non identifiées ou des vides non identifiés dans les formations de calcaire présentent un risque de perte de fluide. Le contrôle vigilant du fluide de retour et une gestion active des formations avec des additifs pour fluide de forage sont essentiels au succès d'un FDH.



4.3 Instabilité du trou de forage

Pour diminuer les risques d'effondrement du trou de forage en sol non consolidé, la circulation d'équipements au-dessus de la trajectoire de forage devrait être limitée le plus possible. Ceci vaut surtout pour la région directement au-dessus de l'extrémité de toute gaine. Utiliser un fluide de forage aux propriétés adéquates réduit les chances d'effondrement du trou de forage. Une attention particulière doit être portée afin de ne pas enlever un excès de matériel à l'extrémité de la gaine de forage en évitant d'effectuer des va-et-vient trop fréquents et en limitant le plus possible la circulation à cet endroit. Les zones où la géométrie du trou de forage peut devenir inadéquate pour le tirage de la canalisation sont les zones de transition d'un matériau plus dur à un matériau meuble, comme les transitions à l'extérieur de la gaine de forage ou du sous-sol rocheux au terrain de couverture. Les endroits pouvant contenir du sable, du gravier ou des galets peuvent aussi s'avérer problématiques. L'effondrement d'un trou de forage peut aussi coincer l'équipement et en causer la perte ainsi que l'abandon du trou. Asseoir complètement la gaine de forage dans le sous-sol rocheux ou cimenter la transition aidera à atténuer les risques d'une canalisation coincée pendant la procédure de tirage.

4.4 Infiltration d'eau

En cas d'écoulement artésien important, l'apport d'eau peut être stoppé ou réduit à l'aide de coulis d'injection. Si l'écoulement ne peut être arrêté, des têtes de circulation peuvent être utilisées pour rediriger l'eau ainsi produite vers l'équipement de nettoyage et d'évacuation. Si la quantité d'eau est importante, le trou de forage peut être cimenté et le projet de FDH abandonné. L'infiltration d'eau augmente l'instabilité du trou de forage et ses risques associés. Aucun plan d'eau artésien n'a été rencontré pendant l'étude géotechnique et ceci n'est pas attendu à l'emplacement de cette traverse.

4.5 Dommages au revêtement ou à la canalisation

Pendant le tirage du produit, des déformations ou des objets comme des galets, des blocs ou des morceaux du sous-sol rocheux fracturé peuvent causer des dommages significatifs au revêtement de la canalisation. Un travail soigné doit être accompli pour s'assurer que le trou de forage est bien nettoyé, ce qui est important pour minimiser les risques d'endommagement du revêtement. Des contrôles d'ingénierie, comme un programme de contrôle de la flottabilité (discuté à la section 3.7) et, dans le cas présent, la demande d'une gaine de forage du côté de la sortie pour réduire les risques de présence de galets ou de blocs rocheux tirés dans le trou de forage aident à atténuer ces risques. Cependant, des zones très abrasives dans les forages percés dans un sous-sol rocheux dur, comme celui de la rivière Madawaska, peuvent demeurer présentes après le nettoyage du trou. Il est recommandé que des mesures d'atténuation des dommages au revêtement, comme une protection cathodique, soient prises en considération.

4.6 Canalisation coincée

Le gonflement de matériaux comme l'argile et le schiste peut rétrécir le diamètre du trou de forage et mener à des problèmes de nettoyage du trou ainsi qu'au coincement de la canalisation lors de la procédure de tirage. Les problèmes de gonflement deviendront de plus en plus sévères au fur et à mesure que le trou de forage sera exposé au fluide de forage et que les matériaux y seront exposés. Puisque cette canalisation nécessitera un trou très large et plusieurs alésages, on peut s'attendre à ce que le gonflement potentiel de la géologie devienne réalité. Des additifs pour fluide de forage peuvent être utilisés pour contrôler le gonflement de l'argile, si celui-ci devient problématique. Le contrôle du taux de pénétration pour permettre à un volume adéquat de fluide de forage d'être injecté pour transporter les déblais, combiné à une agitation régulière des déblais pour permettre leur retour en suspension dans le fluide en effectuant des aller-retour avec les trépan aléseurs jusqu'au point d'entrée pour le nettoyage, seront essentiels pour le maintien d'un trou de forage ouvert. Du sable, limon ou gravier vaseux sont aussi des causes de canalisation coincée. Utiliser un fluide de forage aux propriétés adéquates au maintien d'un trou de forage ouvert et effectuer des passes de nettoyage adéquates avant le tirage de la canalisation aideront à réduire le risque d'obstruction du trou de forage par la chute de matériaux. Même si le sous-sol rocheux qui sera rencontré dans la plus grande partie de la trajectoire de forage devrait fournir une bonne stabilité au trou de forage, le sous-



sol près de la surface, constitué de limon, d'argile et de sable meuble, contenant des galets et des blocs, pose un risque pour la stabilité du trou de forage et présente un potentiel de coincement du tuyau. Les recommandations concernant une gaine de forage faites à la Section 3.3 ont pour but d'isoler ce matériau du trou de forage et de réduire le risque de coincement des outils ou du tuyau pendant l'étape du tirage.

La canalisation peut se coincer si le trépan aléreur accroche l'extrémité de la gaine de forage. Ce problème est souvent causé par une surexcavation à l'extrémité de la gaine de forage ou un trou non centré. Ce risque peut être atténué lors de la conception en choisissant une gaine de forage plus grande. Un entrepreneur expérimenté est capable de choisir les bons outils de forage et de suivre les procédures adéquates pour minimiser la surexcavation des zones critiques. Si le trépan aléreur se coince à l'extrémité de la gaine de forage, l'entrepreneur peut tenter de faire tourner l'aléreur dans la gaine ou de retirer la gaine en conjonction avec le tirage de la canalisation. Exercer une force trop grande sur le trépan aléreur coincé peut mener au bris du tuyau de forage.

4.7 Usure et défaillance des outils de forage

Les outils de FDH à diamètre important, comme ceux requis pour ce projet, exercent des charges élevées sur le train de forage, qui peuvent s'accumuler et causer des défaillances d'usure. Il faut faire très attention dans les trous de forage de grande taille et dans les formations meubles pour ne pas exercer une compression axiale trop forte sur le train de forage, car celui-ci est alors courbé et poussé hors de la ligne, causant une défaillance par flexion ou flexion répétée. Le moyen le plus commun d'atténuer ce risque est de réduire les contraintes sur le train de forage en exerçant une tension du côté de la sortie de la traverse afin de fournir la force nécessaire au forage de la formation tandis que l'appareil de forage ne fournit que la torsion de l'autre côté. Cette pratique diminue la pression exercée par la flexion cyclique du train de forage. Il est aussi essentiel d'avoir recours à un train de forage continu du point de pénétration jusqu'au point de sortie, car, en cas de défaillance, il peut être récupéré sans avoir recours à une opération de repêchage.

Une autre considération majeure pour la faisabilité de ce projet est la durée du forage. Le sous-sol rocheux principalement composé de calcaire et de dolomie que l'on s'attend à rencontrer dans la majorité du forage fournira probablement une bonne stabilité au trou de forage et permettra un nettoyage efficace des déblais. Cependant, ce sous-sol rocheux pourrait contribuer à l'usure de l'outillage de forage dans les zones plus dures, ce qui aura un impact sur les coûts et les échéanciers globaux, en raison du temps passé à effectuer des opérations de va-et-vient pour remplacer les trépans et aléleurs, en plus des taux de progression généralement bas pour la durée principale du forage. Un choix d'outillage judicieux et adapté à la géologie sera essentiel de la part de l'entrepreneur pour que l'ensemble du projet se fasse dans un échéancier minimal.

4.8 Risques environnementaux

Le risque environnemental principal d'un FDH est la fuite du fluide de forage dans le sol ou dans une masse d'eau (section 4.2). Ceci entraîne habituellement l'adoption de mesures de confinement pendant le forage et de correction après l'installation de la canalisation. Dans les cas graves, le FDH doit être abandonné pour prévenir des dommages environnementaux plus importants.

Les autres risques principaux associés à une traverse par FDH sont liés au déversement d'hydrocarbures, à la sédimentation et à la pollution sonore.

Les machines de FDH sont généralement alimentées par des moteurs au diesel et des systèmes hydrauliques. Tous deux présentent le risque de déversements d'hydrocarbures. Ces déversements sont habituellement contenus et nettoyés par le personnel sur place à l'aide de troussees antidéversements disponibles. Reportez-vous au plan de protection environnementale pour les considérations détaillées sur les hydrocarbures.

La libération de sédiments pourrait survenir si les mesures adéquates ne sont pas prises pour contrôler le ruissellement de surface à partir des aires de travail et des routes d'accès. Une planification du confinement des ruissellements de surface aide à atténuer et à contrôler ce risque.



Les opérations de forage dirigé horizontal se poursuivent habituellement 24 heures par jour pour les traverses de grande taille. Des moteurs au diesel, de l'équipement mobile et de l'équipement de martelage pneumatique de grande taille sont souvent utilisés. S'il n'est pas atténué adéquatement, le bruit qui en découle peut entraîner des plaintes de la part des résidents du voisinage. Les mesures d'atténuation peuvent comprendre des écrans acoustiques, de meilleurs silencieux ou des horaires restreints pour certains équipements. Le forage dirigé horizontal avec méthode d'intersection proposé à cet emplacement nécessite l'utilisation de marteaux pneumatiques pour enfoncer la gaine à l'entrée et à la sortie. Les résidents voisins pourraient être dérangés par le bruit pendant l'installation de la gaine et, en général, par le bruit de l'équipement pendant les opérations qui se poursuivent jour et nuit. Il est suggéré que l'entrepreneur en FDH sélectionné prévoit des mesures d'atténuation du bruit.

Actuellement, quatre puits artésiens ont été identifiés (profondeurs à déterminer pendant la conception détaillée) en proximité de la trajectoire de forage (entre 29,0 et 68,9 m de distance). Le fluide de forage à haute pression nécessaire pour retirer les déblais d'un trou de forage par FDH possède le potentiel de migrer à travers les matières poreuses ou les fractures dans le sous-sol rocheux naturel et vers les nappes aquifères ou les puits artésiens voisins. Même si elles n'ont pas été expressément identifiées au cours de l'étude géotechnique, ces caractéristiques pourraient être présentes et constituent un risque de contamination des puits artésiens voisins. Il est suggéré que TransCanada prépare des tests avant et après les travaux et des mesures d'atténuation en collaboration avec les propriétaires de puits, dans l'éventualité où une contamination se produirait.

4.9 Autres risques à considérer

L'échec de la méthode principale de traverse est toujours une possibilité. Une méthode de traverse alternative est nécessaire si la méthode principale est abandonnée. Selon les étapes menant à l'abandon de la première tentative de traverse, la première option pourrait être d'essayer à nouveau la méthode de traverse principale. Si cette option n'est pas disponible ou ne respecte pas les seuils de tolérance du projet, la méthode alternative doit être utilisée. Le dessin de conception préliminaire pour la méthode alternative de traverse en tranchée est inclus à l'Annexe C.

5. Conclusion

Selon l'information dont Entec disposait au moment de la rédaction de ce rapport, la traverse par FDH proposée de la rivière Madawaska est considérée techniquement faisable. Une gaine de forage est requise des deux côtés de la traverse afin d'isoler la trajectoire de forage des conditions géologiques défavorables. Parce qu'une gaine est requise des deux côtés de la traverse, le forage d'un trou pilote par méthode d'intersection est nécessaire. Les contraintes auxquelles seront assujetties les canalisations ont été examinées par Entec et le rayon de conception de 1 200 m a été confirmé. Les risques comprennent l'instabilité du trou de forage en raison de la présence de sols près de la surface constitués de limon, d'argile et de sable meubles, contenant des galets et des blocs, ainsi que la perte de circulation en raison de fractures dans le sous-sol rocheux. Un rapport de faisabilité final et un dessin de conception final seront émis dans la phase d'ingénierie détaillée.



Annexe A

Sommaire des calculs



Annexe B

Dessin de conception



Annexe C

Dessin de traverse alternative



Annexe D

Information géotechnique