



**Estimation des coûts et aide à la prise de décisions en lien avec la gestion
des traverses de cours d'eau au Québec dans un contexte de chemins à
faible fréquentation**

Mémoire

Olivier Ferland

Maîtrise en sciences forestières – avec mémoire
Maître ès sciences (M. Sc.)

Québec, Canada

© Olivier Ferland, 2022

Résumé

En forêt publique québécoise, les traverses de cours d'eau sont principalement aménagées par l'industrie forestière et leur entretien revient aux utilisateurs qui les fréquentent régulièrement. Celles qui sont situées sur des chemins à faible fréquentation peuvent être laissées à l'abandon après leur utilisation intensive. Cette étude vise à orienter la prise de décisions en lien avec l'aménagement de ces ouvrages lors de la planification du développement de ces chemins en comparant trois modes de gestion. Ils sont l'abandon d'un ponceau simple, la fermeture à l'échelle d'un ponceau simple ou d'un ouvrage amovible et la mise hors service d'un ponceau simple. Pour chaque mode de gestion, la nature des interventions a été documentée dans une structure de découpage des opérations, leurs coûts ont été estimés à l'aide d'évaluations à trois valeurs (optimistes, probables, pessimistes) et les facteurs pouvant les influencer ont été regroupés en critères potentiels d'efficacité. Les données recherchées ont été obtenues par la consultation de la littérature scientifique et grise, la consultation d'experts et la documentation de sites d'étude. Les résultats qui découlent de leur analyse se limitent aux interventions associées à l'aménagement et au démantèlement des traverses de cours d'eau. Pour un ponceau simple, ils suggèrent que l'abandon est le mode de gestion le moins coûteux, mais qu'il comporte les plus grands impacts et risques. La fermeture permet d'éviter ces impacts à des coûts inférieurs au double des coûts de l'abandon. La mise hors service, qui utilise les traverses à gués aménagées par enrochement, permet aussi de limiter ces impacts tout en maintenant un accès limité au territoire, et ce, à des coûts inférieurs ou similaires au double des coûts de l'abandon. Les résultats suggèrent aussi que la fermeture suite à l'usage d'un ouvrage amovible pourrait être moins coûteuse que l'abandon pour les ouvrages de grandes dimensions.

Table des matières

Résumé	ii
Table des matières	iii
Liste des tableaux	v
Liste des figures	viii
Introduction	1
Mise en contexte	1
Objectifs de recherche	4
Chapitre 1 : Méthodes de recherche	7
Processus d'acquisition de données	7
Processus d'analyse des données	11
Chapitre 2 : Mode de gestion par abandon	15
Introduction	15
Structure de découpage des opérations	15
Évaluation à trois valeurs	23
Critères potentiels d'efficacité	33
Chapitre 3 : Mode de gestion par fermeture	38
Introduction	38
Structure de découpage des opérations : Ponceau simple	39
Évaluation à trois valeurs : Ponceau simple	49
Critères potentiels d'efficacité : Ponceau simple	58
Structure de découpage des opérations : Ouvrage amovible	63
Évaluation à trois valeurs : Ouvrage amovible	82
Critères potentiels d'efficacité : Ouvrage amovible	91
Chapitre 4 : Mise hors service	98
Introduction	98
Structure de découpage des opérations	100
Évaluation à trois valeurs	118
Critères potentiels d'efficacité	127
Chapitre 5 : Discussion	132
Récapitulatif des résultats	133
Comparaison des modes de gestion	134
Limites et biais	139

Conclusion.....	144
Bibliographie.....	145
Annexe 1 : Mode de gestion par abandon	150
Annexe 2 : Mode de gestion par fermeture – Ponceau simple.....	156
Annexe 3 : Mode de gestion par fermeture – Ouvrage amovible	160
Annexe 4 : Mode de gestion par mise hors service	163

Liste des tableaux

Tableau 1.1.1 : Coût des matériaux – Ponceau simple et conduit de drainage de fossés.....	25
Tableau 1.1.2 : Manutention des matériaux – Ponceau simple et conduits de drainage des fossés.....	26
Tableau 1.2.6: Évaluation à trois valeurs: Installation du ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm, 1200 à 2000 mm et 2200 à 3000 mm.....	27
Tableau 1.3.4 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Conduits de drainages des fossés TTOAG 300 à 450 mm x 9 m et 300 à 450 mm x 12 m. ...	29
Tableau 1.4.1 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm.....	30
Tableau 1.4.2 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple TTOAG 1200 à 2000 mm.....	30
Tableau 1.4.3 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple TTOAG 2000 à 3000 mm.....	31
Tableau 1.5.1 : Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par abandon - Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm, 1200 à 2000 mm et 2200 à 3000 mm.....	32
Tableau 2.2.2 : Retrait du ponceau simple – TTOAG 450 à 1000 mm et 1200 à 2000 mm (données transformées).....	51
Tableau 2.2.3 : Évaluation à trois valeurs : Retrait du ponceau simple – TTOAG 450 à 1000 mm et 1200 à 2000 mm.....	52
Tableau 2.3.3 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Fossés de déviation.....	53
Tableau 2.4.1 : Évaluation à trois valeurs : Stabilisation finale – Paillis et semences.....	54
Tableau 2.5 : Manutention – Matières résiduelles.....	55
Tableau 2.6 : Évaluation à trois valeurs : Démantèlement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm.....	56
Tableau 2.7 : Évaluation à trois valeurs : Démantèlement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple TTOAG 1200 à 2000 mm.....	56
Tableau 2.8 : Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par fermeture – Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm et 1200 à 2000 mm.....	57
Tableau 3.1.1 : Coût des matériaux (réparti sur 5 utilisations) – Ouvrage amovible.....	83
Tableau 3.2.2 : Évaluation à trois valeurs : Préparation.....	84
Tableau 3.3 : Évaluation par des experts : Manutention initiale des matériaux – Ouvrage amovible et conduits de drainage des fossés.....	85

Tableau 3.4.3 : Évaluation à trois valeurs : Installation de l’ouvrage amovible PLM 5 à 6 m et LT 6,2 à 7,2 m.	86
Tableau 3.5 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Conduits de drainage des fossés TTOAG 300 à 450 mm x 9 m.....	86
Tableau 3.6 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d’eau – Ouvrage amovible PLM 5 à 6 m ou LT 6,2 à 7,2 m.	87
Tableau 3.7.2 : Retrait de l’ouvrage amovible : Données transformées.	88
Tableau 3.7.3 : Évaluation à trois valeurs : Retrait de l’ouvrage amovible PLM 5 à 6 m et LT 6,2 à 7,2 m....	88
Tableau 3.8 : Évaluation par des experts : Manutention finale – Matériaux et matières résiduelles.	89
Tableau 3.9 : Évaluation à trois valeurs : Démantèlement de la traverse de cours d’eau – Ouvrage amovible PLM 5 à 6 m ou LT 6,2 à 7,2 m.	90
Tableau 3.10 : Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par fermeture – Ouvrage amovible PLM 5 à 6 m ou LT 6,2 à 7,2 m.	91
Tableau 4.1 : Équivalence et base comparative entre les ouvrages à l’étude.	118
Tableau 4.2 : Évaluation à trois valeurs : Démantèlement partiel de la traverse de cours d’eau conventionnelle – Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm et 1200 à 2000 mm.....	120
Tableau 4.3.1 : Coût des matériaux – Traverse à gué aménagée par enrochement (sites d’étude).....	122
Tableau 4.3.3.1 : Évaluation à trois valeurs : Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 2) – Classe 0 à 2 m.	123
Tableau 4.3.3.2 : Évaluation à trois valeurs : Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 2) – Classe 2 à 4 m.	123
Tableau 4.3.3.3 : Évaluation à trois valeurs : Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 2) – Classe 4 à 6 m.	123
Tableau 4.4 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d’eau alternative – Traverse à gué aménagée par enrochement (Classe 0 à 2 m).....	124
Tableau 4.5 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d’eau alternative – Traverse à gué aménagée par enrochement (Classe 2 à 4 m).....	125
Tableau 4.4 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d’eau alternative – Traverse à gué aménagée par enrochement (Classe 4 à 6 m).....	125
Tableau 4.5 : Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par mise hors service – Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm (TAGE : Classe 0 à 2 m).....	126
Tableau 4.6 : Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par mise hors service – Ponceau simple TTOAG 1200 à 2000 mm (TAGE : Classe 2 à 4 m).....	127
Tableau 5.1 : Récapitulatif des résultats de l’étude.	133

Tableau 5.2 : Comparaison des coûts potentiels : Mode de gestion par abandon et par fermeture d'un ponceau simple.	135
Tableau 5.3 : Comparaison des coûts potentiels : Mode de gestion par abandon d'un ponceau simple et mode de gestion par fermeture d'un ouvrage amovible.	136
Tableau 5.4 : Comparaison des coûts potentiels : Modes de gestion par abandon et par mise hors service d'un ponceau simple.	137
Tableau 5.5 : Comparaison des coûts potentiels : Modes de gestion par fermeture et par mise hors service d'un ponceau simple.	138
Tableau 1.2.1 : Revue de la littérature scientifique et grise et avis des experts - Installation du ponceau simple (données brutes).	150
Tableau 1.2.3 : Installation du ponceau simple – TTOAG 450 mm à 1000 mm (données transformées).	151
Tableau 1.2.4 : Installation du ponceau simple - TTOAG 1200 à 2000 mm (données transformées).	152
Tableau 1.2.5 : Installation du ponceau simple - TTOAG 2200 à 3000 mm (données transformées).	152
Tableau 1.3.1: Revue de la littérature scientifique et grise et les évaluations par des experts - Installation d'un conduit de drainage (données brutes).	153
Tableau 1.3.2 : Installation des ponceaux de drainage 300 à 450 mm x 9 m (données transformées).	154
Tableau 1.3.3 : Installation des ponceaux de drainage 300 à 450 mm x 12 m (données transformées).	155
Tableau 2.2.1 : Documentation des travaux – Retrait du ponceau simple (données brutes).	156
Tableau 2.3.1 : Documentation des travaux et évaluations par des experts : Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Fossés de déviation (données brutes).	157
Tableau 2.3.2 : Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Fossés de déviation (données transformées).	158
Tableau 2.4.2. : Documentation des travaux et évaluations par des experts : Stabilisation finale – Paillis et semences (données transformées).	159
Tableau 3.2.1 : Préparation – Ouvrage amovible (données brutes et transformées).	160
Tableau 3.4.1 : Installation de l'ouvrage amovible – Données brutes.	161
Tableau 3.4.2 : Installation de l'ouvrage amovible – Données transformées.	161
Tableau 3.7.1 : Documentation des travaux de fermeture de chemin et évaluations par des experts : Retrait de l'ouvrage amovible (données brutes).	162
Tableau 4.3.2.1 : Documentation des travaux – Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (données brutes).	163
Tableau 4.3.2.1 : Documentation des travaux – Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (données transformées).	164

Liste des figures

Figure 1.1 : Structure de découpages des opérations (SDO).....	5
Figure 1.2 : SDO et unité d'échantillonnage	7
Figure 1.3 : SDO et évaluation à trois valeurs d'un mode de gestion.....	12
Figure 1.4 : SDO et évaluation à trois valeurs d'un lot de travail de niveau 2	14
Figure 2.1 : Structure de découpage des opérations – Mode de gestion par abandon.	16
Figure 2.2 : Efficacité : Fonctions, risques et coûts – Mode de gestion par abandon.....	37
Figure 3.1 : Structure de découpage des opérations – Mode de gestion par fermeture – Ponceau simple.	40
Figure 3.2.1 : Retrait du matériel de remblai - Site T2C-008-9 (15 août 2019, Lanaudière).....	43
Figure 3.2.2 : Fossé déviation – Site 150+915 (16 novembre 2020, Mauricie).....	47
Figure 3.2.3 : Stabilisation des surfaces exposées à l'érosion et établissement d'un couvert végétal de protection des sols (2 mois après démantèlement) – Site T425-1 (20 août 2019).	48
Figure 3.2.4 : Érosion des berges et du lit du cours d'eau générée par passages à gué fréquents des utilisateurs secondaires - Site 153+230 (7 juillet 2021, Mauricie).....	61
Figure 3.3 : Efficacité, risques et coûts – Mode de gestion par fermeture – Ponceau simple.....	63
Figure 3.4 : Structure de découpage des opérations – Mode de gestion par fermeture – Ouvrage amovible... ..	64
Figure 3.5.1 : Éléments de tablier de conception constitués de bois lamellé-collé (gauche, site Boisaco, 8 octobre 2019, Côte-Nord) et de poutres de bois interreliées (droite, site T25-02, 6 juin 2019, Lanaudière). ..	65
Figure 3.5.2 : Site Chantiers Chibougamau (10 juin 2020, Nord-du-Québec).	66
Figure 3.5.3 : Remblai de nivellement – Site Chantiers Chibougamau (10 juin 2020, Nord-du-Québec).	71
Figure 3.5.4 : Coussins de nivellement constitués de matériel granulaire et éléments d'appuis de conception constitués de bois lamellé-collé (matelas-culées) – Site Boisaco (8 octobre 2019, Côte-Nord).....	71
Figure 3.5.5 : Éléments d'appui de conception constitués de poutres de bois interreliées (matelas-culées) et coussins de nivellement constitués de matériel granulaire et de radiers de bois - Site 428-7 (28 mai 2019, Lanaudière).....	72
Figure 3.5.6 : Montage des éléments de tablier – Site Chantiers Chibougamau (10 juin 2020, Nord-du-Québec).	74
Figure 3.5.7 : Usure inévitable des éléments de tablier de conception lors du montage – Site Chantiers Chibougamau (10 juin 2020, Nord-du-Québec).	93
Figure 3.5.8 : Élément de tablier endommagé par les dents du godet de la pelle mécanique lors du démontage des éléments de tablier de conception – Site T004-03 (29 août 2019, Lanaudière).	94

Figure 3.5.9 : Garde-roues endommagés par la machinerie lors des interventions de déneigement du chemin – Site 428-6 (28 mai 2019, Lanaudière).	95
Figure 3.6 : Efficacité, risques et coûts – Mode de gestion par fermeture – Ouvrage amovible.	97
Figure 4.1 : Traverse à gué aménagée par enrochement construite le 5 novembre 2018 – Site 101+100 (9 juillet 2020, Mauricie).	99
Figure 4.2 : Structure de découpage des opérations – Mode de gestion par mise hors service.	100
Figure 4.3.2 : Aménagement des approches : Site T18-2 (16 juillet 2019, Mauricie).	108
Figure 4.3.3 : Stabilisation des berges et du lit du cours d’eau – Site T18-2 (16 juillet 2019, Mauricie).....	110
Figure 4.3.4 : Dommages engendrés par la défaillance des structures de drainage du chemin en approche de la TAGE – Site Perdu (22 juin 2020 (gauche), 16 juillet 2021 (droite), Capitale-Nationale).	113
Figure 4.3.5 : Construction de la TAGE (gauche) et deux années après (droite) – Site T18-2 (16 juillet 2019 et 13 août 2021, Mauricie).	116
Figure 4.3.6 : Construction de la TAGE (gauche) et deux années après (droite) – Site 10 (21 juin 2019 et 12 août 2021, Côte-Nord).	116
Figure 4.4 : Efficacité, risques et coûts – Mode de gestion par mise hors services – Ponceau simple.	131

Introduction

Mise en contexte

La contribution des forêts à la richesse collective du Québec est immense et se perçoit à travers les activités récréatives, culturelles, d'aménagement forestier, de mise en valeur, d'enseignement et de recherche qu'elles permettent de rassembler. La réalisation de ces activités est possible grâce à l'établissement et l'entretien d'un réseau de chemins qui permet de franchir des obstacles et d'accéder plus facilement en véhicule au territoire et ses ressources naturelles. Les principaux obstacles à contourner ou franchir sur le tracé d'un chemin sont les cours d'eau qui sont omniprésents dans les paysages de la forêt publique québécoise. Pour y arriver, le chemin peut être conçu de façon à contourner les cours d'eau ou les franchir. Dans la mesure où le chemin doit franchir un cours d'eau, une traverse de cours d'eau est aménagée pour supporter la route et permettre le drainage du cours d'eau en dessous de celui-ci (MF, 2002). Ces ouvrages constituent une part non négligeable des coûts associés à la construction d'un chemin. En forêt publique, les ponceaux sont les traverses de cours d'eau les plus souvent rencontrées et leur popularité s'explique par leur polyvalence et leur faible coût de construction (Doucet et Côté, 2009). Cette catégorie de traverses de cours d'eau est définie comme étant un « ouvrage construit sous remblai comportant une arche ou au moins un conduit et des matériaux de stabilisation et qui permet de franchir un obstacle, tel qu'un cours d'eau » (RADF, article 2). Leur construction, dans le cadre du Règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'État (RADF), s'effectue généralement par les compagnies forestières qui sont responsables de son aménagement et son entretien pendant la période où elles utilisent régulièrement le chemin (MFFP, 2020; RADF, article 97). Après la période d'utilisation régulière, les chemins sont laissés en place comme voie d'accès pour tous les utilisateurs potentiels du territoire et la responsabilité de l'entretien et de la réfection des chemins et des ponceaux laissés en place n'est pas reprise (Bureau du forestier en chef, 2010). Une portion du réseau de chemins laissés en place, comme les chemins principaux et les plus fréquentés, peut être utilisée et entretenue par d'autres utilisateurs (pourvoirie, zone d'exploitation contrôlée, réserve faunique, etc.). Toutefois, seulement 21 % des chemins du réseau de la forêt publique, qui dans son ensemble correspond approximativement à 400 000 km, peut être considéré comme entretenu et près de 71 % des chemins du réseau peuvent être considérés comme étant abandonnés ou peu fréquentés 21 % (Paradis-Lacombe, 2018). Ce constat et l'absence de mesures d'entretien après la période d'utilisation intensive du chemin mettent en évidence que le RADF semble favoriser une gestion par abandon des traverses de cours d'eau situés sur les chemins à faible fréquentation. Dans le cadre de cette étude, le terme chemin à faible fréquentation est défini comme étant un chemin caractérisé par de courtes périodes d'utilisation intensive par l'utilisateur principal lors d'activités d'aménagement forestier, séparées par de longues périodes de faible utilisation où le chemin est inutilisé ou fréquenté par des

utilisateurs secondaires. Les ouvrages qu'on y retrouve sont les points de contact entre le réseau routier et le milieu aquatique et leur abandon représente une menace pour la qualité de l'eau, les habitats et le libre passage du poisson et la sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs puisque leur dégradation et leur défaillance sont inévitables (Bagley, 1998; Clarkin et al, 2006; Edwards, Wood et Quinlivan, 2016; Furniss et al., 1991; Keller et Sherar, 2003; Kocher et al., 2007; Weaver et al., 2015).

L'ampleur de cette problématique et des conséquences potentielles de la dégradation et de la défaillance des traverses de cours d'eau abandonnées incitent aux questionnements et à la recherche de solutions, particulièrement au niveau des traverses de cours d'eau situées dans les chemins les moins fréquentés d'un réseau. Certaines stratégies de gestion, comme le démantèlement d'un ouvrage, l'utilisation d'un ouvrage amovible ou la mise en place d'une traverse à gué aménagée représentent des solutions potentielles et innovatrices qui permettent d'éviter ou de mitiger les impacts de la dégradation des traverses de cours d'eau. Néanmoins, les informations en lien avec les coûts, la mise en application des interventions (aménagement, entretien ou démantèlement) et leurs fonctions associées sont difficilement accessibles ou peu détaillées dans la littérature scientifique. Par exemple, les estimations des coûts d'installation de ponceau simple proposées dans le chapitre *Voirie forestière* du Manuel de Foresterie de l'OIFQ sont présentées sous la forme de fourchette de coûts ou sous la forme de coût linéaires (\$/m), sans détailler les variables pouvant justifier ces estimations (c.-à-d. la durée attendue des travaux, la nature et les tarifs des ressources déployées, ainsi que les coûts des matériaux utilisés) (Desautels et al., 2009). Avant de prioriser une de ces stratégies au détriment d'une autre, il est primordial de clarifier et de comparer leurs avantages et leurs inconvénients à l'échelle du cycle de vie de la traverse de cours d'eau dans un horizon qui intègre les enjeux liés à leur dégradation et leur défaillance. C'est dans cette optique que cette étude a pour but d'orienter la prise de décisions en lien avec l'aménagement de traverses de cours d'eau pendant la phase de planification du développement de chemins à faible fréquentation en comparant la durée de vie utile, les coûts directs et indirects et les fonctions assurées par les ouvrages et les interventions qui sont associés à trois modes de gestion.

L'intégration et la représentation des différents éléments évalués pour chaque mode de gestion des chemins à faible fréquentation nécessite l'utilisation d'une méthode détaillée qui permet de simplifier leur présentation et leur comparaison, telle qu'une structure de découpage des opérations. En gestion de projet, les structures de découpage de projet ou d'opérations sont des outils similaires à des schémas de concepts et qui facilitent l'évaluation des coûts et la représentation des interventions et des ressources à investir pour réaliser un projet ou, dans le cas de cette étude, un mode de gestion (Genest et al., 2015). Leur format de présentation et leur nature méthodique, font en sorte qu'elles ont le potentiel de se révéler utile pour la prise de décisions éclairées en lien avec l'aménagement d'une traverse de cours d'eau au moment de la planification du développement d'un chemin à faible fréquentation. Notamment, en intégrant la durée de

vie utile de l'ouvrage et les coûts directs et indirects associés à un mode de gestion en particulier. À cet effet, la durée de vie utile de l'ouvrage correspond à la période où il peut remplir adéquatement ses fonctions de support de la route et de drainage du cours d'eau (Paradis-Lacombe, 2018). Les coûts directs ou initiaux regroupent les coûts associés aux interventions, aux matériaux, à la main-d'œuvre et à la machinerie nécessaires à la construction de l'ouvrage (Genest et al., 2015). Les coûts indirects ou récurrents regroupent les coûts généralement associés à l'exploitation, l'entretien d'un ouvrage et les externalités négatives associées (Genest et al., 2015).

Le premier mode de gestion à l'étude est le mode de gestion par abandon d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple (ponceau simple) composé de tuyaux de tôle ondulée en acier galvanisé (TTOAG) raccordés à l'aide d'un collet. Ce mode de gestion reproduit les conditions qui peuvent être rencontrées dans les chemins à faible fréquentation en forêt publique. Il consiste simplement à aménager un ponceau simple pour répondre au besoin immédiat de fréquentation intensive sans prévoir de mesures d'entretien ou de réfection après la fin de la période d'utilisation intensive. Le deuxième mode de gestion à l'étude est le mode de gestion par fermeture qui consiste à installer un ouvrage permettant de traverser un cours d'eau pour répondre aux besoins immédiats de fréquentation intensive en prévoyant le démonter afin d'éviter son abandon ou la mise en place de mesures d'entretien après la période d'utilisation intensive. Ce mode de gestion est étudié à l'échelle de deux types d'ouvrage, soit le ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG et un ouvrage amovible dont les appuis sont situés à l'extérieur de la limite supérieure des berges du cours d'eau. Le troisième mode de gestion à l'étude est le mode de gestion par mise hors service. Il consiste à installer une structure de traverse de cours d'eau conventionnelle pour répondre aux besoins immédiats de fréquentation intensive en prévoyant la remplacer par une structure alternative pour répondre à des besoins de faible fréquentation pendant la période de faible utilisation. La structure conventionnelle à l'étude est le ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG et la structure alternative à l'étude est la traverse à gué aménagée par enrochement (TAGE).

Objectifs de recherche

Toujours dans le but d'orienter la prise de décisions en lien avec l'aménagement de traverses de cours d'eau pendant la phase de planification du développement de chemins à faible fréquentation, les objectifs de cette recherche sont les suivants :

1. Élaborer une structure de découpage des opérations qui détaillent les interventions associées aux modes de gestion à l'étude.
2. Estimer les coûts potentiels associés aux interventions identifiées dans la structure de découpage des opérations des modes de gestion à l'étude.
3. Identifier des critères potentiels d'efficacité qui peuvent influencer les coûts potentiels des interventions identifiés et dicter les risques et les fonctions assurés par celles-ci.

Objectif 1

L'élaboration de la structure de découpage des opérations (SDO) s'inspire fortement des principes et de la démarche qui guident la conception d'une structure de découpage de projet dans le domaine de la gestion de projets. La SDO est divisée en niveaux et fait intervenir les concepts de tâches élémentaires et de lots de travail (Figure 1.1). Un lot de travail est un regroupement de tâches élémentaires ou un regroupement de lots de travail inférieurs. Le premier niveau de lot de travail est composé des différentes phases du mode de gestion, comme l'aménagement de la traverse de cours d'eau. Les niveaux inférieurs sont des lots de travail qui sont constitués de plusieurs blocs de travail (tâches élémentaires) associés à une phase du mode de gestion (Giroux, 2019). La manutention des matériaux est un exemple de lot de travail de niveau 2 qui caractériserait la phase d'aménagement de la traverse de cours d'eau. Une tâche élémentaire représente une activité qui contribue à la réalisation d'un lot de travail et dont la subdivision en tâches plus petites n'améliore pas la compréhension ou la gestion des opérations (Giroux, 2019). Le chargement des matériaux est un exemple de tâche élémentaire qui contribue à la manutention des matériaux lors de l'aménagement de la traverse de cours d'eau. Les lots de travail et les tâches élémentaires sont caractérisés par un début et une fin observable et sont regroupés en respectant une logique de travail cohérente (Giroux, 2019). Ils sont définis de façon à présenter leur but, les objectifs, les normes, les principes et les recommandations qui encadrent ou guident leur réalisation.

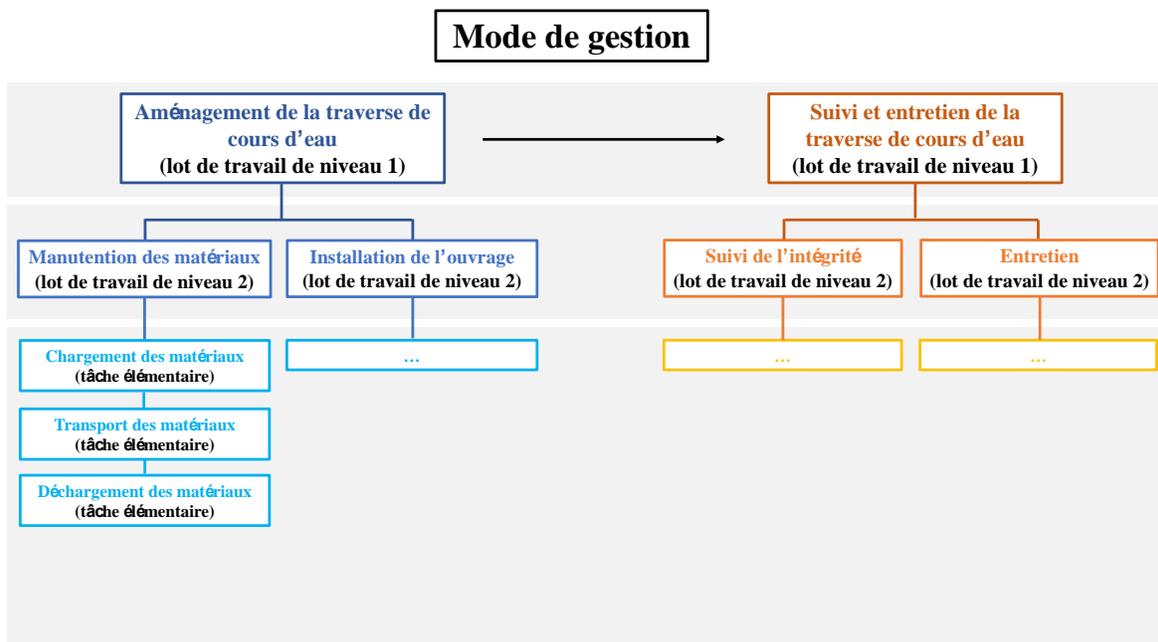


Figure 1.1 : Structure de découpage des opérations (SDO)

Dans le cadre de cette étude, l'élaboration de la SDO se limite aux interventions qui sont associées à la période d'utilisation intensive, soit les phases d'aménagement, de suivi et d'entretien de la traverse de cours d'eau, et à la période de faible utilisation, soit les phases de démantèlement ou de remplacement de la traverse de cours d'eau. Les phases du mode de gestion intègrent les interventions qui touchent à l'ouvrage qui permet de franchir le cours d'eau et les structures de détournement des eaux de ruissellement qui l'accompagnent et qui sont situées à plus de 20 m de la limite supérieure des berges du cours d'eau. Les structures de détournement des eaux de ruissellement sont incluses puisqu'elles sont intimement liées à l'aménagement d'un ouvrage permettant de franchir un cours d'eau et leurs rôles sont indispensables lors de son aménagement. Les interventions liées à la préparation, la mobilisation et la démobilité de l'équipe et des équipements ne sont toutefois pas incluses dans la SDO.

Objectif 2

La méthode employée pour l'estimation des coûts potentiels des interventions documentées dans la SDO d'un mode de gestion est l'évaluation à trois valeurs. Cette méthode a pour but de dresser un portrait des coûts optimaux, probables et pessimistes potentiels attribués à l'exécution d'un lot de travail ou d'une tâche élémentaire précise. Elle a été sélectionnée puisqu'elle permet d'illustrer les variations inhérentes d'une estimation des coûts potentiels (Genest et al., 2015). Les coûts optimistes cherchent à représenter un contexte d'aménagement où les conditions sont avantageuses et favorables. Les coûts pessimistes cherchent à représenter un contexte d'aménagement où les conditions sont désavantageuses et

contraignantes. Alors que les coûts probables cherchent à représenter un contexte d'aménagement caractérisé par les conditions le plus souvent rencontrées. Pour chaque mode de gestion, l'estimation des coûts potentiels s'effectue à l'échelle de différentes classes qui correspondent à des intervalles de dimensions de l'ouvrage aménagé pour franchir un cours d'eau. Elles sont définies de manière à permettre une comparaison plus juste et fiable entre les modes de gestion à l'étude.

Objectif 3

Les critères potentiels d'efficacité regroupent les facteurs et les autres considérations qui pourraient exercer une influence sur les coûts potentiels, les risques et les fonctions assurées par les ouvrages et les interventions documentées dans les modes de gestion à l'étude. Ils sont regroupés et documentés dans le but de dresser un portrait de l'efficacité globale des interventions en considérant la variation des coûts, les fonctions qui peuvent être assurées et les risques qui sont intimement liés à celles-ci. Dans le cadre de cette étude, les critères potentiels d'efficacité sont identifiés et regroupés dans la mesure du possible à l'échelle des lots de travail de niveau 1 qui caractérisent le mode de gestion à l'étude. Les critères de conception et la mise en place de mesures de suivi et d'entretien sont des exemples de critères potentiels d'efficacité associés à l'aménagement et l'entretien d'une traverse de cours d'eau, puisqu'ils dictent précisément les fonctions associées à celle-ci, telle que sa capacité à permettre et à assurer le libre passage du poisson. Alors que l'absence de mesures de suivi et d'entretien implique que le libre passage du poisson ne peut être assuré après l'aménagement de la traverse de cours d'eau et introduit le risque d'un futur obstacle au libre passage du poisson.

Chapitre 1 : Méthodes de recherche

Processus d'acquisition de données

L'acquisition des données se fait dans le cadre d'un processus itératif combinant plusieurs méthodes, soit la consultation de la littérature scientifique et grise, la consultation d'experts et la documentation précise des interventions à l'étude pendant l'exécution de travaux d'aménagement de traverses de cours d'eau. Pour répondre au premier objectif de recherche, ces méthodes d'acquisition de données sont employées pour définir et documenter la nature et la chronologie des interventions associées à chaque mode de gestion pour former la SDO. Pour le deuxième objectif de recherche, elles sont utilisées afin d'acquérir une banque d'unités d'échantillonnage qui sont caractérisées par la combinaison de données recherchées pour chaque lot de travail de niveau 2 de la SDO d'un mode de gestion. La combinaison de données recherchées pour une unité d'échantillonnage est la durée des opérations (temps de travail ou temps de travail productif), les matériaux utilisés (nature et coût), les ressources nécessaires (machine, main d'œuvre, et leur taux ou tarif horaire) et les dimensions de l'ouvrage. Ainsi, une unité d'échantillonnage pourrait correspondre à une évaluation effectuée par un groupe d'experts consultés, un site documenté pour cette étude et un devis ou bordereau de travail documenté dans la littérature scientifique et grise consultée (Figure 1.2). Pour le troisième objectif, les critères potentiels d'efficacité liés aux coûts, aux fonctions assurées et aux risques qui accompagnent la mise en œuvre d'un lot de travail de niveau 2 sont identifiés et documentés.

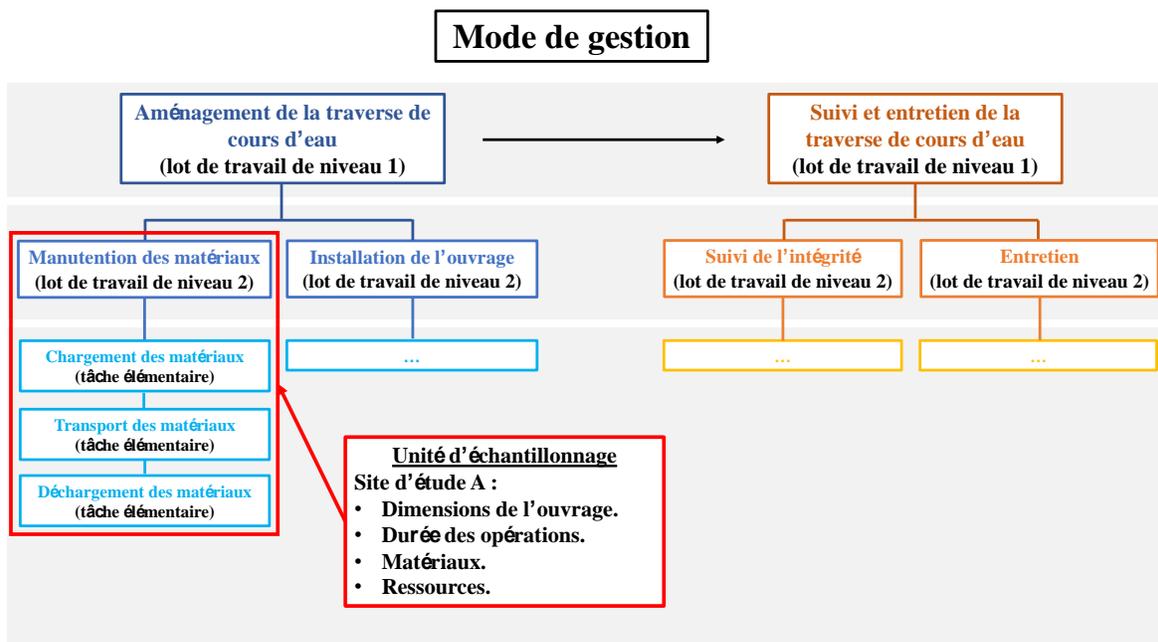


Figure 1.2 : SDO et unité d'échantillonnage

Consultation de la littérature scientifique et grise

Aux fins de cette étude, la consultation de la littérature scientifique représente une brève revue de la littérature scientifique et s'effectue à l'aide de la base de données Web of Science. La démarche employée consiste à débiter avec le sujet « Forest road », auquel il est ajouté entre deux ou trois autres sujets avec l'opérateur logique « AND ». Ces sujets permettent d'affiner la recherche dans la base de données et ces sujets ont varié entre les modes de gestion à l'étude. Les types de documents recherchés dans ces bases de données sont les articles, les livres de référence, les mémoires et les périodiques. Pour le mode de gestion par abandon les sujets sont « Forest road », « Crossing », « Cost » et « Culvert ». Pour le mode de gestion par fermeture les sujets sont « Forest road », « Crossing », « Cost » et « Closure ». Alors que pour le mode de gestion par mise hors service, les sujets sont « Forest road », « Ford » et « Cost ».

La littérature grise regroupe, pour la grande majorité, des documents issus des connaissances techniques et scientifiques, comme des rapports d'évaluation environnementale, des guides de saines pratiques, des devis de projet, des rapports de laboratoire ou d'activité, ou encore des notes internes. Ces connaissances ne sont pas nécessairement largement diffusées ou facilement accessibles, mais elles représentent une source d'information technique pertinente. Ses forces résident dans son contenu représentatif du contexte de travail, son actualité et son renouvellement constant (Halima, 2007). Ses faiblesses sont liées au fait que les résultats qui en découlent ne proviennent pas nécessairement d'une démarche scientifique complète et ils ne font pas l'objet d'un processus de validation par les pairs. Pour cette étude, la consultation de la littérature grise est un moyen d'acquisition d'unité d'échantillonnage supplémentaire qui s'est avérée primordiale pour répondre aux objectifs pour l'ensemble des modes de gestion à l'étude. La littérature grise consultée a été obtenue en partie par l'entremise des portails de diffusions des ministères du Québec (MFFP, MTQ, MELCC, MAPAC, etc.), des autres provinces canadiennes (Colombie-Britannique, Manitoba, etc.) et des États-Unis d'Amérique (USDA, etc.). Enfin, une bonne part de la littérature grise a été obtenue par l'entremise des partenaires du projet *RDC-CRSNG : Développement de méthodes de mise hors service de chemins à faible fréquentation* (e.g. Hydro-Québec, Énergir, FPInnovations), de collaborateurs et de personnes ressources (e.g. Séminaire de Québec, Groupe Lebel, Forêt Montmorency, Chantiers Chibougamau). La littérature recherchée se compose de guides de saines pratiques, de cahiers de charges et de devis. Elle se compose également de rapports techniques, financiers et de recherche ainsi que des notes d'ingénieurs et d'experts dans le domaine de la construction de traverses de cours d'eau (Halima, 2007).

Documentation des travaux à l'étude

La documentation des travaux à l'étude consiste à observer et capturer sous forme de vidéos les travaux d'aménagement et de démantèlement de traverses de cours d'eau. Cette documentation est en soit une

étude de cas qui s'oriente autour des interventions liées à l'aménagement d'une TAGE, l'installation et le retrait d'un ouvrage amovible, ainsi que l'installation et le démantèlement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple. Pour la capture des travaux, quatre caméras (2 caméras Brinno TLC200f1.2 et deux cellulaires Blackview BV6000) sont installées sur des trépieds et configurées pour enregistrer une image chaque seconde. Elles sont disposées de façon à couvrir quatre angles de vue, soit l'amont et l'aval du cours d'eau, de même que l'entrée et la sortie de la traverse de cours d'eau. La couverture de quatre plans de vue permet de s'assurer de documenter l'ensemble des manipulations effectuées tout en permettant de pallier l'impact d'une mauvaise prise d'image ou d'une caméra déficiente. Les désavantages de l'emploi de plusieurs caméras sont que le traitement des images est plus long, le processus de disposition et de démantèlement prend plus de temps et l'observateur doit s'assurer du bon fonctionnement d'un plus grand nombre de caméras. La procédure de capture des travaux implique que l'observateur doit préalablement visiter le site des travaux et déterminer les plans de vues des caméras. Par la suite, l'observateur installe les caméras et prend garde de les marquer à la vue des travailleurs afin de s'assurer de ne pas nuire à leur travail. Les caméras sont ensuite manuellement activées et l'enregistrement commence quelques minutes avant le début des travaux. Au cours des travaux, l'observateur s'assure du bon fonctionnement des caméras aux 15 minutes (état de la batterie et qualité d'image). Il s'assure aussi de prendre note du déroulement des travaux et des contraintes rencontrées, comme la formation d'ornières, la distance de déplacement du matériel, les déplacements inutiles, et autres. Enfin, les caméras sont manuellement désactivées et désinstallées quelques minutes après la fin des travaux. Le traitement des images enregistrées par les caméras débute par la construction d'une base de données qui regroupent séparément les plans de vue du site d'étude. Une fois la base de données terminée, les images sont traitées à l'aide d'un logiciel de montage et de traitement de vidéos (Wondershare filmora 9). Le traitement consiste à produire des vidéos représentant la chronologie des travaux en temps réel selon chaque plan de vue. L'horodatage des photos est directement affiché sur chaque image et les vidéos sont ensuite converties et extraites en format MP4.

Les vidéos extraites sont utilisées pour calculer le temps de travail productif associé aux lots de travail de niveau 2 qui sont documentés par les sites d'étude. Le temps de travail de productif correspond au temps alloué par une ressource (machinerie lourde, main d'œuvre ou superviseur) pour réaliser la ou les fonctions primaires associées à une tâche élémentaire. Pour son évaluation, les tâches élémentaires qui constituent un lot de travail de niveau 2 sont décomposées en éléments de travail qui serviront de base à la mesure du temps de travail productif. Ces éléments de travail respectent une logique de travail, sont constitués d'un début et d'une fin observables et sont mesurés en seconde. Pour simplifier leur étude, ils sont regroupés en quatre groupes, soit la durée des manœuvres (M.), la durée des déplacements associés à ces manœuvres (Dé_M.), la durée des délais opérationnels inférieurs à 15 minutes (D_Op.) et la durée des autres déplacements (D_Autre.). Les délais opérationnels supérieurs ou égaux à 15 minutes, les délais non

opérationnels et les déplacements qui ne sont pas liés à la réalisation de la tâche élémentaire documentée ne sont pas mesurés puisqu'ils ne sont pas considérés comme étant des activités productives. Les éléments de travail sont définis comme suit :

- Manœuvres (M.) :
 - Départ : La ressource entame ou participe aux manœuvres associées à la tâche élémentaire en incluant les petits déplacements (< 5 secondes).
 - Exemple (excavation) : La pelle mécanique creuse, manipule et dispose en remblai ou en déblai le matériel du site.
 - Fin : La ressource a terminé les manœuvres associées à la tâche élémentaire ou elle s'engage dans un autre élément de travail.
- Déplacements associés aux manœuvres (Dé_M.) :
 - Départ : La ressource entame un déplacement (≥ 5 secondes) lié aux manœuvres associées à la tâche élémentaire.
 - Exemple (excavation) : La pelle mécanique active ses chenilles pour déplacer le matériel de remblai ou de déblai du site.
 - Fin : La ressource a terminé le déplacement ou elle s'engage dans un autre élément de travail.
- Délais opérationnels (D_Op.) :
 - Départ : La ressource entame une activité non-productive dont la durée est inférieure à 15 minutes.
 - Exemple (excavation) : La pelle mécanique arrête ses manœuvres et ses déplacements en attendant le retour d'une ressource mobilisée pour la réalisation de la tâche élémentaire (camion-benne).
 - Fin : La ressource s'engage dans un autre élément de travail.
- Autres déplacements (D_Autre) :
 - Départ : La ressource entame un déplacement qui est associé à la tâche élémentaire et qui n'est pas lié aux manœuvres associées à celle-ci.
 - Exemple (excavation) : La pelle mécanique active ses chenilles pour se déplacer d'un côté à l'autre du site.
 - Fin : La ressource a terminé le déplacement ou elle s'engage dans un autre élément de travail.

Les sites d'études sont regroupés sous forme d'unités d'échantillonnage dans une banque de données brutes qui est associée au lot de travail de niveau 2 étudié. Pour chaque unité d'échantillonnage, la durée des éléments de travail est compilée pour déterminer le temps de travail productif d'une tâche élémentaire. La somme des temps de travail productif associés à l'ensemble des tâches élémentaires permet à son tour de déterminer le temps de travail productif associé aux lots de travail de niveau 3 et aux lots de travail de niveau 2 documentés par le site d'étude. Cette démarche s'inspire d'études et de guides qui portent sur l'étude de la productivité, de l'efficacité et des coûts (Giroux, 2019; Labelle, 2018; Wayne Bell et *al.*, 1997). Ses forces résident dans sa capacité à se concentrer sur le temps de travail productif et exclure les délais et contraintes qui ne sont pas liés à la réalisation de la tâche élémentaire. Ses principales faiblesses sont qu'il s'agit d'une démarche longue à entreprendre et que les données qui en découlent pourraient être difficile à comparer avec les études qui n'adoptent pas une approche par découpage des opérations.

Consultation d'experts

La consultation d'experts consiste à rencontrer des groupes d'experts dans l'optique de valider les données produites par les autres méthodes d'acquisition de données et de formuler des évaluations des coûts pour les interventions qui n'ont pas pu être documentées par les deux autres méthodes d'acquisition de données. La force d'une évaluation par des experts est que ceux-ci sont à l'extérieur de l'étude et qu'ils n'ont pas d'avantages à surestimer ou sous-estimer leur évaluation. De plus, l'intervention d'un groupe d'experts permet d'avoir une diversité de résultats qui témoignent des différentes conditions auxquelles les interventions documentées sont soumises à travers les différentes régions du Québec. Cette diversité de résultats est prise en compte et intégrée à cette étude afin d'amener de la nuance dans les résultats. Les faiblesses de cette évaluation sont que les experts ne connaissent pas vraiment les forces et les faiblesses des équipes qui pourraient réaliser ces travaux (Doucet et Côté, 2009), qu'elle n'est pas nécessaire à l'abri du biais généré par les expériences du groupe d'experts et que la consultation d'expert n'est pas systématiquement appliquée à l'ensemble des interventions documentées dans cette étude. Les évaluations par les experts s'intègrent dans un processus itératif où les informations transmises par les experts consultés ont aussi une influence sur le contenu et la structure des SDO et la documentation des critères potentiels d'efficacité. Ces groupes d'experts varient entre un à trois experts qui ont été sélectionnés à partir des collaborateurs du projet *RDC-CRSNG : Développement de méthodes de mise en hors service de chemins à faible fréquentation* entre 2018 et 2021. Ils ont été sélectionnés en fonction de leur expertise (ingénieur forestier) et de leur expérience (contremaître de chantier et opérateur de machinerie lourde) dans le domaine de la construction, le démantèlement et la gestion des traverses de cours d'eau dans le domaine de la forêt privée et publique. L'expérience pratique de ces experts de premières lignes en font des candidats idéals pour ce type d'évaluation.

Processus d'analyse des données

Préparation des données : Évaluation à trois valeurs

Provenant de différentes sources, les données brutes associées à chaque unité d'échantillonnage doivent être mises sur un même pied d'égalité avant d'entamer l'évaluation à trois valeurs d'un lot de travail de niveau 2. Pour ce faire, les données brutes d'une unité d'échantillonnage sont transformées en respectant des principes qui établissent une base comparative fiable sur laquelle les unités peuvent s'appuyer pour estimer leurs coûts respectifs. Les principes de la base comparative sont les suivants :

- Lors des interventions qui impliquent de la machinerie lourde, l'opérateur de la machine doit être accompagné d'un superviseur de chantier.
- Le taux ou le tarif d'une ressource (machinerie lourde, ouvrier, superviseur) est déterminé par les tarifs et taux horaires établis dans le recueil « Taux de location de machinerie lourde avec opérateurs et équipements divers » pour l'année 2021 (Direction générale des acquisitions intersectorielles du Centre d'acquisitions gouvernementales, 2020).

- Les coûts des matériaux sont généralisés pour l'ensemble des unités d'échantillonnage à l'aide d'une évaluation par des experts ou une estimation qui provient de la littérature scientifique et grise.
- Les coûts des matériaux incluent les taxes (15 %) et excluent les frais de livraison du fournisseur.
- La durée des opérations associées au transport des matériaux et des matières résiduelles est généralisée à 1h pour les déplacements entre le site de chargement (garage de l'utilisateur principal ou carrière) et le site d'aménagement de la traverse de cours d'eau (site de traversée) et 1h pour les déplacements entre le site de traversée et le site de déchargement (garage de l'utilisateur principal).

Les données transformées sont compilées dans une banque de données transformées et l'estimation du coût total pour chaque unité d'échantillonnage est recalculée à l'échelle de chaque lot de travail de niveau 2. Finalement, les unités documentées sont regroupées en fonction des classes d'intervalle de dimensions de l'ouvrage étudié.

Démarche : Évaluation à trois valeurs

L'évaluation à trois valeurs d'un mode de gestion est le produit d'une série d'évaluations à trois valeurs des lots de travail de niveau 2 qui le compose. La somme des résultats de ces évaluations à trois valeurs détermine les résultats de l'évaluation à trois valeurs des lots de travail supérieures et ultimement du mode de gestion (Figure 1.3).

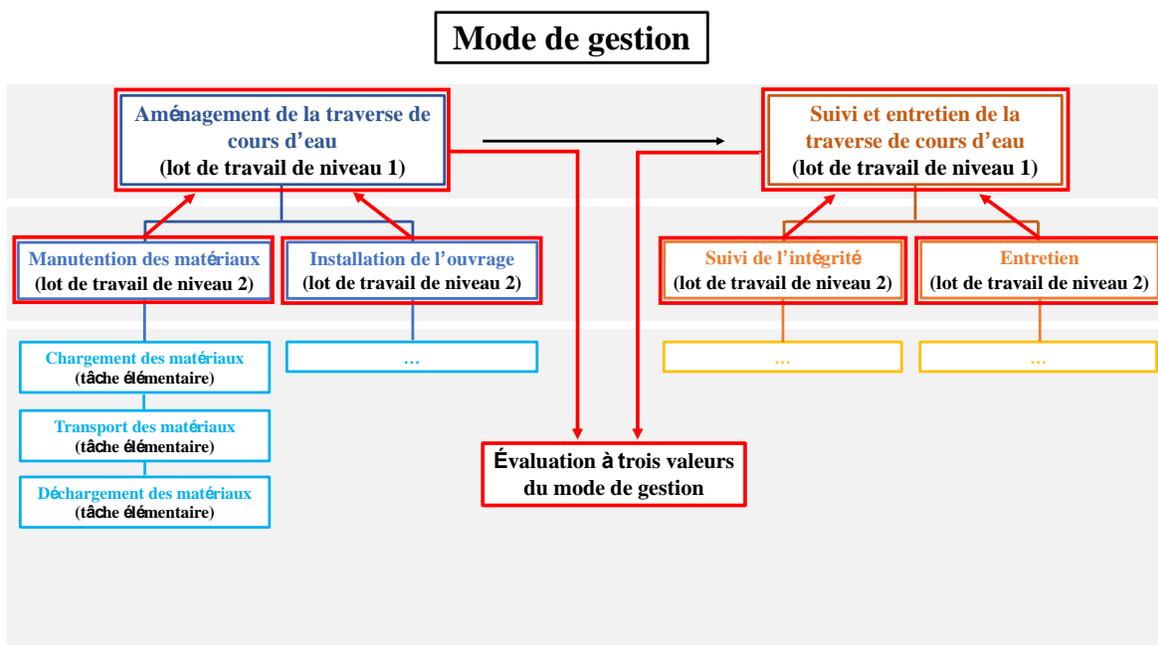


Figure 1.3 : SDO et évaluation à trois valeurs d'un mode de gestion

L'évaluation à trois valeurs d'un lot de travail de niveau 2 consiste à cibler l'unité d'échantillonnage qui comporte le coût total minimum, la ou les unités qui comportent le ou les coûts totaux médians et l'unité qui comporte le coût total maximum dans l'effectif correspondant à la classe de dimensions de l'ouvrage et au lot de travail évalué (Figure 1.4). Les attributs (matériaux utilisés, ressources nécessaires et dimensions de l'ouvrage) de ces unités représentent respectivement les valeurs optimistes, probables et pessimistes. Si l'effectif des unités d'échantillonnage documentées est pair, les valeurs probables sont déterminées par les conditions suivantes.

- Les dimensions de l'ouvrage sont équivalentes pour les deux unités médianes et les ressources nécessaires sont similaires¹ : les valeurs probables sont déterminées par la moyenne des valeurs des deux unités médianes.
- Les dimensions de l'ouvrage et les ressources nécessaires pour les deux unités médianes ne sont pas similaires : les valeurs probables sont déterminées par les valeurs de l'unité médiane la plus coûteuse.
- L'effectif est égal à deux et les dimensions de l'ouvrage et les ressources nécessaires pour les deux unités ne sont pas similaires : les valeurs probables sont déterminées par les valeurs de l'unité la plus coûteuse.
- L'effectif est égal à deux et les dimensions de l'ouvrage et les ressources nécessaires pour les deux unités sont similaires : les valeurs probables sont déterminées par la moyenne des valeurs des deux unités d'échantillonnage.

D'autre part, si l'effectif des unités d'échantillonnage documentées est inférieur à deux, les valeurs optimistes, probables et pessimistes sont déterminées par les valeurs de la seule unité d'échantillonnage documentée.

¹ Les ressources sont similaires lorsque les interventions sont réalisées par le même nombre d'ouvrier et de machine et lorsque le taux et la capacité des machines sont reconnues comme étant similaires par le recueil « Taux de location de machinerie lourde avec opérateurs et équipements divers » pour l'année 2021.

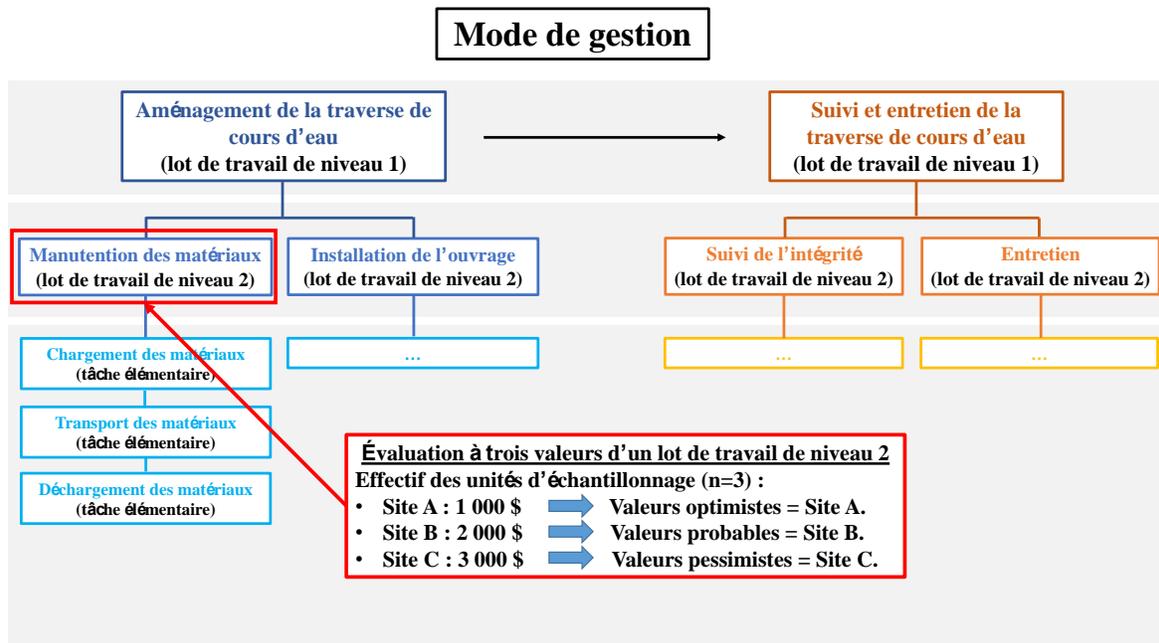


Figure 1.4 : SDO et évaluation à trois valeurs d'un lot de travail de niveau 2

La combinaison de différentes sources de données dans cette étude amène une source de biais qui est difficile à contrôler. Cette source de biais réside dans la mesure de la durée des opérations pour les unités d'échantillonnage qui proviennent de la littérature scientifique et grise et de la consultation d'experts. En effet, la durée des opérations documentée dans une unité d'échantillonnage prélevée à partir de ces sources est bien souvent une estimation approximative et arrondie du temps de travail productif d'un cas réel. Pour y remédier, les valeurs optimistes, probables et pessimistes qui se basent sur une unité d'échantillonnage qui provient de la documentation des travaux à l'étude sont ajustées avant d'être ajoutées aux résultats de l'évaluation à trois valeurs d'un lot de travail de niveau 2. L'ajustement consiste à arrondir, en palier de 15 minutes, la durée des opérations des lots de travail de niveau 3 de l'unité d'échantillonnage documentée et recalculer les coûts en conséquence. Cet ajustement pourrait potentiellement émuler les coûts potentiels qui ressortiraient d'une unité d'échantillonnage qui provient d'une évaluation par des experts ou d'une étude de cas présenté dans la littérature scientifique et grise. Toutefois, son efficacité n'a pas été prouvée et il constitue une limite potentielle à la fiabilité des résultats lors de la comparaison des évaluations à trois valeurs des modes de gestion. Il est important de préciser que les résultats des évaluations à trois valeurs n'ont pas fait l'objet d'une validation par les pairs et que la démarche employée n'a pas non plus été validée et testé à cet effet. Ce type d'évaluation est un outil polyvalent qui doit seulement être utilisé pour orienter la prise de décision. Les résultats qui en découlent sont et doivent être traités comme une estimation de coûts potentiels.

Chapitre 2 : Mode de gestion par abandon

Introduction

Le mode de gestion par abandon consiste à construire un ouvrage permettant de traverser un cours d'eau pour répondre aux besoins immédiats de fréquentation intensive sans prévoir de mesures d'entretien, de réfection ou de fermeture après la fin de la période d'utilisation intensive. Ceci mène ultimement à sa détérioration ou même sa défaillance (Weaver et *al.* 2015). Ensuite, la qualité et l'intégrité de l'accès varient en fonction des conditions physiques du site de traversée ou de la végétation qui s'y installe (Bagley, 1998).

Dans le cadre de cette recherche, l'étude du mode de gestion par abandon se concentre sur l'aménagement de trois ponceaux constitués d'un conduit circulaire simple, qui est composé d'un ou de deux tuyaux de tôle ondulée en acier galvanisé raccordés à l'aide d'un collet. Dans le premier cas, le ponceau est une traverse de cours d'eau, puisqu'il permet l'écoulement naturel des eaux d'un cours d'eau. Dans les deux autres cas, les ponceaux sont des conduits de drainage, puisqu'ils permettent de détourner les eaux de ruissellement canalisées, sans contact avec le réseau hydrographique, d'un fossé situé du côté amont d'un chemin, vers le côté aval. Tel que défini dans l'article 2 du RADF, un ponceau est « un ouvrage construit sous remblai comportant une arche ou au moins un conduit et des matériaux de stabilisation » (MFFP, 2020). Les ponceaux constitués d'un conduit circulaire simple sont largement favorisés dans les forêts du domaine de l'État puisque leur installation est relativement facile et implique des coûts raisonnables (Desautels et *al.*, 2009). Le conduit circulaire simple peut facilement être adapté à la largeur de chemin désirée et les ondulations du TTOAG permettent au lit naturel de se reconstituer, lorsqu'ils sont adéquatement installés et enfouis (MRN, 1997).

Structure de découpage des opérations

La structure de découpage des opérations du mode de gestion par abandon est présentée dans la Figure 2.1. Cette figure se limite aux lots de travail associés à l'aménagement et l'abandon d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple et des structures de détournement des eaux de ruissellement qui y sont associés. Les différents niveaux de lot de travail et les tâches élémentaires qui les caractérisent sont décrits et définis dans cette section.

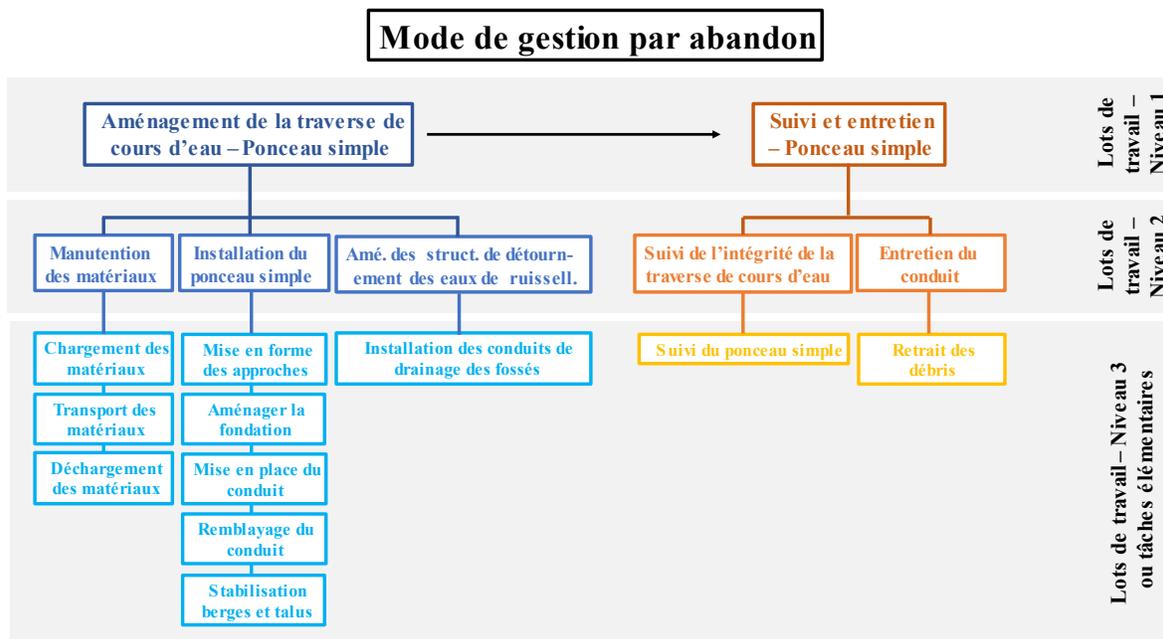


Figure 2.1 : Structure de découpage des opérations – Mode de gestion par abandon.

Choix de l'ouvrage

Les caractéristiques d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple, ou ponceau simple, sont préalablement établies à l'aide de données écoforestières et hydrologiques qui sont confirmées par un relevé terrain, en fonction des conditions auxquelles la structure sera soumise (Desautels et *al.*, 2009; MFFP, 2020). Le choix du diamètre minimum du conduit circulaire simple est établi avec des calculs de débits de pointe prévus au RADF (réurrences de 10 ans), des facteurs de corrections en lien avec les conditions terrain, la longueur du conduit, le besoin d'assurer le libre passage du poisson, ainsi que la largeur et la pente du cours d'eau. La longueur du conduit est établie en fonction de la largeur du chemin, la hauteur du remblai et la pente du talus (Desautels et *al.*, 2009; MFFP, 2020). L'épaisseur minimale du remblai par-dessus le conduit est aussi calculée à l'aide de son diamètre (MFFP, 2020). Le niveau d'enfouissement du conduit dépend directement de son diamètre et du besoin d'assurer le libre passage du poisson. Le conduit doit être enfoui minimalement sur une profondeur équivalente à 10 % de son diamètre. Il ne peut en aucun cas restreindre la largeur du cours d'eau de plus de 50 %, mesurée à partir de la limite supérieure de la berge. Dans l'éventualité où le libre passage du poisson doit être assuré, le conduit doit être enfoui sur une profondeur équivalente à 20 % ou 30 % de son diamètre et ne peut restreindre la largeur du cours d'eau de plus de 20 % (MFFP, 2020). Par ailleurs, la nature du substrat dans l'aire d'enfouissement du conduit peut représenter une limite à la construction d'un ponceau simple. En effet, la présence ou l'exposition du roc dans l'aire d'enfouissement du conduit empêche son installation et implique potentiellement d'avoir recours à un autre type de traverse de cours d'eau (MFFP, 2020;

Torreblanca-Alarie, 2018; Volpé, 2018). Ainsi, un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG, d'un diamètre de 450 mm à 3600 mm, peut théoriquement être installé dans un cours d'eau d'une largeur allant jusqu'à 7,2 m (diamètre = 3600 mm).

Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1)

En forêt publique québécoise, la construction d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple s'effectue en général dans le cadre d'activités d'aménagement forestier (Desautels et *al.*, 2009). Les travaux de construction sont réalisés dans le but d'aménager une traverse de cours d'eau à un endroit où il n'y en avait pas précédemment (MFFP, 2020). Les objectifs à atteindre sont l'aménagement d'un ouvrage qui est conçu pour :

- Franchir un cours d'eau sans être en contact avec son lit ou son eau (Art. 86, RADF).
- Permettre le libre passage de l'eau (Art. 86 et 96, RADF).
- Permettre la stabilité du lit, des berges et des talus du remblai de l'ouvrage (Art. 86, 96, 99 et 114 RADF).
- Évacuer les eaux de ruissellement en provenance du chemin et de ses structures de drainage vers une zone stable (Art. 75, RADF).
- Si nécessaire, permettre le libre passage du poisson (Art. 103, RADF).

La construction et l'entretien de l'ouvrage doivent se faire dans la mesure où l'érosion et l'apport de sédiments ou d'autres contaminants sont limités. Le lit du cours d'eau à l'entrée et la sortie du ponceau simple doivent être stabilisés et l'état de l'ouvrage doit permettre la libre circulation de l'eau pendant sa période d'utilisation intensive (Art. 97, RADF). L'aménagement de la traverse de cours d'eau débute par la manutention des conduits, qui peut être chevauché par l'installation du ponceau simple, et se termine lorsque les structures de détournement des eaux de ruissellement sont complétées.

- Lots de travail (niveau 2) : Manutention, installation du ponceau simple, aménagement de structures de détournement des eaux de ruissellement.

Manutention des matériaux (lot de travail de niveau 2)

La manutention des matériaux consiste à charger, transporter et décharger la membrane géotextile et les TTOAG prévus pour le ponceau constitué d'un conduit circulaire simple et les conduits de drainage des fossés constitués d'un conduit circulaire simple chacun. Ce lot de travail débute par le chargement des conduits circulaires et se termine par le retour du fardier à son point de départ. Toutefois, la complétion de la tâche de l'opérateur du fardier n'empêche pas de débiter l'installation du ponceau simple lorsque les conduits sont déchargés. Le chargement, le transport et le déchargement des conduits peuvent s'effectuer avant ou pendant la mise en forme des approches.

- Lots de travail (niveau 3) : Chargement, transport et déchargement des matériaux.

Installation du ponceau simple (lot de travail de niveau 2)

L'installation du ponceau constitué d'un conduit circulaire simple est un regroupement de lots de travail de niveau 3 qui sont plus ou moins indissociables dans la littérature scientifique et grise. Leur regroupement vise principalement à faciliter la compilation et l'interprétation des données prélevées dans les références qui ont pu être utilisées. Ce lot de travail débute par la préparation du terrain lors de la mise en forme des approches et se termine par la stabilisation des berges et talus du ponceau simple.

- Lots de travail (niveau 3) : Mise en forme des approches, aménager la fondation, mise en place du conduit, remblayage du conduit, stabilisation des berges et talus.

Mise en forme des approches (lot de travail de niveau 3)

La mise en forme des approches du ponceau constitué d'un conduit circulaire simple consiste à aménager une surface de roulement sur remblai qui mène au point où le chemin doit franchir le cours d'eau en angle droit. Les approches d'une traverse de cours d'eau représentent les sections de chemins de 20 m, mesurées horizontalement à partir des limites supérieures des berges de part et d'autre du cours d'eau. Les principes de base sont de s'assurer que le remblai pourra être stabilisé et que la forme des approches permet de diriger les eaux de ruissellement provenant de la surface de roulement du chemin vers la végétation à l'extérieur de la zone de 20 m mesurée à partir de la limite supérieure de la berge du cours d'eau (Art. 75, RADF; MFFP, 2020). Pour y arriver, les débris, la matière organique et la matière végétale sont retirés de l'emprise du remblai et de ses talus (Desautels et *al.*, 2009). Le matériel de remblai utilisé devrait être composé d'un mélange de sable ou de gravier exempt de pierre de plus de 75 mm. Le remblayage s'effectue en couches de 15 à 30 cm d'épaisseur qui sont disposées et compactées successivement. Le remblai est disposé de manière à respecter la largeur de la surface de roulement attendue. La pente des talus du remblai des approches est ajustée selon la méthode de stabilisation employée et la granulométrie du matériel. Enfin, la chaussée des approches du ponceau simple est nivelée de manière à produire une surface régulière légèrement arrondie et en forme de couronne qui permet de capter et diriger les eaux de ruissellement provenant de la chaussée à l'extérieur de la zone de 20 m mesurée à partir de la limite supérieure des berges du cours d'eau (Desautels et *al.*, 2009; MRN, 1997).

La mise en forme des approches commence donc par le retrait du matériel organique dans l'emprise du remblai à ériger de part et d'autre du cours d'eau et se termine par leur nivellement. Ce lot de travail est systématiquement arrêté pour aménager la fondation et pour installer et remblayer le conduit du ponceau.

- Tâches élémentaires : Retrait du matériel organique, prélèvement et transport du matériel de remblai, remblayage et nivellement des approches.

Aménager la fondation (lot de travail de niveau 3)

La fondation du coussin de support est excavée à même le lit du cours d'eau et correspond à l'assise sur laquelle repose le conduit. Elle permet une répartition uniforme et adéquate des charges. La qualité de la fondation vient influencer la durée de vie et la capacité portante de l'ouvrage et prévient les fissurations du conduit (Hotte et Quirion, 2003; MTQ, 2017). La fondation devrait comporter une surface uniforme composée de sable et de gravier légèrement ameubli avec une forme de cuvette pour accueillir et ancrer le conduit (Hotte et Quirion, 2003; MRN, 1997). Elle est excavée de façon à reproduire la pente et l'orientation du cours d'eau et permettre au conduit d'être enfouis (Hotte et Quirion, 2003; MFFP, 2020; MRN, 1997). Les débris ligneux et autres matières végétales sont retirés et le matériel est compacté. Pour l'emplacement prévu du conduit, le matériel de fondation est ameubli sur une largeur correspondant à environ 1/3 du diamètre du conduit et une profondeur de quelques centimètres (Hotte et Quirion, 2003; MRN, 1997). La nature du substrat peut influencer l'ampleur et la nature du travail. En effet, la fondation ne devrait pas contenir de pierres de plus de 75 mm, de matière organique ou d'argile. La pierre pourrait nuire à l'intégrité du conduit et la matière organique ou l'argile pourrait nuire à la capacité portante de la fondation (Hotte et Quirion, 2003; MRN, 1997). Ce faisant, l'idéal serait de retirer les pierres et le substrat non désiré et de stabiliser la fondation avec une membrane géotextile recouverte de matériel granulaire. Cette étape supplémentaire permet d'augmenter la capacité portance de la fondation et éviter que le conduit s'enfonce dans le sol (MRN, 1997). L'enfouissement du conduit permet de protéger sa base contre l'abrasion générée par la circulation de sédiments et favorise l'installation d'un lit naturel dans celle-ci (Weaver et *al.*, 2015).

En général, ces tâches élémentaires s'effectuent pendant que l'eau coule dans le cours d'eau. Les travaux à sec ou mesures d'assèchement de la zone de travail sont à prévoir lors de certaines situations décrites dans le RADF. Toutefois, ces mesures ne sont pas intégrées à cette étude. L'aménagement de la fondation s'effectue au courant de la mise en forme des approches et est succédé par la mise en place du conduit.

- Tâches élémentaires : Excavation du lit, façonnage de la fondation et si nécessaire, stabilisation de la fondation.

Mise en place du conduit (lot de travail de niveau 3)

La mise en place du conduit circulaire simple du ponceau consiste à aligner et déposer le conduit sur la fondation de façon à suivre l'orientation du cours d'eau, de s'assurer qu'il dépasse d'au moins 300 mm de chaque côté du remblai et d'éviter de réduire de plus de 50 % la largeur du cours d'eau mesurée à partir de la limite supérieure des berges. Le conduit doit être manipulé avec soin, puisque chaque déformation ou perforation constitue une faiblesse qui peut nuire à la résistance et la durée de vie de l'ouvrage (Hotte

et Quirion, 2003; MRN, 1997). Ce lot de travail précède la complétion de la fondation et se termine lorsque la conduite est bien positionnée par rapport au cours d'eau.

- Tâche élémentaire : Installation du conduit.

Remblayage du conduit (lot de travail de niveau 3)

Le remblai représente la composante structurale qui assure la capacité portante et la stabilité de l'ouvrage. L'utilisation du bon matériel de remblayage et un travail de compactage de qualité sont essentiels au succès de l'aménagement d'une traverse de cours d'eau. Le remblai devrait se composer d'un mélange de sable ou de gravier exempt de pierres de plus de 75 mm. Le matériel granulaire est disposé et compacté en couches successives. La largeur du remblai devrait être représentative de la largeur du remblai des approches et du chemin désirés (Hotte et Quirion, 2003; MRN, 1997). L'épaisseur minimale du remblai est déterminée par le diamètre du conduit utilisé (MFFP, 2020). Enfin, le remblai doit être nivelé de manière à produire une surface régulière légèrement arrondie pour les approches et une forme de couronne en V inversée pour la chaussée et les accotements (Desautel et *al.*, 2009; MRN, 1997). Le remblayage du conduit peut commencer lorsque le conduit est installé et se termine lorsque l'épaisseur minimale ou désirée du remblai est atteinte.

- Tâches élémentaires : Remblayage et nivellement du remblai.

Stabilisation des berges et talus (lot de travail de niveau 3)

La stabilisation des berges et des talus du remblai permet d'éviter leur érosion et ainsi prolonger la durée de vie de l'ouvrage et éviter l'apport de sédiments dans le cours d'eau. Pour ce faire, les talus du remblai compris dans les approches et entre les berges sont nettoyés, compactés et régalez avant d'être stabilisés (Hotte et Quirion, 2003; MRN, 1997). Les talus compris dans les approches peuvent être stabilisés à l'aide d'une membrane géotextile recouverte d'un enrochement ou par de la végétation en s'assurant d'adoucir la pente des talus du remblai en suivant un rapport de 1 (H) : 1,5 (V). La pente des talus compris entre les berges du cours d'eau doit être adoucie en suivant le même rapport et doit être stabilisée à l'aide d'une membrane géotextile recouverte d'un enrochement. L'enrochement est disposé de manière à atteindre la limite supérieure des berges du cours d'eau et dépasser le dessus du conduit (MFFP, 2020). Une clé d'ancrage peut être excavée afin de mieux supporter les premières pierres de l'enrochement et augmenter sa stabilité (Hotte et Quirion, 2003; MRN, 1997). Le lit en amont et en aval d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple doit être stabilisé à l'aide de pierres arrondies avec des dimensions similaires à ceux retrouvés dans le lit du cours d'eau (MFFP, 2020). Idéalement, le matériel excavé du lit peut être utilisé à ces fins (MRN, 1997). La stabilisation des berges et talus débute lorsque la mise en forme des

approches est complétée et se termine lorsque les talus des berges sont enrochés et que les talus du remblai des approches de part et d'autre du cours d'eau sont stabilisés.

- Tâches élémentaires : Ajustement des pentes des talus des berges, préparation des clés d'ancrage, enrochement des berges, ajustement des pentes des talus des approches et stabilisation des talus des approches.

Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Conduits de drainage des fossés (lot de travail de niveau 2)

Les conduits de drainage des fossés, communément appelé ponceaux de drainage, sont des structures de détournement des eaux de ruissellement qui vise à limiter l'apport de sédiments dans le cours d'eau. Pour se faire, les eaux de ruissellement canalisées par les fossés de drainage sont dirigées vers des zones de végétation stables situées à plus de 20 m du cours d'eau à l'aide d'un conduit de drainage de fossés. Au même titre qu'un ponceau, un conduit de drainage de fossés est constitué d'un conduit circulaire simple composé de TTOAG et disposé sous le remblai de part et d'autre du chemin. L'installation d'un conduit de drainage de fossés est nécessaire lorsque le remblai du chemin entrave l'écoulement normal des eaux de ruissellement vers les zones de végétation de part et d'autre du chemin (MFFP, 2020). L'aménagement de ces structures repose sur le principe que le diamètre utilisé pour le conduit doit être suffisant pour permettre le libre écoulement de l'eau en tout temps et éviter son obstruction (Art. 79, RADF). Les conduits de drainage des fossés doivent chacun comporter un conduit ayant un diamètre minimum de 300 mm et un remblai de plus de 300 mm. Les extrémités du conduit doivent dépasser d'au moins 300 mm de la base du remblai. Les talus du remblai à l'entrée et la sortie des conduits doivent être stabilisés (MFFP, 2020).

La revue de la littérature scientifique et grise n'a pas permis d'identifier des données précises concernant la durée de travail associé à chacune des tâches élémentaires de ce lot de travail. Ce faisant, la présentation et l'étude de ce lot de travail de niveau 2 ont dû être simplifiées à un lot de travail de niveau trois. C'est pourquoi l'aménagement de ces structures de détournement des eaux de ruissellement se résume à l'installation des conduits de drainage des fossés (lot de travail de niveau 3). Similaire à l'installation d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple, ce lot de travail débute par la préparation des fondations et se termine par la stabilisation des talus. Ce lot de travail peut s'effectuer en partie pendant ou après l'installation du ponceau simple (lot de travail de niveau 2).

- Lot de travail (niveau 3) : Installation des conduits de drainage des fossés (Préparation de la fondation du conduit, installation et remblayage du conduit, ajustement et stabilisation des talus).

Suivi et entretien – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1)

Ces interventions visent à prévenir la dégradation de la traverse de cours d'eau et la maintenir dans son état initial pendant sa période d'utilisation intensive. Les objectifs visés sont d'assurer la stabilité du lit du cours d'eau et la libre circulation de l'eau pendant la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau (MRN, 1997; MFFP, 2020). Le cadre réglementaire actuel du RADF ne comprend pas d'indicateurs précis pour exiger ou encadrer le suivi et l'entretien d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple. Ces interventions sont plutôt guidées par les principes énumérés ci-dessous (MFFP, 2020).

- Lorsqu'un ponceau est fréquenté régulièrement, le lit du cours d'eau, à l'entrée et à la sortie du conduit, est stabilisé avec des matériaux qui permettent d'éviter son affouillement (art. 96 et 97, RADF).
- Lorsqu'un ponceau est fréquenté régulièrement, le lit du cours d'eau, à l'entrée et à la sortie du conduit, permet la libre circulation de l'eau (art. 97, RADF).

Normalement, un ponceau devrait être inspecté annuellement afin d'évaluer son efficacité et d'assurer la mise en place de mesures qui permettent de maintenir son état (Hotte et Quirion, 2003; Desautels et *al.*, 2009). À cet effet, l'utilisateur principal a tout intérêt à mettre en place des mesures d'entretien afin de maintenir la productivité des activités de transport des ressources naturelles récoltées, d'éviter les coûts générés par la réparation d'un ponceau défaillant ainsi que les délais qui y sont associés (Desautels et *al.*, 2009).

- Lots de travail (niveau 2) : Suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau et entretien du conduit.

Suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau (lot de travail de niveau 2)

Le suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau permet d'identifier les problèmes ou menaces qui pourraient nuire à l'atteinte des objectifs ciblés par son aménagement pour la période d'utilisation intensive de la traverse (MFFP, 2020). Le suivi d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple s'oriente autour de la capacité de l'ouvrage à laisser l'eau circuler dans le conduit et l'intégrité du lit à son entrée et à sa sortie. En général, il est recommandé d'effectuer un suivi périodique d'un ponceau et un suivi systématique lors des crues printanières ou après des événements climatiques exceptionnels (Desautels et *al.*, 2009). La fréquence du suivi pourrait aussi être déterminée en fonction du risque de défaillance, qui combine la possibilité de défaillance et l'ampleur des conséquences de la défaillance de la traverse de cours d'eau sur l'accès, la qualité des habitats aquatiques et l'intégrité des traverses de cours d'eau en aval. Cependant, l'utilisation de cette méthode est limitée par la précision de l'estimation du risque et des conséquences réels. Le risque d'occurrence est difficile à évaluer et l'ampleur des conséquences est souvent sous-estimée (USDA Forest Service, 1999).

- Tâche élémentaire : Suivi du ponceau simple.

Entretien du conduit (lot de travail de niveau 2)

L'entretien du conduit circulaire simple du ponceau consiste à prévenir son obstruction ou à intervenir afin d'assurer la libre circulation de l'eau pendant la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau (MFFP, 2020). L'obstruction d'un conduit par des débris ligneux, des sédiments, la glace ou un barrage de castor peut occasionner des dommages significatifs à l'intégrité de l'ouvrage et introduire des sédiments dans le cours d'eau, nuire au libre passage du poisson et à la libre circulation de l'eau et ultimement mener à la défaillance du ponceau simple. Pour y remédier, il est recommandé de retirer périodiquement les débris qui s'accumulent en amont ou à l'intérieur du conduit (Desautels et *al.*, 2009; Hotte et Quirion, 2003; Keller et Sherar, 2003; Kocher et *al.*, 2007; Latrémouille, 2012; MFLNRO, 2018; MRN, 1997; Weaver et *al.*, 2015; USDA Forest Service, 1999). La prévention de l'obstruction du conduit passe par le retrait des débris qui s'accumulent dans ou à proximité de l'ouvrage. Ce lot de travail peut se réaliser en même temps que le suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau par un ouvrier. La fréquence du suivi et du retrait des débris dépend directement de l'utilisateur principal et de l'ampleur des débris véhiculés par le cours d'eau.

- Tâche élémentaire : Retrait des débris.

Évaluation à trois valeurs

L'évaluation des valeurs associées à ce mode de gestion s'effectue sur une base similaire à l'étude de Volpé sur les conditions et impacts financiers de l'utilisation d'ouvrages amovibles (Volpé, 2018). Elle s'effectue à l'échelle de trois classes de diamètre, soit les ponceaux constitués d'un conduit circulaire simple d'un diamètre entre 450 et 1000 mm, 1200 et 2000 mm, 2200 et 3000 mm. Les sources de données concernant la durée de travail pour les lots de travail et le coût des matériaux sont issues de la littérature scientifique et grise et l'évaluation par des experts.

Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1)

L'évaluation à trois valeurs de l'aménagement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en fonction des différentes classes de diamètre de TTOAG est le produit des différentes estimations du temps de travail et des coûts associés aux lots de travail et tâches élémentaires qui caractérisent le mode de gestion par abandon à l'étude. Elle regroupe des données provenant de différents types de sources et de plusieurs références qui ont été ajustées sur une base comparative afin d'établir des coûts potentiels (optimistes, probables et pessimistes) à l'échelle d'une classe de diamètre. L'estimation de la durée de travail associée à chacune des trois valeurs évaluées a été possible pour trois classes de diamètre de ponceaux simples.

Les résultats de l'évaluation à trois valeurs pour les classes de diamètre de ponceau simple qui ont pu être évalués sont présentés dans le Sommaire à la fin de cette section (Tableaux 1.4.1 à 1.4.3). Le contenu des prochaines pages touche directement aux éléments qui constituent le cœur (matériaux utilisés, durée des opérations, ressources nécessaires et dimensions de l'ouvrage) des évaluations à trois valeurs pour les lots de travail de niveau 2 qui caractérisent ce lot de travail de niveau 1.

Matériaux

Les matériaux de base à acquérir pour l'installation du ponceau constitué d'un conduit circulaire simple et des conduits de drainage des fossés constitués de conduits circulaires simples sont des tuyaux de tôles ondulées galvanisées (TTOAG) et une membrane géotextile. Pour cette évaluation, les coûts des conduits ont été estimés à l'aide des prix des produits de Soleno en 2021 qui sont ajustés de façon à être similaires aux ententes d'approvisionnement de 2021 pour les entreprises (Comm. Perso., 23 février 2021, Sylvain Bouchard, représentant des ventes chez Soleno). Le prix des TTOAG présentés dans le Tableau 1.1.1 détaille les coûts associés aux différentes combinaisons de diamètre, longueur et composition des conduits qui sont à l'étude. Le choix de l'épaisseur de la tôle d'un conduit peut varier en fonction de la disponibilité des produits, la durée de vie souhaitée et son coût (Paradis-Lacombe, 2018). Toutefois, l'estimation des prix des conduits pour ce mode de gestion s'est arrêtée à l'épaisseur minimale disponible pour les diamètres étudiés. Dans le même ordre d'idée, si un collet doit être utilisé pour rejoindre deux sections d'un conduit, l'estimation du prix se limite aussi au collet de la plus petite dimension disponible pour les diamètres étudiés. Le coût approximatif de la membrane géotextile est tiré d'une récente étude portant sur l'impact du changement réglementaire sur les traverses de cours d'eau (Torreblanca-Alarie, 2018). En bref, l'estimation des coûts des matériaux est représentative des ententes d'approvisionnement des entreprises pour avril 2021, comprend les taxes, mais exclut les frais de livraisons des produits.

Tableau 1.1.1 : Coût des matériaux – Ponceau simple et conduit de drainage de fossés

Coût d'un conduit circulaire en TTOAG - Conduit de drainage de fossés					
Diamètre (mm)	Longueur (m)	Épaisseur tôle (mm)	Tarif Soleno 2021 (\$/m)*	Composition	Coût (\$)
300	9	1,6	31,60	Section simple	327,06
300	12	1,6	31,60	Section simple	436,08
Coût d'un conduit circulaire en TTOAG - Ponceau simple					
Diamètre (mm)	Longueur (m)	Épaisseur tôle (mm)	Tarif Soleno 2021 (\$/m)*	Composition	Coût (\$)
450	9	1,6	48,76	Section simple	504,67
450	12	1,6	48,76	Section simple	672,89
450	12	1,6	48,76	Deux sections de 6 m et un collet de 8 "	704,14
900	8	1,6	105,25	Section simple	968,30
900	9	1,6	105,25	Section simple	1 089,34
900	12	1,6	105,25	Section simple	1 452,45
1000	9	1,6	162,75	Section simple	1 684,46
1000	12	2,0	162,75	Section simple	2 245,95
1000	12	2,0	162,75	Deux sections de 6 m et un collet de 12 "	2 344,46
1200	9	2,0	212,42	Section simple	2 198,55
1200	12	2,0	212,42	Section simple	2 931,40
1200	12	2,0	212,42	Deux sections de 6 m et un collet de 12 "	3 046,20
2000	9	2,8	476,61	Section simple	4 932,91
2000	12	2,8	476,61	Deux sections de 6 m et un collet de 22,5 "	6 892,23
2200	12	2,8	544,57	Deux sections de 6 m et un collet de 22,5 "	7 869,00
2400	12	2,8	592,96	Section simple	8 182,85
2700	12	3,5	761,17	Section simple	10 504,15
3000	12	3,5	842,41	Deux sections de 6 m et un collet de 22,5 "	12 104,81
3300	12	3,5	927,51	Deux sections de 6 m et un collet de 22,5 "	13 275,73
*Tarifs approximatifs pour les ententes d'approvisionnement de 2021 (Comm. Perso., Avril 2021, Sylvain Bouchard, représentant des ventes chez Soleno).					
Notes : Épaisseur minimum du TTOAG disponible. Coûts incluent les taxes (15 %) et ne comprennent pas la livraison.					
Coût de la membrane géotextile					
Référence					Coût (\$)
Torreblanca-Alarie, 2018,					219,39

Manutention des matériaux (lot de travail de niveau 2)

Les conditions déterminées pour le transport des matériaux à acquérir sont les mêmes que pour tous les autres modes de gestion, soit une heure de transport pour le fardier chargé et une heure de transport pour le fardier déchargé entre le garage et le site de traversée. La durée et le coût associés à l'exécution de ce lot de travail sont généralisés à l'ensemble des classes de diamètre évaluées. Tel qu'illustré dans le Tableau 1.1.2, les valeurs correspondant à des lots de travail ou des éléments de travail estimés par les différents groupes d'experts sont identifiés à l'aide d'une couleur de police bleue. Pour ce lot de travail, la durée de chargement et de déchargement des TTOAG a été évaluée par un groupe d'experts à 15 minutes pour les conduits circulaires en TTOAG des conduits de drainage des fossés et à 15 minutes pour le conduit circulaire en TTOAG du ponceau simple (Opérateurs et contremaîtres de chantiers chez le Groupe TCI et Jobert Inc., Août 2019).

Tableau 1.1.2 : Manutention des matériaux – Ponceau simple et conduits de drainage des fossés.

Manutention des matériaux (lot de travail de niveau 2) - Ponceau simple et conduits de drainage des fossés (n=1)				
Lots de travail	Avis d'experts, (Opérateur et contremaître, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019).			
Ressources :	Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h
Chargement/déchargement des matériaux	30m	30m	2 x 30m	30m
Transport des matériaux				2h
Durée d'exécution	1h30m			
Total (\$)	614,97			
<i>*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.</i>				

Installation du ponceau simple (lot de travail de niveau 2)

Pour l'évaluation à trois valeurs de l'installation d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple, les sources de données employées sont la revue de la littérature scientifique et grise et l'évaluation par des experts. Après l'application des filtres, la base de données Web of Science et les différents moteurs de recherche utilisés ont permis de relever 146 références qui touchent directement à l'aménagement de ponceaux. Parmi celles-ci, huit références touchaient directement aux coûts des opérations et des matériaux à l'échelle d'un ouvrage. De ces références seulement quatre comportaient la combinaison de données recherchées pour cette évaluation, soit la dimension du ponceau simple (diamètre, longueur, composition), la durée des opérations, les matériaux utilisés (diamètre, longueur, composition, etc.) et leur coût, les ressources nécessaires (type de machinerie, main d'œuvre, etc.) et le taux associé à celles-ci (opérateur, fonctionnement machine, etc.). Parmi les experts consultés, quatre groupes d'experts ont été en mesure de faire des estimations de la durée d'installation d'un ponceau simple en fonction de différents diamètres et du type de données recherchées pour l'évaluation. Les références incluses ou exclues de l'étude et les avis des experts sont présentés dans le Tableau 1.2.1 en Annexe 1. Les données ajustées qui en résultent sont présentées dans les Tableaux 1.2.2 à 1.2.5 en Annexe 1. Les résultats de l'évaluation à trois valeurs des différentes classes de diamètre sont présentés, plus bas, dans le Tableau 1.2.6. Les valeurs qui se démarquent par une couleur de police rouge correspondent à des éléments de travail qui ont été ajoutés ou ajustés aux données initiales (brutes) afin de s'assurer de pouvoir comparer chaque estimé sur une base comparative. Dans la très grande majorité des cas, cet ajustement se limite à l'ajout d'un superviseur à l'estimé initial pour l'ensemble des manœuvres qui impliquent une pelle mécanique. À travers les différentes sources de données utilisées, il a été possible d'effectuer une évaluation à trois valeurs pour les trois classes de diamètre de ponceau étudiées.

Tableau 1.2.6: Évaluation à trois valeurs: Installation du ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm, 1200 à 2000 mm et 2200 à 3000 mm.

Évaluation à trois valeurs : Installation du ponceau simple (lot de travail de niveau 2) - TTOAG 450 à 1000 mm (n=15)										
Lots de travail	Valeurs optimistes : Avis d'experts (Séminaire de Québec, 2021). 450 mm x 9 m.			Valeurs probables : Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 1000 mm x 9 m.			Valeurs pessimistes : Volpé, 2018. 1000 mm x 12 m.			
	Excavatrice (25 t) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (25 t) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (35 t) : 162,60 \$/h	Camion benne articulé - 6x6 (33 à 44 t) : 213,15 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h
Mise en forme des approches										
Aménager la fondation	1h	1h	1h	4h	4h	4h	2 x 13h10m	8h40m	13h10m	8h
Remblayage du conduit										
Stabilisation des berges et talus										
Durée d'exécution	1h			4h			13h10m			
Coût (\$)	245,70			982,80			7 339,83			
Matériaux										
Membrane géotextile (\$)	219,39			219,39			219,39			
Conduit - Ponceau simple (\$)	504,67			1 684,46			2 344,46			
Coût (\$)	724,06			1 903,85			2 563,85			
Total (\$)	969,76			2 886,65			9 903,68			
Évaluation à trois valeurs : Installation du ponceau simple (lot de travail de niveau 2) - TTOAG 1200 à 2000 mm (n=5)										
Lots de travail	Valeurs optimistes : Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 1200 mm x 9 m.			Valeurs probables : Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 2000 mm x 9 m.			Valeurs pessimistes : Volpé, 2018. 2000 mm x 12 m.			
	Excavatrice (20 t) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (20 t) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrices (35 t) : 162,60 \$/h	Camion benne articulé - 6x6 (33 à 44 t) : 213,15 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h
Mise en forme des approches										
Aménager la fondation	5h	5h	5h	8h	8h	8h	2 x 18h50m	11h20m	18h50m	12h
Remblayage du conduit										
Stabilisation des berges et talus										
Durée d'exécution	5h			8h			18h50m			
Coût (\$)	1 228,50			1 865,60			10 303,97			
Matériaux										
Membrane géotextile (\$)	219,39			219,39			219,39			
Conduit - Ponceau simple (\$)	2 198,55			4 932,91			6 892,23			
Coût (\$)	2 417,94			5 152,30			7 111,62			
Total (\$)	3 646,44			7 017,90			17 415,59			
Évaluation à trois valeurs : Installation du ponceau simple (lot de travail de niveau 2) - TTOAG 2200 à 3000 mm (n=3)										
Lots de travail	Valeurs optimistes : Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 2400 mm x 12 m.			Valeurs probables : Torreblanca-Alarie, 2018. 2700 mm x 12 m.			Valeurs pessimistes : Volpé, 2018. 3000 mm x 12 m.			
	Excavatrice (20 t) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (CAT329) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrices (35 t) : 162,60 \$/h	Camion benne articulé - 6x6 (33 à 44 t) : 213,15 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h
Mise en forme des approches										
Aménager la fondation	8h	8h	8h	17h	17h	13h25m	2 x 26h	14h	26h	16h
Remblayage du conduit										
Stabilisation des talus et berges										
Durée d'exécution	8h			17h			26h			
Coût (\$)	1 965,60			4 494,50			13 841,70			
Matériaux										
Membrane géotextile (\$)	219,39			219,39			219,39			
Conduit - Ponceau simple (\$)	8 182,85			10 504,15			12 104,81			
Coût (\$)	8 402,24			10 723,54			12 324,20			
Total (\$)	10 367,84			15 218,04			26 165,90			
<i>*Donnée ajoutée ou ajustée.</i>										
<i>*Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.</i>										

Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Conduits de drainage des fossés (lot de travail de niveau 2)

Pour l'évaluation à trois valeurs de l'installation des conduits de drainage des fossés, les données employées proviennent de la revue de la littérature scientifique et grise et d'évaluations par des experts. La revue de la littérature, touchant à l'aménagement de ponceaux, a permis de relever seulement deux références qui touchaient directement aux coûts et la durée des opérations associées à l'installation d'un conduit de drainage de fossés. Parmi celles-ci, seulement une référence comportait la combinaison de données recherchées (ressources (type et taux), durée des opérations, coût matériaux, dimension du

ponceau de drainage). Pour les évaluations des experts, cinq groupes d'experts ont été consultés pour estimer la durée des opérations associées à l'installation d'un conduit de drainage de fossés pour différentes longueurs de conduits circulaires simples en TTOAG. Les références incluses et les avis d'experts sont présentés dans le Tableau 1.3.1 en Annexe 1.

D'autre part, les données récoltées sont associées à l'installation d'un seul conduit de drainage de fossés et doivent être ajustées à l'échelle de deux conduits de drainage de fossés. Pour ce faire, la durée de travail et le coût des matériaux associés à l'installation d'un conduit de drainage de fossés sont simplement doublés. Les données ajustées pour l'installation de deux conduits de drainage de fossés (Tableaux 1.3.2 et 1.3.3, Annexe 1) sont regroupées et traitées séparément en fonction de la longueur du conduit de drainage de fossés étudié, soit 9 m (n=9) ou 12 m (n=4). Les deux groupes sont traités séparément afin d'obtenir des estimations qui seront représentatives de l'ampleur de la surface de roulement et de la mise en forme des approches des différentes traverses de cours d'eau à l'étude. Par exemple, si les valeurs optimistes associées à l'installation d'un ponceau simple de la catégorie 450-1000 mm correspondent à un ponceau simple de 450 mm de 9 m, les valeurs utilisées pour estimer l'installation de ses conduits de drainage des fossés sont déterminées par les valeurs optimistes du regroupement de conduits de drainage de fossés de 9 m. Les résultats de l'évaluation à trois valeurs de ces deux regroupements sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tableau 1.3.4).

Tableau 1.3.4 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Conduits de drainage des fossés TTOAG 300 à 450 mm x 9 m et 300 à 450 mm x 12 m.

Évaluation à trois valeurs : Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement (lot de travail de niveau 2)										
Conduits de drainage des fossés TTOAG 300 à 450 mm x 9 m										
Lots de travail et tâches élémentaires		Valeurs optimistes : Avis d'expert (Groupe Lebel B, 2021). 300 mm x 9 m.			Valeurs probables : Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 300 mm x 9 m.			Valeurs pessimistes : Avis d'expert (Groupe Lebel B, 2021). 450 mm x 9 m.		
Installation des conduits de drainage des fossés (n=9)	Ressources :	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h
	Préparation de la fondation									
	Installation des conduits	1h30m	1h30m	1h30m	2h	2h	2h	2h30m	2h30m	2h30m
	Remblayage des conduits									
	Ajustement et stabilisation des talus									
Durée d'exécution		1h30m			2h			2h30m		
Coût (\$)		415,50			491,40			692,50		
Matériaux										
Conduits (2)- Conduits de drainage des fossés (\$)		654,12			654,12			1 009,34		
Coût (\$)		654,12			654,12			1 009,34		
Total (\$)		1 069,62			1 145,52			1 701,84		
Évaluation à trois valeurs : Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement (lot de travail de niveau 2)										
Conduits de drainage des fossés TTOAG 300 à 450 mm x 12 m										
Lots de travail et tâches élémentaires		Valeurs optimistes : Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 300 mm x 12 m.			Valeurs probables : Kochev <i>et al.</i> 2007. 450 mm x 12 m.			Valeurs pessimistes : Avis d'expert (Forêt Montmorency, 2021). 450 mm x 12 m.		
Installation des conduits de drainage des fossés (n=4)	Ressources :	Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Petite excavatrice : 114,00 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h
	Préparation de la fondation									
	Installation des conduits	2h	2h	2h	6h	6h	6h	6h	6h	6h
	Remblayage des conduits									
	Ajustement et stabilisation des talus									
Durée d'exécution		2h			6h			6h		
Coût (\$)		491,40			1 370,40			1 474,20		
Matériaux										
Conduits (2)- Conduits de drainage des fossés (\$)		872,16			1 408,28			1 345,78		
Coût (\$)		872,16			1 408,28			1 345,78		
Total (\$)		1 363,56			2 778,58			2 819,98		
*Donnée ajoutée ou ajustée.										
*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.										

Sommaire

Les Tableaux 1.4.1 à 1.4.3 sont les représentations des coûts, des temps de travail et des ressources associés à l'aménagement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple pour les trois valeurs évaluées (Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1). Ces résultats sont obtenus par la compilation des évaluations à trois valeurs associées aux lots de travail de niveau 2 qui caractérisent ce lot de travail de niveau 1.

Tableau 1.4.1 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm.

Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau - Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm (lot de travail de niveau 1)													
Lots de travail		Valeurs optimistes : 450 mm x 9 m*.				Valeurs probables : 1000 mm x 9 m*.				Valeurs pessimistes : 1000 mm x 12 m**.			
Manutention des matériaux (n=1)	Ressources :	Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h	Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h	Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h
		Chargement/déchargement des matériaux	30m	30m	2 x 30m	30m	30m	30m	2 x 30m	30m	30m	30m	2 x 30m
	Transport des matériaux												
	Durée d'exécution	1h30m				1h30m				1h30m			
	Coût (\$)	614,97				614,97				614,97			
Installation du ponceau simple (n=15)	Ressources :	Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrices (35 tonnes) : 162,60 \$/h par excavatrice	Camion benne articulé 6x6 (33 à 44 tonnes) : 213,15	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h
	Mise en forme des approches												
	Aménager la fondation	1h	1h	1h		4h	4h	4h		2 x 13h10m	8h40m	8h	13h10m
	Remblayage du conduit												
	Stabilisation des talus et berges												
	Durée d'exécution	1h				4h				13h10m			
	Coût (\$)	245,70				982,80				7339,83			
Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Conduits de drainage des fossés (n=8 (9 m) ou n=3 (12 m))	Ressources :	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	
	Installation des conduits de drainage des fossés	1h30m	1h30m	1h30m		2h	2h	2h		6h	6h	6h	
	Durée d'exécution	1h30m				2h				6h			
	Coût (\$)	415,50				491,40				1 474,20			
Sommaire des opérations	Coût (\$)	1 276,17				2 089,17				9 429,00			
	Durée d'exécution	4h				7h30m				20h40m			
Matériaux													
	Membrane géotextile (\$)	219,39				219,39				219,39			
	Conduit - Ponceau simple (\$)	504,67				1 684,46				2 344,46			
	Conduits (2) - Conduits de drainage des fossés (\$)	654,12				654,12				1 345,78			
	Coût (\$)	1 378,18				2 557,97				3 909,63			
	Total (\$)	2 654,35				4 647,14				13 338,63			

*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise. *Donnée ajoutée ou ajustée.
 **Conduits de drainage des fossés : 300 mm x 9 m. **Conduits de drainage des fossés : 450 mm x 12 m.

Tableau 1.4.2 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple TTOAG 1200 à 2000 mm.

Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau - Ponceau simple TTOAG 1200 à 2000 mm (lot de travail de niveau 1)													
Lots de travail		Valeurs optimistes : 1200 mm x 9 m*.				Valeurs probables : 2000 mm x 9 m*.				Valeurs pessimistes : 2000 mm x 12 m**.			
Manutention des matériaux (n=1)	Ressources :	Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h	Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h	Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h
		Chargement/déchargement des matériaux	30m	30m	2 x 30m	30m	30m	30m	2 x 30m	30m	30m	30m	2 x 30m
	Transport des matériaux												
	Durée d'exécution	1h30m				1h30m				1h30m			
	Coût (\$)	614,97				614,97				614,97			
Installation du ponceau simple (n=5)	Ressources :	Excavatrice (20 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrice (20 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrices (35 tonnes) : 162,60 \$/h par excavatrice	Camion benne articulé 6x6 (33 à 44 tonnes) : 213,15 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h
	Mise en forme des approches												
	Aménager la fondation	5h	5h	5h		8h	8h	8h		2 x 18h50m	11h20m	18h50m	12h
	Remblayage du conduit												
	Stabilisation des talus et berges												
	Durée d'exécution	5h				8h				18h50m			
	Coût (\$)	1 228,50				1 865,60				10 303,97			
Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Conduits de drainage des fossés (n=8 (9 m) ou n=3 (12 m))	Ressources :	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	
	Installation des conduits de drainage des fossés	1h30m	1h30m	1h30m		2h	2h	2h		6h	6h	6h	
	Durée d'exécution	1h30m				2h				6h			
	Coût (\$)	415,50				491,40				1 474,20			
Sommaire des opérations	Coût (\$)	2 258,97				2 971,97				12 393,14			
	Durée d'exécution	8h				11h30m				26h20m			
Matériaux													
	Membrane géotextile (\$)	219,39				219,39				219,39			
	Conduit - Ponceau simple (\$)	2 198,55				4 932,91				6 892,23			
	Conduits (2) - Conduits de drainage des fossés (\$)	654,12				654,12				1 345,78			
	Coût (\$)	3 072,06				5 806,42				8 457,40			
	Total (\$)	5 331,03				8 778,39				20 850,54			

Notes : Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise. Donnée ajoutée ou ajustée.
 **Conduits de drainage des fossés : 300 mm x 9 m. **Conduits de drainage des fossés : 450 mm x 12 m.

Tableau 1.4.3 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple TTOAG 2000 à 3000 mm.

Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau - Ponceau simple TTOAG 2200 à 3000 mm													
Lots de travail		Valeurs optimistes : 2400 mm x 12 m*.				Valeurs probables : 2700 mm x 12 m*.				Valeurs pessimistes : 3000 mm x 12 m**.			
Manutention des matériaux (n=1)	Ressources :	Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h	Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h	Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h
	Chargement et déchargement des matériaux	30m	30m	2 x 30m	30m	30m	30m	2 x 30m	30m	30m	30m	2 x 30m	30m
	Transport des matériaux				2h				2h				2h
	Durée d'exécution	1h30m				1h30m				1h30m			
	Coût (\$)	614,97				614,97				614,97			
Installation du ponceau simple (n=3)	Ressources :	Excavatrice (20 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrice (CAT329) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrices (35 tonnes) : 162,60 \$/h par excavatrice	Camion benne articulé 6x6 (33 à 44 tonnes) : 213,15 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h
	Mise en forme des approches												
	Aménager la fondation	8h	8h	8h		17h	17h	13h25m		2 x 26h	14h	26h	16h
	Remblayage du conduit												
Stabilisation des talus et berges													
Durée d'exécution	8h				17h				26h				
	Coût (\$)	1 965,60				4 494,50				1 3841,70			
Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Conduits de drainage des fossés (n=3)	Ressources :	Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Petite excavatrice (CAT329) : 114 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	
	Installation des conduits de drainage des fossés	2h	2h	2h		6h	6h	6h		6h	6h	6h	
	Durée d'exécution	2h				6h				6h			
	Coût (\$)	491,40				1 370,40				1 474,20			
	Coût (\$)	3 071,97				6 479,87				15 930,87			
Sommaire des opérations	Durée d'exécution	11h30m				24h30m				33h30m			
Matériaux													
Membrane géotextile (\$)		219,39				219,39				219,39			
Conduit - Ponceau simple (\$)		8 182,85				10 504,15				1 2104,81			
Conduits (2) - Conduits de drainage des fossés (\$)		872,16				1 408,28				1 345,78			
	Coût (\$)	9 274,40				12 131,82				13 669,98			
	Total (\$)	12 346,37				18 611,69				29 600,85			
Notes : Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise. Donnée ajoutée ou ajustée.													
*Conduits de drainage des fossés : 300 mm x 12 m. **Conduits de drainage des fossés : 450 mm x 12 m.													

Suivi et entretien – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1)

La revue de la littérature scientifique et grise concernant l'aménagement de ponceau a permis de révéler plusieurs références qui touchaient indirectement au suivi et à l'entretien de ponceau constitué d'un conduit circulaire simple pendant la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau. Cependant, ces références ne comportaient pas la combinaison de données recherchées (ressources (type et taux), durée des opérations, matériaux (types et coût) pour décrire les lots de travail et tâches élémentaires associées au suivi et l'entretien à l'échelle d'un ponceau simple pendant la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau. Ce faisant, ce lot de travail n'est pas intégré dans l'évaluation à trois valeurs ou dans l'identification des critères potentiels d'efficacité du mode de gestion par abandon.

Résultats finaux

L'évaluation à trois valeurs du mode de gestion par abandon a été possible à l'échelle de trois classes de diamètre de ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG. Cette évaluation, présenté dans

le Tableau 1.5.1, dresse un portrait des coûts potentiels qui sont associés à l'aménagement d'un ponceau simple pour les classes de diamètre de 450 à 1000 mm, 1200 à 2000 mm et 2200 à 3000 mm dans les limites méthodologiques de l'étude. Les variations entre les valeurs optimistes, probables et pessimistes peuvent être attribuables à plusieurs facteurs potentiels ou même une combinaison de ceux-ci. La revue de la littérature scientifique et grise et les avis d'experts ont permis d'identifier plusieurs d'entre-eux. Ces facteurs potentiels sont identifiés et brièvement documentés dans la section Critères potentiels d'efficacité. Toutefois, ces facteurs représentent seulement des éléments qui pourraient exercer une influence sur le déroulement du lot de travail et n'expliquent en aucun cas la nature ou l'ampleur des variations entre les résultats présentés.

Tableau 1.5.1 : Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par abandon - Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm, 1200 à 2000 mm et 2200 à 3000 mm.

Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par abandon - Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm, 1200 à 2000 mm et 2200 à 3000 mm												
Lot de travail - Niveau 1	Lots de travail - Niveau 2		Valeurs optimistes			Valeurs probables			Valeurs pessimistes			
			450 à 1000 mm	1200 à 2000 mm	2200 à 3000 mm	450 à 1000 mm	1200 à 2000 mm	2200 à 3000 mm	450 à 1000 mm	1200 à 2000 mm	2200 à 3000 mm	
Aménagement de la traverse de cours d'eau - Ponceau simple	Manutention des matériaux	Durée d'exécution	1h30m	1h30m	1h30m	1h30m	1h30m	1h30m	1h30m	1h30m	1h30m	
		Coût (\$)	614,97	614,97	614,97	614,97	614,97	614,97	614,97	614,97	614,97	
	Installation du ponceau simple	Durée d'exécution	1h	5h	8h	4h	8h	17h	13h10m	18h50m	26h	
		Coût (\$)	245,70	1 228,50	1 965,60	982,80	1 865,60	4 494,50	7 339,83	10 303,97	13 841,70	
	Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Conduits de drainage des fossés	Durée d'exécution	1h30m	1h30m	2h	2h	2h	6h	6h	6h	6h	
		Coût (\$)	415,50	415,50	491,40	491,40	491,40	1 370,40	1 474,20	1 474,20	1 474,20	
	Matériaux : Conduits et membrane géotextile											
	Dimensions du conduit du ponceau simple (TTOAG)		450 mm x 9 m	1200 mm x 9 m	2400 mm x 12 m	1000 mm x 9 m	2000 mm x 9 m	2700 mm x 12 m	1000 mm x 12 m	2000 mm x 12 m	2400 mm x 12 m	
	Dimensions des conduits de drainage des fossés (TTOAG)		300 mm x 9 m	300 mm x 9 m	300 mm x 12 m	300 mm x 9 m	300 mm x 9 m	450 mm x 12 m	450 mm x 12 m	450 mm x 12 m	450 mm x 12 m	
	Coût (\$)		1 378,18	3 072,06	9 274,40	2 557,97	5 806,42	12 131,82	3 909,63	8 457,40	13 669,98	
Durée d'exécution		4h	8h	11h30m	7h30m	11h30m	24h30m	20h40m	26h20m	33h30m		
Coût (\$)		2 654,35	5 331,03	12 346,37	4 647,14	8 778,39	18 611,69	13 338,63	20 850,54	29 600,85		
Suivi et entretien - Ponceau simple	Suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.		
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.		
	Entretien du conduit	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
	Durée d'exécution		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
Coût (\$)		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.		
Total (\$)		2 654,35	5 331,03	12 346,37	4 647,14	8 778,39	18 611,69	13 338,63	20 850,54	29 600,85		

Critères potentiels d'efficacité

Le contexte légal actuel des chemins à faible fréquentation en forêt publique québécoise suggère et traite un ponceau comme étant une traverse de cours d'eau permanente dont le suivi et l'entretien n'ont pas à être assurés après sa période d'utilisation intensive. Alors que dans la littérature, un ponceau est souvent comparé à une digue qui est conçue pour éventuellement défaillir et ne devrait pas être considéré comme étant une traverse de cours d'eau permanente, puisqu'un ponceau non entretenu a 100 % de chance d'atteindre un état de défaillance (Furniss et *al.*, 1991; Weaver et *al.*, 2015). Sans entretien, un ponceau représente un risque pour la sécurité des biens, des personnes et de ses usagers, la qualité de l'eau et des habitats aquatiques et l'intégrité des traverses de cours d'eau en aval de celle-ci (Bagley, 1998; Clarkin et *al.*, 2006; Edwards, Wood et Quinlivan, 2016; Furniss et *al.*, 1991; Keller et Sherar, 2003; Kocher et *al.*, 2007; Weaver et *al.*, 2015).

Entretien inefficace

Le contexte légal actuel d'aménagement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en forêt publique prévoit de nombreuses normes qui permettent de limiter l'apport de sédiments, d'assurer la stabilisation de la structure, la stabilisation du lit, la libre circulation de l'eau et, si nécessaire, le libre passage du poisson d'ici à la fin des travaux de construction de la traverse (MFFP, 2020). Suite à sa construction et pendant la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau, l'entretien d'un ponceau simple est encadré par les principes énumérés ci-dessous.

- Lorsqu'un ponceau est fréquenté régulièrement, le lit du cours d'eau, à l'entrée et à la sortie du conduit, est stabilisé avec des matériaux qui permettent d'éviter son affouillement (art. 96 et 97, RADF).
- Lorsqu'un ponceau est fréquenté régulièrement, le lit du cours d'eau, à l'entrée et à la sortie du conduit, permet la libre circulation de l'eau (art. 97, RADF).
- Si nécessaire, le lit du cours d'eau, à l'entrée et à la sortie du conduit, doit assurer le libre passage du poisson (art. 96 et 103, RADF).

Ces principes ne sont toutefois pas clairement définis dans le RADF et laissent place à l'interprétation. Par exemple en 1997, le ministère des Ressources naturelles considérait qu'un conduit fissuré sur plus de 20 % de ses joints ou de sa longueur représentait un risque élevé pour l'intégrité de l'ouvrage et la sécurité de ses usagers (MRN, 1997). En 2021, si ce conduit permet à l'eau de circuler en dessous du remblai de l'ouvrage, il n'a pas à être remplacé ou entretenu. Ce faisant, la décision de mettre en place des mesures d'entretien ou de réfection d'un conduit en mauvais état est remise entre les mains, et à la discrétion, de l'utilisateur principal ou de l'organisation qui considère utiliser fréquemment l'accès. Il est reconnu que l'utilisation judicieuse de mesures préventives est moins coûteuse que de travailler à réparer les dommages associés à la défaillance d'une traverse de cours d'eau (Bagley, 1998; Clarkin et *al.*, 2006; Edwards, Wood et Quinlivan, 2016; Furniss et *al.*, 1991; Keller et Sherar, 2003; Kocher et *al.*, 2007; Weaver et *al.*, 2015).

Malgré tout, un utilisateur principal n'a pas d'avantage à entretenir les chemins et les traverses de cours d'eau sur un territoire qu'y ne lui appartient pas et qu'il pourrait ne plus avoir à fréquenter.

Concernant les conduits de drainage des fossés, leur entretien ne semble pas être assuré après leur installation. Au-delà des principes de conception de la structure, aucune norme ne semble être prescrite dans le RADF pour assurer son intégrité et sa capacité à répondre à ses fonctions d'évacuation des eaux de ruissellement pendant et après la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau. Sa capacité à répondre à ses fonctions est plutôt dictée par le diamètre choisi lors de l'installation du conduit de drainage de fossés.

En bref, il est juste d'affirmer que la libre circulation de l'eau et la stabilité de lit à l'entrée et la sortie du ponceau simple sont assurées pendant la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau. Toutefois, la libre circulation de l'eau et la stabilité du lit ne sont pas assurées après la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau. Le libre passage du poisson et la stabilité de l'ouvrage ne sont pas non plus assurés pendant et après la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau.

Intégrité de la traverse de cours d'eau

Paradis-Lacombe (2018) démontre que dans ce contexte, la durée de vie utile d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG pourrait varier entre 25 et 30 ans (Paradis-Lacombe, 2018). En effet, le conduit circulaire simple en TTOAG d'un ponceau ou d'un conduit de drainage de fossés est soumis à diverses conditions qui peuvent représenter une menace à leur intégrité. Par exemple, la corrosion et l'abrasion d'un TTOAG amènent des perforations qui exposent le matériel de remblai à l'érosion, permettent de véhiculer des sédiments et ont le potentiel de participer à l'affaissement de l'ouvrage et de son matériel de remblai dans le cours d'eau (Paradis-Lacombe, 2018, Weaver et *al.*, 2015). Ainsi, un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG non entretenu, dans les limites de la durée de vie et de la qualité de ses matériaux et de ses composantes structurelles, a le potentiel d'assurer ses fonctions de support de la route et de drainage du cours d'eau pendant une période de 25 ans. Après cette période, l'intégrité du ponceau simple est à risque et il n'est pas possible de garantir ses fonctions de drainage ou de support de la route. L'abrasion et la corrosion d'un TTOAG représentent une menace à l'intégrité du ponceau simple lorsque la ou les sections de TTOAG du conduit ne sont pas suivies, entretenues ou renouvelées. Cette menace peut se traduire par une perte de matériel de remblai, des contraintes de sécurité pour les usagers, une nuisance pour le libre passage du poisson et la libre circulation de l'eau et un apport de sédiments qui peut nuire à la qualité de l'eau et des habitats aquatiques.

D'autre part, l'obstruction du conduit circulaire simple d'un ponceau ou d'un conduit de drainage de fossés représente aussi une menace importante à l'intégrité de l'ouvrage. Par son aménagement et sa conception, un ponceau modifie le patron de drainage d'une rive ou d'un cours d'eau en canalisant et concentrant les eaux qu'il draine dans un conduit. Ce qui favorise son obstruction par l'accumulation de végétaux, débris ligneux, glaces, sédiments ou une digue de castor (Desautels et *al.*, 2009; Hotte et Quirion, 2003; Kocher et *al.*, 2007; MRN, 1997; USDA Forest Service, 1999; Weaver et *al.*, 2015). Une fois que le conduit est obstrué et que le débit de l'écoulement est supérieur à sa capacité de drainage, le cours d'eau ou les eaux canalisés par les fossés de drainage du chemin peuvent déborder par-dessus le remblai qui recouvre le conduit. Les eaux qui débordent se dirigent vers le point le plus bas du remblai pour rejoindre le cours d'eau ou être déviées via la surface de roulement vers le chemin en approche du ponceau simple jusqu'au prochain point de contact avec le réseau hydrologique. Ces débordements épisodiques ou périodiques vont nécessairement éroder le matériel du ponceau simple ou du chemin et ultimement lessiver le ponceau ou le chemin qu'il désert. Dans la littérature, il est reconnu que le lessivage d'un ponceau est assez courant dans un réseau de chemins abandonnés. Toutefois, l'occurrence de ces défaillances n'est pas évaluée avec précision et il est difficile d'intégrer l'ensemble de leurs impacts, puisqu'ils sont souvent intangibles, inhérents et compliqués à estimer sous forme de valeurs ou coûts à l'échelle d'une traverse de cours d'eau (Clarkin et *al.*, 2006; Edwards, Wood et Quinlivan, 2016; Furniss et *al.*, 1991; Keller et Sherar, 2003; Kocher et *al.*, 2007; Weaver et *al.*, 2015). En effet, le volume de matériel érodé et distribué dans le cours d'eau dépend de la stabilité du remblai, du volume de matériel érodable, du débit et de la fréquence et durée des périodes où le cours d'eau déborde par-dessus le conduit obstrué (Weaver et *al.*, 2015). À titre indicatif, Best et *al.* (1995), à travers l'étude de 75 ponceaux défaillants en Californie, ont démontré que le lessivage d'un ponceau non entretenu distribue en moyenne 235 m³ de matériel dans un cours d'eau et qu'une déviation peut éroder et distribuer en moyenne 2 650 m³ de matériel. En considérant que la masse volumique de 1 600 kg/m³ pour un sable de remblai sec (Best et *al.*, 1995) et qu'un camion-benne de 10 roues peut charger environ 12,75 tonnes de matériel, le lessivage d'un ponceau pourrait représenter environ 30 chargements de matériel. Alors qu'une déviation représenterait environ 333 chargements de camion-benne de 10 roues (Arsenault, 2014; Groupe Bauval Inc., 2020).

Ces résultats ne sont pas nécessairement représentatifs du contexte québécois, mais ils mettent clairement en évidence l'escalade des conséquences potentielles entre le lessivage et la déviation d'un ponceau. Ainsi, ces menaces peuvent se traduire par une perte importante de matériel de remblai, des contraintes de sécurités pour les usagers, des apports importants de sédiments qui peuvent nuire à la qualité de l'eau et des habitats aquatiques et une nuisance pour le libre passage du poisson et la libre circulation de l'eau.

Aménagement de la traverse de cours d'eau

La revue de la littérature scientifique et grise et la consultation d'experts ont permis d'identifier plusieurs facteurs, énumérés ci-dessous, qui pourraient influencer la durée et le coût associés à l'aménagement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG.

- Opérateur de la pelle mécanique : Proactivité, expérience et adaptabilité (Avis d'expert, Forêt Montmorency; Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI 2019; Avis d'experts, Groupe Lebel 2021; Avis d'expert, Séminaire de Québec 2021; Bagley, 1998; Desautels et *al.*, 2009).
- Disponibilité du matériel de remblayage et de stabilisation : Quantité suffisante et proximité ou distance de transport (Avis d'expert, Forêt Montmorency; Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI 2019; Avis d'experts, Groupe Lebel 2021; Avis d'expert, Séminaire de Québec 2021; Desautels et *al.*, 2009).
- Nature du substrat des rives et du lit : Sol organique ou humide, présence de matériel de forte dimension, exposition de la roche mère dans la zone d'enfouissement du conduit (Avis d'expert, Forêt Montmorency; Avis d'experts, Groupe Lebel 2021; Avis d'expert, Séminaire de Québec 2021; Volpé, 2018).
- Dimension de l'ouvrage par rapport à la forme des rives : Largeur de l'emprise de la surface de roulement, des accotements et des talus du remblai et son épaisseur (Avis d'expert, Forêt Montmorency; Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI 2019; Avis d'experts, Groupe Lebel 2021; Avis d'expert, Séminaire de Québec 2021; Desautels et *al.*, 2009; Hotte et Quirion, 2003; MRN, 1997).
- Respect du libre passage du poisson ou cours d'eau à salmonidés : Application de mesures pour limiter l'érosion, l'apport de sédiments et assécher la zone de travail (MFFP, 2018, MRN, 1997).

Sommaire

Le mode de gestion par abandon d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple permet de prévenir l'érosion et la mise en circulation de sédiments ou d'autres contaminants lors de la construction ou de l'entretien de l'ouvrage (Aménagement de la traverse de cours d'eau (lot de travail de niveau 1) et Suivi et entretien (lot de travail de niveau 1)). Cette stratégie de gestion a aussi le potentiel d'assurer certaines fonctions de drainage d'une traverse, soit la stabilité du lit et la libre circulation du cours d'eau, pendant la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau (Suivi et entretien (lot de travail de niveau 1)). Cependant, ce mode de gestion ne peut pas garantir le maintien des autres fonctions de l'ouvrage pendant et après la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau.

L'efficacité de ce mode de gestion à assurer les fonctions d'une traverse de cours d'eau et les coûts potentiels qui y sont associés sont représentés dans la Figure 2.2. Cette illustration permet de mettre l'emphase sur l'étendue réelle des besoins et fonctions répondus par un ponceau simple aménagé dans un chemin à faible fréquentation. À partir de ces constats, il est maintenant possible de faire une comparaison avec les autres modes de gestion, qui dans la mesure de cette étude, ont le potentiel de répondre aux contextes où ses fonctions devraient être assurées.

Mode de gestion par abandon

Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple Aménagement initial : Année 0	Suivi et entretien – Ponceau simple Période d'utilisation intensive : 0-3 ans	Abandon Période de faible utilisation et de dégradation l'ouvrage : 3-25 ans	Défaillance Défaillance de l'ouvrage : > 25 ans
<p><u>Fonctions assurées (conception)</u> Érosion et apport de sédiments ou de contaminants limités. Évacuation des eaux de ruissellement. Libre passage de l'eau. Libre passage du poisson (si nécessaire). Stabilité du lit, des berges et des talus des remblais de la structure. Support de la route.</p> <p><u>Coûts potentiels (\$)</u> 450 à 1000 mm x 9 à 12 m :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coût optimiste : 2 654,35 \$ • Coût probable : 4 647,14 \$ • Coût pessimiste : 13 338,63 \$ <p>1200 à 2200 mm x 9 à 12 m :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coût optimiste : 5 331,03 \$ • Coût probable : 8 778,39 \$ • Coût pessimiste : 20 850,54 \$ <p>2200 à 3000 mm x 9 à 12 m :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coût optimiste : 12 346,37 \$ • Coût probable : 18 611,69 \$ • Coût pessimiste : 29 600,85 \$ 	<p><u>Fonctions assurées</u> Libre circulation de l'eau. Sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs. Stabilité du lit. Support de la route.</p> <p><u>Risques</u> Apport de sédiments et autres contaminants. Érosion des berges et des talus des remblais de la structure. Obstacle à la libre circulation des eaux de ruissellement détournées. Obstacle au libre passage du poisson.</p> <p><u>Coûts potentiels (\$)</u> N.A.</p>	<p><u>Fonction assuré</u> Support de la route.</p> <p><u>Risques</u> Affouillement ou érosion du lit. Apport de sédiments et autres contaminants. Érosion des berges et des talus des remblais de la structure. Obstacle à libre circulation de l'eau Obstacle à la libre circulation des eaux de ruissellement détournées. Obstacle au libre passage du poisson. Sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs.</p>	<p><u>Risques</u> Affouillement ou érosion du lit. Apport de sédiments et autres contaminants. Érosion des berges et des talus des remblais de la structure. Instabilité de la traverse. Obstacle à la libre circulation de l'eau. Obstacle à la libre circulation des eaux de ruissellement détournées. Obstacle au libre passage du poisson. Sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs.</p>

Figure 2.2 : Efficacité : Fonctions, risques et coûts – Mode de gestion par abandon.

Chapitre 3 : Mode de gestion par fermeture

Introduction

Le mode de gestion par fermeture consiste à construire un ouvrage permettant de traverser un cours d'eau pour répondre aux besoins immédiats de fréquentation intensive en prévoyant le démanteler afin d'éviter son abandon ou la mise en place de mesures d'entretien. L'étude de ce mode de gestion se concentre sur l'aménagement et le démantèlement de la traverse de cours d'eau et des structures de détournement des eaux de ruissellement qui lui sont associées. Son étude se fait à l'échelle de deux types d'ouvrage permettant de traverser un cours d'eau, soit un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG ou un ouvrage amovible dont les appuis sont situés à l'extérieur de la limite supérieure des berges du cours d'eau.

Présentés sous différentes formes dans la littérature, « decommissioning », « closure », « obliteration », ou « deactivation », les modes de gestion par fermeture visent en général à éviter l'entretien des structures, prévenir les impacts potentiels de leur dégradation et de leur défaillance suite à leur abandon et peuvent contribuer à restreindre ou fermer l'accès à un chemin (Bagley, 1998; Gauthier et Varady-Szabo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2002; MRN, 1996; MFFP, 2020; MRNF, 2007; Weaver et Hagans, 1994; Weaver et *al.* 2015). Ces modes de gestion ont le potentiel d'éviter l'érosion et l'apport de sédiments générés par une structure abandonnée, de restaurer les conditions d'écoulement naturel du cours d'eau, de déconnecter les points de contact entre un réseau hydrologique et un réseau routier et de prévenir les dommages aux structures routières laissées en place (Boulfroy et *al.*, 2015; Gauthier et Varady-Szabo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001; Weaver et *al.* 2015). Pour cette étude, le démantèlement de la traverse de cours d'eau s'insère en partie dans les mesures établies par le RADF dans le cadre de la fermeture d'un chemin (MFFP, 2020). L'intensité des interventions ou le niveau de démantèlement peut varier en fonction des objectifs de la fermeture du chemin. Ces traitements s'effectuent après la période d'utilisation intensive du chemin et devraient se faire dans la mesure où le retour en forêt n'est pas prévu à court ou moyen termes (Keller et Sherar, 2003; MCWS, 2012; MF, 2002; MRNF, 2007; Weaver et *al.* 2015), l'emprise du chemin est remise en production et l'accès au territoire est rendu impossible pour les engins forestiers, automobiles et véhicules tout-terrain motorisés. À cet effet, l'étude du démantèlement se concentre sur les interventions liées au démantèlement de la traverse de cours d'eau et des structures de détournement des eaux de ruissellement qui l'accompagnent dans la mesure où elles visent à éviter leur entretien et prévenir les impacts associés à leur dégradation et leur défaillance. En bref, ces interventions consistent à retirer l'ouvrage permettant de traverser le cours d'eau, retirer le matériel de remblayage utilisé, stabiliser le lit et les berges perturbés, reconstituer le couvert végétal des approches, retirer les

conduits de drainage des fossés et installer des structures de déviation des eaux de ruissellement qui pourraient provenir du chemin de part et d'autre du cours d'eau (Bagley, 1998; Gauthier et Varady-Szabo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2002; MRN, 1996; MFFP, 2020; MRNF, 2007; Weaver et Hagans, 1994; Weaver et *al.* 2015).

Finalement, les interventions associées au reboisement de l'emprise des approches de la traverse de cours d'eau pourraient être pertinentes quand la remise en production de l'emprise du chemin fait partie des objectifs de fermeture ou lorsque la traverse de cours d'eau se situe dans la zone de reboisement minimale du chemin à fermer. Cette zone minimale est de 250 m et se mesure à partir du point de fermeture du chemin (Art. 81, RADF). Dans ce contexte, ces interventions visent spécifiquement à assurer la remise en production forestière ou à rendre l'utilisation du chemin impossible après sa fermeture (MFFP, 2020). Elles ne sont pas intégrées à ce mode de gestion, puisqu'elles visent à atteindre des objectifs qui sortent des objectifs ciblés par cette étude pour le démantèlement d'une traverse de cours d'eau.

Structure de découpage des opérations : Ponceau simple

La structure de découpage des opérations du mode de gestion par fermeture à l'échelle d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple est présentée dans la Figure 3.1. La représentation de ce mode de gestion se limite aux lots de travail et tâches élémentaires associés à trois principaux lots de travail de niveau 1, soit l'aménagement du ponceau simple, son suivi et son entretien pendant la période d'utilisation intensive et le démantèlement du ponceau simple et des structures de détournements des eaux de ruissellement qui y sont associés. Les différents niveaux de lot de travail et les tâches élémentaires qui les caractérisent sont détaillés dans les prochaines sous-sections.

Mode de gestion par fermeture – Ponceau simple

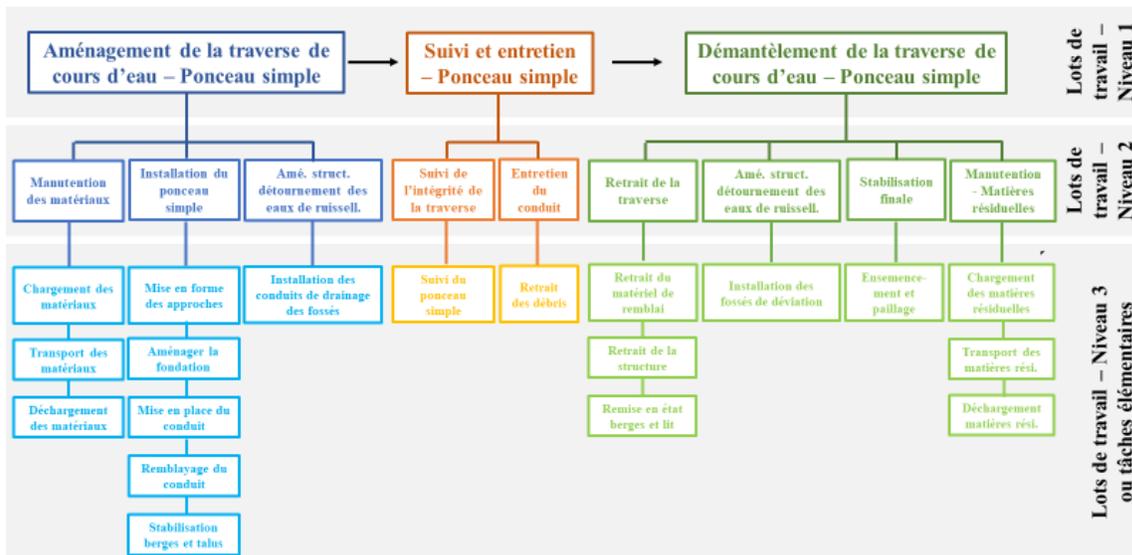


Figure 3.1 : Structure de découpage des opérations – Mode de gestion par fermeture – Ponceau simple.

Choix de l'ouvrage

Dans un contexte de fermeture, l'aménagement du ponceau constitué d'un conduit circulaire simple est guidé par les mêmes directives, principes et lots de travail que le mode de gestion par abandon (voir section SDO, Chapitre 2). Son démantèlement doit se faire en respectant les principes présentés ci-dessous.

- Les déchets et autres matières résiduelles doivent être retirés et transportés vers un site approprié à l'extérieur de la forêt (art. 63, RADF).
- Après le retrait de l'ouvrage, le lit et les berges du cours d'eau doivent être stables (art.81, RADF).
- Le couvert végétal compris dans la lisière boisée du cours d'eau doit être reconstitué (art. 81, RADF).
- Les techniques utilisées doivent prévenir l'obstruction du passage de l'eau, l'apport et l'accumulation de sédiments dans le cours et, si nécessaire, assurer le libre passage du poisson (art. 81, RADF).
- Les surfaces perturbées dans le lit, les berges, la lisière et la bande de terrain visés dans les articles 27 et 34 du RADF doivent être stabilisées sans délai (Art. 114, RADF).
- Les eaux de ruissellement canalisées par le chemin démantelé et son emprise doivent être détournées vers des zones de végétation situées à plus de 20 m du cours d'eau (Art. 75, RADF).

Les travaux de démantèlement doivent aussi respecter les conditions ou mesures additionnelles qui peuvent être spécifiées dans le permis d'intervention obtenu par l'entremise d'une demande de fermeture permanente ou temporaire de chemin multiusage en vertu de l'article 41 de la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier.

Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1)

Pour le mode de gestion par fermeture, l'aménagement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple s'effectue dans l'optique où l'ouvrage est construit à un nouvel endroit pour répondre à des besoins précis de fréquentation pendant une période limitée avant d'être démantelé. Les objectifs, les normes, les principes ou les critères de conception associés aux lots de travail de ce mode de gestion sont les mêmes que ceux décrits dans l'Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1) du mode gestion par abandon (voir section SDO, Chapitre 2). L'évaluation à trois valeurs de ce lot de travail est ainsi la même que pour l'Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1) du mode de gestion par abandon (voir section Évaluation à trois valeurs, Chapitre 2). L'aménagement du ponceau simple débute par la manutention des matériaux et se termine lorsque les structures de détournement des eaux de ruissellement sont complétées.

Il est important de souligner qu'en considérant son caractère temporaire, la mise en forme des approches peut être légèrement différente et s'adapter différemment à certaines conditions. En effet, dans l'éventualité où la mise en forme des approches se fait sur un sol à faible capacité portante ou sur un sol mou, il est recommandé de renforcer le sol qui soutient le remblai des approches à l'aide d'un tapis de fascines. Cette technique a le potentiel de prévenir les dommages au sol pendant les travaux et la période d'utilisation de la traverse de cours d'eau (Blinn et *al.*, 1998). Le matériel organique n'est généralement pas utilisé comme matériel de remblai puisqu'il risque de se décomposer avec les années et former des vides qui peuvent nuire à l'intégrité des approches. Ces vides peuvent capter et accumuler les eaux de ruissellement drainées par la surface de roulement et mener à la défaillance de l'approche. Néanmoins, l'utilisation de débris ligneux, souches, troncs ou résidus d'ébranchage peut réduire la proportion de matériel granulaire à utiliser et transporter pour la mise en forme des approches (lot de travail de niveau 3) d'une traverse de cours d'eau temporaire (MF, 2002). Ceci pourrait réduire la durée d'exécution et les coûts associés à la mise en forme des approches.

- Lots de travail (niveau 2) : Manutention des matériaux, installation du ponceau simple, aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement.

Suivi et entretien – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1)

Dans le cadre du mode de gestion par fermeture, le suivi et l'entretien d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple s'effectuent selon les mêmes objectifs, normes, principes ou critères de conception que le mode de gestion par abandon.

- Lots de travail (niveau 2) : Suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau, entretien du conduit.

Démantèlement du ponceau simple (lot de travail de niveau 1)

Le démantèlement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple consiste à retirer les matériaux utilisés pour son aménagement et l'aménagement de ses structures de détournement des eaux de ruissellement, stabiliser et favoriser la reconstitution du couvert végétal des approches, stabiliser les berges et le lit du cours d'eau, capter et détourner les eaux de ruissellement en provenance du chemin à l'aide de structures de détournement des eaux de ruissellement mieux adaptées (Gauthier et Varady-Szabo, 2014; MFFP, 2020; MRNF, 2007). La mise en place de ces mesures vise à limiter l'érosion et l'apport de sédiments dans le cours d'eau, rétablir l'écoulement naturel du cours d'eau et le drainage naturel des rives et favoriser le libre passage du poisson (Barnard et *al.* 2013; Bagley, 1998; Gauthier et Varady-Szabo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2002; MRN, 1996; MRNF, 2007; MFFP, 2020; MRNF, 2007; Weaver et Hagans, 1994; Weaver et *al.* 2015).

Le démantèlement du ponceau simple se subdivise en quatre lots de travail de niveau 2, soit le retrait du ponceau simple, l'aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement, la stabilisation finale et la manutention des matières résiduelles. Les observations et la documentation des travaux de fermeture de chemin suggèrent que ce lot de travail commence et se termine par l'aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement.

- Lots de travail (niveau 2) : Retrait du ponceau simple, aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement, stabilisation finale et manutention.

Retrait du ponceau simple (lot de travail de niveau 2)

Le retrait du ponceau constitué d'un conduit circulaire simple correspond à un regroupement de lots de travail de niveau 3 qui vise spécifiquement à reproduire les caractéristiques initiales du site de traversée (forme, largeur, position, pente) et de ses approches avant l'aménagement de la traverse de cours d'eau et à assurer leur stabilité (Bagley, 1998; Gauthier et Varady-Szabo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2002; MFFP, 2020; MRNF, 2007). Ce lot de travail débute et se termine par le retrait du matériel de remblai.

- Lots de travail (niveau 3) : Retrait du matériel de remblai, retrait du conduit, remise en état des berges et du lit.

Retrait du matériel de remblai (lot de travail de niveau 3)

Tel qu'illustré dans la Figure 3.2.1, le retrait du matériel de remblai consiste à excaver et déplacer le matériel utilisé pour la mise en forme des approches et le remblayage du conduit circulaire du ponceau simple. Les manœuvres mises en place lors du retrait du matériel de remblai s'effectuent de façon à reproduire le profil d'origine du site de traversée ou à produire un profil qui s'harmonise avec le profil

d'origine. Le matériel de remblai est retiré et stabilisé, ou déposé dans une zone stable vouée à cet effet, à l'extérieur des approches du site de traversée afin de prévenir sa mobilisation vers le cours d'eau (Bagley, 1998; Barnard et *al.*, 2013; HQ, 2014; Gauthier et Varady-Szabo, 2014; MRNF, 2007; MFFP, 2020; Switalski et *al.*, 2004). L'idéal est d'excaver le matériel érodable jusqu'au niveau naturel des rives, des berges ou du lit pour reproduire leurs pente, largeur, localisation et forme (Barnard et *al.*, 2013; Gauthier et Varady-Szabo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001; MF, 2002; Switalski et *al.*, 2004; Weaver et *al.* 2015). En effet, reproduire les caractéristiques des rives, des berges et du lit participe à restaurer l'écoulement naturel et les fonctions des bandes riveraines et du milieu riverain (Bagley, 1998; Barnard et *al.*, 2013; Merrill et Casaday, 2001). Des composantes physiques du milieu, comme les berges et les rives adjacentes, l'exposition de débris ligneux, de la roche mère, d'un substrat plus grossier ou de la pierre de rivière sont des exemples d'indicateurs qui peuvent être utilisés pour identifier le niveau naturel des rives, des berges ou du lit lors de l'excavation du matériel de remblai (Maurin et Stubblefield, 2011; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001). Face à l'éventualité où les caractéristiques initiales des berges et des rives adjacentes sont inconnues ou impossibles à reproduire, il est recommandé de retirer le matériel de remblai et d'adoucir la pente des approches et des berges du site de traversée à un niveau stable dans un rapport d'au moins 1 (V) : 2 (H). L'adoucissement de la pente des approches du site de traversée permet de prévenir le mouvement ou l'affaissement des sols mis à nu (Barnard et *al.* 2013; Weaver et Hagans, 1994; Weaver et *al.* 2015).



Figure 3.2.1 : Retrait du matériel de remblai - Site T2C-008-9 (15 août 2019, Lanaudière).

Lors du déroulement de ce lot de travail, le décompactage du sol et le comblement des ornières dans les approches du site de traversée sont des mesures essentielles qui favorisent le retour du couvert végétal et l'infiltration des eaux de ruissellement après le démantèlement de la traverse de cours d'eau. Ces mesures devraient s'effectuer au fur et à mesure du déroulement des opérations (HQ, 2014; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MFFP, 2020; MRN, 1997; MRNF, 2007). D'autre part, le matériel non érodable, comme le matériel de stabilisation du ponceau simple, la matière végétale, les débris ligneux ou les fascines excavés devraient être mis de côté au fur et à mesure des opérations afin d'être utilisés pour stabiliser les berges et les approches du site de traversée (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; Weaver et al. 2015). Les fascines, la matière organique ou végétale et les débris ligneux mis de côté lors du retrait du matériel de remblai peuvent contribuer à la stabilisation des approches. Lorsqu'ils sont disposés perpendiculairement à la pente d'une approche, ils réduisent et dissipent la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement et permettent de capter les sédiments mobilisés par celles-ci avant qu'ils ne rejoignent le cours d'eau (Bagley, 1998; Maurin et Stubblefield, 2011; Merrill et Casaday, 2001; Roni et Beechie, 2013; Weaver et al. 2015).

Ce lot de travail devrait débiter par le retrait du matériel de remblai situé dans l'approche du côté du chantier (forêt), suivi par le lit et les berges du cours d'eau et se terminer par l'approche du côté du camp (entrée). Cette procédure permet de limiter le nombre de passages à gué dans le lit du cours d'eau (MF, 2001). Le déroulement de ce lot de travail est interrompu par le Retrait du conduit (lot de travail de niveau 3) et la Remise en état des berges et du lit (lot de travail de niveau 3).

- Tâches élémentaires : Retrait du matériel granulaire, retrait des débris ligneux et autres.

Retrait du conduit (lot de travail de niveau 3)

Le retrait du conduit est un lot de travail qui vise spécifiquement à retirer les matériaux utilisés pour l'aménagement du ponceau constitué d'un conduit circulaire simple. Il consiste à retirer la ou les sections de TTOAG utilisé pour drainer le cours d'eau et à retirer la membrane géotextile employée pour stabiliser les talus de l'ouvrage situés entre les berges du cours d'eau. Ces matériaux sont traités comme des matières résiduelles et leurs manipulations sont directement réalisées par la pelle mécanique. Normalement, les sections de TTOAG et la membrane géotextile utilisés pour le ponceau simple sont déplacées vers une zone de chargement où elles pourront être mises de côté en attendant leur manutention vers un site approprié (MFFP, 2020). La zone de chargement se situe directement à l'extérieur de la zone de 20 m mesurée à partir de la limite supérieure des berges du cours d'eau. Le retrait de ces composantes s'effectue après avoir terminé le retrait du matériel de remblai de l'approche situé du côté chantier (forêt) et est suivi par le retrait du matériel de remblai de l'approche du côté camp (entrée).

- Tâche élémentaire : Retrait du conduit et de la membrane géotextile.

Remise en état des berges et du lit (lot de travail de niveau 3)

La remise en état des berges et du lit est un lot de travail qui vise spécifiquement à reproduire les caractéristiques initiales des berges et du lit du cours d'eau, tout en assurant leur stabilisation (MFFP, 2020). La remise en état des berges et du lit participe à la restauration de l'écoulement naturel du cours d'eau et permet de minimiser l'érosion des berges et du lit et limiter l'apport de sédiments dans le cours d'eau (Bagley, 1998; Barnard *et al.*, 2013; Merrill et Casaday, 2001).

Pour simplifier l'étude de ce lot de travail, la remise en état des berges et du lit du cours d'eau est divisée en deux tâches élémentaires principales, soit la reconstitution et la stabilisation des berges et du lit. La reconstitution consiste à remanier et travailler le profil des berges et du lit du cours d'eau de manière à reproduire leurs caractéristiques initiales, comme leur largeur, forme, pente, localisation et niveau (Barnard *et al.*, 2013; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; HQ, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2002; Weaver *et al.* 2015). Pour ce faire, les berges adjacentes et le lit du cours d'eau en amont et en aval du conduit peuvent être utilisés comme points de référence pour reproduire les caractéristiques initiales du site de traversée (Maurin et Stubblefield, 2011; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001).

La stabilisation des berges et du lit du site de traversée consiste simplement à assurer l'intégrité des surfaces comprises sous la limite supérieure des berges pour prévenir l'érosion des berges, l'affouillement du lit et l'apport de sédiments dans le cours d'eau. L'idéal est de prioriser l'emploi de pierres hétérogènes de dimensions et de formes similaires au lit et aux berges du cours d'eau, puisqu'elles ont le potentiel de résister à la vitesse d'écoulement du cours d'eau. L'ajout de quelques pierres d'un calibre d'environ 1,5 fois de la plus grosse pierre du lit permet d'augmenter sa stabilité et limite le risque de son affouillement (MFFP, 2020). Le matériel de stabilisation mis de côté lors du retrait du matériel du remblai peut être réutilisé pour la remise en état des berges et du lit. Au même titre que pour les approches, les fascines, la matière organique ou végétale et les débris ligneux mis de côté peuvent contribuer à la stabilisation des berges (Bagley, 1998; Maurin et Stubblefield, 2011; Merrill et Casaday, 2001; Roni et Beechie, 2013; Weaver *et al.* 2015).

La remise en état des berges et du lit s'effectue simultanément ou après le retrait du conduit et de la membrane géotextile. La complétion de ce lot de travail permet de continuer le retrait du matériel de remblai pour l'approche qui reste à traiter.

- Tâches élémentaires : Reconstitution et stabilisation des berges et du lit.

Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Fossés de déviation (lot de travail de niveau 2)

Au même titre qu'un conduit de drainage de fossés, un fossé de déviation vise spécifiquement à déconnecter le milieu hydrique du réseau routier. Parfois appelé fossé de dérivation, « cross-ditch », « cross-road ditch » ou « cross-road drain », les fonctions primaires d'un fossé de déviation sont de capter et de dévier les eaux de ruissellement drainées par le chemin et ses fossés latéraux vers une zone stable pour limiter leur potentiel d'érosion et d'apport de sédiments dans le cours d'eau (Boulfroy et al. 2005; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2002; MRNF, 2007; Roni et Beechie, 2013; Weaver et al. 2015). Ces structures peuvent aussi participer à limiter ou empêcher l'accès au site de traversée après le démantèlement de la traverse de cours d'eau (Bagley, 1998; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MRNF, 2007). Leur aménagement peut s'insérer dans un contexte de fermeture temporaire ou permanente ou dans un contexte de mise hors service de manière à remplacer un conduit de drainage de fossés sur une base permanente. Ils sont reconnus pour être des structures durables et résistantes à l'érosion et aux passages de véhicules récréatifs et nécessiter peu ou pas d'entretien (Boulfroy et al., 2015; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MRNF, 2007; Weaver et al. 2015). Les fossés de déviation peuvent être considérés comme des solutions permanentes à la gestion des eaux de ruissellement d'un chemin en approche d'un cours d'eau dans un contexte de faible fréquentation (HQ, 2008; Weaver et al., 2015). Ils sont aussi le potentiel de très bien s'harmoniser avec le paysage (Figure 3.2.2).

La procédure d'installation de ces structures consiste principalement à excaver et retirer le conduit de drainage des fossés latéraux du chemin de manière à produire un fossé qui dirige les eaux captées vers une zone stable ou stabilisée. Les fossés sont excavés sur une profondeur équivalente ou légèrement supérieure à la profondeur des fossés latéraux du chemin qui se trouvent à 20 m de la limite supérieure des berges de part et d'autre du cours d'eau. Chaque fossé est excavé à travers le chemin dans un angle de 30°. Advenant que la pente du chemin soit supérieure à 10 %, il est plutôt recommandé d'excaver le fossé dans un angle de 45° (MF, 2001; MRNF, 2007; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; Weaver et al. 2015). Après l'excavation, le conduit est retiré et déplacé vers une zone appropriée, en attente de la mise en place des mesures de gestion des matières résiduelles (MFFP, 2020). Enfin, il faut s'assurer que la sortie du fossé de déviation est stable, sans quoi il est nécessaire de la stabiliser à l'aide de pierres (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MRNF, 2007). Pour les fossés qui risquent d'être soumis à plus d'érosion, il est conseillé de stabiliser leur base et leurs parois exposées aux eaux de ruissellement canalisées à l'aide de pierre ou de végétation (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001; MRNF, 2001; Weaver et al. 2015).

Dans le cadre du démantèlement de la traverse de cours d'eau (lot de travail de niveau 1), ce lot de travail s'effectue avant et après le retrait du ponceau simple (lot de travail de niveau 2). En effet, commencer par aménager le fossé de déviation à l'extrémité de l'approche du côté chantier (forêt) a le potentiel d'éviter

des déplacements inutiles et de travailler en double. Après avoir terminé le retrait du ponceau simple, l'équipe peut enchaîner avec l'aménagement du fossé localisé juste avant le début de l'approche situé du côté camp (entrée). Cette méthode pourrait éviter les déplacements et les passages inutiles dans les approches ou le lit du cours d'eau.

- Lot de travail (niveau 3) : Installation des fossés de déviation (Excavation des fossés, retrait des conduits de drainage des fossés et, si nécessaire, stabilisation des fossés).



Figure 3.2.2 : Fossé déviation – Site 150+915 (16 novembre 2020, Mauricie).

Stabilisation finale – Paillis et semences (lot de travail de niveau 2)

La stabilisation finale est un lot de travail qui vise à stabiliser les surfaces exposées à l'érosion après les travaux de démantèlement dans l'emprise des approches du site de traversée de manière à favoriser l'établissement d'un couvert végétal naturel. L'emprise des approches du site de traversée réfère à l'emprise du chemin compris dans la lisière boisée et la bande de terrain visées à l'article 27 ou 34 du RADF du site de traversée où se situait la traverse de cours d'eau démantelée. Pour y arriver, la technique sélectionnée pour cette étude est la combinaison d'un ensemencement et d'un paillage. Cette technique consiste à étendre un tapis de pailles (paillis) par-dessus les semences préalablement épandues sur les

surfaces exposées à l'érosion dans l'emprise des approches du site de traversée. Tel qu'illustrée dans la Figure 3.2.3, cette technique a le potentiel de prévenir l'érosion et la mise en circulation de sédiments générés par les surfaces exposées à l'érosion et favoriser l'établissement d'un couvert végétal (Boulfroy, *et al.* 2015; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MRN, 1996; MRNF, 2007; Switalski *et al.*, 2004; Weaver et Hagans, 1994; Weaver *et al.* 2015).



Figure 3.2.3 : Stabilisation des surfaces exposées à l'érosion et établissement d'un couvert végétal de protection des sols (2 mois après démantèlement) – Site T425-1 (20 août 2019).

La disposition des semences et du paillis devrait s'effectuer le plus rapidement possible et idéalement, avant les périodes de crues afin d'assurer l'établissement d'un couvert de protection du sol pour ces périodes critiques d'érosion et d'apport de sédiments. Les semences de graminées employées doivent être adaptées aux conditions du milieu et disposées selon les recommandations du fournisseur (Weaver *et al.* 2015). L'application d'un tapis de pailles par-dessus les semences est une mesure qui permet de contrôler temporairement (1 à 2 ans) l'érosion générée par les précipitations. Cette technique est reconnue pour favoriser l'établissement des semences en retenant le sol, les semences et les conditions d'humidité du site de germination (MRN, 1996; Weaver *et al.* 2015).

Ce lot de travail peut débuter lorsque le retrait du ponceau (lot de travail de niveau 2) est terminé et n'est pas contraint par l'aménagement du fossé de déviation situé du côté du camp (entrée).

- Lot de travail (niveau 3) : Ensemencement et paillage (Préparation et disposition des semences et de la paille).

Manutention – Matières résiduelles (lot de travail de niveau 2)

La manutention des matières résiduelles est l'étape qui conclut le démantèlement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple. Normalement la gestion des matières résiduelles consiste principalement à transporter les matières résiduelles à l'extérieur de la forêt vers un site approprié, comme un site d'enfouissement ou centre de récupération de matières résiduelles (MFFP, 2020). Pour cette étude, la manutention des matières résiduelles se limite au transport de celles-ci depuis une zone de chargement, à plus de 20 m de la limite supérieure des berges du cours d'eau, jusqu'au garage. Le chargement et le transport s'effectuent selon les mêmes conditions que celles établies dans le cadre de la manutention des matériaux lors de l'aménagement de la traverse de cours d'eau (lot de travail de niveau 1). Les conduits utilisés pour le ponceau simple et les conduits de drainage des fossés du chemin sont chargés après l'aménagement du fossé de déviation situé du côté camp (entrée) du site de traversée.

- Lots de travail (niveau 3) : Chargement, déchargement et transport des matières résiduelles.

Évaluation à trois valeurs : Ponceau simple

L'évaluation à trois valeurs de ce mode de gestion se fait à l'échelle de trois classes de diamètre de ponceau constitué d'un conduit circulaire simple. Soit les ponceaux simples d'un diamètre variant entre 450 et 1000 mm, 1200 et 2000 mm, 2200 et 3000 mm. Les sources de données qui ont permis d'estimer les coûts et durées de travail des lots de travail sont la littérature scientifique et grise, des évaluations par des experts et la documentation de travaux de fermeture de chemin.

Les travaux de fermeture documentés regroupent plusieurs sites de démantèlement de ponceau simple de différentes dimensions qui ont été aménagés et démantelés dans le cadre du projet de construction de la ligne de transport d'énergie Chamouchouane-Bout-de-l'Île d'Hydro-Québec. Les sites d'études ont été documentés au fur et à mesure de la phase de démantèlement des chemins et de la remise en état des lieux après la phase de construction des structures de transport d'énergie. Ces traverses de cours d'eau ont été aménagées selon les normes du RADF dans le but de supporter une forte utilisation lors de la construction des structures de transport d'énergie, pendant une période de moins de 3 ans, pour ensuite être démantelées.

Dans l'ensemble, le mode de gestion par fermeture a pu être représenté à l'échelle de deux classes de diamètre pour deux des trois lots de travail de niveau 1. Les classes qui ont pu être évaluées sont la classe

de diamètre qui varient entre 450 et 1000 mm et la classe de diamètre qui varient entre 1200 et 2000 mm. Le lot de travail de niveau 1 qui n'a pas pu être évalué est le même que pour le mode de gestion par abandon, soit le suivi et l'entretien du ponceau simple.

Démantèlement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1)

L'évaluation à trois valeurs du démantèlement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple d'une classe de diamètre donnée est le produit de plusieurs évaluations à trois valeurs des lots de travail de niveau 2 qui caractérisent la phase de démantèlement de la traverse de cours d'eau. Ces évaluations regroupent des données provenant de la littérature scientifique et grise, l'avis d'expert et la documentation de travaux de démantèlement de ponceaux simples.

Pour ce lot de travail de niveau 1, il a été possible de faire une évaluation à trois valeurs à l'échelle de deux classes de diamètre de ponceaux simples, soit la classe de 450 à 1000 mm et la classe de 1200 à 2000 mm. À cet effet, il a été possible de documenter le démantèlement de quatre ponceaux simples pour chacune de ces deux classes. La très grande majorité des travaux documentés ont eu lieu dans la région de Lanaudière et ont été réalisés au courant du mois d'août en 2019 par quatre équipes. Chaque équipe est constituée d'un opérateur de pelle mécanique (excavatrice), d'un superviseur et parfois épaulée d'un camion-benne articulé (6x6), d'un camion-benne à trois essieux (10 roues) ou d'un transporteur. Les résultats de l'évaluation à trois valeurs pour les classes de diamètre de ponceau simple qui ont pu être évalués sont présentés dans le Sommaire à la fin de cette section (Tableaux 2.6 et 2.7). Le contenu des pages suivantes touche directement aux éléments qui constituent le cœur (matériaux utilisés, durée des opérations, ressources nécessaires et dimensions de l'ouvrage) des évaluations à trois valeurs pour les lots travail de niveau 2 qui caractérisent ce lot de travail de niveau 1.

Matériaux

Les matériaux employés dans le cadre du démantèlement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple se limitent aux balles de pailles et les semences employées pour stabiliser les surfaces exposées à l'érosion après le retrait de la traverse de cours d'eau. Les coûts de ces matériaux sont détaillés dans la section portant sur la stabilisation finale.

Retrait du ponceau simple (lot de travail de niveau 2)

L'évaluation à trois valeurs du retrait du ponceau constitué d'un conduit circulaire simple se base sur des données qui proviennent de la documentation de travaux de fermeture de chemin. Les détails concernant les huit sites de démantèlement de ponceau simple et les données brutes qui sont associées à la documentation des travaux, notamment les temps de travail productif associés aux lots de travail et tâches élémentaires, sont présentés dans le Tableau 2.2.1 en Annexe 2. La représentation de ces données a été simplifiée dans le tableau ci-dessous (Tableau 2.2.2). Les valeurs associées à chaque site d'étude sont représentées en fonction des ressources mobilisées (Ressources), du temps de travail productif (Durée) et des coûts qui en résultent (Coût) à l'échelle des lots de travail de niveau 3 pour les deux classes de diamètre de ponceaux simples évaluées.

Tableau 2.2.2 : Retrait du ponceau simple – TTOAG 450 à 1000 mm et 1200 à 2000 mm (données transformées).

Retrait du ponceau simple (lot de travail de niveau 2) - TTOAG 450 à 1000 mm : Données transformées											
Sites d'étude			Ressources	Retrait du matériel de remblai		Retrait du conduit		Remise en état des berges et du lit		Durée d'exécution	Coût (\$)
Nom	Diamètre (mm)	Longueur (m)		Durée	Coût (\$)	Durée	Coût (\$)	Durée	Coût (\$)		
T006-03	600	9	Excavatrice (Komatsu PC200LC) : 131,30 \$/h	2h38m22s	345,56	3m36s	7,88	7m28s	16,34	2h49m26s	531,31
			Superviseur : 57,20 \$/h	2h38m22s	150,98	3m36s	3,43	7m28s	7,12		
T006-07	900	9	Excavatrice (Komatsu PC200LC) : 131,30 \$/h	2h46m00s	363,26	9m28s	20,72	3m06s	6,78	2h58m34s	560,99
			Superviseur : 57,20 \$/h	2h46m00s	158,25	9m28s	9,02	3m06s	2,96		
T010-08	900	12	Excavatrice (Caterpillar 326F) : 148,90 \$/h	1h08m40s	170,41	7m25s	18,41	6m45s	16,76	1h22m50s	284,55
			Superviseur : 57,20 \$/h	1h08m40s	65,46	7m25s	7,07	6m45s	6,44		
T2C-008-09	900	12	Excavatrice (John Deere 210G) : 131,30 \$/h	6h43m25s	882,81	4m43s	10,32	7m06s	15,54	6h55m38s	2 540,00
			Camion benne articulé 6x6 (JD260E) : 178,35 \$/h	6h55m38s	1 235,47						
			Superviseur : 57,20 \$/h	6h43m25s	384,59	4m43s	4,50	7m06s	6,77		
Retrait du ponceau simple (lot de travail de niveau 2) - TTOAG 1200 à 2000 mm : Données transformées											
Sites d'étude			Ressources	Retrait du matériel de remblai		Retrait du conduit		Remise en état des berges et du lit		Durée d'exécution	Coût (\$)
Nom	Diamètre (mm)	Longueur (m)		Durée	Coût (\$)	Durée	Coût (\$)	Durée	Coût (\$)		
T004-07	1400	12	Excavatrice (Caterpillar 336E) : 162,60 \$/h	1h52m29s	304,83	2m34s	6,96	25m26s	68,92	2h20m29s	1 004,33
			Camion benne articulé 6x6 (JD260E) : 178,35 \$/h	2h11m17s	390,24						
			Transporteur : 207,82 \$/h	28m43s	99,46						
			Superviseur : 57,20 \$/h	1h52m29s	107,23	2m34s	2,45	25m26s	24,24		
T15-3	1400	12	Excavatrice (John Deere 350G) : 162,60 \$/h	3h13m03s	523,16	7m12s	19,51	4m13s	11,43	3h24m28s	749,02
			Superviseur : 57,20 \$/h	3h13m03s	184,04	7m12s	6,86	4m13s	4,02		
T006-05	1500	12	Excavatrice (Komatsu PC200LC) : 131,30 \$/h	4h51m18s	637,46	7m36s	16,63	4m30s	9,85	5h03m24s	953,19
			Superviseur : 57,20 \$/h	4h51m18s	277,71	7m36s	7,25	4m30s	4,29		
T1-C008-9	1800	12	Excavatrice (John Deere 210G) : 131,30 \$/h	5h20m31s	701,40	4m56s	10,80	9m48s	21,45	5h35m15s	2 542,06
			Camion benne articulé 6x6 (JD260E) : 178,35 \$/h	5h03m41s	902,70						
			Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	4h51m44s	584,68						
			Superviseur : 57,20 \$/h	5h20m31s	306,99	4m56s	4,70	9m48s	9,34		

*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.

Les résultats qui découlent de l'évaluation à trois valeurs du retrait d'un ponceau simple sont présentés par classe de diamètre dans le tableau ci-dessous (Tableau 2.2.3). Les valeurs qui se distinguent par une couleur de police verte réfèrent à des lots de travail ou des éléments de travail dont les données proviennent de la documentation d'un site d'étude. Ces valeurs sont arrondies au palier de 15 minutes supérieur. Par exemple, les coûts des valeurs pessimistes associées au retrait du ponceau simple pour la classe de diamètre de 450 à 1000 mm sont arrondis à 2 612,53 \$ par rapport à 2 556,55 \$ et la durée d'exécution du lot de travail passe de 7h01m12s à 7h15m. À plus petite échelle, cette transformation implique que le temps de travail productif nécessaire à la réalisation du lot de travail pour le camion-benne articulé (6x6) passe de 7h01m12s à 7h15m et 7h, par rapport à 6h55m14s, pour la pelle mécanique (excavatrice) et le superviseur.

Tableau 2.2.3 : Évaluation à trois valeurs : Retrait du ponceau simple – TTOAG 450 à 1000 mm et 1200 à 2000 mm.

Évaluation à trois valeurs : Retrait du ponceau simple (lot de travail de niveau 2) - TTOAG 450 à 1000 mm (n=4)											
Lots de travail	Valeurs optimistes : T010-08. 900 mm x 12 m.		Valeurs probables : T006-3 et T006-7. 600 mm à 900 mm x 9 m.			Valeurs pessimistes : T2C-008-09. 900 mm x 12 m.					
	Ressources :	Excavatrice (CAT326F) : 148,90 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Excavatrice (Koma. PC200LC) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h		Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Camion 6x6 (JD260E) : 178,35 \$/h		
Retrait du matériel de remblai	1h15m	1h15m	2h45m	2h45m		6h45m	6h45m	7h			
Retrait du conduit	15m	15m	15m	15m		15m	15m	15m			
Remise en état des berges et du lit	15m	15m	15m	15m		15m	15m	15m			
Durée d'exécution	1h45m		3h15m			7h15m					
Coût (\$)	360,67		612,63			2886,59					
Évaluation à trois valeurs : Retrait du ponceau simple (lot de travail de niveau 2) - TTOAG 1200 à 2000 mm (n=4)											
Lots de travail	Valeurs optimistes : T15-3. 1400 mm x 12 m.		Valeurs probables : T004-07. 1400 mm x 12 m.				Valeurs pessimistes : T1-C008-9. 1800 mm x 12 m.				
	Ressources :	Excavatrice (JD350G) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Excavatrice (CAT336E) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Transporteur : 207,82 \$/h	Camion 6x6 (JD260E) : 178,35 \$/h	Excavatrice (JD210G) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	Camion 6x6 (JD260E) : 178,35 \$/h
Retrait du matériel de remblai	3h15m	3h15m	2h	2h	30m	2h15m	5h30m	5h30m	5h	5h15m	
Retrait du conduit	15m	15m	15m	15m	15m		15m	15m			
Remise en état des berges et du lit	15m	15m	30m	30m			15m	15m			
Durée d'exécution	3h45m		2h45m				5h45m				
Coût (\$)	824,25		1161,60				2621,46				
*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.											
*Donnée arrondie (palier de 15 minutes).											

Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Fossés de déviation (lot de travail de niveau 2)

L'évaluation à trois valeurs pour l'aménagement des deux fossés de déviation se base aussi sur des données provenant de la documentation de travaux de fermeture de chemin. À travers l'observation de ces travaux de fermeture, il a été possible de documenter l'aménagement de neuf fossés de déviation. Les détails concernant les temps de travail productif qui en résultent sont présentés pour les sites d'étude dans le Tableau 2.3.1 en Annexe 2.

Au même titre que l'installation des conduits de drainage des fossés, les données récoltées sont associées à une seule structure de détournement des eaux de ruissellement et doivent aussi être ajustées à l'échelle de deux structures pour chaque site de traversée. Pour ce faire, la durée associée à la complétion de ce lot de travail pour un site d'étude est simplement doublée avant d'être intégrée à l'évaluation à trois valeurs. Les résultats de l'évaluation à trois valeurs pour les sites d'études documentés sont ensuite arrondis. Les données ajustées sont présentées dans le Tableau 2.3.2 en Annexe 2 et les résultats de l'évaluation à trois valeurs sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tableau 2.3.3).

Tableau 2.3.3 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Fossés de déviation.

Évaluation à trois valeurs : Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Fossés de déviation (lot de travail de niveau 2)										
Lot de travail et tâches élémentaires		Valeurs optimistes : T004-8S. 12 m.			Valeurs probables : T004-07. 12 m.			Valeurs pessimistes : T15-3 (B). 12 m.		
Ressources		Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (CAT 336E) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (JD 350G) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h
Installation des fossés de déviation (n=9)	Excavation des fossés et retrait des conduits	30m	30m	30m	30m	30m	30m	1h30m	1h30m	1h30m
	Stabilisation des fossés							15m	15m	15m
	Durée d'exécution	30m			30m			1h45m		
	Coût (\$)	122,85			138,50			484,75		
Total (\$)		122,85			138,50			484,75		

*Donnée arrondie (palier de 15 minutes).

Comparativement aux conduits de drainage des fossés, cette évaluation s’est plutôt effectuée à l’échelle de la traverse de cours d’eau et non pas à l’échelle des classes de diamètre et de la longueur du ponceau simple évalué. Les experts consultés suggèrent que le temps de travail associé à ce lot de travail n’est pas vraiment affecté par la largeur des approches ou la dimension de la traverse de cours d’eau. Les facteurs qui viendraient influencer le temps de travail sont plutôt la nécessité de stabiliser ses parois, son entrée et sa sortie lorsqu’il est aménagé en forte pente, l’expérience et l’habileté de l’opérateur de la pelle mécanique et l’épaisseur du remblai du chemin par-dessus le conduit de drainage des fossés (Avis d’experts, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019). En effet, la documentation des sites d’études a permis de constater qu’après avoir retiré le remblai d’une approche, l’excavation du fossé de déviation et du conduit de drainage semble plus facile que son installation. Ce lot de travail semble plutôt être influencé par l’efficacité de l’opérateur à excaver le conduit tout en prévoyant la position, l’orientation et la profondeur du fossé de déviation et l’épaisseur du remblai.

Stabilisation finale – Pailis et semences (lot de travail de niveau 2)

L’évaluation à trois valeurs pour ce lot de travail se base sur des données obtenues par la documentation de travaux de fermeture de chemins et des évaluations d’experts. La combinaison de ces sources de données a permis de dresser une évaluation à trois valeurs des coûts associés à la stabilisation des surfaces exposées à l’érosion et mises à nu lors du retrait du ponceau constitué d’un conduit circulaire simple (Tableau 2.4.1).

Tableau 2.4.1 : Évaluation à trois valeurs : Stabilisation finale – Paillis et semences.

Évaluation à trois valeurs : Stabilisation finale - Paillis et semences (lot de travail de niveau 2)			
Lot de travail	Valeurs optimistes	Valeurs probables	Valeurs pessimistes
Ressources :	Ouvrier : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier
Ensemencement et paillage (n=5)	45m	1h	3 x 45 m
Durée d'exécution	45m	1h	45m
Coût (\$)	42,90	57,20	128,70
Matériaux			
Semences et pailles (\$)	75,00	75,00	75,00
Total (\$)	117,90	132,20	203,70
*Donnée arrondie (palier de 15 minutes).			
*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.			

En raison de la nature de ce lot de travail, cette estimation se fait à l'échelle de la traverse de cours d'eau et non pas à l'échelle d'une classe de diamètre de ponceau simple. En effet, les experts d'Hydro-Québec et de Groupe TCI ont conclu que la durée et le coût associés à la stabilisation des surfaces exposées à l'érosion ne changent pas vraiment entre les deux classes de diamètre évaluées. La variation qui pourrait être observée entre un site d'étude et un autre serait plutôt attribuée à l'expérience de l'opérateur de la pelle mécanique, la qualité de son travail, les conditions du site (humidité, sol mou, etc.) et la proximité du matériel de stabilisation (Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019). Les détails concernant les sites d'études et les données qui y sont associées sont présentés dans le Tableau 2.4.2 en Annexe 2.

Manutention – Matières résiduelles (lot de travail de niveau 2)

L'évaluation à trois valeurs de la manutention des matières résiduelles se révèle être difficile à faire à l'échelle d'une traverse de cours d'eau pour les classes de diamètre étudiées. En effet, la revue de la littérature scientifique ou grise n'a pas permis d'identifier une estimation qui contenait la combinaison de données recherchées (ressources nécessaires (type et taux), dimensions de l'ouvrage ou nature des matières résiduelles, durée des opérations, ressources nécessaires, etc.) pour ce lot de travail. La consultation d'experts a aussi mis en évidence que ce lot de travail est difficile à évaluer à l'échelle d'une seule traverse de cours d'eau. En général, la manutention des matières résiduelles semble s'effectuer lorsque l'utilisateur principal a terminé de démanteler le tronçon de chemin à fermer et que l'équipe s'apprête à être démobolisée.

Ce faisant, l'évaluation à trois valeurs a été simplifiée à une seule valeur et généralisée à l'ensemble des classes de diamètre qui ont pu être évaluées. Cette valeur repose sur une évaluation par des experts qui ont conclu que le chargement et le déchargement des matières résiduelles devraient se dérouler en 30 minutes à l'aide d'une excavatrice de 30 tonnes et deux ouvriers. Les conditions d'application utilisées pour le transport de matières résiduelles sont similaires à la Manutention des matériaux (lot de travail de niveau

2) lors de l'Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1). Les résultats de cette estimation sont présentés dans le Tableau 2.5.

Tableau 2.5 : Manutention – Matières résiduelles.

Manutention - Matières résiduelles (n=1)				
Lots de travail	Avis d'experts, (Opérateur et contremaître, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019).			
Ressources :	Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h
Chargement/déchargement des matières résiduelles	30m	30m	2 x 30m	30m
Transport des matières résiduelles				2h
Durée d'exécution	1h30m			
Total (\$)	614,97			
<i>*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.</i>				

Sommaire

L'évaluation à trois valeurs du Démantèlement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1) pour les deux classes de diamètre qui ont pu être évaluées est représentée dans les tableaux ci-dessous. Ces tableaux sont des représentations des coûts et durées potentiels des opérations déterminées par les évaluations à trois valeurs de lots de travail de niveau 2 qui caractérisent le démantèlement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple d'un diamètre qui peut varier entre 450 et 1000 mm (Tableau 2.6) ou 1200 et 2000 mm (Tableau 2.7).

Tableau 2.6 : Évaluation à trois valeurs : Démantèlement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm.

Évaluation à trois valeurs : Démantèlement de la traverse de cours d'eau - Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm (lot de travail de niveau 1)											
Lots de travail		Valeurs optimistes				Valeurs probables				Valeurs pessimistes	
Retrait du ponceau simple (n=4)	Ressources :	Excavatrice (CAT326F) : 148,90 \$/h		Superviseur : 57,20 \$/h		Excavatrice (Koma. PC200LC) : 131,30 \$/h		Superviseur : 57,20 \$/h		Camion 6x6 (JD260E) : 178,35 \$/h	
	Retrait du matériel de remblai	1h15m		1h15m		2h45m		2h45m		7h	
	Retrait du conduit	15m		15m		15m		15m		7h15	
	Remise en état des berges et du lit	15m		15m		15m		15m		15m	
	Dimensions conduit	900 mm x 12 m				600 à 900 mm x 9 m				900 mm x 12 m	
	Durée d'exécution	1h45m				3h15m				7h15m	
	Coût (\$)	360,67				612,63				2 886,59	
Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Fossés de déviation (n=9)	Ressources :	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h		Superviseur : 57,20 \$/h		Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrice (CAT 336E) : 162,60 \$/h		Superviseur : 57,20 \$/h	
	Installation des fossés de déviation	30m		30m		30m		30m		30m	
	Durée d'exécution	30m				30m				1h45m	
	Coût (\$)	122,85				138,50				484,75	
Stabilisation finale (n=5)	Ressources :	Ouvrier : 57,20 \$/h				Ouvrier : 57,20 \$/h				Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	
	Ensemencement et paillage	45m				1h				3 x 45m	
	Durée d'exécution	45m				1h				45m	
	Coût (\$)	42,90				57,20				128,70	
Manutention des matières résiduelles (n=1)	Ressources :	Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h		Superviseur : 57,20 \$/h		Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier		Fardier : 179,15 \$/h		Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	
	Chargement/déchargement des matières résiduelles	30m		30m		2 x 30m		30m		30m	
	Transport des matières résiduelles					2h				2h	
	Durée d'exécution	1h30m				1h30m				1h30m	
	Coût (\$)	614,97				614,97				614,97	
Sommaire des opérations	Coût (\$)	1 141,39				1 423,30				4 115,01	
	Durée d'exécution	4h30m				6h15m				11h15m	
Matériaux											
Pailles et semences (\$)		75,00				75,00				75,00	
Total (\$)		1 216,39				1 498,30				4 190,01	

*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.

*Donnée arrondie (palier de 15 minutes).

Tableau 2.7 : Évaluation à trois valeurs : Démantèlement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple TTOAG 1200 à 2000 mm.

Évaluation à trois valeurs : Démantèlement de la traverse de cours d'eau - Ponceau simple TTOAG 1200 à 2000 mm (lot de travail de niveau 1)											
Lots de travail		Valeurs optimistes				Valeurs probables				Valeurs pessimistes	
Retrait du ponceau simple (n=4)	Ressources :	Excavatrice (JD350G) : 162,60 \$/h		Superviseur : 57,20 \$/h		Excavatrice (CAT336E) : 162,60 \$/h		Superviseur : 57,20 \$/h		Camion 6x6 (JD260E) : 178,35 \$/h	
	Retrait du matériel de remblai	3h15m		3h15m		2h		2h		30m	
	Retrait du conduit	15m		15m		15m		15m		15m	
	Remise en état des berges et du lit	15m		15m		30m		30m		15m	
	Dimensions du conduit	1400 mm x 12 m				1400 mm x 12 m				1800 mm x 12 m	
	Durée d'exécution	3h45m				2h45m				5h45m	
	Coût (\$)	824,25				1 161,60				2 621,46	
Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Fossés de déviation (n=9)	Ressources :	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h		Superviseur : 57,20 \$/h		Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrice (CAT 336E) : 162,60 \$/h		Superviseur : 57,20 \$/h	
	Installation des fossés de déviation	30m		30m		30m		30m		30m	
	Durée d'exécution	30m				30m				1h45m	
	Coût (\$)	122,85				138,50				484,75	
Stabilisation finale (n=5)	Ressources :	Ouvrier : 57,20 \$/h				Ouvrier : 57,20 \$/h				Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	
	Ensemencement et paillage	45m				1h				3 x 45m	
	Durée d'exécution	45m				1h				45m	
	Coût (\$)	42,90				57,20				128,70	
Manutention des matières résiduelles (n=1)	Ressources :	Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h		Superviseur : 57,20 \$/h		Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier		Fardier : 179,15 \$/h		Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	
	Chargement/déchargement des matières résiduelles	30m		30m		2 x 30m		30m		30m	
	Transport des matières résiduelles					2h				2h	
	Durée d'exécution	1h30m				1h30m				1h30m	
	Coût (\$)	614,97				614,97				614,97	
Sommaire des opérations	Coût (\$)	1 604,97				1 972,27				3 849,88	
	Durée d'exécution	6h30m				5h45m				9h45m	
Matériaux											
Pailles et semences (\$)		75,00				75,00				75,00	
Total (\$)		1 679,97				2 047,27				3 924,88	

*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.

*Donnée arrondie (palier de 15 minutes).

Résultats finaux

L'évaluation à trois valeurs du mode de gestion par fermeture à l'échelle d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG, présentée dans le Tableau 2.8, a été possible pour deux classes de diamètre et deux des trois lots de travail de niveau 1 à l'étude. Cette évaluation dresse un portrait des coûts et durées potentiels des opérations qui sont associés à l'aménagement et au démantèlement d'un ponceau simple pour les classes de diamètre de 450 à 1000 mm et de 1200 à 2000 mm dans les limites méthodologiques de l'étude. Le suivi et l'entretien du ponceau simple (lot de travail de niveau 1), au même titre que le mode de gestion par abandon, n'ont pas pu être évalués.

La section suivante touche aux facteurs qui pourraient exercer une influence sur la durée et les coûts des opérations associés au démantèlement de la traverse de cours d'eau à l'échelle d'un ponceau simple. Ces facteurs potentiels ou critères d'efficacité pourraient exercer une influence sur la variabilité des résultats de l'évaluation à trois valeurs de ce mode de gestion. Les critères potentiels d'efficacité associés à l'aménagement d'un ponceau simple pour le mode de gestion par fermeture sont similaires à ceux abordés dans la section Critères potentiels d'efficacité du mode de gestion par abandon.

Tableau 2.8 : Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par fermeture – Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm et 1200 à 2000 mm.

Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par fermeture - Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm et 1200 à 2000 mm								
Lots de travail - Niveau 1	Lots de travail - Niveau 2		Valeurs optimistes		Valeurs probables		Valeurs pessimistes	
			450 à 1000 mm	1200 à 2000 mm	450 à 1000 mm	1200 à 2000 mm	450 à 1000 mm	1200 à 2000 mm
Aménagement de la traverse de cours d'eau - Ponceau simple	Manutention des matériaux	Durée d'exécution	1h30m	1h30m	1h30m	1h30m	1h30m	1h30m
		Coût (\$)	614,97	614,97	614,97	614,97	614,97	614,97
	Installation du ponceau simple	Durée d'exécution	1h	5h	4h	8h	13h10m	18h50m
		Coût (\$)	245,70	1 228,50	982,80	1 865,60	7 339,83	10 303,97
	Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Conduits de drainage des fossés	Durée d'exécution	1h30m	2h	2h	6h	6h	6h
		Coût (\$)	415,50	491,40	491,40	1370,40	1 474,20	1 474,20
	Matériaux : Conduits et membrane géotextile							
	Dimensions du conduit du ponceau simple (TTOAG)		450 mm x 9 m	1200 mm x 9 m	1000 mm x 9 m	2000 mm x 9 m	1000 mm x 12 m	2000 mm x 12 m
	Dimensions des conduits de drainage des fossés (TTOAG)		300 mm x 9 m	300 mm x 9 m	300 mm x 9 m	300 mm x 9 m	450 mm x 12 m	450 mm x 12 m
	Coût (\$)		1 378,18	3 072,06	2 557,97	5 806,42	3 909,63	8 457,40
Durée d'exécution		4h	8h	7h30m	11h30m	20h40m	26h20m	
Sous-total (\$)		2 654,35	5 331,03	4 647,14	8 778,39	13 338,63	20 746,17	
Suivi et entretien - Ponceau simple	Suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
	Entretien du conduit	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
	Durée d'exécution		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
Sous-total (\$)		N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.		
Démantèlement de la traverse de cours d'eau - Ponceau simple	Retrait du ponceau simple	Dimensions du conduit du ponceau simple (TTOAG)	900 mm x 12 m	1400 mm x 12 m	600 à 900 mm x 12 m	1400 mm x 12 m	900 mm x 12 m	1800 mm x 12 m
		Durée d'exécution	1h45m	3h45m	3h15m	2h45m	7h15m	5h45m
	Coût (\$)		360,67	824,25	612,63	1 161,60	2 886,59	2 621,46
	Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Fossés de déviation	Durée d'exécution	30m	30m	30m	30m	1h45m	1h45m
		Coût (\$)	122,85	122,85	138,50	138,50	484,75	484,75
	Stabilisation finale	Durée d'exécution	45m	45m	1h	1h	45m	45m
		Coût (\$)	42,90	42,90	57,20	57,20	128,70	128,70
	Manutention - Matières résiduelles	Durée d'exécution	1h30m	1h30m	1h30m	1h30m	1h30m	1h30m
		Coût (\$)	614,97	614,97	614,97	614,97	614,97	614,97
	Matériaux : Pailles et semences							
Coût (\$)		75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	75,00	
Durée d'exécution		4h30m	6h30m	6h15m	5h45m	11h15m	9h45m	
Sous-total (\$)		1 216,39	1 679,97	1 498,30	2 047,27	4 190,01	3 924,88	
Total		3 870,74	7 011,00	6 145,44	10 825,66	17 528,64	24 671,05	

Critères potentiels d'efficacité : Ponceau simple

En général, le démantèlement d'une traverse de cours d'eau représente un ensemble d'interventions qui sont mises en place afin d'éviter l'entretien d'une traverse de cours d'eau et les risques associés à sa dégradation et sa défaillance et de fermer l'accès (Bagley, 1998 ; Gauthier et Varady-Szabo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2002; MRNF, 2007; Weaver et Hagans, 1994; Weaver et *al.* 2015). Face au contexte actuel d'abandon du réseau routier de la forêt publique, les bénéfices associés à l'évitement de l'entretien d'une traverse de cours d'eau sont mitigés, puisque l'entretien des traverses de cours d'eau n'est pas assuré après sa période d'utilisation intensive. En ce sens, le démantèlement d'une traverse de cours d'eau vise plutôt à fermer l'accès et éviter les risques associés à sa dégradation et sa défaillance.

Démantèlement de la traverse de cours d'eau (lot de travail de niveau 1)

La revue de la littérature scientifique et grise et la consultation d'experts a permis de soulever plusieurs facteurs, énumérés plus bas, qui peuvent ralentir la progression ou représenter de plus grands défis et ainsi augmenter les coûts associés au démantèlement de la traverse de cours d'eau.

- Ampleur des remblais de la traverse de cours d'eau et des structures de drainage des fossés de chemin : La quantité de matériel à retirer et la capacité de la pelle mécanique sont des facteurs qui viennent directement influencer la durée des interventions associées au retrait du matériel de remblayage (Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019; Bagley, 1998; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001; Switalski et *al.*, 2004).
- Déplacement du matériel de remblai à retirer : La distance à parcourir (Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019; Bagley, 1998; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001; Switalski et *al.*, 2004) et la direction des déplacements par rapport à la pente du versant (Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019; Bagley, 1998) sont deux facteurs qui peuvent ralentir la progression de l'équipe.
- Mobilisation de machines spécialisées : La mobilisation d'un camion-benne à trois-essieux (10 roues) pour le transport du matériel granulaire retiré ou d'un transporteur pour le transport de fascines et de débris ligneux retirés accélère la progression de l'équipe. La mobilisation de ces machines pourrait être plus efficace à limiter les coûts associés au retrait du matériel de remblai (lot de travail de niveau 3) lorsque la distance de déplacement du matériel de remblai est grande (Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019).
- Composition du matériel de remblai à retirer : La présence de fascines, de résidus d'ébranchage, de bois morts, de souches ou de débris ligneux dans les remblais à retirer peut ralentir la progression de l'équipe (Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019; Bagley, 1998; MF, 2001; Switalski et *al.*, 2004).
- Expérience et habilités de l'équipe : La faible expérience et les piètres habilités de l'équipe pourraient ralentir sa progression (Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019; Bagley, 1998).
- Condition d'humidité du sol : Des sols humides favorisent la formation d'ornière et peuvent ralentir la progression de l'équipe (Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019; Bagley, 1998).
- Déficit de matériel : La perte significative de matériel granulaire dû à la pente, l'érosion ou des déplacements volontaires de matériel lors de l'entretien du réseau de chemins peut nécessiter l'importation de matériel pour combler celle-ci et terminer le travail de remaniement des rives et des berges (Merrill et Casaday, 2001).

- Disponibilité du matériel de stabilisation pour la remise en état des berges et du lit (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014) : La présence de matériel de stabilisation (mousses, pierres, etc.) à proximité et en bonne quantité facilite le travail de l'équipe et accélère sa progression lors des interventions associées à la Remise en état des berges et du lit (lot de travail de niveau 3).
- Stabilisation finale : Les fortes pentes et la présence d'obstacles pourraient ralentir la progression de l'ouvrier lors de la disposition du paillis et des semences (Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019).
- Intention de réutiliser les conduits retirés (Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014) : Le conduit doit être manipulé de manière à éviter de l'endommager lors du Retrait du conduit (lot de travail de niveau 2) et de la Manutention des matières résiduelles (lot de travail de niveau 1). Ces habiles manipulations sont plus longues à réaliser et pourraient ralentir la progression de l'équipe (Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019).

La documentation des travaux à l'étude a permis d'observer que le retrait du matériel de remblai semble être un lot de travail déterminant dans la durée et les coûts associés au démantèlement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple. Ces tâches peuvent être accomplies par des combinaisons de ressources différentes qui peuvent à leur tour influencer la durée et le coût associés à ce lot de travail. Au-delà de leur capacité ou de leur performance, la disponibilité des ressources (machine, opérateur) devient un facteur supplémentaire qui peut faire varier la durée et le coût associés à l'aménagement ou au démantèlement. L'allocation des bonnes ressources aux bons moments représente un facteur critique au bon déroulement des travaux. À cet effet, certains experts consultés recommandent de mobiliser les mêmes ressources (machine et opérateur) pour la phase de démantèlement que celles utilisées lors de la construction de la traverse de cours d'eau. Par exemple, il deviendrait pertinent de prévoir un camion-benne lors du démantèlement lorsqu'il a été nécessaire de transporter du matériel en provenance d'un banc d'emprunt lors de la construction du ponceau simple, puisque ce matériel devra nécessairement être transporté à nouveau vers ce banc d'emprunt (Avis d'experts, Groupe TCI, 2019).

Advenant la présence de matériel organique dans le remblai à excaver, plusieurs experts soutiennent que les habiletés de l'opérateur et l'utilisation d'une pelle mécanique comportant un pouce hydraulique deviennent primordiales afin de minimiser les manipulations supplémentaires et les délais qui y sont associés. L'utilisation d'un transporteur semble aussi s'avérer plus pratique qu'un camion-benne pour déplacer les fascines et autres débris ligneux de grandes dimensions qui sont retirés des remblais de la traverse de cours d'eau (Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019). L'intégrité de ces débris pourrait aussi ralentir la progression de l'opérateur. En effet, les témoignages des experts, indiquent qu'il semble encore plus compliqué et long de manipuler les fascines et résidus d'ébranchages brisés ou fragmentés (Avis d'experts, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019).

Risques limités

Le démantèlement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple est la mesure qui permet de contourner les risques associés à l'abandon. Le retrait du conduit et de son matériel de remblayage permet le retour de la dynamique naturelle du cours d'eau et élimine le risque d'occurrence d'une obstruction, d'un débordement et d'une déviation d'un cours d'eau. Ce qui implique que les impacts associés à sa dégradation et sa défaillance sur la qualité de l'eau, le libre passage du poisson et la sécurité des biens, des personnes ou des utilisateurs sont éliminés. Ses interventions assurent la stabilité du lit, des berges et des rives, permettent l'évacuation des eaux de ruissellement en provenance du chemin et limitent l'érosion et l'apport de sédiments fins sans avoir à entretenir une traverse de cours d'eau.

Nonobstant, le démantèlement d'une traverse de cours d'eau, au même titre que toutes interventions dans les rives ou le littoral d'un cours d'eau, peut générer temporairement des sédiments pendant et après les travaux (Weaver et al. 2015). À l'échelle du littoral, ce potentiel d'érosion et d'apport de sédiments est principalement dû à l'ajustement du cours d'eau dans son nouveau chenal. En bref, les particules fines laissées en place sont lessivées après une année ou quelques saisons humides pour laisser place à des particules et un substrat plus grossier et représentatif du lit original du cours d'eau (Maurin et Stubblefield, 2011; Weaver et al. 2015). À l'échelle des rives, ce potentiel d'érosion et d'apport de sédiments est plutôt dû au sol exposé à l'érosion généré par les précipitations et les eaux de ruissellement. Ces risques d'érosion et d'apport de sédiments sont temporaires et sont mitigés par l'implantation de la végétation et la stabilisation naturelle du lit (Weaver et al. 2015). L'érosion et l'ampleur des sédiments délivrés par une traverse de cours d'eau après son démantèlement sont très variables et affectées par plusieurs facteurs, comme le niveau de matériel érodable laissé en place ou oublié, la présence d'une résurgence, de la roche mère ou d'un sol mal drainé (Madej, 2001). À titre indicatif, une étude portant sur les sédiments délivrés par des ponceaux abandonnés a établi qu'un ponceau abandonné a le potentiel de générer en moyenne 235 m³ de sédiments. Parmi les 75 traverses de cours d'eau étudiées, le quart était dans un état qui permettait de dévier l'écoulement du cours d'eau. Ces déviations ont généré en moyenne 2650 m³ de sédiments par traverse de cours d'eau (Best et al., 1995). Une autre étude portant sur le suivi de 207 ponceaux démantelés a permis d'établir qu'un ponceau génère en moyenne 50 m³ de sédiments après son démantèlement (Madej, 2001). D'autre part, certains estiment que le retrait d'un ponceau permet de prévenir 95 % des sédiments pouvant être délivrés par le lessivage d'une traverse de cours d'eau. Le dernier 5 % serait attribuable à l'ajustement normal du cours d'eau à son nouveau chenal et la stabilisation des sols mis à nu (Weaver et al. 2015). Sommairement, ces études suggèrent que le démantèlement d'un ponceau génère très peu de sédiments en comparaison à l'abandon et représente un traitement efficace pour prévenir et réduire l'apport de sédiments à long terme dans un milieu aquatique.

Stabilité et accessibilité

L'efficacité des mesures de stabilisation des rives, des berges et du lit après le démantèlement de la traverse de cours d'eau peut être influencée par le niveau de fréquentation du chemin d'accès. En effet, le démantèlement ne garantit pas nécessairement que le site de traversée ne sera pas fréquenté et perturbé par des utilisateurs secondaires. Comme illustré dans la Figure 3.2.4, les berges, les rives et le lit d'un site restauré peuvent quand même être utilisés comme un passage à gué par des utilisateurs secondaires lorsque le chemin d'accès au site de traversée est partiellement maintenu et utilisés.



Figure 3.2.4 : Érosion des berges et du lit du cours d'eau générée par passages à gué fréquents des utilisateurs secondaires - Site 153+230 (7 juillet 2021, Mauricie).

À travers le suivi de l'intégrité des cours d'eau compris dans les emprises de leurs lignes de transport d'énergie, Hydro-Québec a été en mesure de relever trois constats concernant les passages à gué. Premier constat, le passage à gué occasionnel en automobile ou en véhicule tout-terrain n'amène pas nécessairement de perturbations majeures et l'application de saines pratiques lors du passage à gué permet de prévenir et limiter les perturbations sur les rives, les berges et le lit du site de traversée. Deuxième constat, les passages à gué répétés ou récurrents en automobile ou véhicule tout-terrain par des utilisateurs secondaires ont un impact plus important sur l'intégrité du site de traversée. Pour les sites de traversée étudiés, il a été constaté que les passages plus fréquents amènent de l'érosion, génèrent des sédiments fins et ont le potentiel d'élargir le cours d'eau et de former des ornières importantes. Troisième constat, la présence d'autres chemins et traverses de cours d'eau en périphérie du site semble attirer les utilisateurs ailleurs et ainsi permet de limiter la fréquentation du site de traversée (HQ, 2014).

Ce faisant, la stabilité d'un site de traversée après le démantèlement d'une traverse de cours d'eau peut être influencée par le niveau de fréquentation du milieu. Ce qui implique que l'efficacité du démantèlement à assurer la stabilité des rives, des berges et du lit du site de traversée à long terme peut être influencée par sa fréquentation par les utilisateurs secondaires. Pour y remédier, il devient primordial de s'assurer que le démantèlement de la traverse de cours d'eau s'insère dans un contexte de fermeture du chemin qui doit comprendre des mesures de fermeture qui visent à bloquer ses accès et rendre sa surface de roulement impraticable. C'est dans cette optique, que cette étude considère que le démantèlement d'un ponceau circulaire simple a le potentiel d'assurer la stabilité du lit, des berges et des rives du site de traversée. Toutefois, le risque et les conséquences associés aux passages à gué récurrents des utilisateurs secondaires restent présents.

Sommaire

Le mode de gestion par fermeture d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple a le potentiel de restaurer les conditions naturelles du site et permet d'éviter les risques associés à la dégradation et la défaillance de l'ouvrage. La durée de vie utile de la traverse de cours d'eau est plutôt déterminée par l'étendue de la période entre sa construction et son démantèlement. Après coup, ce site ne permet plus de franchir le cours d'eau sans être en contact avec l'eau ou son lit. Ceci implique que ce mode de gestion doit s'insérer ou être bonifié par des mesures de fermeture ou de démantèlement des chemins qui permettent d'accéder au site de traversée. Sans quoi, il est possible que le site de traversée soit soumis à des passages à gué qui ont le potentiel d'altérer sa morphologie et son intégrité, nuire à la qualité de l'eau et ultimement nuire à l'atteinte des objectifs du démantèlement de la traverse de cours d'eau.

Les risques, les coûts potentiels évalués et l'efficacité de ce mode de gestion à répondre aux différentes fonctions d'une traverse de cours d'eau sont résumés dans la Figure 3.3.

Mode de gestion par fermeture – Ponceau simple

Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple Aménagement initial : Année 0	Suivi et entretien – Ponceau simple Période d'utilisation intensive : 0-3 ans	Démantèlement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple Restauration : Année 3	Retour à l'état naturel Période d'inutilisation : > 3 ans
<p><u>Fonctions assurées (conception)</u> Érosion et apport de sédiments ou de contaminants limités. Évacuation des eaux de ruissellement. Libre passage de l'eau. Libre passage du poisson (si nécessaire). Stabilité du lit, des berges et des talus des remblais de la structure. Support de la route.</p> <p><u>Coûts potentiels (\$)</u> 450 à 1000 mm x 9 à 12 m :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coût optimiste : 2 654,35 \$ • Coût probable : 4 647,14 \$ • Coût pessimiste : 13 338,63 \$ <p>1200 à 2200 mm x 9 à 12 m :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coût optimiste : 5 331,03 \$ • Coût probable : 8 778,39 \$ • Coût pessimiste : 20 850,54 \$ 	<p><u>Fonctions assurées</u> Libre circulation de l'eau. Sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs. Stabilité du lit. Support de la route.</p> <p><u>Risques</u> Apport de sédiments et autres contaminants. Érosion des berges et des talus des remblais de la structure. Obstacle à la libre circulation des eaux de ruissellement détournées. Obstacle au libre passage du poisson.</p> <p><u>Coûts potentiels (\$)</u> N.A.</p>	<p><u>Fonctions assurées</u> Érosion et apport de sédiments ou de contaminants limités. Évacuation des eaux de ruissellement. Libre circulation de l'eau et des débris. Libre passage du poisson. Sécurité des biens et des personnes. Stabilité du lit, des berges et des rives.</p> <p><u>Risques</u> Faible apport de sédiments (temporaire).</p> <p><u>Coûts potentiels (\$)</u> 450 à 1000 mm x 9 à 12 m :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coût optimiste : 1 216,39 \$ • Coût probable : 1 498,30 \$ • Coût pessimiste : 4 190,01 \$ <p>1200 à 2200 mm x 9 à 12 m :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coût optimiste : 1 679,97 \$ • Coût probable : 2 047,27 \$ • Coût pessimiste : 3 924,88 \$ 	<p><u>Fonctions assurées</u> Évacuation des eaux de ruissellement. Libre circulation de l'eau et des débris. Libre passage du poisson. Sécurité des biens et des personnes. Stabilité du lit, des berges et des rives.</p> <p><u>Risques</u> Érosion et ornière générés par passages à gué fréquents (autres utilisateurs).</p>

Figure 3.3 : Efficacité, risques et coûts – Mode de gestion par fermeture – Ponceau simple.

Structure de découpage des opérations : Ouvrage amovible

La structure de découpage des opérations du mode de gestion par fermeture à l'échelle d'un ouvrage amovible dont les appuis sont situés à l'extérieur de la limite supérieure des berges d'un cours d'eau est présentée dans la Figure 3.4. Cette représentation de ce mode de gestion se limite aux lots de travail et tâches élémentaires associés à trois principaux lots de travail, soit l'aménagement, l'entretien et le démantèlement de l'ouvrage amovible et des structures de détournements des eaux de ruissellement qui y sont associés. Les différents niveaux de lot de travail et les tâches élémentaires qui les caractérisent sont détaillés dans les prochaines sous-sections.

Mode de gestion par fermeture – Ouvrage amovible

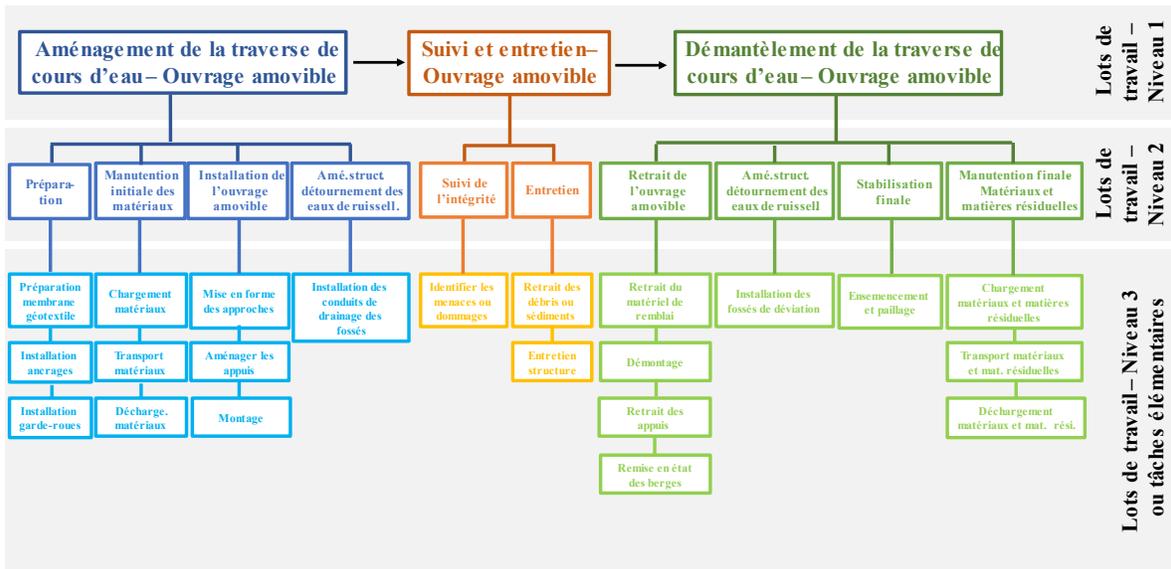


Figure 3.4 : Structure de découpage des opérations – Mode de gestion par fermeture – Ouvrage amovible.

Choix de l'ouvrage

Le mode de gestion par fermeture d'un ouvrage amovible est étudié dans un contexte où la traverse est construite dans un chemin dont la fermeture est prévue dans les trois ans après sa construction (Art. 110 et 112, RADF). Son utilisation est ainsi conditionnelle au démantèlement de la traverse et à la restauration du site. Entre chaque utilisation, l'ouvrage amovible devrait être inspecté de manière à vérifier l'intégrité de ses composantes et de s'assurer que l'ouvrage permet bel et bien d'enjamber le lit et les berges du site de traversée (Avis d'experts, Chantiers Chibougamau, 2019; HQ, 2011). En forêt publique québécoise, son installation et son enlèvement reposent sur les principes ci-dessous.

- Les déchets et autres matières résiduelles doivent être retirés et transportés vers un site approprié à l'extérieur de la forêt (art. 63, RADF).
- Après le retrait de l'ouvrage, le lit et les berges du cours d'eau doivent être stables (art.81, RADF).
- Le couvert végétal compris dans la lisière boisée du cours d'eau doit être reconstitué (art. 81, RADF).
- Les techniques utilisées lors de son installation et son enlèvement doivent prévenir l'obstruction du passage de l'eau, l'apport et l'accumulation de sédiments dans le cours d'eau et, si nécessaire, assurer le libre passage du poisson (art. 81, RADF).
- L'ouvrage ne peut être en contact avec l'eau (Art. 110 et 111, RADF).
- Les appuis ou culées de l'ouvrage doivent être aménagés en dehors de la limite supérieure des berges (Art. 111, RADF).
- Le site de traversée doit aussi être propice à son aménagement de manière à limiter les perturbations du lit naturel lors de son utilisation et de son enlèvement (Art. 111, RADF).

- Les surfaces perturbées dans le lit, les berges, la lisière et la bande de terrain visées dans les articles 27 et 34 du RADF doivent être stabilisées sans délai (Art. 114, RADF).

L'étude de ce mode de gestion se concentre sur les ouvrages amovibles d'ingénierie préfabriqués qui sont constitués d'un ensemble d'éléments d'appui et de tablier de conception amovibles situés à l'extérieur de la limite supérieure des berges du cours d'eau. Spécifiquement, les ouvrages amovibles qui sont conçus pour la circulation de véhicule et d'engins forestiers dans un chemin multiusage. Parfois appelés pont temporaire, pont provisoire ou pont à dalles temporaire, ces structures sont coûteuses, mais leur conception en fait des ouvrages sécuritaires, fiables, durables et réutilisables (Blinn et *al.*, 1998). L'utilisation du terme ouvrage amovible dans cette étude réfère directement à ce type d'ouvrage et vise simplement à alléger la lecture du texte. Leurs coûts sont détaillés dans la section portant sur l'évaluation à trois valeurs de l'Aménagement de la traverse de cours d'eau - Ouvrage amovible (lot de travail de niveau 1).

En bref, les éléments de tablier de conception (dalles) de ces ouvrages sont supportés par un ensemble d'éléments d'appui de conception (matelas-culées) et/ou d'appuis aménagés à l'extérieur de la limite supérieure des berges de part et d'autre du cours d'eau. Les matériaux des éléments de tablier et des éléments d'appui de conception peuvent varier entre les fabricants. Par exemple, les éléments de tablier peuvent être constitués de métal, de bois lamellé-collé ou de poutres de bois interreliées (Figure 3.5.1). Le tablier de l'ouvrage amovible peut être complétement de protecteurs en contreplaqué traité pour limiter leur usure par le passage de véhicules. Le tablier de l'ouvrage amovible est aussi muni d'un ensemble de garde-roues, qui peuvent être amovibles.



Figure 3.5.1 : Éléments de tablier de conception constitués de bois lamellé-collé (gauche, site Boisaco, 8 octobre 2019, Côte-Nord) et de poutres de bois interreliées (droite, site T25-02, 6 juin 2019, Lanaudière).

Pour leur caractérisation, les ouvrages amovibles sont étudiés à l'échelle de leur portée libre maximale (PLM) ou de la longueur de leur tablier (LT). La portée libre maximale de l'ouvrage réfère à la distance

maximale qui peut séparer les culées ou appuis de l'ouvrage (Figure 3.5.2). Cette caractéristique est directement reliée aux spécifications du fabricant et des devis de l'ouvrage. Par exemple, l'ouvrage amovible de la Figure 3.5.2 comporte un tablier composé de deux sections de tablier-dalle Nordic d'une portée libre maximale de 6 m. Ce qui suggère qu'il peut être installé sur un cours d'eau dont la largeur de la limite supérieure des berges est inférieure à 6 m.

La PLM est le critère utilisé pour effectuer la comparaison entre un ouvrage amovible et un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple pour les modes de gestion à l'étude. La largeur de la limite supérieure des berges du cours d'eau est la caractéristique du site de traversée qui peut limiter à la fois l'installation d'un ouvrage amovible et l'aménagement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple, puisque le ponceau ne peut pas réduire de plus de 50 % la largeur du cours d'eau au site de traversée. Comme discuté plus tôt, l'ouvrage amovible de la Figure 3.5.2 peut être installé sur un site de traversée dont la largeur de la limite supérieure des berges d'un cours d'eau est inférieure à 6 m. Cet ouvrage amovible peut être comparé à un ponceau simple dont le diamètre peut aller jusqu'à environ 3000 mm dans un contexte où le libre passage du poisson (LPP) n'a pas à être respecté. Ce qui est comparable à la classe de diamètre de ponceau simple de 2200 à 3000 mm.



**Figure 3.5.2 : Site Chantiers Chibougamau (10 juin 2020, Nord-du-Québec).
Aménagement de la traverse de cours d'eau - Ouvrage amovible (lot de travail de niveau 1)**

L'aménagement d'un ouvrage amovible dont les appuis sont situés à l'extérieur de la limite supérieure des berges du cours d'eau s'effectue dans l'optique où l'ouvrage est installé à un nouvel endroit pour répondre à des besoins précis de fréquentation pendant une période limitée à 3 ans. Son installation repose sur plusieurs principes et vise à atteindre les mêmes objectifs que l'aménagement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple. Soit l'aménagement d'un ouvrage qui est conçu pour :

- Franchir un cours d'eau sans être en contact avec son lit ou son eau (Art. 86 et 110, RADF).
- Permettre le libre passage de l'eau (Art. 86, 96, 110 et 111, RADF).
- Permettre la stabilité du lit, des berges et des talus des remblais de l'ouvrage (Art. 86, 96, 99, 111 et 114 RADF).
- Évacuer les eaux de ruissellement en provenance du chemin et de ses structures de drainage vers une zone stable (Art. 75, RADF).
- Si nécessaire, permettre le libre passage du poisson (Art. 103 et 110, RADF).

L'aménagement de l'ouvrage amovible débute par la préparation, qui est suivie par la manutention initiale des matériaux et l'installation de l'ouvrage amovible, et se termine lorsque les structures de détournement des eaux de ruissellement sont complétées.

- Lots de travail (niveau 2) : Préparation, manutention initiale des matériaux, installation de l'ouvrage amovible et aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement.

Préparation (lot de travail de niveau 2)

La préparation est un lot de travail qui regroupe les tâches élémentaires qui visent à préparer les différentes composantes de l'ouvrage amovible à leur transport et à leur installation au site de traversée. Elles ont été simplifiées et regroupées en trois principaux lots de travail de niveau 3, soit la préparation de la membrane géotextile, l'installation des ancrages et l'installation des garde-roues. La préparation de la membrane géotextile consiste simplement à découper la membrane selon les dimensions appropriées pour la conception des appuis de l'ouvrage amovible. Ce lot de travail peut se faire avant la manutention initiale des matériaux (lot de travail de niveau 2) et même pendant l'installation de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2). L'installation des ancrages et des garde-roues consiste simplement à poser les ancrages et monter les garde-roues sur les éléments de tablier de conception (dalles) en respectant les recommandations du fabricant de l'ouvrage amovible. Les ancrages devraient être installés avant le chargement des éléments de tablier puisqu'ils constituent les points d'attache à utiliser pour manipuler les éléments de tablier.

L'installation des garde-roues peut se faire avant la Manutention initiale des matériaux (lot de travail de niveau 2) ou même après l'Installation de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2). Toutefois, il pourrait s'avérer plus facile de manipuler et transporter les éléments de tablier lorsque les garde-roues ne sont pas installés. Cette stratégie implique nécessairement de mobiliser un ou plusieurs ouvriers et leurs

équipements sur le terrain pour les installer directement sur l'ouvrage amovible après ou pendant son installation.

Ainsi, le déroulement et la séquence d'exécution de ces lots de travail peuvent varier. Pour l'étude de ce lot de travail, la séquence d'exécution de ses lots de travail de niveau 3 commence par la préparation de la membrane géotextile et se termine par l'installation des ancrages et des garde-roues. Ensuite, il est possible d'enchaîner avec la manutention initiale des matériaux (lot de travail de niveau 2).

- Lots de travail (niveau 3) : Préparation de la membrane géotextile, installation des ancrages et installation des garde-roues.

Manutention initiale des matériaux (lot de travail de niveau 3)

La manutention initiale des matériaux consiste à charger, transporter et décharger les conduits et les différentes composantes de l'ouvrage amovible (éléments de tablier (dalles) et d'appui (matelas-culées) de conception, garde-roues, etc.) pour l'aménagement de la traverse de cours d'eau et de ses structures de détournement des eaux de ruissellement. Les manipulations des éléments de tablier et d'appui de conception s'effectuent de façon à respecter les recommandations des fabricants pour éviter de les endommager ou de nuire à leur intégrité (HQ, 2011).

Ce lot de travail débute par le chargement et se termine par le retour du fardier à son point de départ. Toutefois, la complétion de la tâche de l'opérateur du fardier n'empêche pas de débiter l'installation de la traverse de cours d'eau lorsque les matériaux sont finalement déchargés. Le chargement, le transport et le déchargement des conduits peuvent s'effectuer avant ou pendant le déroulement de la mise en forme des approches (lot de travail de niveau 2).

- Tâches élémentaires : Chargement, transport et déchargement des matériaux.

Installation de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2)

L'installation de l'ouvrage amovible est un regroupement de lots de travail de niveau 3 qui sont plus ou moins indissociables. Leur regroupement vise principalement à faciliter la compilation et l'interprétation des données prélevées dans les références qui ont pu être utilisées. En général, ce lot de travail débute par la mise en forme de l'approche du côté camp (entrée) et se termine par la mise en forme de l'approche du côté chantier (forêt).

- Lots de travail (niveau 3) : Mise en forme des approches, aménager les appuis et montage.

Mise en forme des approches (lot de travail de niveau 3)

La mise en forme des approches de l'ouvrage amovible consiste à aménager une surface de roulement sur remblais qui mène au point où le chemin doit franchir le cours d'eau en angle droit. Les objectifs, normes, principes ou critères de conception de ce lot de travail sont les mêmes que pour l'installation d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple dans un contexte de fermeture. Les approches devraient être alignées de façon à ce qu'elles soient droites et perpendiculaires au cours d'eau et nivelées de manière à s'élever vers la surface de roulement du tablier (Gillies, 2007; MNR, 1996; NHDFL et UNH, 2016; Weaver et *al.*, 2015). L'alignement et le nivellement des approches se font de façon à détourner les eaux de ruissellement captées par le chemin, les approches et le tablier loin du cours d'eau. Elles sont plutôt dirigées vers les structures de détournement des eaux de ruissellement, ce qui limite l'érosion des approches et le transport de sédiments vers le cours d'eau (Gillies, 2007; MFFP, 2020; MNR, 1996).

Dans l'éventualité où la mise en forme des approches doit se faire sur un sol mou ou sur un sol à faible capacité portante, il est recommandé de renforcer les approches de l'ouvrage amovible à l'aide d'un tapis de fascines ou de radiers de bois avant de les remblayer (Blinn et *al.*, 1998; FPInnovations et Canards Illimités, 2016; HQ, 2011). À cet effet, cette technique peut prévenir les dommages au sol (Blinn et *al.*, 1998) et permettrait de répartir les efforts au sol pendant les travaux et la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau (FPInnovations et Canards Illimités, 2016; HQ, 2011). D'autre part, le caractère temporaire de la traverse de cours d'eau pourrait laisser place à l'utilisation de matériel organique dans la mise en forme de ses approches. Comme pour un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en contexte de fermeture, l'utilisation de débris ligneux, souches, troncs ou résidus d'ébranchage peut réduire la proportion de matériel granulaire à utiliser et transporter pour la mise en forme des approches (lot de travail de niveau 3) d'une traverse de cours d'eau temporaire (MF, 2002). Ce qui pourrait réduire la durée d'exécution et les coûts associés à la mise en forme des approches.

La mise en forme des approches est généralement interrompue par l'aménagement des appuis et l'assemblage de l'ouvrage.

- Tâches élémentaires : Retrait du matériel organique, prélèvement et transport du matériel de remblai, remblayage et nivellement des approches.

Aménager les appuis (lot de travail de niveau 3)

Les appuis d'un ouvrage amovible servent principalement d'assises au tablier, assurent le transfert et la répartition des efforts au sol en provenance du tablier lors de son utilisation (Blinn et *al.* 1998; HQ, 2011; MNR, 1996) et peuvent participer à retenir les remblais des approches (MRN, 1996). Les appuis sont aménagés à l'extérieur de la limite supérieure des berges du cours d'eau et en parallèle à celui-ci pour

éviter de contraindre l'écoulement de l'eau et la circulation des débris (MFFP, 2020; Weaver *et al.*, 2015). Leur conception débute par l'établissement d'une fondation sur laquelle l'appui est érigé. La fondation offre un rôle de support à l'appui et représente le point le plus bas de l'ouvrage (MNR, 1996). Sa construction consiste simplement à retirer la matière organique et végétale pour ensuite niveler, par remblai ou déblai, le sol minéral exposé (HQ, 2011) pour établir une fondation sur un sol ferme, grossier ou rocheux (Keller et Sherar, 2003). Les appuis sont ensuite érigés par-dessus leur fondation et nivelés de façon à obtenir le dégagement minimum approprié ou souhaité et permettre au tablier de reposer sur ceux-ci et d'être le point le plus haut de l'ouvrage. La nature des appuis érigés peut varier et être influencée par les conditions du site de traversée et les objectifs ou critères de conception de l'ouvrage. À cet effet, cette étude se concentre sur deux types d'appuis qui permettent de répondre à différents objectifs de conceptions ou conditions terrain.

Le premier type d'appuis est le remblai de nivellement (Figure 3.5.3). Il s'agit simplement d'un appui constitué d'un remblai de matériel granulaire (sable, gravier et pierre < 75 mm), pouvant être combiné à un tapis de fascines ou des radiers de bois, qui est stabilisé et nivelé pour accueillir directement un tablier ou un matelas-culée. L'utilisation de radiers de bois ou d'un tapis de fascines peut répartir les efforts au sol, limiter l'enfoncement de l'appui ou du tablier, faciliter le retrait de l'ouvrage amovible (Blinn *et al.*, 1998; FPInnovations et Canards Illimités, 2016; HQ, 2011), protéger le tablier de la pourriture et prévenir les mouvements de sols et l'apport de sédiments dans le cours d'eau (Blinn *et al.*, 1998). À cet effet, le ministère des Forêts de la Colombie-Britannique recommande de limiter la hauteur d'un appui constitué de radiers de bois à un maximum de 1,5 m par rapport à la base de la fondation, en excluant l'épaisseur du matelas-culée (MF, 2002). Le remblai de nivellement constitué de matériel granulaire doit comporter une pente inférieure à 1V : 2H et devrait être stabilisé à l'aide d'une membrane géotextile et d'un enrochement (HQ, 2011). Le travail de stabilisation du remblai de nivellement permet de prévenir son affaissement (Keller et Sherar, 2003; MNR, 1996; MRN 1997; Weaver *et al.*, 2015) et permet de protéger le remblai de l'approche de l'érosion en période de crue (Gillies, 2007; Keller et Sherar, 2003; NHDFL et UNH, 2016). La stabilisation des appuis peut aussi être étendue aux berges pour prévenir l'érosion ou l'affaissement du matériel de remblai des approches lors de crues exceptionnelles (Gillies, 2007; MRN, 1996). Le deuxième type d'appuis à l'étude est le coussin de nivellement. Cet appui est constitué d'une membrane géotextile remblayée et repliée en portefeuille par-dessus le matériel de la fondation (Figure 3.5.4). Son utilisation est à favoriser lorsque la fondation de l'appui comporte un substrat plus grossier (pierres > 100 mm, blocs ou roc) ou lorsque la roche mère y est exposée (HQ, 2011; MRN, 1997). Au même titre qu'un remblai de nivellement, le coussin de nivellement peut être combiné à un matelas-culée et être constitué d'un tapis de fascines ou de radiers de bois (Figure 3.5.5). Il permettrait aussi de répartir les efforts au sol, limiter l'enfoncement de l'appui et faciliterait le retrait de l'ouvrage amovible (FPInnovations et Canards Illimités, 2016; HQ, 2011).



Figure 3.5.3 : Remblai de nivellement – Site Chantiers Chibougamau (10 juin 2020, Nord-du-Québec).



Figure 3.5.4 : Coussins de nivellement constitués de matériel granulaire et éléments d’appuis de conception constitués de bois lamellé-collé (matelas-culées) – Site Boisaco (8 octobre 2019, Côte-Nord).



Figure 3.5.5 : Éléments d'appui de conception constitués de poutres de bois interreliées (matelas-culées) et coussins de nivellement constitués de matériel granulaire et de radiers de bois - Site 428-7 (28 mai 2019, Lanaudière).

En général, la conception des appuis s'effectue de façon à obtenir le dégagement minimum prescrit par le cadre réglementaire ou selon les objectifs de conception de l'ouvrage. Illustré dans la Figure 3.5.2, le dégagement minimum d'un ouvrage amovible correspond à l'espace minimum entre le dessous du tablier et la surface de l'eau (Keller et Sherar, 2003). Actuellement, le RADF ne comporte pas de normes spécifiques au dégagement minimum d'un ouvrage amovible lors de son installation. À l'exception des cours d'eau navigables, où il est nécessaire d'assurer un dégagement qui correspond à une hauteur libre d'un minimum de 1,5 m (Art. 98, RADF) par-dessus la limite supérieure des berges du cours d'eau. Toutefois, la revue de la littérature scientifique et grise a permis de relever plusieurs concepts qui permettent de guider la conception des appuis. Les auteurs recommandent de concevoir des appuis qui permettent un dégagement minimum qui peut assurer la libre circulation des débris flottants (ligneux, organique, glace, etc.), du poisson et de l'eau pendant la période où l'ouvrage amovible est installé (Barnard et *al.*, 2013; Keller et Sherar, 2003; MF, 2002; NHDFL et UNH, 2016; Weaver et *al.*, 2015). À cet effet, les recommandations spécifiques au site de traversée varient légèrement entre les différents auteurs et guides consultés. Par exemple, Keller et Sherar (2003) recommandent un dégagement minimum de 0,5 à 1 m par-dessus le niveau d'eau attendu en période de crue pour la période d'installation (Keller et Sherar, 2003). Alors que Weaver et *al.* (2015), recommandent plutôt un dégagement minimum de 3 pieds par-dessus le niveau d'eau attendu en période de crue pour la période d'installation (Weaver et *al.*, 2015). Pour un ouvrage amovible laissé en place à longueur d'année, Hydro-Québec (2011) recommande

plutôt un dégagement minimum équivalent à 1 m par-dessus la limite supérieure des berges, sans quoi il recommande de retirer l'ouvrage avant la crue printanière (HQ, 2011).

En ce qui concerne les appuis constitués de coussins de nivellement, l'étude de ce lot de travail se concentre sur la conception du coussin en tant que tel, soit l'établissement de la fondation, son remblayage et, si nécessaire, sa stabilisation. Pour les appuis constitués de remblais de nivellement, l'étude de ce lot de travail se limite à l'établissement de la fondation, le remblayage et la stabilisation des zones du remblai où s'appuient les éléments de tablier ou d'appui (matelas-culée) de conception de l'ouvrage amovible. Les tâches élémentaires associées à l'aménagement des appuis sont intimement liées et difficiles à bien différencier dans le cours des opérations. Ainsi, elles ont été simplifiées en deux tâches élémentaires principales, soit le nivellement et la stabilisation. D'autre part, il semble aussi difficile de cibler les points de départ et de fin de ce lot de travail, puisque les manipulations liées au nivellement et la stabilisation des appuis peuvent s'enchaîner et s'interrompre. Cependant, il est juste de proposer que ce lot de travail commence par le nivellement des appuis lors de l'excavation de la première fondation et se termine lorsque le dernier appui est finalement stabilisé selon les critères de conception de l'ouvrage.

- Tâches élémentaires : Nivellement (excavation et nivellement de la fondation des appuis et conception des appuis), stabilisation (appuis et, si nécessaire, berges).

Montage (lot de travail de niveau 3)

Le montage de l'ouvrage amovible est un lot de travail qui regroupe les différentes manipulations associées à l'installation des éléments de tablier (dalles) et d'appui (matelas-culées) de conception sur les appuis aménagés (coussin de nivellement ou remblai de nivellement) à l'extérieur de la limite supérieure des berges du cours d'eau (Figure 3.5.6). Au même titre que pour la manutention initiale des matériaux (lot de travail de niveau 2), les manipulations des éléments de tablier et d'appui de conception doivent se faire à l'aide des points d'attaches prévues ou recommandées par le fabricant pour éviter les dommages et nuire à la durabilité des composantes amovibles de l'ouvrage (HQ, 2011).



Figure 3.5.6 : Montage des éléments de tablier – Site Chantiers Chibougamau (10 juin 2020, Nord-du-Québec).

Le montage de l'ouvrage amovible commence par l'installation des éléments d'appui de conception, si utilisés, et se termine lorsque les éléments de tablier de conception sont installés en concordance avec les spécifications et critères de tolérance de conception du fabricant de l'ouvrage (HQ, 2011). En bref, le montage consiste à aligner et mettre au niveau les éléments d'appui et de tablier de conception de l'ouvrage amovible. L'alignement et la mise au niveau sont essentiels et permettent d'éviter de générer des contraintes ou tensions structurelles lors de son utilisation (Weaver et *al.*, 2015). D'autre part, le tablier des ouvrages amovibles à l'étude, constitué de deux dalles en bois lamellé-collé, doit aussi être supporté par des appuis, aménagés et/ou constitués d'éléments d'appuis (matelas-culées), sur 0,6 m de chaque côté du cours d'eau (Avis d'experts, Chantiers Chibougamau, 2019).

Ce lot de travail commence dès que le travail de stabilisation des appuis est terminé. Il est ensuite suivi par la mise en forme de l'approche du côté chantier (forêt). Son déroulement peut être interrompu lorsqu'il est constaté que les éléments d'appui (matelas-culées) ou de tablier (dalles) de conception ne sont pas parallèles, bien alignés avec les approches ou à une hauteur insuffisante pour permettre le dégagement minimum requis ou souhaité pour l'ouvrage amovible. Son cours reprendra après avoir ajusté le nivellement et la stabilisation des appuis.

- Tâches élémentaires : Installation des éléments d'appui (disposition, nivellement et alignement) et installation des éléments de tablier (disposition, nivellement et alignement).

Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Conduits de drainage des fossés (lot de travail de niveau 2)

L'aménagement des conduits de drainage des fossés de part et d'autre du cours d'eau où est installé l'ouvrage amovible répond aux mêmes objectifs et s'effectue selon les mêmes normes, principes ou critères de conception que pour le mode de gestion par abandon à l'échelle d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple. Ainsi les résultats de son évaluation à trois valeurs sont similaires à ceux associés à l'installation des conduits de drainage des fossés lors de la phase d'aménagement d'un ponceau simple. La seule différence marquante est que ces conduits de drainage des fossés sont installés sur des chemins à caractère temporaire.

Ce lot de travail peut s'effectuer en partie pendant ou après l'installation de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2).

- Lots de travail (niveau 3) : Installation des conduits de drainage des fossés (Préparation de la fondation du conduit, installation et remblayage du conduit, ajustement et stabilisation des talus).

Suivi et entretien – Ouvrage amovible (lot de travail de niveau 1)

Le contexte réglementaire entourant l'utilisation d'un ouvrage amovible ne comprend pas de normes précises pour exiger ou encadrer le suivi et l'entretien d'un ouvrage amovible. Comparativement à un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple, le suivi et l'entretien d'un ouvrage amovible ne sont pas non plus guidés par des principes (MFFP, 2020). Ce qui suggère que les interventions associées au suivi et l'entretien d'un ouvrage amovible sont laissés entre les mains de son propriétaire et utilisateur principal. Toutefois, la revue de littérature scientifique et grise et la consultation d'experts ont permis de cibler plusieurs lots de travail associés au suivi et à l'entretien d'un ouvrage amovible pendant la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau.

Au même titre que pour le mode de gestion par abandon, cet ensemble d'interventions vise à prévenir la dégradation de la traverse de cours d'eau et assurer le maintien de ses fonctions de drainage et de support de la route pendant la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau. Ces interventions ont été regroupées en deux principaux lots de travail de niveau 2, soit le suivi de l'intégrité de l'ouvrage amovible et son entretien.

- Lots de travail (niveau 2) : Suivi de l'intégrité de l'ouvrage amovible et entretien de l'ouvrage amovible.

Suivi de l'intégrité de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2)

Le suivi de l'intégrité de l'ouvrage amovible consiste principalement à identifier les problèmes ou menaces qui pourraient nuire à l'atteinte des objectifs ciblés par l'aménagement de l'ouvrage amovible pendant la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau. En général, ce suivi devrait s'orienter autour de l'intégrité et la stabilité des différents éléments qui composent la structure de l'ouvrage amovible et sa capacité à laisser l'eau circuler librement pendant la période où il est laissé en place (HQ, 2011; Kocher *et al.*, 2007; MF, 2002).

Dans un premier temps, il est recommandé de porter une attention particulière à l'intégrité et la stabilité du matériel de remblai utilisé pour la mise en forme des approches et la conception des appuis (HQ, 2011; Kocher *et al.*, 2007; MF, 2002). L'érosion et la perte de matériel, le tassement anormal ou le déplacement d'un tablier sont des indicateurs qui suggèrent la mise en place de mesures correctives qui visent à stabiliser ou renforcer le remblai ou la fondation des appuis ou des approches (Avis d'experts, Hydro-Québec, 2019). À cet effet, plusieurs auteurs et experts recommandent de vérifier l'intégrité et la stabilité des remblais des approches et des appuis de l'ouvrage amovible après les crues générées par de fortes précipitations, les dégels printaniers (HQ, 2011; Kocher *et al.*, 2007; MF, 2002) et des événements climatiques exceptionnels (Avis d'experts, Hydro-Québec, 2019). Dans un second temps, il est primordial de vérifier la stabilité de l'ouvrage amovible et d'assurer l'intégrité des éléments de tablier (dalles) et d'appui (matelas-culées) de conception, des garde-roues et différentes composantes de la structure (membrane géotextile, protecteurs de tablier en contreplaqué, ancrages, quincaillerie, etc.). Ces inspections consistent principalement à détecter les dommages ou signes de détérioration des éléments de la structure avant qu'elles fassent défaut (HQ, 2011; MF, 2002). À cet effet, Hydro-Québec (2011) recommande de vérifier l'épaisseur du tablier et son alignement au moins une fois aux 12 mois.

La revue de la littérature scientifique et grise et la consultation d'experts n'ont pas permis de cibler la combinaison de données recherchées pour documenter la séquence ou la fréquence de ces suivis. Les auteurs et experts consultés suggèrent seulement que les inspections doivent toucher à l'ensemble des éléments ciblés dans ce lot de travail. Ainsi, les paramètres à surveiller ont été regroupés dans une seule tâche élémentaire qui pourrait s'insérer dans un programme de suivi et d'entretien du chemin et de ses traverses de cours d'eau.

- Tâche élémentaire : Identifier les menaces ou dommages (intégrité et stabilité des approches, des appuis et des éléments de la structure).

Entretien de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2)

L'entretien de l'ouvrage amovible pendant la période d'utilisation intensive de la traverse de cours d'eau consiste principalement à intervenir pour prévenir la dégradation de la structure et assurer le maintien des fonctions ou objectifs de conception ciblés par son aménagement pour éviter sa défaillance. Ces interventions sont diverses et les recommandations des auteurs et experts consultés sont résumées plus bas.

- Retrait des débris accumulés dans le cours d'eau en amont et en aval de l'ouvrage amovible (HQ, 2011; Kocher et *al.*, 2007; MF, 2002).
- Nettoyer et retirer le sable et autre débris qui s'accumulent sur la surface de roulement du tablier pour éviter qu'ils rejoignent le cours d'eau (HQ, 2011; MF, 2002; MRN, 1997).
- Entretien préventif ou remplacement des éléments ou pièces endommagés de la structure de l'ouvrage amovible. Par exemple, éléments de tablier (dalles) et d'appui (matelas-culées) de conception, garde-roues, protecteur de tablier en contreplaqué, quincaillerie, etc. (Avis d'experts, Hydro-Québec et Chantiers Chibougamau, 2019; HQ, 2011; MF, 2002).
- Redressement, correction du nivellement ou de l'alignement des éléments d'appui et de tablier de conception lorsqu'un problème de tassement, de nivellement ou d'alignement est constaté ou suspecté d'arriver (Avis d'experts, Hydro-Québec et Chantiers Chibougamau, 2019; HQ, 2011; MF, 2002).

La revue de la littérature scientifique et grise et la consultation d'experts n'ont pas permis de regrouper la combinaison de données recherchées pour documenter la nature et la fréquence de ces interventions. Normalement, ces interventions sont réalisées par le propriétaire ou l'utilisateur principal de l'ouvrage qui a tout intérêt à assurer la stabilité de la traverse de cours d'eau pendant sa période d'utilisation intensive.

Les interventions ciblées plus haut ont été regroupées dans deux lots de travail de niveau 3 dont la nature des tâches élémentaires peut varier. Leurs séquences, importances et fréquences pourraient s'ajuster en fonction de différents facteurs comme le contexte d'utilisation de l'ouvrage amovible (période utilisation, âge, nombre d'installations) et les conditions du site de traversée (humidité du sol, événements climatiques exceptionnels, crues, débris véhiculés).

- Lots de travail (niveau 3) : Retrait des débris ou sédiments accumulés (amont, aval et surface de roulement), entretien de la structure (composantes, pièces et remblais des approches et appuis).

Démantèlement de la traverse de cours d'eau – Ouvrage amovible (lot de travail de niveau 1)

Le contexte d'utilisation de l'ouvrage amovible de cette étude fait en sorte que son démantèlement s'insère directement dans un contexte de fermeture d'un chemin. Ce qui implique que son démantèlement repose sur les mêmes objectifs, normes et principes que le démantèlement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire (voir SDO, Chapitre 3, Ponceau simple). Ces interventions visent à récupérer les éléments de tablier (dalles) et d'appui (matelas-culées) de conception, retirer le matériel de remblayage utilisé pour aménager la traverse de cours d'eau, stabiliser les berges perturbées, reconstituer le couvert végétal des

approches, capter et détourner les eaux de ruissellement en provenance du chemin à l'aide de structures de détournement des eaux de ruissellement mieux adaptées (Bagley, 1998; Gauthier et Varady-Szabo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2002; MRN, 1996; MFFP, 2020; MRNF, 2007; Weaver et Hagans, 1994; Weaver et al. 2015).

L'élaboration de la structure de découpage des opérations de ce lot de travail s'est fortement inspirée des informations recueillies dans le cadre des revues de la littérature scientifique et grise pour le démantèlement d'un ponceau simple et l'aménagement de l'ouvrage amovible. En bref, le démantèlement ou la désinstallation d'un ouvrage amovible regroupe quatre lots de travail de niveau 2. La documentation des travaux de fermeture de chemins par Hydro-Québec suggère que le démantèlement débute par l'aménagement de la nouvelle structure de détournement des eaux de ruissellement du côté chantier (forêt) et se termine par la Manutention finale des matériaux (lot de travail de niveau 2).

- Lots de travail (niveau 2) : Retrait de l'ouvrage amovible, aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement, stabilisation finale et manutention finale des matériaux.

Retrait de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2)

Le retrait de l'ouvrage amovible est un lot de travail qui regroupe la grande majorité des opérations en lien avec l'enlèvement de l'ouvrage et la restauration du site de traversée après son retrait. Il est composé de quatre lots de travail de niveau 3, soit le retrait du matériel de remblai, le démontage, le retrait des appuis et la remise en état des berges. En général, ce lot de travail de niveau 2 est le premier à être complété et débute après le remplacement du conduit de drainage de fossés par un fossé de déviation du côté chantier (forêt). Il est aussi généralement suivi par le retrait conduit de drainage de fossés du côté camp (entrée) et l'installation du deuxième fossé de déviation.

- Lots de travail (niveau 3) : Retrait du matériel de remblai, démontage, retrait des appuis et remise en état des berges.

Retrait du matériel de remblai (lot de travail de niveau 3)

Le retrait du matériel de remblai est un regroupement de manœuvres qui visent à retirer le matériel de remblai utilisé pour la mise en forme des approches de l'ouvrage amovible. Ce matériel est déplacé et stabilisé, ou déposé dans une zone stable vouée à cet effet à l'extérieur des approches du site de traversée pour éviter son érosion et son transport vers le cours d'eau. L'excavation et le déplacement du matériel de remblai reposent sur les mêmes principes que pour le retrait du matériel de remblai d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple.

En général, le retrait du matériel de remblai utilisé pour les approches d'un ouvrage amovible débute lorsque le fossé de déviation du côté chantier (forêt) est complété. Le déroulement de ce lot de travail est arrêté pour permettre le Démontage (lot de travail de niveau 3) et le Retrait des appuis (lot de travail de niveau 3) et la Remise en état des berges (lot de travail de niveau 3). Il est complété lorsque le matériel de remblai de l'approche du côté camp (entrée) est finalement retiré.

- Tâches élémentaires : Retrait du matériel granulaire, retrait des débris ligneux et autres.

Démontage (lot de travail de niveau 3)

Le démontage de l'ouvrage amovible est un lot de travail qui regroupe les différentes manipulations associées à la récupération des éléments de tablier (dalles) et d'appui (matelas-culées) de conception et autres matériaux qui peuvent être réutilisés par l'utilisateur principal. Au même titre que la Manutention initiale des matériaux (lot de travail de niveau 2), les manipulations des éléments de tablier et d'appui de conception devraient se faire à l'aide des points d'attaches prévues ou recommandées par le fabricant. Sans quoi il est possible de créer des dommages et de nuire à la durabilité des composantes récupérées (HQ, 2011).

La procédure de démontage consiste à reproduire les mêmes étapes que le Montage (lot de travail de niveau 3) dans l'ordre inverse. Ce lot de travail commence par le retrait des éléments de tablier de conception et se termine par le retrait et le déplacement des éléments d'appui de conception vers la zone de chargement des matériaux qui se situe au moins à 20 m de la limite supérieure des berges du cours d'eau. Le démontage débute aussitôt que les interventions en lien avec le retrait du matériel de remblai de l'approche du côté chantier (forêt) sont terminées. Ce lot de travail devrait être suivi par le Retrait des appuis (lot de travail de niveau 3).

- Tâches élémentaires : Récupération des éléments de tablier (dalles) et d'appui (matelas-culées).

Retrait des appuis (lot de travail de niveau 3)

Le retrait des appuis regroupe les différentes manipulations qui permettent de démanteler les appuis qui ont été aménagés pour supporter les éléments de tablier (dalles) ou les éléments d'appui (matelas-culées) de conception de l'ouvrage amovible. La nature de ces manipulations peut varier en fonction du type d'appuis aménagés et de leurs caractéristiques de conception. Par exemple, la membrane géotextile utilisée pour la conception d'un coussin de nivellement doit être retirée et déplacée dans un site approprié en dehors de la forêt. Alors que le matériel utilisé pour aménager un remblai de nivellement doit seulement être retiré et stabilisé à plus de 20 m de la limite supérieure des berges du cours d'eau (MFFP, 2020). Le matériel de stabilisation des appuis, les radiers de bois, les tapis de fascines ou débris ligneux peuvent être

mis de côté pour être utilisés lors de la stabilisation des approches et la remise en état des berges (Bagley, 1998; Maurin et Stubblefield, 2011; Merrill et Casaday, 2001; Roni et Beechie, 2013; Weaver et al. 2015). L'étude de ce lot de travail se concentre sur les appuis (coussin de nivellement) ou les zones des remblais de l'ouvrage (remblai de nivellement) où s'appuient les éléments de tablier ou d'appui de conception. Ce lot de travail peut commencer après le Démontage (lot de travail de niveau 3) et devrait être suivi par la Remise en état des berges (lot de travail de niveau 3).

- Tâches élémentaires : Retrait du matériel granulaire, retrait des débris ligneux et autres.

Remise en état des berges (lot de travail de niveau 3)

La remise en état des berges est un lot de travail qui vise à stabiliser les berges qui auraient pu être perturbées après les interventions qui ont eu cours à proximité du littoral du site de traversée. Les ouvrages amovibles à l'étude comportent des appuis qui sont situés en dehors de la limite supérieure des berges. Néanmoins, les interventions qui ont eu lieu lors du démontage et le retrait des appuis peuvent quand même perturber les berges du site de traversée. Face à cette situation, les berges devraient être reconstituées et stabilisées avant de continuer le démantèlement de la traverse de cours d'eau (MFFP, 2020). La stabilisation peut se faire à l'aide du matériel de stabilisation utilisé pour les appuis ou les approches de l'ouvrage amovible. Ce lot de travail précède le Retrait des appuis (lot de travail de niveau 3) et devrait être suivi par le retrait du matériel de remblai de l'approche du côté camp (entrée).

- Tâches élémentaires : Reconstitution et stabilisation des berges.

Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Fossés de déviation (lot de travail de niveau 2)

L'aménagement des fossés de déviation s'insère à la fois dans un contexte de fermeture temporaire ou permanente ou dans un contexte de mise hors service. Ils sont aménagés pour remplacer les conduits de drainage des fossés du chemin de part et d'autre du cours d'eau. Leur installation, lors de la phase de démantèlement d'un ouvrage amovible, répond aux mêmes objectifs et repose sur les mêmes principes que pour son homologue de la phase de démantèlement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple (voir SDO, Chapitre 3, Ponceau simple). L'évaluation à trois valeurs de ce lot de travail est ainsi la même que pour l'installation des fossés de déviation de la phase de démantèlement d'un ponceau simple (voir Évaluation à trois valeurs, Chapitre 3, Ponceau simple).

Généralement, ce lot de travail est la première étape qui débute la phase de démantèlement de l'ouvrage amovible. Son déroulement est interrompu par les autres lots de travail associés au Retrait de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2) lorsque le fossé de déviation du côté chantier (forêt) est terminé. Il

est complété lorsque le fossé de déviation est finalement installé pour remplacer le conduit de drainage de fossés du côté camp (entrée).

- Lot de travail (niveau 3) : Installation des fossés de déviation (Excavation des fossés, retrait des conduits de drainage des fossés et, si nécessaire, stabilisation des fossés).

Stabilisation finale – Paillis et semences (lot de travail de niveau 2)

La stabilisation finale est un lot de travail qui vise à stabiliser les surfaces exposées à l'érosion après les travaux de démantèlement dans l'emprise des approches du site de traversée de manière à favoriser l'établissement d'un couvert végétal naturel. Les principes, la procédure associée et son évaluation à trois valeurs sont les mêmes que pour la stabilisation finale de la phase de démantèlement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple (voir SDO, Chapitre 3, Ponceau simple). Son évaluation à trois valeurs est aussi la même que pour la stabilisation finale de la phase de démantèlement d'un ponceau simple (voir Évaluation à trois valeurs, Chapitre 3, Ponceau simple).

Ce lot de travail peut débuter lorsque le retrait de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2) est terminé et n'est pas contraint par l'aménagement du fossé de déviation situé du côté du camp (entrée).

- Lot de travail (niveau 3) : Ensemencement et paillage (Préparation et disposition des semences et de la paille).

Manutention finale – Matériaux et matières résiduelles (lot de travail de niveau 2)

La manutention des matières résiduelles est l'étape qui conclut le démantèlement d'un ouvrage amovible. Le terme matériaux réfère aux différentes composantes structurelles amovible de l'ouvrage, soit les garde-roues et les éléments de tablier (dalles) et d'appui (matelas-culée) de conception. Ce lot de travail regroupe les différentes manœuvres qui permettent de charger, décharger et transporter les matériaux et les matières résiduelles à l'extérieur de la forêt vers un site approprié.

Pour l'étude de ce lot de travail, les matériaux et les matières résiduelles sont transportés à partir d'une zone de chargement située à plus de 20 m de la limite supérieure des berges du cours d'eau vers le garage de l'utilisateur principal. Le chargement s'effectue généralement après l'aménagement du fossé de déviation situé du côté camp (entrée) et est complété lorsque les matériaux sont finalement déchargés au garage de l'utilisation principal.

- Lots de travail (niveau 3) : Chargement, déchargement et transport des matériaux et des matières résiduelles.

Évaluation à trois valeurs : Ouvrage amovible

L'évaluation à trois valeurs du mode de gestion par fermeture pour un ouvrage amovible s'effectue à l'échelle des classes de portée libre maximale (PLM) ou des classes de longueur de tablier (LT) correspondant aux différentes classes de portée libre maximale qui sont disponibles sur le marché. Ces classes de PLM sont regroupées dans cette étude en quatre classes qui correspondent à des ouvrages amovibles dont la PLM varie entre 1 à 2 m, 3 à 4 m, 5 à 6 m et 7 à 8 m.

La revue de la littérature scientifique et grise, la consultation d'experts et la documentation de travaux de fermeture de chemin ont permis de regrouper le type de données recherchées (durée des opérations, matériaux utilisés, ressources nécessaires) pour un ensemble d'ouvrages amovibles limités et dont la PLM ou la LT varient entre chaque lot de travail de niveau 1. Ce faisant, l'évaluation à trois valeurs de ce mode de gestion se limite à une seule classe de PLM ou LT. Cette classe est représentative des coûts et des durées de travail potentiels qui peuvent être associés à des ouvrages amovibles dont la portée libre maximale (PLM) pourrait varier entre 5 et 6 m et la longueur de tablier (LT) pourrait varier entre 6,2 et 7,2 m.

Finalement, l'évaluation à trois valeurs du mode de gestion par fermeture à l'échelle d'un ouvrage amovible a été possible pour seulement deux des trois lots de travail de niveau 1. Le lot de travail de niveau 1 qui n'a pas pu être évalué est similaire à celui qui n'a pas pu être évalué pour le mode de gestion par abandon et le mode de gestion par fermeture à l'échelle d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple, soit le suivi et l'entretien de l'ouvrage amovible.

Aménagement de la traverse de cours d'eau - Ouvrage amovible (lot de travail de niveau 1)

L'évaluation à trois valeurs de l'aménagement d'un ouvrage amovible pour la classe de PLM ou de LT étudiée est le produit de plusieurs évaluations à trois valeurs des lots de travail de niveau 2 qui caractérisent la phase d'aménagement de la traverse de cours d'eau. Ces évaluations regroupent des données provenant de la revue de la littérature scientifique et grise, la consultation d'experts et la documentation de travaux d'installation d'ouvrage amovible.

Les valeurs (matériaux utilisés, durée des opérations, ressources nécessaires et dimensions de l'ouvrage) spécifiques aux sites d'études documentés, aux avis d'experts ou aux références incluses dans cette évaluation sont associées à l'installation d'un ouvrage amovible constitué des produits d'ingénierie conçus par Chantiers Chibougamau. Le terme produit d'ingénierie réfère aux éléments de tablier et d'appui de conception et autres composantes (garde-roues, quincaillerie, ancrages, écrous, protecteurs de tablier en contreplaqué, etc.) qui permettent de concevoir leur pont-dalles temporaire. Les éléments de tablier et

d'appui de conception sont constitués de bois lamellé-collé et sont conçus pour être amovibles et réutilisables (Avis d'experts, Chantiers Chibougamau 2021; Morissette, 2017; Volpé, 2018). Les résultats de l'évaluation à trois valeurs sont présentés dans le sommaire à la fin de cette section (Tableau 3.6). Le contenu des pages suivantes touche directement aux éléments qui constituent le cœur (matériaux utilisés, durée des opérations, ressources nécessaires et dimensions de l'ouvrage) des évaluations à trois valeurs pour les lots travail de niveau 2 qui caractérisent ce lot de travail de niveau 1.

Matériaux

Les matériaux employés dans le cadre de l'aménagement de cette traverse de cours d'eau sont les conduits en TTOAG utilisé pour l'aménagement des structures de déviation des eaux de ruissellement, la membrane géotextile et les produits d'ingénierie qui permettent la conception de l'ouvrage amovible (éléments de tablier et d'appui de conception, etc.). Pour cette évaluation, les coûts de ces produits ont été généralisés et estimés à l'aide des tarifs approximatifs des produits de Chantiers Chibougamau pour les ententes d'approvisionnement de 2019 (Comm. Perso., 2021, Dave Lepage, Ing. f. Chantiers Chibougamau). Les détails concernant les prix et le coût potentiel des différentes options de pont-dalles temporaire et de la membrane géotextile sont présentés dans le Tableau 3.1.1.

Les coûts des produits d'ingénierie sont répartis sur 5 utilisations, mais ne comprennent pas les frais de livraison. Ces estimations comprennent les taxes et devraient être un portrait fiable des coûts des matériaux associés à l'installation de ce type d'ouvrage amovible (Avis d'expert, Chantiers Chibougamau, 2021). Les coûts associés aux conduits utilisés pour les structures de déviation des eaux de ruissellement sont les mêmes que pour les autres modes de gestion. Ils sont détaillés dans la section touchant à leur aménagement. Les coûts associés à la membrane géotextile ont été estimés par un groupe d'expert chez Boisaco lors de l'installation d'un des ouvrages amovibles documentés.

Tableau 3.1.1 : Coût des matériaux (réparti sur 5 utilisations) – Ouvrage amovible.

Coût des matériaux (réparti sur 5 utilisations) - Ouvrage amovible						
Produits d'ingénierie - Chantiers Chibougamau*				Membrane géotextile		Total (\$)
Portée libre (m)	Longueur tabliers (m)	Tarif Nordic 2019 (\$)**	Coût (\$)	Référence	Coût (\$)	
1,0	2,2	5 334,34	1 226,89	Avis d'experts (Boisaco, 2019)	600,00	1 826,89
2,0	3,2	6 605,31	1 519,22	Avis d'experts (Boisaco, 2019)	600,00	2 119,22
3,0	4,2	7 834,97	1 802,04	Avis d'experts (Boisaco, 2019)	600,00	2 402,04
4,0	5,2	10 076,59	2 317,62	Avis d'experts (Boisaco, 2019)	600,00	2 917,62
5,0	6,2	12 564,95	2 889,94	Avis d'experts (Boisaco, 2019)	600,00	3 489,94
6,0	7,2	15 019,47	3 454,48	Avis d'experts (Boisaco, 2019)	600,00	4 054,48
7,0	8,2	16 753,43	3 853,29	Avis d'experts (Boisaco, 2019)	600,00	4 453,29

*Tabliers/dalles Nordic Lam 24F-ES/NPG (éléments de tablier de conception), matelas-culées Nordic S-Lam E1 140-4S (éléments d'appui de conception), garde-roues, encrages, quincailleries et protecteurs de tablier en contre-plaqué traité.

**Tarifs approximatifs sans taxes pour 2019 (Comm. Perso., 2021, Dave Lepage, Ing. For. Chantiers Chibougamau).

Notes : Coût composantes amovibles réparti sur 5 utilisations (Avis d'experts (Boisaco, 2019; Chantiers Chibougamau, 2021) et Volpé, 2018). Coûts et total incluent les taxes (15%). **Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.**

Préparation (lot de travail de niveau 2)

L'évaluation à trois valeurs de la phase de préparation de l'ouvrage amovible se base sur des données obtenues grâce à la revue de la littérature scientifique et grise, la consultation d'experts et la documentation de travaux d'installation d'ouvrage amovible. La revue de la littérature scientifique et grise a permis d'identifier une seule référence qui comportait la combinaison de données recherchées (matériaux utilisés, durée des opérations, ressources nécessaires et dimensions de l'ouvrage). Même chose pour le groupe d'experts consultés et l'ouvrage amovible documenté. La nature des lots de travail qui caractérisent la préparation a compliqué son estimation. Les données brutes et transformées qui en ressortent sont présentées dans le Tableau 3.2.1 en Annexe 3 et les résultats de l'évaluation à trois valeurs qui en résultent sont présentés dans le Tableau 3.2.2.

Finalement, après la consultation d'experts et la documentation de travaux d'installation d'ouvrage amovible, il semble que les coûts associés à ce lot de travail ne devraient pas être affectés par la dimension de l'ouvrage amovible. L'installation des ancrages et la préparation de la membrane géotextile ne devraient pas être influencées par la dimension de l'ouvrage amovible. Par contre, l'installation des garde-roues pourrait être influencée par l'expérience des ouvriers et les ressources (outils) mises à leur disposition. Par exemple, lors de l'installation de l'ouvrage amovible du Site Boisaco, les ouvriers n'avaient pas le type d'outils idéal (perceuse et foret à bois de forte dimension à grande vitesse) pour permettre de creuser les points de fixation des garde-roues dans les éléments de tablier de conception (dalles) sur le terrain. Ils ont été obligés de se débrouiller avec les outils à leur disposition (perceuse et foret à métal de grande dimension). Ce qui a doublé le temps nécessaire selon les experts consultés (Avis d'experts, Contremaîtres Boisaco et Chantiers Chibougamau, 2019).

Tableau 3.2.2 : Évaluation à trois valeurs : Préparation.

Évaluation à trois valeurs : Préparation (lot de travail de niveau 2) (n=3)			
Lots de travail	Valeurs optimistes : Avis d'experts, (Contremaîtres, Boisaco et Chantiers Chibougamau, 2019). PLM (5 à 6 m) et LT (6,2 à 7,2 m).	Valeurs probables : Volpé, 2018. PLM (6 m) et LT (7,2 m).	Valeurs pessimistes : Site Boisaco. PLM (5 m) et LT (6,2 m).
Ressources :	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Ouvrier : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier
Préparation de la membrane géotextile	2 x 15m	1 x 1h	2 x 15m
Installation des ancrages	2 x 20 m	1 x 9h	2 x 20m
Installation des garde-roues	2 x 3h		2 x 5h
Durée d'exécution	3h35m	10h	5h35m
Total (\$)	409,93	572,00	638,73
*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.			
*Donnée arrondie (palier de 15 minutes)			

Manutention initiale des matériaux (lot de travail de niveau 2)

La revue de la littérature scientifique et grise et la documentation de travaux d'installation d'ouvrage amovible n'ont pas permis de cibler la combinaison de données recherchées. L'estimation des valeurs associées à ce lot de travail repose sur une évaluation par un groupe d'experts. Les conditions déterminées pour la manutention initiale des matériaux sont les mêmes que pour les autres modes de gestion. Les durées et les coûts associés à cette évaluation sont généralisés à l'ensemble des coûts potentiels évalué pour l'Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ouvrage amovible (lot de travail de niveau 1). Les résultats de cette évaluation sont présentés dans le Tableau 3.3.

Tableau 3.3 : Évaluation par des experts : Manutention initiale des matériaux – Ouvrage amovible et conduits de drainage des fossés.

Manutention initiale des matériaux (lot de travail de niveau 2) - Ouvrage amovible et conduits de drainage des fossés (n=1)				
Lots de travail	Avis d'experts, (Contremaîtres, Boisaco et Chantiers Chibougamau, 2019).			
Ressources :	Excavatrice (35 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h
Chargement/déchargement des matériaux	2h	2h	2 x 2h	2h
Transport des matériaux				2h
Durée d'exécution	3h			
Coût (\$)	1 385,00			
<i>*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.</i>				

Installation de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2)

L'évaluation à trois valeurs de l'installation de l'ouvrage amovible se base sur des données obtenues grâce à la revue de la littérature scientifique et grise, la documentation des sites d'installation d'ouvrage amovible et la consultation d'experts. Les données brutes et transformées associées aux deux références ciblées par la revue de la littérature et les deux sites d'installation d'un ouvrage amovible documentés sont résumées dans les Tableaux 3.4.1 et 3.4.2 en Annexe 3. Les résultats de l'évaluation à trois valeurs de ce lot de travail se retrouvent dans le tableau ci-dessous (Tableau 3.4.3).

Tableau 3.4.3 : Évaluation à trois valeurs : Installation de l'ouvrage amovible PLM 5 à 6 m et LT 6,2 à 7,2 m.

Évaluation à trois valeurs : Installation de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2) - PLM de 5 à 6 m ou LT de 6,2 à 7,2 m (n=5)											
Lots de travail	Valeurs optimistes : Morissette, 2017. PLM (5 m) et LT (6,2 m).			Valeurs probables : Avis d'experts (Contremaîtres, Boisaco et Chantiers Chibougamau, 2019). PLM (6 m) et LT (7,2 m).			Valeurs pessimistes : Volpé, 2018. PLM (6 m) et LT (7,2 m).				
	Excavatrice (Koma PC290LC) : 148,90 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Excavatrice : 35 tonnes : 162,60 \$/h	Camion benne articulé 6x6 (JD 260E) : 178,35 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Excavatrices (35 tonnes) : 162,60 \$/h par machine	Camion benne articulé 6x6 (A35D ou A40D) : 213,15 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier
Mise en forme des approches	1h	1h	2 x 1h	1h	1h	1h	2 x 1h	2 x 8h	8h	8h	8h
Aménager les appuis	2h30m	2h30m	2 x 2h30m	4h		4h	2 x 4h	2 x 10h	4h	10h	3 x 1h
Montage	30m	30m	2 x 30m					2 x 1h		1h	2 x 1h
Durée d'exécution	4h			5h			19h				
Coût (\$)	1 282,00			1 849,35			10 094,20				
Matériaux											
Membrane géotextile (\$)	600,00			600,00			600,00				
Pont-dalles temporaire (\$)	2 889,94			3 454,48			3 454,48				
Coût (\$)	3 489,94			4 054,48			4 054,48				
Total (\$)	4 771,94			5 903,83			14 148,68				
*Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.											
*Donnée ajoutée ou ajustée.											

Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Conduits de drainage des fossés (lot de travail de niveau 2)

L'évaluation à trois valeurs de l'installation des conduits de drainage des fossés pour l'aménagement de l'ouvrage amovible se base sur les mêmes données et résultats que pour l'aménagement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple. La grande différence à souligner pour l'ouvrage amovible est que la largeur limitée de la surface carrossable de son tablier (environ 4,3 m) va nécessairement limiter la largeur de la surface de roulement et des remblais des approches de la traverse de cours d'eau. Ainsi, l'évaluation de ce lot de travail se concentre sur les conduits de drainage de fossés d'une longueur de 9 m puisqu'ils sont plus représentatifs du contexte d'utilisation des ouvrages amovibles à l'étude (Avis d'experts, Chantiers Chibougamau; Volpé, 2018). Les résultats de l'évaluation à trois valeurs pour les conduits de drainage des fossés qui accompagnent l'ouvrage amovible sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tableau 3.5).

Tableau 3.5 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Conduits de drainage des fossés TTOAG 300 à 450 mm x 9 m.

Évaluation à trois valeurs : Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement (lot de travail de niveau 2)									
Conduits de drainage des fossés TTOAG 300 à 450 mm x 9 m									
Lots de travail et tâches élémentaires	Valeurs optimistes : Avis d'expert (Groupe Lebel B, 2021). 300 mm x 9 m.			Valeurs probables : Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 300 mm x 9 m.			Valeurs pessimistes : Avis d'expert (Groupe Lebel B, 2021). 450 mm x 9 m.		
	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h
Installation des conduits de drainage des fossés (n=9)	Préparation de la fondation								
	Installation des conduits	1h30m	1h30m	1h30m	2h	2h	2h	2h30m	2h30m
	Remblayage des conduits								
	Ajustement et stabilisation des talus								
	Durée d'exécution	1h30m			2h			2h30m	
Coût (\$)	415,50			491,40			692,50		
Matériaux									
Conduits (2) - Conduits de drainage des fossés (\$)	654,12			654,12			1 009,34		
Coût (\$)	654,12			654,12			1 009,34		
Total (\$)	1 069,62			1 145,52			1 701,84		
*Donnée ajoutée ou ajustée.									
*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.									

Sommaire

L'évaluation à trois valeurs des coûts potentiels pour l'Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ouvrage amovible (lot de travail de niveau 1) est résumée dans le Tableau 3.6. Ces résultats sont obtenus par la compilation des évaluations à trois valeurs associées aux lots de travail de niveau 2 qui caractérisent l'aménagement d'un ouvrage amovible dont les appuis sont situés à l'extérieur de la limite supérieure des berges. Ces estimations des coûts et des temps de travail se concentrent sur l'aménagement d'un ouvrage amovible dont la portée libre maximale peut varier entre 5 et 6 m.

Tableau 3.6 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau – Ouvrage amovible PLM 5 à 6 m ou LT 6,2 à 7,2 m.

Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau - Ouvrage amovible portée libre maximale (PLM) 5 à 6 m ou longueur tablier (LT) 6,2 à 7,2 m													
Lots de travail		Valeurs optimistes				Valeurs probables				Valeurs pessimistes			
Préparation de l'ouvrage amovible (n-3)	Ressources :	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier				Ouvrier : 57,20 \$/h				Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier			
	Préparation de la membrane géotextile	2 x 15m				1 x 1h				2 x 15m			
	Installation des ancrages	2 x 20 m				1 x 9h				2 x 20m			
	Installation des gardes-rocs	2 x 3h								2 x 5h			
	Durée d'exécution	3h35m				10h				5h35m			
	Coût (\$) :	409,93				572,00				638,73			
Maintenance initiale des matériaux (n-1)	Ressources :	Excavatrice (35 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h	Excavatrice (35 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h	Excavatrice (35 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h
	Chargement/déchargement des matériaux	2h	2h	2 x 2h	2h	2h	2h	2 x 2h	2h	2h	2h	2 x 2h	2h
	Transport des matériaux				2h								2h
		Durée d'exécution	3h				3h				3h		
	Coût (\$) :	1 385,00				1 385,00				1 385,00			
Installation de l'ouvrage amovible (n-5)	Ressources :	Excavatrice (Koma PC290LC) : 148,90 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h	Excavatrice (35 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h	Excavatrices (35 tonnes) : 162,60 \$/h par machine	Camion benne articulé 6x6 (A350 ou A400) : 213,15 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier
	Mise en forme des approches	1h	1h	2 x 1h	1h	1h	1h	2 x 1h	1h	2 x 8h	8h	8h	3h
	Aménager les appuis	2h30m	2h30m	2 x 2h30m	4h	4h	4h	2 x 4h	4h	2 x 10h	4h	10h	3 x 1h
	Montage	30m	30m	2 x 30m						2 x 1h		1h	2 x 1h
		Dimensions pont-dalles temporaire	PLM (5 m) et LT (6,2 m)				PLM (6 m) et LT (7,2 m)				PLM (6 m) et LT (7,2 m)		
		Durée d'exécution	4h				5h				19h		
	Coût (\$) :	1 282,00				1 849,35				10 094,20			
Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - fossés	Ressources :	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h			
	Installation des conduits de drainage des fossés	1h30m	1h30m	1h30m	2h	2h	2h	2h30m	2h30m	2h30m	2h30m		
		Dimensions conduits	300 mm x 9 m				300 mm x 9 m				450 mm x 9 m		
		Durée d'exécution	1h30m				2h				2h30m		
Sommaire des opérations	Coût (\$) :	3 492,43				4 297,75				12 810,43			
	Durée d'exécution	12h05m				20h				30h05m			
Matériaux													
	Membrane géotextile (\$) :	600,00				600,00				600,00			
	Pont-dalles temporaire (\$) :	2 889,94				3 454,48				3 454,48			
	Conduits (2) - Conduits de drainage des fossés (\$) :	4 144,06				4 708,60				5 063,82			
	Coût (\$) :	4 144,06				4 708,60				5 063,82			
	Total (\$) :	7 636,49				9 006,35				17 874,25			
*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et gris.													
*Donnée ajustée ou ajustée.													
*Donnée arrondie (palier de 15 minutes).													

Démantèlement de la traverse de cours d'eau – Ouvrage amovible (lot de travail de niveau 1)

L'évaluation à trois valeurs du démantèlement d'un ouvrage amovible pour la classe de PLM ou de LT étudiée est le produit de plusieurs évaluations à trois valeurs des lots de travail de niveau 2 qui caractérisent la phase de démantèlement de la traverse de cours d'eau. Ces évaluations regroupent des données provenant de la consultation d'experts et la documentation de travaux de fermeture de chemin. La documentation de travaux de fermeture de chemin d'Hydro-Québec a permis de documenter le démantèlement de quatre ouvrages amovibles. Ces ouvrages amovibles sont caractérisés par des éléments de tablier (dalles/tablier-poutres) et d'appui (matelas-culées) de conception qui sont constitués de sections de poutres de bois sciées, placées côte à côte, espacées et interreliées par des tiges d'acier (HQ, 2011). Leurs caractéristiques (dimensions, capacité portante, poids et portée libre maximale) sont différentes de celles des ouvrages amovibles documentés pour l'évaluation à trois valeurs de l'installation de l'ouvrage

amovible (lot de travail de niveau 2). Néanmoins, l'évaluation à trois valeurs de ce lot de travail se poursuit quand même, puisque les coûts et les durées de travail qui en ressortent représentent le meilleur indicateur qui a pu être trouvé pour estimer les coûts et les durées de travail qui pourraient être constatés lors du démantèlement des ouvrages amovibles constitués des produits d'ingénierie de Chantiers Chibougamau. Les résultats de cette évaluation à trois valeurs pour ce lot de travail de niveau 1 sont présentés dans le sommaire à la fin de cette section (Tableau 3.9).

Retrait de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2)

L'évaluation à trois valeurs de ce lot de travail se base sur des données obtenues par la documentation de travaux de fermeture de chemin et la consultation d'experts, soit la documentation de quatre sites de retrait d'ouvrage amovible et deux estimations fournies par des experts. Les caractéristiques des sites de retrait d'ouvrage amovible documenté et des estimations par des experts et les données brutes qui en résultent peuvent être consultées dans le Tableau 3.7.1 en Annexe 3. Les données transformées qui ont été utilisées pour l'évaluation à trois valeurs de ce lot de travail se retrouvent dans le tableau ci-dessous (Tableau 3.7.2) et les résultats de l'évaluation à trois valeurs se retrouvent le Tableau 3.7.3.

Tableau 3.7.2 : Retrait de l'ouvrage amovible : Données transformées.

Retrait de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2) : Données transformées																	
Site d'étude	PLM (m)	LT (m)	Dépassement amont (m)	Types d'appuis	Distance déplacement matériel (m)	Ressources	Retrait du matériel remblai			Démontage		Retrait des appuis		Remise en état des berges		Durée d'exécution	Total (\$)
							Matériel granulaire	Radier et débris	Durée	Coût (\$)	Durée	Coût (\$)	Durée	Coût (\$)	Durée		
T1-C008-SMD	3	6.2	1.25	Coussin nivellement, radier de bois et matelas-culées	20	Excavatrice (CAT336E) : 162,60 \$/h Superviseur : 57,20 \$/h Ouvrier : 57,20 \$/h	12m14 27m58s 40m12s	40m12s	147,26	36m46s 36m46s 36m46s	17m56s 17m56s	65,7 9m27s	36,62 9m27s			1b44m21s	419,32
T004-3	1.5	2.8	0.5	Coussin nivellement et radier de bois	210	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h Superviseur : 57,20 \$/h Camion benne articulé 6x6 (JD 260E) : 178,35 \$/h Transporteur : 207,82 \$/h Ouvrier : 57,20 \$/h	2632m35s 3h10m33s 1h47m28s 2h55m05s	3h10m33s 5h43m18s 2h36m27s 2h55m05s	2 150,01	12m06s 12m06s	9m14s 9m14s	49,55 29,01		0	6h04m38s	2 228,57	
T004-SS	3	6.2	1	Remblai nivellement (0,75 à 1 m) et radier de bois	130	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h Superviseur : 57,20 \$/h Camion benne articulé 6x6 (JD 260E) : 178,35 \$/h Transporteur : 207,82 \$/h Ouvrier : 57,20 \$/h	5h45m13s 4h18m33s 3h58m11s 4h14m22s	4h18m33s 10h03m56s 5h55m44s 4h14m22s	3 835,82	12m06s 15m24s 15m24s	18m39s 18m39s	63,06 58,59		0	10h37m59s	3 957,47	
T007-7S	1.5	2.8	0.5	Coussin nivellement et radier de bois	100	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h Superviseur : 57,20 \$/h Transporteur : 207,82 \$/h	22m28s 1h50m34s 22m28s	1h50m34s 2h13m02s 1h30m40s	731,99	11m36s 11m36s	29m39s 29m39s	36,44 93,15		0	2h54m17s	861,58	
Référence ou source	PLM (m)	LT (m)	Dépassement amont (m)	Types d'appuis	Distance déplacement matériel (m)	Ressources	Retrait du matériel remblai			Démontage	Retrait des appuis	Remise en état des berges		Durée d'exécution	Total (\$)		
Avis d'experts, (Contremaîtres, Hydro-Québec et Groupe TCL	5	6.2	N.D.	Coussin nivellement et matelas-culées	20	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h Superviseur : 57,20 \$/h Ouvrier : 57,20 \$/h				4h 4h 4h				4h	1 108,00		
Avis d'experts, (Contremaîtres, Hydro-Québec et Groupe TCL	6	7.2	N.D.	Coussin nivellement et matelas-culées	20	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h Superviseur : 57,20 \$/h Ouvrier : 57,20 \$/h				5h 5h				5h	1 385,00		

Notes : Données fournies, ajustées ou estimées à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise. Données ajoutées ou ajustées.

Tableau 3.7.3 : Évaluation à trois valeurs : Retrait de l'ouvrage amovible PLM 5 à 6 m et LT 6,2 à 7,2 m.

Lots de travail	Valeurs optimistes : T1-C008-5MD, PLM (3 m) et LT (6,2 m).			Valeurs probables : Avis d'experts (Contremaîtres, Hydro-Québec et Groupe TCL, 2019), PLM (5 à 6 m) et LT (6,2 à 7,2 m).			Valeurs pessimistes : T004-8S, PLM (3 m) et LT (6,2 m).				
	Excavatrice (CAT336E) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrices (JD 210G) : 131,30 \$/h	Camion benne articulé 6x6 (A35D ou A40D) : 213,15 \$/h	Transporteur : 207,82 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h
Retrait du matériel de remblai	45m	45m	45m	1h	1h	1h	10h15m	6h	4h15m	10h15m	
Démontage	45m	45m	45m				30m			30m	30m
Retrait des appuis	30m	30m		4h	4h	4h	30m			30m	
Remise en état des berges	15m	15m									
Durée d'exécution	2h15m			5h			11h15m				
Total (\$)	537,45			1 385,00			4 311,36				
* Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise											
* Donnée ajoutée ou ajustée.											
* Donnée arrondie (palier de 15 minutes)											

Manutention finale – Matériaux et matières résiduelles (lot de travail de niveau 2)

La revue de la littérature scientifique et grise et la documentation des travaux de fermeture de chemin n'ont pas permis de cibler la combinaison de données recherchées. L'évaluation à trois valeurs associées à ce lot de travail repose sur une évaluation par un groupe d'experts. Les conditions déterminées pour la manutention finale sont les mêmes que le lot de travail associé à la manutention des matières résiduelles (Manutention – Matières résiduelles (lot de travail de niveau 2)) de la phase de démantèlement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple (voire SDO et Évaluation à trois valeurs, Chapitre 3, Ponceau simple). Les durées et les coûts associés à cette évaluation sont généralisés à l'ensemble des coûts potentiels évalués pour le lot de travail Démantèlement de la traverse de cours d'eau – Ouvrage amovible (lot de travail de niveau 1). Les résultats de cette évaluation sont présentés dans le Tableau 3.8.

Tableau 3.8 : Évaluation par des experts : Manutention finale – Matériaux et matières résiduelles.

Manutention finale (lot de travail de niveau 2) - Matériaux et matières résiduelles (n=1)				
Lots de travail	Avis d'experts, (Contremaîtres, Boisaco et Chantiers Chibougamau, 2019).			
Ressources :	Excavatrice (35 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h
Chargement/déchargement des matériaux et matières résiduelles	2h	2h	2 x 2h	2h
Transport des matériaux et mat. résiduelles				2h
Durée d'exécution	3h			
Coût (\$)	1 385,00			
*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.				

Sommaire

L'évaluation à trois valeurs du lot de travail Démantèlement de la traverse de cours d'eau – Ouvrage amovible (lot de travail de niveau 1) est résumée dans le Tableau 3.9. Ces résultats ont été obtenus par la compilation des évaluations à trois valeurs associées aux lots de travail de niveau 2 qui caractérisent le démantèlement d'un ouvrage amovible dont les appuis sont situés à l'extérieur de la limite supérieure des berges. Ces estimations dressent un portrait des coûts potentiels qui pourraient être générés par le démantèlement d'un ouvrage amovible dont la portée libre maximale peut varier entre 5 et 6 m.

**Tableau 3.9 : Évaluation à trois valeurs : Démantèlement de la traverse de cours d'eau –
Ouvrage amovible PLM 5 à 6 m ou LT 6,2 à 7,2 m.**

Évaluation à trois valeurs : Démantèlement de la traverse de cours d'eau - Ouvrage amovible portée libre maximale (PLM) 5 à 6 m ou longueur tablier (LT) 6,2 à 7,2 m														
Lots de travail	Ressources	Valeurs optimistes				Valeurs probables				Valeurs pessimistes				
		Excavatrice (CAT336E) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h		Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrices (JD 210G) : 131,30 \$/h	Camion benne articulé 666 (A3SD ou A40D) : 213,15 \$/h	Transporteur : 207,82 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h
Retrait de l'ouvrage amovible (n=6)	Retrait du matériel de remblai	45m	45m	45m	1h	1h	1h		10h15m	6h	4h15m	10h15m	30m	
	Démontage	45m	45m	45m					30m			30m	30m	
	Retrait des appuis	30m	30m		4h	4h	4h		30m			30m	30m	
	Remise en état des berges	15m	15m											
	Dimensions ouvrage amovible	PLM (3 m) et LT (6,2 m)				PLM (5 à 6 m) et LT (6,2 à 7,2 m)				PLM (3 m) et LT (6,2 m)				
	Durée d'exécution	2h15m				5h				11h15m				
	Coût (\$)	537,45				1 385,00				4 311,36				
Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Fossés de déviation (n=9)	Ressources	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (CAT 336E) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (JD 350C) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h				
	Installation des fossés de déviation	30m	30m	30m	30m	30m	30m	1h15m	1h15m	1h45m	1h45m	1h45m		
	Durée d'exécution	30m				30m				1h45m				
	Coût (\$)	122,85				138,50				484,75				
Stabilisation finale (n=5)	Ressources	Ouvrier : 57,20 \$/h				Ouvrier : 57,20 \$/h				Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier				
	Ensemencement et paillage	45m				1h				3 x 45m				
	Durée d'exécution	45m				1h				45m				
	Coût (\$)	42,90				57,20				128,70				
Maintenance finale - Matériaux et matières résiduelles (n=1)	Ressources	Excavatrice (35 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h	Excavatrice (35 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h	Excavatrice (35 tonnes) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179,15 \$/h	
	Chargement/déchargement des matériaux et matières résiduelles	2h	2h	2 x 2h	2h	2h	2h	2 x 2h	2h	2h	2h	2 x 2h	2h	
	Transport des matériaux et mat. résid.													
	Durée d'exécution	3h				3h				3h				
	Coût (\$)	1 385,00				1 385,00				1 385,00				
Sommaire des opérations	Coût (\$)	2 088,20				2 965,70				6 309,81				
	Durée d'exécution	6h30m				9h30m				16h45m				
Semences et pailles (\$)	Ressources	75,00				75,00				75,00				
	Coût (\$)	75,00				75,00				75,00				
	Total (\$)	2 163,20				3 040,70				6 384,81				

*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.

*Donnée ajoutée ou ajustée.

*Donnée arrondie (valeur de 15 minutes).

Résultats finaux

L'évaluation à trois valeurs du mode de gestion par fermeture à l'échelle d'un ouvrage amovible dont les appuis sont situés à l'extérieur de la limite supérieure des berges du cours d'eau, présentée dans le Tableau 3.10, a été possible pour deux des trois lots de travail de niveau 1 et se limite à une seule classe de portée libre maximale (PLM). Cette évaluation dresse un portrait des coûts et durées potentiels des opérations, dans les limites méthodologiques de cette étude, qui sont associées à l'aménagement et au démantèlement d'un ouvrage amovible dont la portée libre maximale pourrait varier entre 5 et 6 m. Au même titre que pour les autres modes de gestion, les coûts et les durées des opérations associées au suivi et à l'entretien de la traverse de cours d'eau n'ont pas pu être évaluées.

Les variations entre les valeurs (coûts et durées) qui ressortent de l'évaluation à trois valeurs présentée dans le tableau ci-dessous peuvent être attribuées à plusieurs facteurs. Une bonne partie de ses facteurs ou critères potentiels d'efficacité ont déjà été abordés dans la section Critères potentiels d'efficacité du mode de gestion par fermeture à l'échelle d'un ponton constitué d'un conduit circulaire simple. La section suivante aborde les critères potentiels d'efficacité qui sont spécifiques à l'aménagement et au démantèlement d'un ouvrage amovible.

Tableau 3.10 : Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par fermeture – Ouvrage amovible PLM 5 à 6 m ou LT 6,2 à 7,2 m.

Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par fermeture - Ouvrage amovible PLM 5 à 6 m ou LT 6,2 à 7,2 m					
Lots de travail - Niveau 1	Lots de travail - Niveau 2	Valeurs optimistes	Valeurs probables	Valeurs pessimistes	
Aménagement de la traverse de cours d'eau - Ouvrage amovible	Préparation de l'ouvrage amovible	Durée d'exécution 3h35m	10h	5h35m	
		Coût (\$) 409,93	572,00	638,73	
	Manutention initiale des matériaux	Durée d'exécution 3h	3h	3h	
		Coût (\$) 1 385,00	1 385,00	1 385,00	
	Installation de l'ouvrage amovible	Durée d'exécution 4h	5h	19h	
		Coût (\$) 1 282,00	1 849,35	10 094,20	
	Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Conduits de drainage des fossés	Durée d'exécution 1h30m	2h	2h30m	
		Coût (\$) 415,50	491,40	692,50	
	Matériaux : Pont-dalles temporaire, membrane géotextile et conduits drainage des fossés				
	Dimensions du pont-dalles temporaire		PLM (5 m) et LT (6,2 m)	PLM (6 m) et LT (7,2 m)	PLM (6 m) et LT (7,2 m)
Dimensions des conduits de drainage des fossés (TTOAG)		300 mm x 9 m	300 mm x 9 m	450 mm x 9 m	
		Coût (\$) 4 144,06	4 708,60	5 063,82	
Durée d'exécution		12h05m	20h	30h05m	
Sous-total (\$)		7 636,49	9 006,35	17 874,25	
Suivi et entretien - Ouvrage amovible	Suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau	Durée d'exécution N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$) N.A.	N.A.	N.A.	
	Entretien de l'ouvrage amovible	Durée d'exécution N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$) N.A.	N.A.	N.A.	
	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	
Sous-total (\$)		N.A.	N.A.	N.A.	
Démantèlement de la traverse de cours d'eau - Ouvrage amovible	Retrait de l'ouvrage amovible	Dimensions de l'ouvrage amovible Durée d'exécution 2h15m	PLM (5 à 6 m) et LT (6,2 à 7,2 m) 5h	PLM (3 m) et LT (6,2 m) 11h15m	
		Coût (\$) 537,45	1 385,00	4 311,36	
	Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Fossés de déviation	Durée d'exécution 30m	30m	1h45m	
		Coût (\$) 122,85	138,50	484,75	
	Stabilisation finale	Durée d'exécution 45m	1h	45m	
		Coût (\$) 42,90	57,20	128,70	
	Manutention finale - Matériaux et matières résiduelles	Durée d'exécution 3h	3h	3h	
		Coût (\$) 1 385,00	1 385,00	1 385,00	
	Matériaux : Pailles et semences				
			Coût (\$) 75,00	75,00	75,00
Durée d'exécution		6h30m	9h30m	16h45m	
Sous-total (\$)		2 163,20	3 040,70	6 384,81	
Total (\$)		9 799,69	12 047,05	24 259,06	

Critères potentiels d'efficacité : Ouvrage amovible

En enjambant le cours d'eau, ce type d'ouvrage amovible permet d'éviter de remblayer, modifier ou perturber le lit et les berges du cours d'eau (Blinn et *al.*, 1998; Keller et Sherar, 2003; Kocher et *al.*, 2007; MNR, 1996; Weaver et *al.*, 2015). Ce qui permet d'éviter plusieurs risques associés à la mise en place d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple. Par exemple :

- Érosion du matériel de remblayage du conduit et mise en circulation de sédiments dans le cours d'eau (conduit obstrué, sous-dimensionné ou soumis à des conditions qui surpassent sa capacité de drainage).
- Érosion ou affouillement du lit du cours d'eau (enfouissement insuffisant du conduit)
- Obstacle au libre passage du poisson (chute à la sortie du conduit).
- Obstacle ou menace à la libre circulation de l'eau ou au libre passage du poisson (conduit obstrué).

La mise en place d'un ouvrage amovible peut mieux répondre à certains objectifs de protection de l'environnement (FPInnovations et Canards Illimitées, 2016) et génère presque toujours des impacts moindres sur l'environnement (Barnard et *al.*, 2013; Kocher et *al.*, 2007; MF, 2002; Weaver et *al.*, 2015). Comparativement à un ponceau simple, son installation s'effectue sans avoir à excaver le lit ou ajouter du matériel de remblai en dessous de la limite supérieure des berges d'un cours d'eau. De plus, cet ouvrage ne restreint pas l'écoulement du cours d'eau, ne perturbe pas le lit du cours d'eau et les interventions associées à son aménagement et son démantèlement ont un moins grand potentiel de générer des sédiments fins et d'exposer le cours d'eau à du matériel de remblai érodable.

Conditions avantageuses et désavantageuses

La revue de la littérature scientifique et grise a permis de cibler plusieurs facteurs qui pourraient influencer l'efficacité de l'exécution des opérations d'aménagement et de démantèlement d'un ouvrage amovible et la durabilité de la traverse de cours d'eau. Ces conditions sont les suivantes :

- Approche à faible pente et berges et rives étroites (Barnard et *al.*, 2013) : Permet de limiter l'ampleur du travail associé à la mise en forme des approches et l'aménagement des appuis pour atteindre le dégagement minimum souhaité et dévier les eaux de ruissellement à l'extérieur des zones de 20 m mesurées à partir de la limite supérieure des berges du cours d'eau.
- Cours d'eau bien défini, étroit, droit et uniforme. (Keller et Sherar, 2003; MF, 2002; NHDFL et UNH, 2016; Weaver et *al.*, 2015) : Facilite la progression de l'équipe et permet un alignement plus facile des approches et des éléments de tablier et d'appui de conception.
- Berges stables (MF, 2002; Weaver et *al.*, 2015) : Facilite la progression de l'équipe lors de l'aménagement des appuis et la Remise en état des berges (lot de travail de niveau 3).
- Appuis basés sur un substrat grossier, rocheux ou sur la roche mère (Keller et Sherar, 2003) : Facilite la progression de l'équipe lors de l'aménagement des appuis.

D'autre part, la revue de la littérature scientifique et grise a permis de cibler deux conditions hydrologiques auxquelles un ouvrage amovible pourrait être mieux adapté qu'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple. Ces conditions hydrologiques sont résumées ici-bas :

- Abondance de sédiments ou débris ligneux de bonnes dimensions véhiculés par le cours d'eau : L'ouvrage amovible a moins tendance à capter et accumuler les débris véhiculés par un cours d'eau (Barnard et *al.*, 2013).
- Conditions d'écoulement où la hauteur d'eau tend à changer rapidement ou chroniquement (mouvements latéraux et verticaux) : L'ouvrage amovible ne restreint pas l'écoulement naturel du cours d'eau (Barnard et *al.*, 2013) et sa présence est temporaire.

Intégrité de la traverse de cours d'eau

Les ouvrages amovibles à l'étude et les produits d'ingénierie qui les composent ont typiquement une durée de vie utile de 15 ans, soit 5 utilisations de 3 ans (Avis d'experts, Contremaîtres, Boisaco et Chantiers Chibougamau, 2019, Volpé, 2018). La revue de la littérature scientifique et grise, la consultation d'experts et des observations lors de la documentation de travaux de fermeture de chemin et d'installation d'ouvrage amovible ont permis d'identifier plusieurs facteurs qui peuvent faire varier la durée de vie utile de ces produits d'ingénierie. Ces facteurs sont directement reliés aux conditions d'utilisation de l'ouvrage, soit les conditions hydrologiques auxquelles il est soumis, sa manutention et son usage réel (Morissette, 2017). En général, il semble que la défaillance d'un ouvrage amovible pendant sa période d'utilisation intensive est souvent due aux conditions hydrologiques auxquelles il est soumis. Des événements climatiques exceptionnels (Avis d'experts, Hydro-Québec, 2019) ou des appuis basés sur un substrat fin susceptible à l'érosion et soumis à des crues peuvent mener à la défaillance de l'ouvrage amovible (Keller et Sherar, 2003). C'est pourquoi il est essentiel de prendre le temps d'établir de bonnes fondations pour les appuis qui doivent être situés à l'extérieur de la limite supérieure des berges du cours d'eau.

En ce qui concerne la manutention, les éléments critiques à surveiller sont les manipulations des éléments de tablier (dalles) et d'appui (matelas-culées) de conception pendant la manutention, le montage et le démontage de l'ouvrage amovible. En effet, le fait de transporter et de manipuler à plusieurs reprises les éléments de tablier et d'appui de conception génère une usure normale et amène le risque de générer des dommages supplémentaires (Avis d'experts, Chantiers Chibougamau et Hydro-Québec, 2019). Par exemple, les dommages illustrés dans Figure 3.5.7 sont des marques d'usure normale laissées par les chaînes pendant les déplacements de la section de tablier lors du montage (lot de travail de niveau 3).



Figure 3.5.7 : Usure inévitable des éléments de tablier de conception lors du montage – Site Chantiers Chibougamau (10 juin 2020, Nord-du-Québec).

Ce risque devient plus grand lorsque les points d'attache recommandés ne sont pas utilisés et que les éléments de tablier ou d'appui sont en contact direct avec les dents du godet et du pouce hydraulique de la pelle mécanique lors des manipulations. Par exemple, les dommages illustrés dans la Figure 3.5.8 sont les produits de mauvaises manipulations lors du démontage. Les marques laissées sur le tablier-poutres en question ont été générées par les dents du godet et du pouce hydraulique de la pelle mécanique lors de son retrait et son déplacement jusqu'à la zone de chargement. Pour assurer l'intégrité du tablier, la poutre endommagée doit être remplacée avant d'installer et d'utiliser ce tablier-poutres sur un nouveau site de traversée (Avis d'experts, Contremaîtres, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019). Certains experts recommandent de limiter les manipulations et les déplacements des éléments de tablier et d'appui de conception en planifiant les inspections de ces composantes sur le terrain, plutôt qu'au garage, et si

possible prévoir leur mobilisation vers un nouveau site de traversée après leur démantèlement. Ce qui permettrait d'éviter d'avoir à décharger et charger inutilement les éléments de tablier et d'appui de conception entre chaque site de traversée où ils sont utilisés pour aménager un ouvrage amovible (Avis d'expert, Boisaco, Chantiers Chibougamau et Hydro-Québec, 2019).



Figure 3.5.8 : Élément de tablier endommagé par le godet de la pelle mécanique lors du démontage des éléments de tablier de conception – Site T004-03 (29 août 2019, Lanaudière).

L'utilisation de l'ouvrage amovible par l'utilisateur principal et les utilisateurs secondaires pendant sa période d'installation va inévitablement se traduire par une usure des surfaces en contact avec les véhicules. En effet, les passages vont user et éroder les protecteurs de tablier en contreplaqué, qui devront ultimement être remplacés (Avis d'experts, Contremaîtres, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019; HQ, 2011). Dans une autre mesure, le déneigement de la surface de roulement du chemin en hiver peut favoriser et accentuer l'usure des protecteurs de tablier en contreplaqué et peut même endommager significativement les garde-roues de l'ouvrage amovible. En effet, la documentation des travaux de fermeture de chemin a permis d'observer plusieurs ouvrages amovibles dont les garde-roues étaient manquants ou fortement endommagés. Par exemple, les garde-roues manquants et dommages illustrés dans la Figure 3.5.9 ont été faits par la machinerie utilisée lors du déneigement de l'ouvrage amovible. Les garde-roues manquants ont été retrouvés brisés et éparpillés dans l'emprise du chemin à moins de 50 m de la traverse de cours d'eau. Ce qui suggère que l'utilisation en hiver de l'ouvrage amovible pourrait être un facteur qui peut nuire à son intégrité et générer des coûts supplémentaires.



Figure 3.5.9 : Garde-roues endommagés par la machinerie lors des interventions de déneigement du chemin – Site 428-6 (28 mai 2019, Lanaudière).

En bref, il faut retenir que l'usure normale et les dommages lors de l'utilisation ou de la manutention de l'ouvrage amovible sont inévitables. Pour les prévenir, il serait pertinent de prévoir une bonne formation et un bon soutien aux opérations qui touchent de près et de loin aux ouvrages amovibles. Il reste aussi primordial d'anticiper les coûts de réparation et de remplacement des protecteurs de tablier et des garde-roues pour les prochains sites où l'ouvrage amovible sera installé.

Aménagement et démantèlement de la traverse de cours d'eau

La revue de la littérature scientifique et grise et la consultation d'experts ont permis de soulever plusieurs facteurs qui peuvent ralentir la progression ou représenter de plus grands défis et ainsi augmenter les coûts associés à l'aménagement et au démantèlement d'un ouvrage amovible. La grande majorité de ces facteurs ont déjà été abordés dans les sections Critères potentiels d'efficacité pour le mode de gestion par fermeture et abandon d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple (Avis d'experts, Contremaîtres, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019; Morissette, 2017; Volpé, 2018).

Spécifiquement aux ouvrages amovibles, les experts consultés et les observations des travaux d'installation d'ouvrage amovible et de fermeture de chemin ont permis de cibler un facteur supplémentaire, soit les objectifs de conception de la traverse de cours d'eau (Avis d'experts, Contremaîtres, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019). À cet effet, il semble que certains critères de

conception qui permettent d'atteindre certains objectifs de conception spécifiques aux ouvrages amovibles peuvent influencer la durée et les coûts associés à son installation et son retrait. Voici deux exemples :

- Dans l'éventualité où il est nécessaire d'assurer la libre circulation des débris flottants (objectif de conception), il est recommandé de s'assurer que l'ouvrage amovible comporte un dégagement minimum de 1 m par-dessus la limite supérieure des berges du cours d'eau (critère de conception) (HQ, 2011). Pour ce faire, les appuis sont aménagés de manière à ce que la base du tablier soit à une hauteur équivalente ou supérieure à un mètre par rapport au haut du talus des berges. Ce qui pourrait se traduire par l'aménagement d'appuis constitués de remblais de nivellement d'une hauteur de 1 m. Ces appuis nécessitent plus d'efforts et de temps à réaliser, notamment pour leur remblayage et leur stabilisation, que des appuis constitués d'un coussin de nivellement de 30 cm qui n'ont pas à assurer la libre circulation des débris flottants.
- Advenant qu'un des objectifs de conception de l'ouvrage amovible soit d'assurer l'intégrité des berges du site de traversée, il serait nécessaire de stabiliser les berges à proximité de l'ouvrage amovible (critère de conception). Pour y arriver, les interventions associées à la stabilisation des appuis par enrochement, lors de leur aménagement, s'étendent jusqu'à couvrir les berges du cours d'eau. Ce qui va nécessairement augmenter la charge de travail de l'équipe et l'ampleur du travail associé à l'aménagement des appuis.

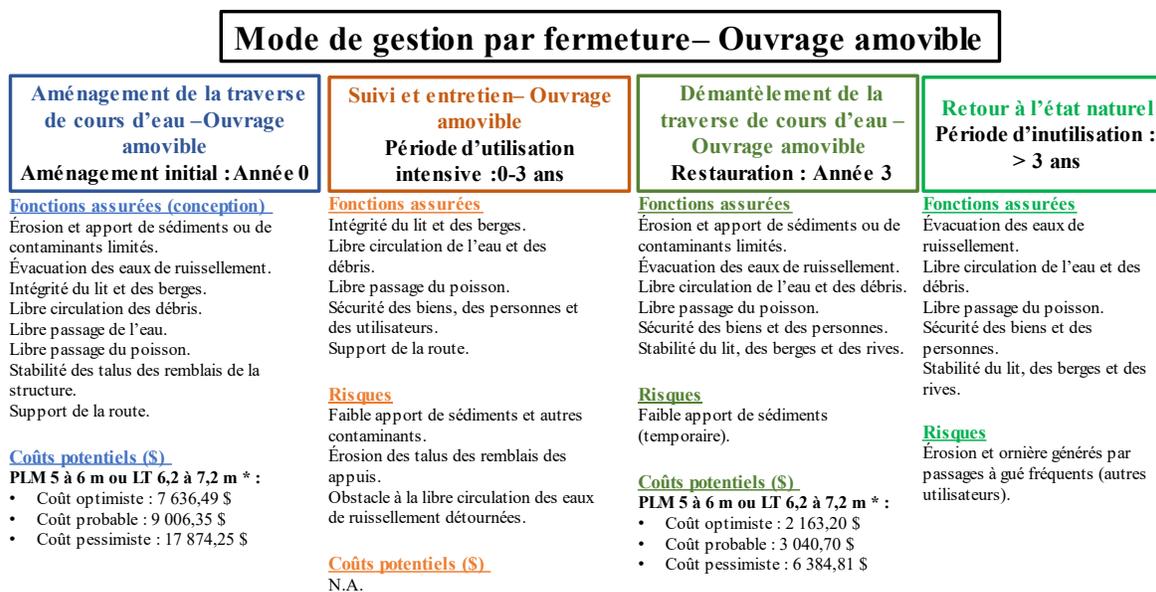
Ce faisant, il est important de se rappeler que les critères de conception ciblés par l'utilisateur principal ou renforcés par de futures normes pour répondre à différents objectifs peuvent avoir une influence sur les coûts et la durée des travaux associés à l'aménagement et au démantèlement d'un ouvrage amovible.

Sommaire

L'impression générale des experts consultés est que ce type d'ouvrage amovible est polyvalent, plus plaisant et plus rapide à aménager et à démanteler qu'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple (Avis d'experts, Boisaco, Chantiers Chibougamau, Hydro-Québec, Groupe TC1, 2019). Les différentes classes de portée libre maximale en font des structures polyvalentes qui ont le potentiel de s'adapter à plusieurs contextes et classes de cours d'eau (Morissette, 2017).

Dans le contexte de fermeture à l'étude, l'utilisation d'un ouvrage amovible dont les appuis sont situés en dehors de la limite supérieure des berges du cours d'eau a le potentiel de restaurer et maintenir certaines conditions naturelles et permet d'éviter les risques associés à la dégradation et la défaillance d'une traverse de cours d'eau abandonnée. Toutefois, ce mode de gestion limite à 3 ans la durée de vie utile et la capacité de la traverse de cours d'eau à supporter une route carrossable et ses utilisateurs potentiels. Normalement, la durée de vie utile de l'ouvrage amovible est plutôt déterminée par son usage, soit l'étendue de la période entre sa construction et son démantèlement, les manipulations en lien avec la manutention et les conditions auxquelles il est soumis. Au même titre que pour le mode gestion par fermeture à l'échelle d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple, le démantèlement d'un ouvrage amovible devrait s'accompagner de mesures de fermeture de chemin quand l'accès risque d'être emprunté par des utilisateurs secondaires après son démantèlement. Sans quoi, il est possible que le site de traversée soit soumis à des passages à

gué qui ont le potentiel d'altérer sa morphologie, nuire à son intégrité, à la qualité de l'eau et à l'atteinte des objectifs ciblés par le démantèlement de la traverse de cours d'eau. Les risques, les coûts potentiels évalués et l'efficacité de ce mode de gestion à répondre aux différentes fonctions d'une traverse de cours d'eau sont résumés dans la Figure 3.6. Ces résultats sont associés à l'utilisation d'un ouvrage amovible dont la portée libre maximale peut varier entre 5 et 6 m, ce qui pourrait être comparable à la classe de diamètre de ponceau simple de 2200 à 3000 mm.



*Équivalence (ponceau simple) : 2200 à 3000mm.

Figure 3.6 : Efficacité, risques et coûts – Mode de gestion par fermeture – Ouvrage amovible.

Chapitre 4 : Mise hors service

Introduction

Le mode de gestion par mise hors service consiste à construire une structure de traverse de cours d'eau conventionnelle pour répondre à des besoins immédiats de fréquentation intensive en prévoyant la remplacer par une structure de traverse de cours d'eau alternative visant à répondre à des besoins de faible fréquentation par des véhicules légers. Le terme « structure de traverse de cours d'eau alternative » est utilisé pour regrouper les ouvrages qui ne sont pas intégrés dans le cadre réglementaire actuel de la forêt publique québécoise et qui pourraient représenter des outils polyvalents et bénéfiques à l'application de différentes stratégies de gestion d'un chemin à faible fréquentation. L'ouvrage conventionnel à l'étude est un ponton constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG et l'ouvrage alternatif qui le remplace est une traverse à gué aménagée par enrochement (Figure 4.1). Le remplacement s'étend aussi aux structures de détournement des eaux de ruissellement qui les accompagnent. À cet effet, le ponton simple est accompagné par des conduits de drainage de fossés en TTOAG qui sont remplacés par des fossés de déviation lors de l'installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (TAGE) pour mieux répondre à des besoins de faible fréquentation.

Ce mode de gestion a pour buts d'éviter l'entretien des structures conventionnelles de traverse de cours d'eau et de détournement des eaux de ruissellement, limiter les impacts potentiels associés à leur dégradation, mitiger le risque et les impacts associés à leur défaillance, tout en maintenant un accès limité à l'aide de structures alternatives. Les structures alternatives sélectionnées doivent être reconnues pour leur durabilité, leur faible risque de défaillance et leur très faible besoin d'entretien. Leur installation se fait de concert avec les mesures de démantèlement des structures conventionnelles qui consistent à retirer les conduits et le matériel de remblai et de mise en forme des approches. À la suite de l'installation des structures alternatives, les berges et le lit du cours d'eau sont reconstitués et stabilisés. Ces traitements s'effectuent après la période d'utilisation intensive du chemin et dans la mesure où son utilisation respecte les principes de conception de la TAGE (voir Choix de l'ouvrage, Chapitre 4) et les principes qui encadrent la faible fréquentation.



Figure 4.1 : Traverse à gué aménagée par enrochement construite le 5 novembre 2018 – Site 101+100 (9 juillet 2020, Mauricie).

Les principes du cadre de faible fréquentation sont établis à l'aide des principes de conception de la structure de traverse de cours d'eau alternative choisie. En soi, ces principes constituent les limites dans lesquels la TAGE devrait être utilisée. Les principes de conception d'une TAGE sont abordés dans la section choix de l'ouvrage. Le cadre de faible fréquentation repose sur trois principes qui servent de balises pour guider son utilisation et assurer son intégrité. Ces principes sont présentés ci-dessous.

- 1- Niveau de fréquentation (fréquence des passages):
 - Balises : Passage peu fréquent ou occasionnel.
 - Hors limite : Passage fréquent, journalier ou régulier.
- 2- Période de fréquentation (moment des passages)
 - Balises : Périodes de faible écoulement, d'étiage ou sèche.
 - Hors limite : Périodes de crue, de frai ou de migration du poisson et de gel et dégel, saison hivernale et événements climatiques exceptionnels.
- 3- Type de véhicule supporté (utilisé pour les passages)
 - Balises (véhicules légers): Automobile (masse nette inférieure à 4500 kg) et véhicule tout-terrain motorisé.
 - Hors limite (véhicules lourds): Machinerie lourde, remorque, équipement lourd, autobus, véhicule-outil, véhicule récréatif ou camion (masse nette de 4500 kg ou plus).

Structure de découpage des opérations

La structure de découpage des opérations du mode de gestion par mise hors service d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG est présentée dans la Figure 4.2. Cette représentation se concentre sur les lots de travail et les tâches élémentaires associées à l'aménagement, l'entretien et au démantèlement partiel des structures conventionnelles, soit le ponceau simple et les conduits de drainage de part et d'autre de celui-ci, et l'aménagement et l'entretien des structures alternatives qui ont été sélectionnées pour les remplacer, soit la traverse à gué aménagée par enrochement et des fossés de déviation. Les différents niveaux de lot de travail et les tâches élémentaires qui les caractérisent sont détaillés dans les prochaines sous-sections.

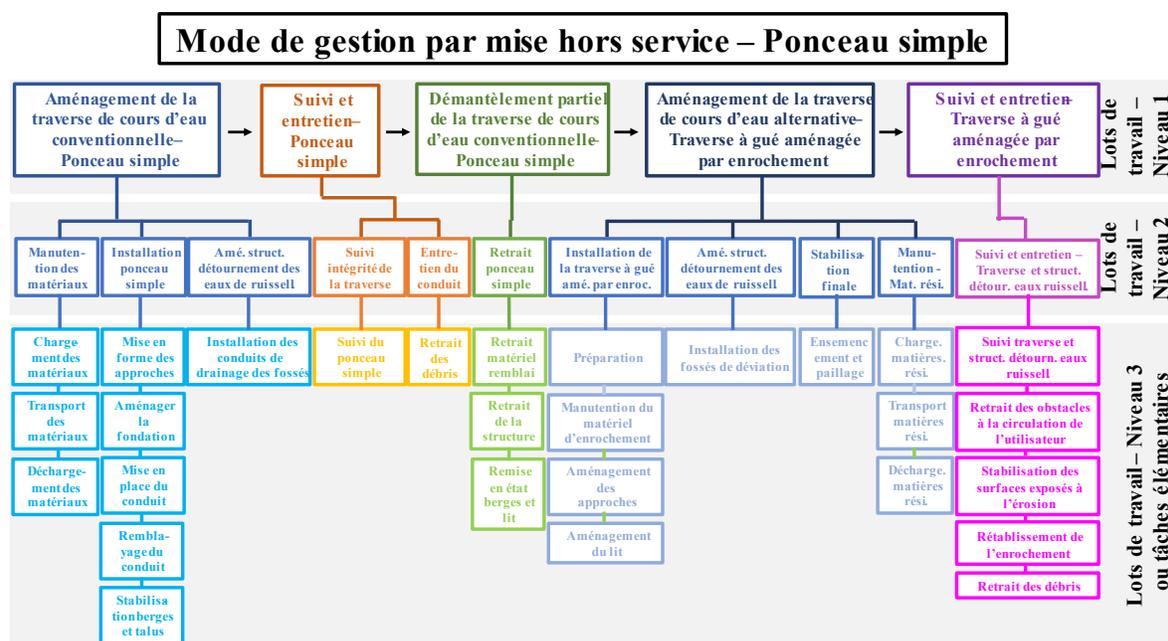


Figure 4.2 : Structure de découpage des opérations – Mode de gestion par mise hors service.

Choix de l'ouvrage

Une traverse à gué aménagée est un ouvrage construit à travers un cours d'eau qui comporte une surface de roulement stabilisée au niveau de ses rives et de son lit qui permet le passage à gué de véhicules motorisés. Ce type d'ouvrage est référé sous différents noms dans la littérature, comme traverse à gué, gué aménagé, « fords », « ford crossings », « unvented fords », « at-grade fords » ou « low-water stream crossings ». La surface de roulement stabilisée peut être conçue à l'aide de plusieurs matériaux, notamment par un enrochement, des dalles, des planches, des blocs de béton ou des géocellules (Clarkin et *al.*, 2006; Lurtz, 2016; Toupin, 2005; NRCS, 2006; USDA, 2013; Weaver et Hagans, 1994; Weaver et *al.*, 2015). Les traverses à gué aménagées à l'étude sont celles qui sont typiquement conçues à l'aide d'un

enrochement et dans la mesure où elles sont aménagées pour répondre à des besoins de faible fréquentation.

Le mode de gestion par mise hors service d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple est étudié dans un contexte où il est prévu de le remplacer par une traverse à gué aménagée par enrochement. L'aménagement, l'entretien et le démantèlement du ponceau simple sont guidés par les mêmes directives, principes et lots de travail que le mode de gestion par abandon (voir SDO, Chapitre 2). Toutefois, l'aménagement d'une TAGE fait en sorte que la disposition de certains lots de travail associé au démantèlement du ponceau simple va différer par rapport au mode de gestion par fermeture. La traverse à gué aménagée par enrochement ne comporte pas de normes, directives, principes ou critères pour diriger son aménagement puisqu'il s'agit d'un ouvrage qui n'est pas encore reconnu par le cadre réglementaire. Malgré tout, la revue de la littérature scientifique et grise a permis de cibler plusieurs principes de conception qui peuvent guider l'aménagement de ce type de structure. Certains sont aussi inspirés des principes qui guident l'aménagement et le démantèlement des ouvrages amovibles constitués d'appuis situés à l'extérieur de la limite supérieure des berges. Ces principes de conception sont présentés ci-bas.

1. Le site de traversée doit être propice à l'aménagement d'une traverse à gué aménagée de manière à assurer son intégrité et éviter les perturbations potentielles du cours d'eau.
 - Le site de traversée est situé dans un chemin peu fréquenté (Blinn et *al.*, 1998; Clarkin et *al.*, 2006; Keller et Sherar, 2003; Lurtz, 2016; MF, 2002; MNR, 1996; USDA, 2011; Toupin, 2005; Weaver et Hagans, 1994). Le chemin devrait être rarement utilisé ou utilisé à l'occasion par l'utilisateur principal et les utilisateurs secondaires (Belles-Isles et *al.*, 1999; Blinn et *al.*, 1998; Clarkin et *al.*, 2006; Kocher et *al.*, 2007; Lurtz, 2016; MAPAQ, 2005; MF, 2002; MNR, 1996; MTQ, 2008; USDA, 2011; Weaver et Hagans, 1994).
 - Le lit du cours d'eau est stable ou peut être stabilisé (Belles-Isles et *al.*, 2019; Blinn et *al.*, 1998; Clarkin et *al.*, 2006; Lurtz, 2016; Toupin, 2005; MAPAQ, 2005; MNR, 1996; NRCS, 2006; USDA, 2011; USDA, 2013; Weaver et Hagans, 1994). Les lits graveleux, caillouteux ou rocaillieux sont des exemples de lits qui permettent l'établissement d'une fondation stable et résistante à l'affouillement (Blinn et *al.*, 1998; Keller et Sherar, 2003; MNR, 1996).
 - Les approches du site de traversée sont caractérisées par une pente graduelle et faible (Belles-Isles et *al.*, 2019; Blinn et *al.*, 1998; Lurtz, 2016; MAPAQ, 2005; MF, 2002; MNR, 1996; Pamela et *al.*, 2016; USDA, 2011) ou elles sont aménagées de manière à produire une pente graduelle et faible.
 - Le site de traversée est situé dans une section du cours d'eau qui n'est pas caractérisée par une forte pente ou une grande vitesse d'écoulement. Le matériel d'enrochement disposé dans un cours d'eau pentu ou avec une grande vitesse d'écoulement est plus à risque de se dégrader ou se déplacer (Clarkin et *al.*, 2006; Lurtz, 2016; Weaver et *al.*, 2015).
 - Le site de traversée est situé dans une section du cours d'eau qui permet un passage à gué sécuritaire et où les véhicules sont en mesure de circuler sans y introduire des contaminants ou endommager la surface de roulement. Pour ce faire, le passage à gué devrait se faire dans la mesure où les essieux et le châssis du véhicule ne sont pas en contact avec la surface de l'eau (MAPAQ, 2005; MF, 2002) et la surface de roulement. En général, les cours d'eau peu profonds (Clarkin et *al.*, 2006; Keller et Sherar, 2003; Lurtz, 2016; Toupin, 2005; USDA, 2011; Weaver et Hagans, 1994; Weaver et *al.*, 2015)

avec des berges peu incisées sont recommandés pour l'établissement d'une traverse à gué aménagée (Clarkin *et al.*, 2006; Keller et Sherar, 2003; Lurtz, 2016; Weaver et Hagans, 1994; Weaver *et al.*, 2015).

2. Les sections de la surface de roulement de la traverse de cours d'eau qui sont exposées à l'érosion et pouvant mobiliser des sédiments vers ou dans le cours d'eau doivent être renforcées à l'aide de matériaux stables et résistant à la nature de l'érosion anticipée et aux passages des véhicules (Gagnon et Lemieux, 2006; MAPAQ, 2005; MF, 2002; Toupin, 2005; USDA, 2011).
3. L'aménagement de la traverse à gué aménagée par enrochement s'effectue de manière à reproduire les conditions naturelles ou adjacentes du lit et des berges du site de traversée (USDA, 2011).
4. L'eau de ruissellement en provenance de l'emprise du chemin doit être évacuée vers des zones de végétation situées à plus de 20 m du cours d'eau (MFFP, 2020).
5. Les surfaces perturbées dans le lit, les berges, la lisière et la bande de terrain visés dans les articles 27 et 34 du RADF doivent être stabilisées sans délai (MFFP, 2020).
6. Le couvert végétal compris dans la lisière boisée du cours d'eau doit être reconstitué (MFFP, 2020).
7. Les déchets et autres matières résiduelles doivent être retirés et transportés vers un site approprié à l'extérieur de la forêt (MFFP, 2020).

La traverse à gué aménagée par enrochement se distingue par sa surface de roulement enrochée dont la superficie peut varier en fonction de plusieurs critères de conception. La littérature scientifique et grise consultée s'entend sur le fait que la surface de roulement au niveau du site de traversée doit être renforcée à l'aide d'un enrochement qui doit au moins couvrir le lit et rejoindre la limite supérieure des berges du cours d'eau (Belles-Isles *et al.*, 2019; Blinn *et al.*, 1998; Clarkin *et al.*, 2006; Gagnon et Lemieux, 2006; Lurtz, 2016; MAPAQ, 2005; MF, 2002; MNR, 1996; NRCS, 2006; Pamela *et al.*, 2016; Roni et Beechie, 2013; Toupin, 2005; USDA, 2011; USDA, 2013; Weaver et Hagans, 1994; Weaver *et al.*, 2015). Toutefois, plusieurs auteurs et organismes soutiennent que l'enrochement de la surface de roulement devrait s'étendre au-delà du lit du cours d'eau de manière à assurer une protection contre l'érosion générée par des crues de récurrence variées (Belles-Isles *et al.*, 2019; Blinn *et al.*, 1998; Clarkin *et al.*, 2006; Gagnon et Lemieux, 2006; MAPAQ, 2005; MF, 2002; MNR, 1996; Pamela *et al.*, 2016; Toupin, 2005; Weaver *et al.*, 2015). Voici quelques exemples de recommandations associées à l'enrochement de la surface de roulement dans les approches de la TAGE :

- Stabiliser par un enrochement la surface de roulement exposée à l'érosion et pouvant mobiliser et canaliser des sédiments fins vers le cours d'eau (Blinn *et al.*, 1998; Clarkin *et al.*, 2006; Gagnon et Lemieux, 2006; MAPAQ, 2005; MF, 2002; Pamela *et al.*, 2016; Toupin, 2005; Weaver *et al.*, 2015) dans les approches de l'ouvrage.
- Stabiliser par un enrochement la surface de roulement comprise dans la zone de 15 m (Belles-Isles *et al.*, 2019; MNR, 1996) ou de 45 m (Clarkin *et al.*, 2006) mesurée à partir de la limite supérieure des berges de part et d'autre du cours d'eau.
- Stabiliser par un enrochement la surface de roulement en dessous du niveau des hautes eaux associé à une récurrence de crue sélectionnée et d'une marge de sécurité spécifique (Belles-Isles *et al.*, 2019; Clarkin *et al.*, 2006; Keller et Sherar, 2003; MF, 2002). Comme une récurrence de crue de 25 ans (Belles-Isles *et al.*, 2019), 50 ans ou 100 ans (Clarkin *et al.*, 2006; MF, 2002) et une marge de sécurité d'une élévation supplémentaire de 0,61 à 1,22 m (Clarkin *et al.*, 2006) ou de 0,30 à 0,50 m (Keller et Sherar, 2003).

Le matériel d'enrochement utilisé pour stabiliser la surface de roulement doit être sélectionné pour ses capacités à résister à l'érosion et au déplacement par les véhicules, les aléas du cours d'eau et les débris qu'il peut véhiculer (NRCS, 2006; USDA, 2011; Weaver et Hagans, 2014). La littérature scientifique et grise consultée suggère d'utiliser des pierres angulaires pour l'enrochement, puisqu'elles offrent une meilleure résistance au mouvement et minimisent le potentiel d'accélération de la vitesse d'écoulement du cours d'eau dans et à la sortie de l'ouvrage (Belles-Isles et *al.*, 2019; Clarkin et *al.*, 2006; Keller et Sherar, 2003; Lohnes et *al.*, 2001; MF, 2002). Dans une autre mesure, la revue de la littérature scientifique et grise a permis d'identifier plusieurs méthodes utilisées pour déterminer la dimension appropriée du matériel d'enrochement. Ces méthodes ont été regroupées en deux principales catégories, soit les méthodes qui se basent sur une estimation de la vitesse d'écoulement (formule de Manning) où une corrélation entre celle-ci et la dimension des pierres qui peuvent y résister est établie (Clarkin et *al.*, 2006; Keller et Sherar, 2003; Lohnes et *al.*, 2001; MF, 2002) et les méthodes basées sur l'observation du lit du cours d'eau. Pleinement qualitative, ces dernières consistent généralement à se fier à la dimension et la forme des pierres naturelles qui composent le lit du cours d'eau comme indicateur de la dimension minimum du matériel qui pourrait résister aux conditions du cours d'eau (Clarkin et *al.*, 2006; MF, 2002).

L'aménagement de la surface de roulement dans les approches s'effectue de manière à produire une pente graduelle et faible qui mène au cours d'eau. Cette attention particulière à la pente des approches permet de favoriser la consolidation et la résistance au déplacement du matériel d'enrochement (Belles-Isles et *al.*, 2019; Blinn et *al.*, 1998; Lurtz, 2016; MAPAQ, 2005; MF, 2002; MNR, 1996; Pamela et *al.*, 2016; USDA, 2011). À ce sujet, la littérature scientifique et grise consultée ne s'entend pas sur le seuil spécifique à ne pas dépasser. Les recommandations varient comme suit à propos de la pente maximale des approches menant à une TAGE :

- Inférieure ou égale à 25 % (Clarkin et *al.*, 2006; USDA, 2011).
- Inférieure ou égale à 20 % (Belles-Isles et *al.*, 2019; Blinn et *al.*, 1998; NRCS, 2006; USDA, 2013).
- Inférieure ou égale à 12,5 % (Gagnon et Lemieux, 2006; MAPAQ, 2005).
- Inférieure ou égale à 10 % (Clarkin et *al.*, 2006; Lohnes et *al.*, 2001; Lurtz, 2016).

Chaque méthode ou critère de conception associé à la superficie de l'enrochement, la dimension du matériel sélectionné et la pente finale de la surface de roulement comporte ses avantages et ses inconvénients et il en revient à l'utilisateur principal de sélectionner la méthode qui lui convient. La méthode et les critères de conception sélectionnés pour cette étude sont spécifiés dans les sections suivantes. Dans la littérature scientifique et grise, il semble que l'étude des traverses à gué aménagées s'effectue à l'échelle du type de matériel utilisé pour renforcer le lit du cours d'eau. Très peu d'attention semble avoir été portée sur l'étude de la durée des opérations ou de leurs coûts. C'est dans un but de comparaison entre différents types d'ouvrages que cette étude propose d'étudier les traverses à gué

aménagées par enrochement à l'échelle de la limite supérieure des berges du cours d'eau. Cette caractéristique d'un cours d'eau représente la seule variable indépendante commune aux trois types d'ouvrages à l'étude. Pour la TAGE, la largeur de la limite supérieure des berges d'un cours d'eau influence directement la dimension de l'enrochement, puisqu'elle représente le périmètre de base de l'enrochement recommandé par la littérature scientifique et grise consultée.

Aménagement de la traverse de cours d'eau conventionnelle – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1)

Pour le mode de gestion par mise hors service, l'aménagement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple s'effectue dans l'optique où l'ouvrage est construit à un nouvel endroit pour répondre à des besoins précis de fréquentation pendant une période déterminée avant d'être démantelé et remplacé par une traverse à gué aménagée par enrochement. Les objectifs, les normes, les principes ou les critères de conception associés à ce lot de travail sont les mêmes que ceux décrits dans le mode gestion par abandon d'un ponceau simple (voir SDO, Chapitre 2). L'évaluation à trois valeurs de ce lot de travail est ainsi la même que pour la phase d'aménagement du ponceau simple (voir Évaluation à trois valeurs, Chapitre 2).

- Lots de travail (niveau 2) : Manutention des matériaux, installation du ponceau simple, aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement.

Suivi et entretien – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1)

Le suivi et l'entretien d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple s'effectuent selon les mêmes objectifs, normes, principes ou critères de conception que le mode de gestion par abandon et par fermeture d'un ponceau simple (voir SDO, Chapitre 2). L'évaluation à trois valeurs de ce lot de travail ainsi la même que pour la phase d'entretien du ponceau simple (voir évaluation à trois valeurs, Chapitre 2).

- Lots de travail (niveau 2) : Suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau, entretien du conduit.

Démantèlement partiel de la traverse de cours d'eau conventionnelle - Ponceau simple (lot de travail de niveau 1)

Le démantèlement partiel d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple s'effectue dans un cadre similaire au mode de gestion par fermeture d'un ponceau simple. Ce lot de travail se limite au retrait de l'ouvrage qui permet de franchir le cours d'eau. Cependant, il répond aux mêmes objectifs et s'effectue selon les mêmes principes et considérations que pour le mode de gestion par fermeture d'un ponceau simple (voir SDO, Chapitre 3, Ponceau simple). Les étapes associées à la stabilisation, l'aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement et la manutention des matières résiduelles sont plutôt

regroupés dans l'Aménagement de la traverse de cours d'eau alternative (lot de travail de niveau 1). Cette modification vise à simplifier l'étude de ce mode de gestion et à clairement distinguer les phases de démantèlement et de remplacement. Ce faisant, le démantèlement partiel de la traverse de cours d'eau est composé d'un lot de travail de niveau 2, soit le Retrait du ponceau simple (lot de travail de niveau 2). Les observations des travaux d'aménagement de traverses à gué aménagées par enrochement suggèrent qu'il serait profitable d'effectuer le démantèlement de la traverse de cours d'eau conventionnelle en même temps que l'aménagement de la traverse à gué aménagée par enrochement. En effet, il semble pertinent de démanteler et d'aménager un côté du cours d'eau à la fois de manière à terminer par l'approche du côté camp (entrée). Cette pratique pourrait limiter les déplacements et les dommages aux sols dans les approches et le lit du cours d'eau et éviter d'avoir à mobiliser et démobiliser une équipe à deux reprises.

- Lot de travail (niveau 2) : Retrait du ponceau simple.

Aménagement de la traverse de cours d'eau alternative - Traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 1)

L'aménagement de la traverse à gué aménagée par enrochement s'effectue dans la mesure où les principes de conception d'une TAGE (voir Choix de l'ouvrage, Chapitre 4) et les principes qui encadrent la faible fréquentation associée à la mise hors service sont respectés (voir Introduction, Chapitre 4). L'aménagement de la TAGE représente un ensemble d'interventions qui visent à construire un ouvrage qui permet de répondre aux objectifs ci-dessous.

- Aménager un ouvrage qui permet de franchir un cours d'eau l'aide d'une surface de roulement stable et résistante aux passages à gué de véhicules légers et aux conditions du site de traversée de manière à limiter l'érosion et l'apport de sédiments fins dans le cours d'eau (Clarkin et al., 2006; Keller et Sherar, 2003; Pamela et al., 2016; NRCS, 2006; USDA, 2011; Weaver et al., 2015).
- Maintenir la dynamique naturelle du cours d'eau, notamment la libre circulation de l'eau et des débris flottants et, si nécessaire, le libre passage du poisson (Blinn et al., 1998; Keller et Sherar, 2003; MF, 2002; USDA, 2011; USDA, 2013).
- Stabiliser le lit, les berges et les talus des remblais de l'ouvrage (MFFP, 2020; USDA, 2011).
- Évacuer les eaux de ruissellement en provenance du chemin et de ses structures de drainage vers une zone stable (NRCS, 2006; MF, 2002; MFFP, 2020; USDA, 2011).

Pour cette étude, l'enrochement de la surface de roulement de la TAGE se fait dans la mesure où ces critères de conception sont respectés :

- La dimension minimum du matériel d'enrochement est représentative de la taille et la forme des pierres et roches qui composent le lit naturel du cours d'eau (Clarkin et al., 2006; MF, 2002).
- Le matériel d'enrochement sélectionné est angulaire, grossier ou concassé (Belles-Isles et al., 2019; Clarkin et al., 2006; Keller et Sherar, 2003; Lohnes et al., 2001; MF, 2002).
- L'enrochement de la surface de roulement s'effectue de manière à couvrir le lit, les berges et les sections des approches qui peuvent être exposées à l'érosion et qui peuvent mobiliser et canaliser

des sédiments fins vers le cours d'eau (Blinn et al., 1998; Gagnon et Lemieux, 2006; MAPAQ, 2005; MF, 2002; Pamela et al., 2016; Toupin, 2005; Weaver et al., 2015).

- La pente de la surface de roulement dans les approches est inférieure ou égale à 20 % (Belles-Isles et al., 2019; Blinn et al., 1998; NRCS, 2006; USDA, 2013).

L'aménagement de la traverse à gué aménagée par enrochement peut débuter après avoir commencé le retrait du ponceau simple (lot de travail de niveau 2). Son aménagement est composé de quatre principaux lots de travail de niveau 2, soit l'installation de la TAGE, l'aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement, la stabilisation finale et la manutention des matières résiduelles.

- Lots de travail (niveau 2) : Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement, aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement, stabilisation finale et manutention des matières résiduelles

Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 2)

L'installation de la traverse à gué aménagée par enrochement rassemble les lots de travail de niveau 3 qui visent spécifiquement à ériger l'ouvrage qui permet de franchir le cours d'eau. Ces lots de travail sont intimement liés et ont été regroupés pour faciliter leur étude. La documentation des sites d'étude suggère que ce lot de travail succède à l'aménagement du fossé de déviation du côté chantier (forêt) et est suivi par l'aménagement de la structure de détournement des eaux de ruissellement du côté camp (entrée).

- Lots de travail (niveau 3) : Préparation, manutention des matériaux, aménagement des approches et aménagement du lit.

Préparation (lot de travail de niveau 3)

La préparation aux travaux d'aménagement de la traverse à gué aménagée par enrochement consiste, lorsque nécessaire, à préparer la membrane géotextile utilisée pour renforcer l'enrochement des approches. Sa préparation consiste simplement à découper la membrane de manière à couvrir la base de l'enrochement dans les approches. Ce lot de travail peut être effectué par un ou plusieurs ouvriers avant la manutention des matériaux ou pendant l'aménagement des approches.

- Tâche élémentaire : Préparation de la membrane géotextile

Manutention des matériaux (lot de travail de niveau 3)

La manutention des matériaux consiste à charger, transporter et décharger le matériel d'enrochement nécessaire à l'aménagement de la surface de roulement enrochée de la TAGE. Le chargement du matériel d'enrochement s'effectue dans une carrière à l'aide des installations et des machines sur place. Les conditions associées au transport sont les mêmes que pour les lots de travail associés à la manutention des matériaux ou des matières résiduelles des autres modes de gestion. La zone de déchargement du matériel

d'encrochement devrait être à proximité du site de traversée et à un endroit qui ne peut pas nuire au travail de l'équipe qui réalise les travaux. Ce lot de travail débute par le chargement du camion-benne utilisé et se termine lors de son retour à son point de départ. Il doit se faire dans la mesure où le matériel d'encrochement est délivré avant que l'Aménagement des approches (lot de travail de niveau 3) et l'Aménagement du lit (lot de travail de niveau 3), puisque sa complétion est nécessaire avant d'entamer les interventions associées à la construction de la surface de roulement.

- Tâches élémentaires : Chargement, transport et déchargement du matériel d'encrochement.

Aménagement des approches (lot de travail de niveau 3)

L'aménagement des approches regroupe les interventions associées à l'élaboration de la surface de roulement dans les approches de la traverse à gué aménagée par encrochement. Ce lot de travail est constitué de deux principales tâches élémentaires, soit l'excavation et l'encrochement de la surface de roulement. L'excavation de l'approche vise à préparer une surface de roulement dont la pente, la forme et la courbe conviennent au véhicule utilisé pour effectuer les passages à gué (USDA, 2011). À cet effet, l'excavation s'effectue de façon à produire une surface de roulement qui est perpendiculaire au cours d'eau (Belles-Isles et al., 2019; Clarkin et al., 2006; Lurtz, 2016; MAPAQ, 2005; MF, 2002; MNR, 1996; NRCS, 2006; USDA, 2011; USDA, 2013), dont la largeur est adaptée à l'usage anticipé (MF, 2002; USDA, 2011; USDA, 2013) et la pente est graduelle et inférieure ou égale à 20 % (Belles-Isles et al., 2019; Blinn et al., 1998; NRCS, 2006; USDA, 2013). Dans une autre mesure, l'excavation s'effectue de manière à s'assurer que la forme et le profil de la surface de roulement s'harmonisent avec les conditions naturelles ou adjacentes de l'approche (USDA, 2011). La pente des talus qui pourraient être formés par le déblayage ou le remblayage de l'approche doit être adoucie et laissée dans un angle de repos stable (USDA, 2011; USDA, 2013) pour ensuite être stabilisée lors de la Stabilisation finale (lot de travail de niveau 2).

L'encrochement vise spécifiquement à renforcer les sections de la surface de roulement exposées à l'érosion et à risque de mobiliser des sédiments fins qui pourraient être transportées par les eaux de ruissellement vers le cours d'eau. Ces sections débutent à partir de la limite supérieure de la berge du cours d'eau et se terminent au niveau où la forme et ou la pente de l'approche de l'ouvrage offrent un point de rupture où les eaux de ruissellement ne sont plus canalisées vers le cours d'eau via la surface de roulement de la TAGE. Dans la mesure où l'épaisseur de l'encrochement est supérieure à 15,2 cm (Blinn et al., 1998; USDA, 2013), le matériel d'encrochement sélectionné est disposé et compacté sur les sections de la surface de roulement à encrocher en deux couches d'épaisseur (Clarkin et al., 2006) ou sur une épaisseur équivalente à 1,5 fois le plus grand diamètre du matériel d'encrochement sélectionné (Keller et Sherar, 2013). D'autre part, l'encrochement pourrait être complété par une membrane géotextile lorsque l'approche de la traverse de cours d'eau est caractérisée par un sol mou et instable (Blinn et al., 1998;

Gagnon et Lemieux, 2006; Toupin, 2005; USDA, 2011; USDA, 2013). La disposition d'une membrane géotextile en dessous du matériel d'enrochement (Figure 4.3.2) permet d'offrir une meilleure capacité de support et prévenir la contamination ou l'enfoncement du matériel d'enrochement (Blinn et *al.*, 1998). La disposition de la membrane géotextile s'effectue selon les recommandations du fabricant ou fournisseur.

L'aménagement des approches peut commencer aussitôt que la Manutention des matériaux (lot de travail de niveau 3) et l'aménagement de la structure de détournement des eaux de ruissellement du côté chantier (forêt) sont complétés. Ce lot de travail débute par l'excavation et l'enrochement de l'approche du côté chantier (forêt). Il est généralement interrompu par l'Aménagement du lit (lot de travail de niveau 3) et devrait se terminer lorsque l'excavation et l'enrochement de l'approche du côté camp (entrée) sont complétés.

- Tâches élémentaires : Excavation et enrochement de la surface de roulement.



Figure 4.3.2 : Aménagement des approches : Site T18-2 (16 juillet 2019, Mauricie).

Aménagement du lit (lot de travail de niveau 3)

L'aménagement du lit regroupe les interventions qui visent à mettre en place une surface de roulement renforcée au niveau du lit et des berges du cours d'eau qui permet de résister au passage à gué (Kocher et *al.*, 2007; Roni et Beechie, 2013) et assure le maintien des processus naturels du cours d'eau (Clarkin et *al.*, 2006) et, si nécessaire, le libre passage du poisson (MNR, 1996). Pour y arriver, la surface de roulement est excavée et enrochée de manière à reproduire la morphologie (forme, profil, largeur et niveau) du lit et

des berges naturels ou adjacents pour assurer le maintien des processus naturels du cours d'eau (Clarkin et al., 2006; USDA, 2011; USDA, 2013). À cet effet, l'excavation et l'enrochement de la surface de roulement se font dans la mesure où :

- L'entièreté de la surface de roulement comprise entre le lit et la limite supérieure des berges du cours d'eau est renforcée à l'aide d'un enrochement qui permet le passage à gué de véhicules légers en assurant la stabilité du lit et en limitant l'apport de sédiments fins (Belles-Isles et al., 2019; Blinn et al., 1998; Clarkin et al., 2006; Gagnon et Lemieux, 2006; Lurtz, 2016; MAPAQ, 2005; MF, 2002; MNR, 1996; NRCS, 2006; Pamela et al., 2016; Roni et Beechie, 2013; Toupin, 2005; USDA, 2011; USDA, 2013; Weaver et Hagans, 1994; Weaver et al., 2015).
- La surface de roulement enrochée est droite, perpendiculaire avec le cours d'eau et alignée avec les approches (Belles-Isles et al., 2019; Clarkin et al., 2006; Lurtz, 2016; MAPAQ, 2005; MF, 2002; MNR, 1996; NRCS, 2006; USDA, 2011; USDA, 2013). Ce qui permet de limiter les surfaces perturbées (Clarkin et al., 2006; MNR, 1996).
- La surface de roulement enrochée est abaissée au même niveau ou à un niveau légèrement inférieur au lit naturel (Blinn et al., 1998; Clarkin et al., 2006; Lohnes et al., 2001; Lurtz, 2016; MAPAQ, 2005; MNR, 1996; NRCS, 2006; USDA, 2011). Ce qui prévient les problèmes d'érosion ou d'affouillement en amont et en aval de l'ouvrage (Clarkin et al., 2006; MNR, 1996), minimise les modifications du chenal (Clarkin et al., 2006), favorise la libre circulation de l'eau et des débris (Lurtz, 2016; USDA, 2013) et permet au cours d'eau de déborder de son lit en période de crue (Keller et Sherar, 2003).
- Le matériel sélectionné pour l'enrochement est disposé en deux couches d'épaisseur (Clarkin et al., 2006) ou sur une épaisseur équivalente à 1,5 fois le plus grand diamètre (Keller et Sherar, 2013). Ce qui permet d'assurer la stabilité et l'intégrité du lit lors des passages à gué (Clarkin et al., 2006; Keller et Sherar, 2013).
- La surface de roulement enrochée reproduit la forme et le profil des berges et du lit dans la mesure où les pentes sont inférieures ou égales à 10 %. Ce qui permet d'éviter les accrochages lors de la descente et la remontée du véhicule pendant le passage à gué (Clarkin et al., 2006).
- La surface de roulement enrochée comporte un thalweg aménagé qui reproduit la forme et le profil naturel du thalweg du cours d'eau. Ce qui concentre son écoulement en période d'étiage et ainsi permet de favoriser le libre passage du poisson (Belles-Isles et al., 2019; Clarkin et al., 2006; Gagnon et Lemieux, 2006; USDA, 2011).

D'autre part, les berges et le lit du cours d'eau sont stabilisés de manière à assurer la durabilité de la surface de roulement enrochée, limiter le potentiel d'érosion et de mobilisation de sédiments lors d'une crue (Figure 4.3.3). Le matériel non érodable qui est mis de côté lors du Retrait du ponceau simple (lot de travail de niveau 2) peut être utilisé à cet effet. La stabilisation des berges et du lit du cours d'eau se fait dans la mesure où :

- Les talus des berges en amont et en aval de la surface de roulement sont renforcés à l'aide de pierres naturelles d'un diamètre supérieur ou égal à 15,2 cm (Gagnon et Lemieux, 2006). Ceci permet de protéger les berges contre l'érosion, prévenir l'affouillement du lit en aval et limiter l'affouillement en amont et le déplacement du matériel d'enrochement (Clarkin et al., 2006; Keller et Sherar, 2003; Lohnes et al., 2001; USDA, 2011).
- Les surfaces exposées à l'érosion et perturbées par les interventions au niveau des berges et du lit du cours d'eau sont reconstituées ou remises dans leur état initial et stabiliser en s'assurant de reproduire leurs caractéristiques initiales. Ce qui permet de minimiser l'érosion des berges et du lit et limiter l'apport de sédiments dans le cours d'eau (Bagley, 1998; Barnard et al., 2013; Merrill et Casaday, 2001). La procédure est similaire à celle détaillée dans la Remise en état des berges et du lit (lot de travail de niveau 3) du mode de gestion par fermeture d'un ponceau simple.

L'aménagement du lit peut généralement commencer lorsque l'aménagement de l'approche du côté chantier (forêt) est complété. Ce lot de travail est constitué de trois principales tâches élémentaires, soit l'excavation et l'enrochement de la surface de roulement et la stabilisation du lit et des berges perturbés. Il débute par l'excavation de la surface de roulement et se termine généralement par la stabilisation du lit et des berges.

- Tâches élémentaires : Excavation de la surface de roulement, enrochement de la surface de roulement, stabilisation du lit et des berges (renforcement des talus des berges, reconstitution et stabilisation du lit et des berges perturbés par les interventions).



Figure 4.3.3 : Stabilisation des berges et du lit du cours d'eau – Site T18-2 (16 juillet 2019, Mauricie).

Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Fossés de déviation (lot de travail de niveau 2)

L'aménagement des fossés de déviation s'insère dans un contexte de mise hors service dans la mesure où ils ne représentent pas un obstacle à la circulation des véhicules utilisés pour les passages à gué. Les fossés de déviation sont aménagés de manière à remplacer les conduits de drainage de fossés de part et d'autre du cours d'eau. L'installation d'un fossé de déviation répond aux mêmes objectifs et repose sur les mêmes principes que pour la phase de démantèlement d'un ponceau simple (voir SDO, Chapitre 3, Ponceau simple). L'évaluation à trois valeurs de ce lot travail est ainsi la même que pour le mode de gestion par fermeture (voir Évaluation à trois valeurs, Chapitre 3, Ponceau simple).

En général, ce lot de travail représente la première et la dernière intervention associée à la phase d'aménagement de la structure de traverse de cours d'eau alternative. Le remplacement des conduits de drainage des fossés par des fossés de déviation est complété en deux temps, soit avant et après l'Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 2). L'installation du premier fossé de déviation du côté chantier (forêt) doit précéder l'installation de la TAGE pour limiter les dommages et les perturbations générés par la machinerie lors de ses déplacements entre les zones de travail. Le fossé de déviation du côté camp (entrée) est finalement installé lorsque l'aménagement de l'approche du même côté est terminé.

- Lot de travail (niveau 3) : Installation des fossés de déviation (Excavation des fossés, retrait des conduits de drainage des fossés et, si nécessaire, stabilisation des fossés.)

Stabilisation finale – Paillis et semences (lot de travail de niveau 2)

La stabilisation finale est un lot de travail qui vise à stabiliser les surfaces exposées à l'érosion par les travaux de démantèlement du ponceau simple et de l'installation de la TAGE dans l'emprise de ses approches de façon à favoriser l'établissement du couvert végétal naturel. Les principes, la procédure associée et son évaluation à trois valeurs sont les mêmes que pour la Stabilisation finale (lot de travail de niveau 2) du mode de gestion par fermeture d'un ponceau simple (voir SDO et Évaluation à trois valeurs, Chapitre 3, Ponceau simple). Ce lot de travail peut commencer lorsque l'Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 2) est complétée et que la stabilisation ne contraint pas l'équipe qui travaille sur le fossé de déviation du côté camp (entrée).

- Lot de travail (niveau 3) : Ensemencement et paillage (Préparation et disposition des semences et de la paille).

Manutention des matières résiduelles (lot de travail de niveau 2)

La manutention des matières résiduelles regroupe les différentes manœuvres et manipulations associées aux chargement, déchargement et transport des matériaux qui composaient le ponceau constitué d'un conduit circulaire simple et les conduits de drainage des fossés (conduits et membranes géotextiles). Ces matières résiduelles sont récupérées à partir d'une zone de chargement située à plus de 20 m de la limite supérieure des berges du cours d'eau et transportées vers le garage de l'utilisateur principal. Le chargement s'effectue après le remplacement du conduit de drainage des fossés du côté camp (entrée) et est complété lorsque les matériaux sont finalement déchargés au garage de l'utilisateur principal.

- Lots de travail (niveau 3) : Chargement, déchargement et transport des matières résiduelles.

Suivi et entretien – Traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 1)

Le suivi et l'entretien d'une traverse à gué aménagée par enrochement visent à éviter l'apport de sédiments et préserver la qualité de l'eau, assurer la stabilité du site de traversée et la durabilité de l'ouvrage en concordance avec les critères de conception de l'ouvrage pendant la période de faible utilisation suivant son aménagement. À cet effet, la revue de la littérature scientifique et grise a permis de déterminer que la nature et la fréquence des interventions liées au suivi et à l'entretien d'une traverse à gué aménagée sont le reflet des objectifs ciblés par son aménagement, notamment les besoins de fréquentation anticipés.

En premier lieu, les conditions auxquelles la TAGE est soumise et l'importance accordée au maintien de l'accès sont la combinaison de facteurs qui semblent guider la fréquence et la nature des interventions. L'entretien consiste en général à dégager les débris (ligneux, organiques et autres) ou les sédiments qui se sont déposés ou accumulés sur les berges de l'ouvrage après une crue ou tempête lorsqu'ils représentent un obstacle à la circulation du véhicule (Belles-Isles et *al.*, 1999 ; Clarkin et *al.*, 2006 ; Lurtz, 2016 ; NRCS, 2006 ; MF, 2002 ; USDA, 2011). Dans une faible mesure, il est possible qu'une utilisation intensive de la traverse de cours d'eau ou des événements climatiques exceptionnels délogent ou déplacent des pierres ou forme des ornières dans la surface de roulement enrochée (Belles-Isles et *al.*, 1999 ; NRCS, 2006 ; Weaver et Hagans, 1995 ; Weaver et *al.*, 2015). Face à ces éventualités et lorsqu'il est prévu d'utiliser l'ouvrage dans le futur, il serait nécessaire de replacer ou remplacer le matériel déplacé.

En deuxième lieu, le suivi et l'entretien de la TAGE peuvent s'adapter à la nature des activités qui nécessitent son utilisation. Sa conception simple et durable et son faible risque de défaillance en font une structure fiable qui peut être laissée en place et entretenue lorsqu'elle est utilisée ou lorsqu'il est nécessaire (Clarkin et *al.*, 2006 ; Lurtz, 2016).

En troisième lieu, le suivi et l'entretien de la TAGE doivent comprendre des mesures de suivi des structures de détournement des eaux de ruissellement (fossé de déviation) et des structures de drainage du chemin en approche. Les fossés de déviation sont des structures durables, résistantes et considérées comme permanentes, mais elles ne sont pas nécessairement à l'abri d'une défaillance. Il est possible que des circonstances inattendues, comme une utilisation abusive de la TAGE, une déviation d'un cours d'eau ou la défaillance des structures de drainage du chemin en approche mènent à la défaillance du fossé de déviation. La défaillance d'un ponceau ou d'un conduit de drainage de fossés d'un chemin peut potentiellement générer un effet de cascade de défaillance. Cet effet de cascade pourrait toucher les autres structures de drainage du chemin jusqu'à rejoindre le fossé de déviation et ultimement dévier les eaux de ruissellement vers la TAGE et engendrer des dommages importants (Figure 4.3.4). Ainsi, l'utilisateur principal a tout intérêt à faire le suivi des fossés de déviation et des structures de drainage du chemin en

approche de la TAGE. Ce suivi plus large vise simplement à s'assurer que ces structures sont stables et en mesure d'assurer le drainage des eaux de ruissellement du chemin vers une zone stable.



Figure 4.3.4 : Dommages engendrés par la défaillance des structures de drainage du chemin en approche de la TAGE – Site Perdu (22 juin 2020 (gauche), 16 juillet 2021 (droite), Capitale-Nationale).

En général, le suivi et l'entretien d'une traverse à gué aménagée par enrochement sont assez simples et peuvent être réalisés par l'utilisateur principal ou les utilisateurs secondaires lorsqu'elle est utilisée ou lorsqu'il est nécessaire. Les objectifs du suivi et de l'entretien de la TAGE sont d'assurer l'intégrité de la structure, la stabilité de son emprise et l'intégrité des structures de détournements des eaux de ruissellement pendant la période de faible utilisation où elle est fréquentée.

- Lots de travail (niveau 2) : Suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau alternative, suivi de l'intégrité des structures de détournement des eaux de ruissellement, entretien de la traverse de cours d'eau et entretien des structures de détournement des eaux de ruissellement.

Suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau alternative (lot de travail de niveau 2)

Le suivi de l'intégrité de la traverse à gué aménagée par enrochement vise à identifier les problèmes qui pourraient nuire à l'atteinte des objectifs ciblés par son aménagement lorsqu'elle est utilisée par l'utilisateur principal pendant la période de faible utilisation. La littérature scientifique et grise consultée n'a pas permis de cibler des indicateurs précis qui permettraient d'évaluer l'intégrité d'une TAGE. Toutefois, il serait juste de proposer que le suivi de l'intégrité puisse être guidé par les principes et indicateurs identifiés ci-dessous.

Principe 1 : Capacité de l'ouvrage à permettre de franchir le cours d'eau de façon sécuritaire en concordance avec ses objectifs de conceptions (type de véhicule, vitesse et période d'utilisation ciblés).

- Indicateur 1.1 : Obstacle à la circulation de l'utilisateur : Accumulation de débris ligneux et sédiments sur la surface de roulement enrochée.
- Indicateur 1.2 : Obstacle à la visibilité et la circulation de l'utilisateur : Reprise de la végétation ligneuse ou arbustive dans la surface de roulement enrochée.

Principe 2 : Intégrité de la surface de roulement enrochée dans les approches et le lit du cours d'eau.

- Indicateur 2.1 : Formation d'ornières dans les approches ou le lit du cours d'eau.
- Indicateur 2.2 : Déplacement du matériel d'enrochement et exposition du sol minéral dans les approches.
- Indicateur 2.3 : Déplacement du matériel d'enrochement du lit et affouillement du lit naturel en amont ou en aval de l'ouvrage.

Principe 3 : Stabilité des surfaces exposées à l'érosion à la suite des travaux d'installation de la traverse à gué aménagée par enrochement.

- Indicateur 3.1 : Stabilité des surfaces au niveau des approches de la TAGE.

Sur la base de ces principes et indicateurs, le suivi consisterait à identifier les obstacles ou futurs problèmes qui pourraient nuire à la capacité de l'ouvrage à être utilisé, à l'intégrité de l'enrochement et à la stabilité des surfaces comprises dans l'emprise de l'ouvrage. En ce qui concerne l'occurrence des inspections, il est recommandé d'inspecter l'intégrité de la TAGE après les périodes de crues (printemps) et après des événements climatiques exceptionnels (Clarkin et al., 2006; Lurtz, 2016; MAPAQ, 2005; NRCS, 2006; USDA, 2011). En raison de sa durabilité et du faible risque de défaillance, le suivi peut aussi s'adapter au niveau d'utilisation ciblée lors de la conception de l'ouvrage (MF, 2002). Simples et rapides à faire, les suivis pourraient être intégrés et effectués en même temps que les activités de l'utilisateur lorsqu'il est nécessaire d'utiliser l'ouvrage.

- Tâche élémentaire : Suivi de la traverse à gué aménagée par enrochement.

Suivi de l'intégrité des structures de détournement des eaux de ruissellement (lot de travail de niveau 2)

Le suivi de l'intégrité des structures de détournement des eaux de ruissellement regroupe les interventions qui visent à s'assurer que les structures de drainage du chemin et les structures de détournement des eaux de ruissellement de la traverse à gué aménagée par enrochement soient en bon état et en mesure de répondre à leurs fonctions pendant la période de faible utilisation où la TAGE est utilisé. La littérature scientifique ne comprend pas beaucoup d'information associée au suivi et l'entretien des fossés de déviation. Toutefois, il est juste de proposer que le suivi se base sur les principes ci-dessous.

Principe 4 : Évacuation des eaux de ruissellement captées par le chemin et canalisées par ses fossés latéraux en approche de la TAGE (structure de détournement des eaux de ruissellement).

- Indicateur 4.1 : Obstruction à l'écoulement des eaux de ruissellement captées et déviées par les fossés de déviation vers une zone stable.

Principe 5 : Maintien de l'écoulement naturel et évacuation des eaux de ruissellement captées par le chemin et canalisées par ses fossés latéraux vers des zones stables (structure de drainage du chemin).

- Indicateur 5.1 : Obstruction à l'écoulement et le drainage naturels des eaux de ruissellement captées par un conduit de drainage de fossé, un fossé de déviation ou une digue de déviation.
- Indicateur 5.2 : Obstruction à l'écoulement des eaux de ruissellement canalisées et déviées par un conduit de drainage de fossés, un fossé de déviation ou une digue de déviation vers une zone stable.

Dans l'idéal, ce suivi devrait porter sur les fossés de déviation de part et d'autre de la TAGE et sur l'ensemble des structures de drainage du chemin qui sont connectées ou en amont des fossés de déviation. La fréquence des inspections n'est pas non plus spécifiée dans la littérature, mais encore, il serait juste de proposer de faire des inspections visuelles en même temps que l'inspection de la TAGE associée.

- Tâche élémentaire : Suivi de la traverse à gué aménagée par enrochement.

Entretien de la traverse de cours d'eau (lot de travail de niveau 2)

L'entretien de la traverse de cours d'eau regroupe trois lots de travail de niveau 3, soit le retrait des obstacles à la circulation des utilisateurs, la stabilisation des surfaces exposées à l'érosion et le rétablissement de l'enrochement. Ces lots de travail constituent les bases de l'entretien d'une traverse à gué aménagée par enrochement, lorsqu'utilisée, pendant la période de faible utilisation.

- Lots de travail (niveau 2) : Retrait des obstacles à la circulation de l'utilisateur, stabilisation des surfaces exposées à l'érosion, rétablissement de l'enrochement.

Retrait des obstacles à la circulation de l'utilisateur (lot de travail de niveau 3)

Le retrait des obstacles à la circulation de l'utilisateur est un lot de travail qui vise à maintenir l'intégrité de l'accès pour les utilisateurs lors du passage à gué dans l'ouvrage. Ce lot de travail se divise en deux tâches élémentaires, soit le retrait des débris et le contrôle de la végétation.

Le retrait des débris consiste à dégager les débris (ligneux, organiques, sédiments ou autres) qui peuvent s'accumuler au niveau des berges de l'ouvrage lorsqu'ils représentent un obstacle à la circulation de l'utilisateur (Belles-Isles et *al.* 1999; Clarkin et *al.*, 2006; Lurtz, 2016; NRCS, 2006; USDA, 2011). Le retrait des débris en question peut être réalisé par une personne à l'aide d'une pelle (Lurtz, 2016). L'utilisateur principal peut retirer les débris et les sédiments au fur et à mesure de ses passages de façon à prévenir leur accumulation ou lorsqu'il est nécessaire de dégager l'obstacle formé par leur accumulation. Le retrait des débris est l'intervention qui revient le plus souvent dans la littérature scientifique et grise consultée et constitue pour la plupart des cas la seule mesure d'entretien recommandée.

Le contrôle de la végétation consiste à couper la végétation nuisible qui peut croître dans la surface de roulement enrochée et représenter un obstacle à la visibilité ou la circulation de l'utilisateur lors du passage à gué. Tel qu'illustré dans les figures ci-dessous (Figure 4.3.5 et Figure 4.3.6), le substrat sous l'enrochement et les sédiments qui s'accumulent sur les berges de ce site d'étude ont probablement favorisé la croissance d'une végétation de type herbacée dans la surface de roulement de la TAGE. Ce retour de la végétation naturelle doit probablement améliorer la stabilité de l'enrochement. Toutefois, avec

les années il est possible qu'une végétation arbustive ou arborée s'y installe et nuise à la visibilité et la circulation. Dans ces conditions, il pourrait s'avérer nécessaire de contrôler la végétation au niveau de l'emprise et de la surface de roulement enrochée de la TAGE. Le contrôle de la végétation peut se faire au fur et à mesure ou lorsqu'un obstacle à la circulation ou la visibilité est identifié. Cette tâche élémentaire consiste à couper la végétation nuisible dans ou à proximité de la surface de roulement enroché lorsque nécessaire. La simplicité et le caractère intuitif de ces tâches élémentaires impliquent qu'elles peuvent être effectuées par l'utilisateur principal ou par l'utilisateur secondaire avant de réaliser le passage à gué.

- Tâches élémentaires : Retrais des débris et le contrôle de la végétation.



Figure 4.3.5 : Construction de la TAGE (gauche) et deux années après (droite) – Site T18-2 (16 juillet 2019 et 13 août 2021, Mauricie).



Figure 4.3.6 : Construction de la TAGE (gauche) et deux années après (droite) – Site 10 (21 juin 2019 et 12 août 2021, Côte-Nord).

Stabilisation des surfaces exposées à l'érosion (lot de travail de niveau 3)

La stabilisation des surfaces exposées à l'érosion est un lot de travail qui vise à stabiliser les surfaces exposées à l'érosion dans les approches de la TAGE de manière à favoriser l'établissement d'un couvert végétal. Tel que discuté dans le mode de gestion par fermeture, la reprise de la végétation naturelle peut prendre quelques années après le déroulement des travaux et il est possible que l'ensemencement initial des surfaces perturbées par les travaux n'ait pas été un succès. Le traitement de ces surfaces exposées à l'érosion consiste à répéter la procédure décrite dans la Stabilisation finale – Paillis et semences (lot de travail de niveau 2). Ces interventions permettent de limiter leur érosion et le transport de sédiments vers le cours d'eau en attendant la reprise de la végétation naturelle.

- Tâches élémentaires : Ensemencement et paillage (Préparation et disposition des semences et de la paille).

Rétablissement de l'enrochement (lot de travail de niveau 3)

Le rétablissement de l'enrochement consiste à remettre en place ou remplacer le matériel d'enrochement déplacé ou manquant de la surface de roulement au niveau du lit et des approches de la traverse à gué aménagée par enrochement. Ce lot de travail et ses tâches élémentaires sont associés à l'usure normale de la TAGE et le respect des principes qui encadrent la faible fréquentation (voir Choix de l'ouvrage, Chapitre 4). Dans des conditions normales, quelques pierres dans les approches pourraient être délogées ou déplacées par les passages des utilisateurs ou la glace. Le rétablissement de l'enrochement consisterait à replacer à la main ou à l'aide d'une pelle les pierres déplacées (Clarkin et *al.*, 2006; NRCS, 2006). Des circonstances exceptionnelles, comme des tempêtes, des embâcles/débâcles (glace ou débris), des inondations ou des crues violentes, pourraient déplacer quelques pierres utilisées pour enrocher le lit du cours d'eau (Clarkin et *al.*, 2006; NRCS, 2006). Les vides formés risquent d'être comblés par les sédiments et les pierres véhiculés naturellement par le cours d'eau. Toutefois, il pourrait s'avérer pertinent de combler ces vides à l'aide du matériel d'enrochement en surplus.

Ainsi, le rétablissement de l'enrochement consiste à replacer le matériel déplacé et combler les vides dans la surface de roulement de la TAGE. Ces tâches élémentaires peuvent être effectuées par l'utilisateur principal ou les utilisateurs secondaires lorsque nécessaire.

- Tâches élémentaires : Replacer le matériel et combler les vides de la surface de roulement.

Entretien des structures de détournement des eaux de ruissellement (lot de travail de niveau 2)

La littérature scientifique et grise consultée ne développe pas vraiment sur l'entretien d'un fossé de déviation, puisqu'il s'agit d'une structure durable, résistante et fiable dans un contexte de faible

fréquentation. En s’inspirant des mesures d’entretien d’un fossé de drainage typique d’un chemin, il est possible de supposer que l’entretien d’un fossé de déviation pourrait consister à intervenir lors de la présence d’un obstacle à l’écoulement des eaux de ruissellement déviées par celui-ci. Cette intervention pourrait probablement être réalisée par une personne à l’aide d’une pelle et consisterait à retirer les débris (ligneux, sédiments ou autres) accumulés en amont ou dans le fossé de déviation. L’intervention pourrait aussi s’inspirer de la méthode du tiers inférieur, qui consiste à retirer les sédiments accumulés dans le tiers inférieur d’un fossé de drainage et à laisser intacte la partie supérieure restante (Latrémouille, 2012). Malgré tout, la validité ou l’importance de cette supposition ne permet pas de quantifier ou d’évaluer ce lot de travail. Ce faisant, cette étude va considérer que les fossés de déviation ne nécessitent pas d’entretien pendant la période de faible utilisation.

- Tâche élémentaire potentielle : Retrait des débris.

Évaluation à trois valeurs

L’évaluation à trois valeurs du mode de gestion par mise hors service d’un ponceau constitué d’un conduit circulaire simple s’effectue à l’échelle de trois classes de diamètre de ponceau. Ces classes correspondent à des intervalles de largeur de la limite supérieure des berges du cours d’eau. Ces intervalles constituent l’échelle sur laquelle se base l’évaluation à trois valeurs de l’aménagement de la traverse à gué aménagée par enrochement. Ces intervalles et les classes comparatives qui sont associées aux autres ouvrages sont présentés dans le tableau suivant (Tableau 4.1).

Tableau 4.1 : Équivalence et base comparative entre les ouvrages à l’étude.

Équivalence et base comparative entre les ouvrages à l’étude			
Largeur de la limite supérieure des berges du cours d’eau (m)	Ponceau constitué d’un conduit circulaire simple en TTOAG	Ouvrage amovible constitué d’appuis situés à l’extérieur de la limite supérieure des berges du cours d’eau	Traverse à gué aménagée par enrochement
]0 ; 2]	Classe : 450 à 1000 mm	PLM de 1 à 2 m ou LT de 2,2 à 3,2 m	Classe : 0 à 2 m
]2 ; 4]	Classe : 1200 à 2000 mm	PLM de 3 à 4 m ou LT de 4,2 à 5,2 m	Classe : 2 à 4 m
]4 ; 6]	Classe : 2200 à 3000 mm	PLM de 5 à 6 m ou LT de 6,2 à 7,2 m	Classe : 4 à 6 m
]6 ; 7,2]	Classe : 3200 à 3600 mm	PLM de 7 à 8 m ou LT de 8,2 à 9,2 m	Classe : 6 à 7,2 m

Les principales sources de données sur lesquelles se base l’évaluation à trois valeurs de ce mode de gestion sont la revue de la littérature scientifique et grise, la consultation d’experts, la documentation des travaux de fermeture de chemin et d’aménagement de traverse à gué aménagée par enrochement. Les travaux d’aménagement des TAGE documentés ont été réalisés dans le cadre du Projet RDC-CRSNG – Développement de méthodes de mise hors service de chemin à faible fréquentation entre 2018 et 2019. Les dix sites d’études ont été aménagés dans les régions de la Mauricie, Lanaudière, la Capitale-Nationale

et la Côte-Nord grâce au soutien et à l'aide des partenaires du projet. Ces traverses à gué aménagées par enrochement ont été aménagées dans le respect des principes qui encadrent la faible fréquentation (voir Introduction, Chapitre 4), des principes de conception (voir Choix de l'ouvrage, Chapitre 4), et des mesures et objectifs décrits dans la SDO du mode de gestion par abandon (voir Aménagement de la traverse de cours d'eau alternative – Traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 1), SDO, Chapitre 4).

Dans son ensemble, le mode de gestion par fermeture d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple est représenté à l'échelle de deux classes de diamètre de ponceau simple pour deux des quatre lots de travail de niveau 1. Les classes évaluées sont les classes de diamètre qui varient entre 450 et 1000 mm (TAGE : Classe 0 à 2 m) et 1200 et 2000 mm (TAGE : Classe 2 à 4 m). Les trois lots de travail de niveau 1 qui n'ont pas pu être évalués sont associés au suivi et à l'entretien des structures alternatives et conventionnelles. Exactement comme les autres modes de gestion, la revue de la littérature scientifique et grise et la consultation d'expert n'ont pas permis de regrouper le type de données recherchées (matériaux utilisés, durée des opérations, ressources nécessaires et dimensions de l'ouvrage) pour compléter l'évaluation à trois valeurs.

Démantèlement partiel de la traverse de cours d'eau conventionnelle – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1)

L'évaluation à trois valeurs de ce lot de travail est le produit d'une évaluation à trois valeurs d'un lot de travail de niveau 2, soit le Retrait du ponceau simple (lot de travail de niveau 2). Cette évaluation s'effectue selon les mêmes principes et sources de données que l'évaluation à trois valeurs du Retrait du ponceau simple (lot de travail de niveau 2) du mode de gestion par fermeture (voir Évaluation à trois valeurs, Chapitre 3, Ponceau simple). Ainsi, les résultats qui en découlent sont les mêmes et sont représentés sur deux classes de diamètre de ponceau simple, soit la classe de 450 à 1000 mm et la classe de 1200 à 2000 mm. Les résultats de cette évaluation à trois valeurs sont représentés dans le Tableau 4.2.

Tableau 4.2 : Évaluation à trois valeurs : Démantèlement partiel de la traverse de cours d'eau conventionnelle – Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm et 1200 à 2000 mm.

Évaluation à trois valeurs : Démantèlement partiel de la traverse de cours d'eau conventionnelle - Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm (lot de travail de niveau 1)											
Lots de travail		Valeurs optimistes		Valeurs probables			Valeurs pessimistes				
Retrait du ponceau simple (n=4)	Ressources :	Excavatrice (CAT326F) : 148,90 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Excavatrice (Koma. PC200LC) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Excavatrice (CAT336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Camion 6x6 (JD260E) : 178,35 \$/h			
	Retrait du matériel de remblai	1h15m	1h15m	2h45m	2h45m	6h45m	6h45m	7h			
	Retrait du conduit	15m	15m	15m	15m	15m	15m	15m	7h15		
	Remise en état des berges et du lit	15m	15m	15m	15m	15m	15m	15m			
	Dimensions du conduit	900 mm x 12 m		600 à 900 mm x 9 m			900 mm x 12 m				
	Durée d'exécution	1h45m		3h15m			7h15m				
	Coût (\$) :	360,67		612,63			2 886,59				
Total (\$)	360,67		612,63			2 886,59					
Évaluation à trois valeurs : Démantèlement partiel de la traverse de cours d'eau conventionnelle - Ponceau simple TTOAG 1200 à 2000 mm (lot de travail de niveau 1)											
Lots de travail		Valeurs optimistes		Valeurs probables			Valeurs pessimistes				
Retrait du ponceau simple (n=4)	Ressources :	Excavatrice (JD350G) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Excavatrice (CAT336E) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Transporteur : 207,82 \$/h	Camion 6x6 (JD260E) : 178,35 \$/h	Excavatrice (JD210G) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	Camion 6x6 (JD260E) : 178,35 \$/h
	Retrait du matériel de remblai	3h15m	3h15m	2h	2h	30m	2h15m	5h30m	5h30m	5h	5h15m
	Retrait du conduit	15m	15m	15m	15m	15m	15m	15m	15m	15m	
	Remise en état des berges et du lit	15m	15m	30m	30m			15m	15m		
	Dimension du conduit	1400 mm x 12 m		1400 mm x 12 m			1800 mm x 12 m				
	Durée d'exécution	3h45m		2h45m			5h45m				
	Coût (\$) :	824,25		1 161,60			2 621,46				
Total (\$)	824,25		1 161,60			2 621,46					

*Donnée arrondie (palier de 15 minutes)

Aménagement de la traverse de cours d'eau alternative – Traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 1)

L'évaluation à trois valeurs de l'aménagement de la traverse à gué aménagée par enrochement est le produit de plusieurs évaluations à trois valeurs des lots de travail de niveau 2 qui caractérisent normalement la phase de démantèlement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple et la phase d'aménagement d'une TAGE. Ces évaluations regroupent des données qui proviennent de la revue de la littérature scientifique et grise, la consultation d'experts et de la documentation de travaux d'aménagement de TAGE et de fermeture de chemin. La documentation des travaux de fermeture, la revue de la littérature et la consultation d'experts s'insèrent dans les évaluations à trois valeurs des lots de travail associés à la Stabilisation finale (lot de travail de niveau 2), l'Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement (lot de travail de niveau 2) et la Manutention des matières résiduelles (lot de travail de niveau). Ces évaluations et les résultats qui en ressortent sont les mêmes que pour le mode de gestion par fermeture d'un ponceau simple (voir Évaluation à trois valeurs, Chapitre 3, Ponceau simple). Alors que la documentation des travaux d'aménagement de TAGE touche spécifiquement à l'évaluation à trois valeurs de l'Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 2). Les dix sites d'études ont été aménagés et documentés entre 2018 et 2019 dans les régions de Lanaudière, de la Côte-Nord, de la Mauricie et de la Capitale-Nationale par des équipes différentes. En général, chaque équipe était composée d'un opérateur de pelle mécanique (excavatrice), d'un superviseur, d'un ou plusieurs camions-bennes à trois essieux (10 roues) et parfois d'un ou deux ouvriers.

En bref, l'évaluation à trois valeurs de ce lot de travail de niveau 1 a été possible à l'échelle de trois classes de largeur de la limite supérieure des berges du cours d'eau, soit la classe de 0 à 2 m, 2 à 4 m et 4 à 6 m.

Les prochaines sous-sections touchent au contenu des évaluations à trois valeurs des lots de travail de niveau 2 qui sont spécifiques à l'Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 1). Les résultats qui en découlent sont présentés dans le sommaire à la fin de cette section dans les Tableaux 4.4 à 4.6.

Matériaux

Les matériaux utilisés pour l'installation d'une traverse à gué aménagée par enrochement se limitent au matériel d'enrochement sélectionné pour former la surface de roulement enrochée et la membrane géotextile qui pourrait être utilisée pour renforcer l'enrochement de la surface de roulement dans les approches. Dans le cadre du projet, le matériel d'enrochement sélectionné pour l'installation de la TAGE était constitué de pierres angulaires dont le diamètre pouvait varier entre 100-200 mm. Ce calibre de pierres angulaires a été sélectionné pour sa grande disponibilité et sa dimension qui assure de répondre aux conditions spécifiques de l'ensemble des sites d'étude. À cet effet, la composition et la dimension du substrat du lit du site de traversée pour l'ensemble des sites d'étude étaient inférieures ou équivalentes au calibre de pierres angulaires sélectionné (100-200 mm). Quatre sites d'étude ont été aménagés à l'aide d'un deuxième calibre de pierres angulaires de manière à améliorer la carrossabilité de la surface de roulement enrochée dans les approches (50-100 mm). Le tarif du matériel d'enrochement a été généralisé par les experts consultés à 17,45 \$/tonne pour les deux calibres de pierres angulaires (Avis d'experts, Séminaire de Québec et Groupe Lebel A et B (2019), Hydro-Québec et Groupe TCI (2019)). La quantité de matériel d'enrochement nécessaire est spécifique aux dimensions de la surface de roulement enrochée dans le lit du cours d'eau et les approches de la traverse de cours d'eau. À titre indicatif, la dimension totale de la surface de roulement enrochée (approches et lit) pour les sites d'étude varie entre 9 m (longueur) x 3 m (largeur) pour le site 101+100 et 51 m (longueur) x 4,5 m (largeur) pour le site Perdu. Ce qui a représenté l'équivalent d'un chargement de camion-benne à trois essieux (12 tonnes) pour le site 101+100 et de quatre chargements de camion-benne à trois essieux (48 tonnes) pour le site Perdu (Tableau 4.3.1). Le matériel d'enrochement en surplus est laissé à proximité de la TAGE pour une autre utilisation ou l'entretien de la surface de roulement enrochée dans le futur.

En ce qui concerne l'utilisation d'une membrane géotextile, il s'est révélé pertinent d'ajouter une membrane géotextile au niveau de la surface de roulement enrochée de cinq sites d'études. Les membranes géotextiles utilisées avaient pour fonction d'améliorer la capacité portante de la surface de roulement pour un sol mou ou éviter l'enfoncement du matériel d'enrochement dans un sol sableux. Le tarif associé à la membrane géotextile a été généralisé à 200,00 \$ pour chaque TAGE par les experts consultés (Avis d'experts, Séminaire de Québec et Groupe Lebel A et B (2019), Hydro-Québec et Groupe TCI (2019)). Les coûts associés aux matériaux de chaque site d'étude sont résumés dans le Tableau 4.3.1.

Tableau 4.3.1 : Coût des matériaux – Traverse à gué aménagée par enrochement (sites d'étude).

Coût des matériaux : Traverse à gué aménagée par enrochement (sites d'étude)					
Site d'étude	Dimensions de la surface de roulement enrochée (approches et lit)	Matériel d'enrochement : Pierres angulaires (17,45 \$/tonne)		Membrane géotextile	Total (\$)
		Chargement (12 tonnes/unité)	Coût (\$)	Coût (\$)	
10	12,5 m x 4 m	2 (100-200 mm).	418,80	0,00	418,80
41	36 m x 4 m	4 (100-200 mm).	837,60	0,00	837,60
51	30 m x 4 m	3 (100-200 mm).	628,20	0,00	628,20
101+100	9,5 m x 3 m	1 (100-200 mm).	209,40	0,00	209,40
T425-2	14 m x 4,75 m	2,5 (100-200 mm).	523,50	0,00	523,50
Perdu	51 m x 4,5 m	2 (100-200 mm), 2 (50-100 mm).	837,60	200,00	1 037,60
T15-3	47,5 m x 4,5 m	2 (100-200 mm), 2 (50-100 mm).	837,60	200,00	1 037,60
T18-2	21,75 m x 3 m	2 (100-200 mm).	418,80	200,00	618,80
T007-03	36,5 m x 4 m	1,5 (100-200 mm), 2 (50-100 mm).	732,90	200,00	932,90
T007-4S	41 m x 4 m	1,5 (100-200 mm), 2 (50-100 mm).	732,90	200,00	932,90

Notes : Coûts incluent les taxes (15 %). Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts (Avis d'experts, Séminaire de Québec et Groupe Lebel A et B (2019), Hydro-Québec et Groupe TCI (2019)).

Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 2)

L'évaluation à trois valeurs de l'Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 2) se base sur les données obtenues par la documentation des travaux d'installation de neuf TAGE et la consultation d'experts. La documentation des sites d'études est la source principale de données qui a permis de compléter l'évaluation de ce lot de travail de niveau 2. Les données brutes et transformées à la base de celle-ci sont présentées dans le Tableau 4.3.2.1 et le Tableau 4.3.2.2 en Annexe 4. Toutefois, les données en lien avec la manutention des matériaux ont été adaptées au contexte de l'étude et selon les mêmes conditions que les autres lots de travail associés à la manutention de matériaux ou de matières résiduelles du mode de gestion par fermeture (voir SDO et Évaluation à trois valeurs, Chapitre 3, Ponceau simple). Le chargement du matériel d'enrochement dans la carrière et son déchargement dans la zone de déchargement ont été évalués en tandem par des experts à 15 minutes par chargement de camion-benne à trois essieux ((Avis d'experts, Séminaire de Québec et Groupe Lebel A et B (2019), Hydro-Québec et Groupe TCI (2019)).

L'évaluation à trois valeurs de ce lot de travail pour les classes de largeur de limite supérieure des berges du cours d'eau où est aménagée la TAGE est présentée dans les tableaux suivants (Tableau 4.3.3.1, Tableau 4.3.3.2 et Tableau 4.3.3.3).

Tableau 4.3.3.1 : Évaluation à trois valeurs : Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 2) – Classe 0 à 2 m.

Évaluation à trois valeurs : Installation de la traverse à gué par enrochement (lot de travail de niveau 2) - Largeur de la limite supérieure des berges du cours d'eau de 0 à 2 m (n=3)													
Lots de travail	Valeurs optimistes : T18-2. Enroc.: Entrée (13 x 3 m), Lit (1,25 x 3 m), Sortie (7,5 x 3 m).			Valeurs probables : T007-4S. Enroc.: Entrée (20 x 4 m), Lit (1 x 4 m), Sortie (20 x 4 m).			Valeurs pessimistes : T007-03. Enroc.: Entrée (18 x 4 m), Lit (1 x 4 m), Sortie (17,5 x 4 m).						
	Ressources :	Excavatrice (Koma. PC210LC) : 131,30 \$/h	Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Excavatrice (JD 210G LC) : 131,30 \$/h	Camions benne 10 roues : 120,25 \$/h par machine	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Excavatrice (JD 210G LC) : 131,30 \$/h	Camions benne 10 roues : 120,25 \$/h par machine	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier
Préparation				2 x 15m				2 x 15m					2 x 15m
Manutention du matériel d'enrochement		4h30m				2 x 4h30m					2 x 4h30m		
Aménagement des approches	1h15m		1h15m	15m	2h30m		2h30m	1h	4h30m		4h30m	4h30m	45m
Aménagement du lit	30m		30m		1h		1h		2h30m		2h30m		
Durée d'exécution		5h30m				7h15m					10h45m		
Coût (\$)		913,90				1 827,79					2 473,25		
Matériaux													
Membrane géotextile (\$)		200,00				200,00					200,00		
Matériel d'enrochement (\$)		418,80				732,90					732,90		
Coût (\$)		618,80				932,90					932,90		
Total (\$)		1 532,70				2 760,69					3 406,15		
*Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.													
*Donnée arrondie (palier de 15 minutes)													

Tableau 4.3.3.2 : Évaluation à trois valeurs : Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 2) – Classe 2 à 4 m.

Évaluation à trois valeurs : Installation de la traverse à gué par enrochement (lot de travail de niveau 2) - Largeur de la limite supérieure des berges du cours d'eau de 2 à 4 m (n=4)												
Lots de travail	Valeurs optimistes : T01-100. Enroc.: Entrée (3 x 3 m), Lit (2,5 x 3 m), Sortie (4 x 3 m).			Valeurs probables : T15-3. Enroc.: Entrée (23 x 4,5 m), Lit (2,5 x 4,5 m), Sortie (20 x 4,5 m).			Valeurs pessimistes : Site Perdu. Enroc.: Entrée (18 x 4 m), Lit (1 x 4 m), Sortie (17,5 x 4 m).					
	Ressources :	Excavatrice (JD 225D) : 131,30 \$/h	Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Excavatrice (JD 350G) : 162,60 \$/h	Camions benne 10 roues : 120,25 \$/h par machine	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Excavatrice (CAT 330C-L) : 162,60 \$/h	Camions benne 10 roues : 120,25 \$/h par machine	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier
Préparation								2 x 15m				2 x 15m
Manutention du matériel d'enrochement		2h15m				2 x 4h30m				2 x 4h30m		
Aménagement des approches	45m		45m	2h30m		2h30m	30m	3h		3h		45m
Aménagement du lit	15m		15m	1h		1h		1h		1h		
Durée d'exécution		2h15m				7h15m				7h45m		
Coût (\$)		459,06				1 908,75				2 032,95		
Matériaux												
Membrane géotextile (\$)		0,00				200,00				200,00		
Matériel d'enrochement (\$)		209,40				837,60				837,60		
Coût (\$)		209,40				1 037,60				1 037,60		
Total (\$)		668,46				2 946,35				3 070,55		
*Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.												
*Donnée arrondie (palier de 15 minutes)												

Tableau 4.3.3.3 : Évaluation à trois valeurs : Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 2) – Classe 4 à 6 m.

Évaluation à trois valeurs : Installation de la traverse à gué par enrochement (lot de travail de niveau 2) - Largeur de la limite supérieure des berges du cours d'eau de 4 à 6 m (n=2)										
Lots de travail	Valeurs optimistes : 51. Enroc.: Entrée (22 x 4 m), Lit (4 x 4 m), Sortie (4 x 4 m).			Valeurs probables : Site 41 et 51. Enroc.: Entrée (22 x 4 m), Lit (4,5 x 4 m), Sortie (7,5 x 4 m).			Valeurs pessimistes : Site 41. Enroc.: Entrée (22 x 4 m), Lit (5 x 4 m), Sortie (11 x 4 m).			
	Ressources :	Excavatrice (Volvo ECR235DL) : 131,30 \$/h	Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Excavatrice (Volvo ECR235DL) : 131,30 \$/h	Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Excavatrice (Volvo ECR235DL) : 131,30 \$/h	Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h
Préparation										
Manutention du matériel d'enrochement		6h45m				9h			9h	
Aménagement des approches	3h		3h	2h45m		2h45m	2h30m		2h30m	2h30m
Aménagement du lit	45m		45m	45m		45m	45m		45m	45m
Durée d'exécution		9h30m				11h30m				11h15m
Coût (\$)		1 518,56				1 742,00				1 694,87
Matériaux										
Membrane géotextile (\$)		0,00				0,00				0,00
Matériel d'enrochement (\$)		628,20				732,90				837,60
Coût (\$)		628,20				732,90				837,60
Total (\$)		2 146,76				2 474,90				2 532,47
*Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.										
*Donnée ajoutée ou ajustée.										
*Donnée arrondie (palier de 15 minutes)										
Notes : L'installation de la TAGE fictive associée aux valeurs probables nécessite 3,5 chargements de pierres angulaire (100-200 mm), soit l'équivalent de 4 voyages de camion benne de 10 roues.										

Sommaire

L'évaluation à trois valeurs de l'Aménagement de la traverse de cours alternative – Traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 1) pour les trois classes de largeur de la limite supérieure du cours d'eau qui ont pu être évaluées est illustrée dans les tableaux de la page suivante (Tableaux 4.4 à 4.6). Ces évaluations à trois valeurs sont des représentations des durées et des coûts potentiels associés aux opérations qui permettent la mise en place d'une traverse à gué aménagée par enrochement pour remplacer un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple.

Tableau 4.4 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau alternative – Traverse à gué aménagée par enrochement (Classe 0 à 2 m).

Évaluation à trois valeurs : Aménagement B2:O26de la traverse de cours d'eau alternative - Traverse à gué aménagée par enrochement dont la largeur de la limite supérieure des berges varie entre 0 et 2													
Lots de travail		Valeurs optimistes				Valeurs probables				Valeurs pessimistes			
Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (n=3)	Ressources	Excavatrice (Koma PC210LC) : 131,30 \$/h	Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Excavatrice (JD 210G LC) : 131,30 \$/h	Camions benne 10 roues : 120,25 \$/h par machine	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Excavatrice (JD 210G LC) : 131,30 \$/h	Camions benne 10 roues : 120,25 \$/h par machine	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier
	Préparation				2 x 15m								
	Manutention du matériel d'enrochement		4h30m				2 x 4h30m				2 x 4h30m		
	Aménagement des approches	1h15m		1h15m	15m	2h30m		2h30m	1h	4h30m		4h30m	45m
	Aménagement du lit	30m		30m		1h		1h		2h30m		2h30m	
	Durée d'exécution	5h30m				7h15m				10h45m			
	Coût (\$)	913,90				1 827,79				2 473,25			
Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Fossés de déviation (n=9)	Ressources	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrice (CAT 336E) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h		Excavatrice (JD 330G) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	
	Installation des fossés de déviation	30m	30m	30m		30m	30m	30m		1h45m	1h45m	1h45m	
	Durée d'exécution	30m				30m				1h45m			
	Coût (\$)	122,85				138,50				484,75			
Stabilisation finale (n=5)	Ressources	Ouvrier : 57,20 \$/h				Ouvrier : 57,20 \$/h				Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier			
	Ensemencement et paillage	45m				1h				3 x 45m			
	Durée d'exécution	45m				1h				45m			
	Coût (\$)	42,90				57,20				128,70			
Maintenance des matières résiduelles (n=1)	Ressources	Excavatrice (CAT 336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179 \$/h	Excavatrice (CAT 336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179 \$/h	Excavatrice (CAT 336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179 \$/h
	Ent et déchargement des matières résiduelles	30m	30m	2 x 30m	30m	30m	30m	2 x 30m	30m	30m	30m	2 x 30m	30m
	Transport des matières résiduelles				2h				2h				2h
	Durée d'exécution	1h30m				1h30m				1h30m			
	Coût (\$)	614,97				614,97				614,97			
Sommaire des opérations	Coût (\$)	1 694,62				2 638,46				3 701,67			
	Durée d'exécution	8h15m				10h15m				14h45m			
Matériaux													
	Membrane géotextile (\$)	200,00				200,00				200,00			
	Matériel d'enrochement (\$)	418,30				732,90				732,90			
	Semences et pailles (\$)	75,00				75,00				75,00			
	Coût (\$)	693,30				1 037,90				1 037,90			
	Total (\$)	2 388,42				3 676,36				4 739,57			

* Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.

† Donnée arrondie (palier de 15 minutes).

Tableau 4.5 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau alternative – Traverse à gué aménagée par enrochement (Classe 2 à 4 m).

Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau alternative - Traverse à gué aménagée par enrochement dont la largeur de la limite supérieure des berges varie entre 2 et 4 m.														
Lots de travail		Valeurs optimistes				Valeurs probables				Valeurs pessimistes				
Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (n=4)	Ressources	Excavatrice (JD 225D) : 131,30 \$/h	Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Excavatrice (JD 350G) : 162,60 \$/h	Camions benne 10 roues : 120,25 \$/h par machine	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Excavatrice (CAT 330C-L) : 162,60 \$/h	Camions benne 10 roues : 120,25 \$/h par machine	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier		
	Préparation							2 x 15m					2 x 15m	
	Manutention du matériel d'enrochement		2h15m			2 x 4h30m							2 x 4h30m	
	Aménagement des approches	45m		45m	2h30m		2h30m	30m	3h		3h		3h	45m
	Aménagement du lit	15m		15m	1h				1h				1h	
	Durée d'exécution	2h15m				7h15m				7h45m				
	Coût (\$)	459,06				1 908,75				2 032,95				
Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Fossés de déviation (n=9)	Ressources	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (CAT 336E) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (JD 350G) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h				
	Installation des fossés de déviation	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	1h45m	1h45m	1h45m			
	Durée d'exécution	30m			30m			30m			1h45m			
	Coût (\$)	122,85			138,50			484,75						
Stabilisation finale (n=5)	Ressources	Ouvrier : 57,20 \$/h				Ouvrier : 57,20 \$/h				Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier				
	Ensemencement et paillage	45m				1h				3 x 45m				
	Durée d'exécution	45m				1h				45m				
	Coût (\$)	42,90				57,20				128,70				
Manutention des matières résiduelles (n=1)	Ressources	Excavatrice (CAT 336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179 \$/h	Excavatrice (CAT 336E) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179 \$/h	Excavatrice (CAT 336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179 \$/h	
	Ent et déchargement des matières résiduelles	30m	30m	2 x 30m	30m	30m	30m	2 x 30m	30m	30m	30m	2 x 30m	30m	
	Transport des matières résiduelles				2h				2h				2h	
	Durée d'exécution	1h30m				1h30m				1h30m				
	Coût (\$)	614,97				614,97				614,97				
Sommaire des opérations	Coût (\$)	5h				10h15m				11h45m				
	Durée d'exécution	1 239,78				2 719,42				3 261,37				
Matériaux														
Membrane géotextile (\$)	0,00				200,00				200,00					
Matériel d'enrochement (\$)	299,40				837,60				837,60					
Semences et pailes (\$)	75,00				75,00				75,00					
	Coût (\$)	284,40				1112,60				1112,60				
	Total (\$)	1 524,18				3 832,02				4 373,97				

* Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.
 * Donnée arrondie (palier de 15 minutes).

Tableau 4.4 : Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau alternative – Traverse à gué aménagée par enrochement (Classe 4 à 6 m).

Évaluation à trois valeurs : Aménagement de la traverse de cours d'eau alternative - Traverse à gué aménagée par enrochement dont la largeur de la limite supérieure des berges varie entre 4 et 6 m.														
Lots de travail		Valeurs optimistes				Valeurs probables				Valeurs pessimistes				
Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (n=2)	Ressources	Excavatrice (Volvo ECR235DL) : 131,30 \$/h	Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Excavatrice (Volvo ECR235DL) : 131,30 \$/h	Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Excavatrice (Volvo ECR235DL) : 131,30 \$/h	Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h				
	Préparation													
	Manutention du matériel d'enrochement		6h45m			9h				9h				
	Aménagement des approches	3h		3h	2h45m		2h45m	2h30m		2h30m		2h30m		2h30m
	Aménagement du lit	45m		45m	45m		45m	45m		45m		45m		45m
	Durée d'exécution	9h30m				11h30m				11h15m				
	Coût (\$)	1 518,56				1 742,00				1 694,87				
Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Fossés de déviation (n=9)	Ressources	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (CAT 336E) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (JD 350G) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h				
	Installation des fossés de déviation	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	1h45m	1h45m	1h45m			
	Durée d'exécution	30m			30m			30m			1h45m			
	Coût (\$)	122,85			138,50			484,75						
Stabilisation finale (n=5)	Ressources	Ouvrier : 57,20 \$/h				Ouvrier : 57,20 \$/h				Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier				
	Ensemencement et paillage	45m				1h				3 x 45m				
	Durée d'exécution	45m				1h				45m				
	Coût (\$)	42,90				57,20				128,70				
Manutention des matières résiduelles (n=1)	Ressources	Excavatrice (CAT 336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179 \$/h	Excavatrice (CAT 336E) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179 \$/h	Excavatrice (CAT 336) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Fardier : 179 \$/h	
	Ent et déchargement des matières résiduelles	30m	30m	2 x 30m	30m	30m	30m	2 x 30m	30m	30m	30m	2 x 30m	30m	
	Transport des matières résiduelles				2h				2h				2h	
	Durée d'exécution	1h30m				1h30m				1h30m				
	Coût (\$)	614,97				614,97				614,97				
Sommaire des opérations	Coût (\$)	2 299,28				2 552,67				2 923,29				
	Durée d'exécution	12h15m				14h30m				15h15m				
Matériaux														
Membrane géotextile (\$)	0,00				0,00				0,00					
Matériel d'enrochement (\$)	628,20				732,90				837,60					
Semences et pailes (\$)	75,00				75,00				75,00					
	Coût (\$)	703,20				807,90				912,60				
	Total (\$)	3 002,48				3 360,57				3 835,89				

* Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.
 * Donnée ajustée ou ajustée.
 * Donnée arrondie (palier de 15 minutes).

Résultats finaux

L'évaluation à trois valeurs du mode de gestion par mise hors service d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG est présentée dans le Tableau 4.5 et le Tableau 4.6. Elle a été possible à l'échelle de deux classes de diamètre de ponceau simple et de trois des cinq lots de travail de niveau 1 du mode de gestion. Dans les limites de cette étude, l'évaluation à trois valeurs dresse un portrait des coûts et durées potentiels des opérations qui peuvent être liées à l'installation et le remplacement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG par une traverse à gué aménagée par enrochement pour les classes de diamètre de 450 à 1000 mm et de 1200 à 2000 mm. Le suivi et l'entretien des ouvrages, au même titre que pour les autres modes de gestion, n'ont pas pu être évalués. La prochaine section aborde les différents facteurs qui pourraient influencer les coûts et la durée des opérations liés spécifiquement à l'aménagement de la traverse à gué aménagée par enrochement. Ces facteurs pourraient exercer une influence sur les résultats des évaluations à trois valeurs des divers lots de travail abordés.

Tableau 4.5 : Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par mise hors service – Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm (TAGE : Classe 0 à 2 m).

Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par fermeture - Ponceau simple TTOAG 450 à 1000 mm (TAGE : Classe 0 à 2 m)						
Lots de travail - Niveau 1	Lots de travail - Niveau 2		Valeurs optimistes	Valeurs probables	Valeurs pessimistes	
Aménagement de la traverse de cours d'eau conventionnelle - Ponceau simple	Manutention des matériaux	Durée d'exécution	1h30m	1h30m	1h30m	
		Coût (\$)	614,97	614,97	614,97	
	Installation du ponceau simple	Durée d'exécution	1h	4h	13h10m	
		Coût (\$)	245,70	982,80	7 339,83	
	Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Conduits de drainage des fossés	Durée d'exécution	1h30m	2h	6h	
		Coût (\$)	415,50	491,40	1 474,20	
	Matériaux : Conduits et membrane géotextile					
	Dimensions du conduit du ponceau simple (TTOAG)			450 mm x 9 m	1000 mm x 9 m	1000 mm x 12 m
	Dimensions des conduits de drainage des fossés (TTOAG)			300 mm x 9 m	300 mm x 9 m	450 mm x 12 m
	Coût (\$)			1 378,18	2 557,97	3 909,63
Durée d'exécution			4h	7h30m	20h40m	
Sous-total (\$)			2 654,35	4 647,14	13 338,63	
Suivi et entretien - Ponceau simple	Suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	
	Entretien du conduit	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	
Durée d'exécution			N.A.	N.A.	N.A.	
Sous-total (\$)			N.A.	N.A.	N.A.	
Démantèlement partiel de la traverse de cours d'eau conventionnelle - Ponceau simple	Retrait du ponceau simple	Dimensions du conduit du ponceau simple (TTOAG)	900 mm x 12 m	600 à 900 mm x 12 m	900 mm x 12 m	
	Durée d'exécution			1h45m	3h15m	7h15m
	Sous-total (\$)			360,67	612,63	2 886,59
Aménagement de la traverse de cours d'eau alternative - Traverse à gué aménagée par enrochement	Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement	Dimensions de l'enrochement	Entrée (13 x 3 m), Lit (1,25 x 3 m), Sortie (7,5 x 3 m).	Entrée (20 x 4 m), Lit (1 x 4 m), Sortie (20 x 4 m).	Entrée (18 x 4 m), Lit (1 x 4 m), Sortie (17,5 x 4 m)	
		Durée d'exécution	5h30m	7h15m	10h45m	
		Coût (\$)	913,90	1 827,79	2 473,25	
	Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Fossés de déviation	Durée d'exécution	30m	30m	1h45m	
		Coût (\$)	122,85	138,50	484,75	
	Saturation finale	Durée d'exécution	45m	1h	45m	
		Coût (\$)	42,90	57,20	128,70	
	Manutention des matières résiduelles	Durée d'exécution	1h30m	1h30m	1h30m	
		Coût (\$)	614,97	614,97	614,97	
	Matériaux : Matériel d'enrochement, membrane géotextile, pailles et semences					
Coût (\$)			693,80	1 037,90	1 037,90	
Durée d'exécution			8h15m	10h15m	14h45m	
Sous-total (\$)			2 388,42	3 676,36	4 739,57	
Suivi et entretien - Traverse à gué aménagée par enrochement	Suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	
	Suivi de l'intégrité des structures de détournement des eaux de ruissellement	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	
	Entretien du conduit	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	
	Entretien des structures de détournement des eaux de ruissellement	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	
Durée d'exécution			N.A.	N.A.	N.A.	
Sous-total (\$)			N.A.	N.A.	N.A.	
Total			5 403,44	8 936,13	20 964,79	

Tableau 4.6 : Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par mise hors service – Ponceau simple TTOAG 1200 à 2000 mm (TAGE : Classe 2 à 4 m).

Évaluation à trois valeurs : Mode de gestion par fermeture - Ponceau simple TTOAG 1200 à 2000 mm (TAGE : Classe 2 à 4 m)						
Lots de travail - Niveau 1	Lots de travail - Niveau 2		Valeurs optimistes	Valeurs probables	Valeurs pessimistes	
Aménagement de la traverse de cours d'eau conventionnelle - Ponceau simple	Manutention des matériaux	Durée d'exécution	1h30m	1h30m	1h30m	
		Coût (\$)	614,97	614,97	614,97	
	Installation du ponceau simple	Durée d'exécution	5h	8h	18h50m	
		Coût (\$)	1 228,50	1 865,60	10 303,97	
	Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Conduits de drainage des fossés	Durée d'exécution	2h	6h	6h	
		Coût (\$)	491,40	1 370,40	1 474,20	
	Matériaux : Conduits et membrane géotextile					
	Dimensions du conduit du ponceau simple (TTOAG)		1200 mm x 9 m	2000 mm x 9 m	2000 mm x 12 m	
	Dimensions des conduits de drainage des fossés (TTOAG)		300 mm x 9 m	300 mm x 9 m	450 mm x 12 m	
		Coût (\$)	3 072,06	5 806,42	8 457,40	
Durée d'exécution			8h	11h30m	26h20m	
Sous-total (\$)			5 331,03	8 778,39	20 746,17	
Suivi et entretien - Ponceau simple	Suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	
	Entretien du conduit	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	
	Durée d'exécution			N.A.	N.A.	N.A.
Sous-total (\$)			N.A.	N.A.	N.A.	
Démantèlement partiel de la traverse de cours d'eau conventionnelle - Ponceau simple	Retrait du ponceau simple	Dimensions du conduit du ponceau simple (TTOAG)	1400 mm x 12 m	1400 mm x 12 m	1800 mm x 12 m	
	Durée d'exécution			3h45m	2h45m	5h45m
	Coût (\$)			824,25	1 161,60	2 621,46
Aménagement de la traverse de cours d'eau alternative - Traverse à gué aménagée par enrochement	Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement	Dimensions de l'enrochement	Entrée (3 x 3 m), Lit (2,5 x 3 m), Sortie (4 x 3 m).	Entrée (23 x 4,5 m), Lit (2,5 x 4,5 m), Sortie (20 x 4,5 m).	Entrée (18 x 4 m), Lit (1 x 4 m), Sortie (17,5 x 4 m).	
		Durée d'exécution	2h15m	7h15m	7h45m	
		Coût (\$)	459,06	1 908,75	2 032,95	
	Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement - Fossés de déviation	Durée d'exécution	30m	30m	1h45m	
		Coût (\$)	122,85	138,50	484,75	
	Satabilisation finale	Durée d'exécution	45m	1h	45m	
		Coût (\$)	42,90	57,20	128,70	
	Manutention des matières résiduelles	Durée d'exécution	1h30m	1h30m	1h30m	
		Coût (\$)	614,97	614,97	614,97	
	Matériaux : Matériel d'enrochement, membrane géotextile, pailles et semences					
	Coût (\$)	284,40	1112,60	1112,60		
Durée d'exécution			5h	10h15m	11h45m	
Sous-total (\$)			1 524,18	3 832,02	4 373,97	
Suivi et entretien - Traverse à gué aménagée par enrochement	Suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	
	Entretien du conduit	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	
	Suivi de l'intégrité de la traverse de cours d'eau	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	
		Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.	
	Entretien du conduit	Durée d'exécution	N.A.	N.A.	N.A.	
	Coût (\$)	N.A.	N.A.	N.A.		
Durée d'exécution			N.A.	N.A.	N.A.	
Sous-total (\$)			N.A.	N.A.	N.A.	
Total			7 679,46	13 772,01	27 741,60	

Critères potentiels d'efficacité

Le remplacement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple par une traverse à gué aménagée par enrochement a pour but d'implanter un ouvrage durable qui permet de maintenir un accès limité, qui nécessite peu d'entretien et dont le risque et les impacts associés à sa dégradation et sa défaillance sont faibles. À cet effet, la TAGE est reconnue pour sa durabilité, son faible risque de défaillance et ses très faibles impacts sur la qualité de l'eau (Blinn et al., 1998; Clarkin et al., 2006; MF, 2002; NRCS, 2006; Weaver et Hagans, 1994; Weaver et al., 2015). En comparaison avec le ponceau simple, la TAGE permet de maintenir la dynamique naturelle du cours d'eau en n'imposant aucune restriction sur son écoulement (Blinn et al., 1998; Clarkin et al., 2006; Keller et Sherar, 2003; Roni et Beechie, 2013; USDA, 2013) et en permettant la libre circulation des débris qu'il véhicule (Clarkin et al., 2006; Roni et Beechie, 2013) et le libre passage du poisson (Keller et Sherar, 2003; Roni et Beechie, 2013; USDA, 2013). Elle permet aussi d'éviter les risques et les impacts majeurs associés à la défaillance d'un ponceau simple abandonné, puisqu'elle ne comporte pas de matériel de remblai érodable dans le lit du cours d'eau (Clarkin et al.,

2006 ; Keller et Sherar, 2003 ; Roni et Beechie, 2013 ; NRCS, 2006 ; Weaver et Hagans, 1994 ; Weaver et *al.*, 2015).

Conditions avantageuses et désavantageuses

La revue de la littérature scientifique et grise et les observations des travaux d'aménagement de traverses à gué aménagées par enrochement ont permis de cibler plusieurs facteurs qui pourraient influencer l'efficacité de l'exécution ou les coûts associés à leur aménagement. De prime abord, les caractéristiques physiques du site de traversée peuvent influencer la durée, l'ampleur et les coûts des matériaux et des opérations associés à l'aménagement des approches et du lit de la TAGE. Ces caractéristiques et leurs influences sont précisées dans les points de forme qui suivent.

- Hautes berges incisées : Nécessitent un plus grand travail d'excavation afin d'obtenir une descente graduelle vers le lit du cours d'eau (Keller et Sherar, 2003; Lurtz, 2016; Weaver et Hagans, 1994).
- Taille et forme du substrat naturel du lit du cours d'eau : Détermine la dimension minimum du matériel d'enrochement sélectionné, dont le tarif et la disponibilité peuvent varier entre les régions.
- Formes et pentes des approches et largeur de la limite supérieure des berges du cours d'eau : Détermine la longueur totale de la surface de roulement enrochée.
- Approches composées d'un sol mou ou instable :
 - Pourraient justifier l'utilisation d'une membrane géotextile pour renforcer la surface de roulement enrochée. La mise en place d'une membrane géotextile complexifie les opérations, nécessitent la mobilisation d'un ouvrier pour sa manipulation et ralentit la progression de l'équipe.
 - Un sol mou ou instable pourrait potentiellement ralentir la progression de l'équipe lors des travaux, notamment par la formation d'ornières.

Dans une autre mesure, plusieurs facteurs en lien avec les critères de conception et le contexte de réalisation de l'ouvrage peuvent influencer les coûts, l'ampleur et la durée des travaux. Ces facteurs potentiels ont été identifiés à l'aide des observations des travaux d'aménagement de TAGE et sont détaillés dans les points de formes qui suivent.

- Largeur de la surface de roulement de la traverse de cours d'eau : Détermine la largeur de la surface de roulement enrochée. Ce qui peut avoir un effet sur la quantité de matériel d'enrochement nécessairement et la durée des interventions associées à l'Aménagement des approches (lot de travail de niveau 3) et l'Aménagement du lit (lot de travail de niveau 3).
- Distance de déplacement du matériel d'enrochement : En étant plus grande, la distance entre la zone de déchargement du matériel d'enrochement et le site de traversée va nécessairement augmenter la durée des déplacements de la pelle mécanique pour l'enrochement de la surface de roulement. Certaines situations, comme la pente, la forme ou la largeur de la surface de roulement du chemin qui mène à la traverse de cours d'eau peuvent empêcher l'opérateur du camion-benne de décharger le matériel d'enrochement à proximité de celle-ci sans obstruer ou nuire à la circulation de la machinerie ou des automobiles dans le chemin. Ce qui fait en sorte que la progression de l'équipe est nécessairement ralentie lors de l'Aménagement des approches (lot de travail de niveau 3) et l'Aménagement du lit (lot de travail de niveau 3).

- Expériences et habiletés de l'équipe : Au même titre que les autres modes de gestion, l'expérience et les habiletés des équipes semblent aussi être des facteurs qui pourraient influencer la durée des interventions associées à l'aménagement de la TAGE.

Intégrité de la traverse de cours d'eau

Les traverses à gué aménagées par enrochement sont reconnues pour leur durabilité et leur potentiel à répondre à des besoins de faible fréquentation. Cependant, plusieurs facteurs externes pourraient avoir un impact sur leur intégrité et la nature de l'entretien ou même mener à leur défaillance et avoir un impact sur la durée de vie utile de la TAGE.

Tout d'abord, la cause des dommages qui semblent le plus revenir dans la littérature scientifique et grise consultée est liée à une forte fréquentation de la TAGE. En effet, des passages fréquents, répétés ou réguliers pourraient mener à la formation d'ornièrre, l'érosion ou le déplacement du matériel qui composent la surface de roulement (Belles-Isles et *al.*, 1999 ; NRCS, 2006 ; Weaver et Hagans, 1995 ; Weaver et *al.*, 2015). À ce sujet, il serait pertinent de porter une attention particulière au niveau de fréquentation de l'utilisateur principal et des utilisateurs secondaires qui pourraient utiliser l'ouvrage.

Ensuite, les traverses de cours d'eau situées en amont du cours d'eau qui circule dans la TAGE pourraient avoir un impact sur son intégrité et ultimement mener à sa défaillance. En effet, un pont ou un ponceau situé directement en amont d'une TAGE peut augmenter la vitesse d'écoulement du cours d'eau à sa sortie, ce qui pourrait participer à l'érosion et au déplacement du matériel d'enrochement de la surface de roulement de la TAGE au niveau du lit du cours d'eau (USDA, 2011 ; USDA, 2013). L'absence de mesures d'entretien de ces traverses de cours d'eau pourrait ainsi mener à leur défaillance. Dans une autre mesure, le vieillissement des structures de drainage du chemin en approche de la TAGE et l'absence de mesures d'entretien peut aussi occasionner des dommages importants ou mener à la défaillance d'une TAGE. En effet, des structures de drainage du chemin en mauvais état ou défectueuses peuvent potentiellement exercer une pression supplémentaire, fragiliser, endommager et ultimement mener à sa défaillance. Le site Perdu est un exemple documenté de l'impact potentiel de la défaillance des structures de drainage d'un chemin en approche d'une TAGE (voir SDO, Chapitre 4).

Limites de conception

La traverse à gué aménagée par enrochement est un ouvrage qui s'adapte aux conditions d'un site de traversée dans la mesure où les principes du cadre de faible fréquentation et les principes de conception d'une TAGE (voir Introduction et Choix de l'ouvrage, Chapitre 4). Toutefois, la revue de la littérature scientifique et grise et la consultation d'experts ont permis d'identifier plusieurs facteurs à souligner qui

peuvent limiter sa conception. Ces facteurs représentent les principales limites de conception qui indiqueraient qu'un site de traversée n'est pas propice à l'aménagement d'une traverse à gué aménagée par enrochement.

- Fréquentation :
 - Utilisation fréquente, régulière ou journalière (MAPAQ, 2005; USDA, 2011).
 - Utilisation prévue en période de migration ou de frai du poisson (Belles-Îles et *al.*, 1999; Blinn et *al.*, 1998; Clarkin et *al.*, 2006; MF, 2002; MNR, 1996; MPO, 2008; Weaver et Hagans, 1994).
- Localisation du site de traversée :
 - Proximité d'une frayère, d'un habitat ou d'un site d'intérêt pour le poisson (Belles-Îles et *al.*, 1999; MNR, 1996; Toupin, 2005; USDA, 2011).
 - Jonction d'un tributaire, d'une chute, d'un milieu humide, de confluences ou d'une zone de changements abrupts de pente (Lohnes et *al.*, 2001; Lurtz, 2016; MAPAQ, 2005; USDA, 2011; USDA, 2013).
 - Proximité d'une prise ou d'un réservoir d'eau potable (Belles-Îles et *al.*, 1999).
 - Dans une rivière récréative, panoramique, protégée ou navigable (Belles-Îles et *al.*, 1999).
- Caractéristiques du site de traversée :
 - Eau profonde (Belles-Îles et *al.*, 1999; Blinn et *al.*, 1998; Clarkin et *al.*, 2006; Lohnes et *al.*, 2001; MAPAQ, 2005; MNR, 1996; Toupin, 2005; Weaver et Hagans, 1994; Weaver et *al.*, 2015). Par exemple, eau d'une profondeur supérieure à 0,6 m (Belles-Îles et *al.*, 1999; Blinn et *al.*, 1998), 0,9 m (Belles-Îles et *al.*, 1999) ou 1 m (MNR, 1996) en période de crues.
 - Berges fortement incisées (Blinn et *al.*, 1998; Clarkin et *al.*, 2006; Keller et Sherar, 2003; MNR, 1996; NRCS, 2006; Weaver et *al.*, 2015). Par exemple, berges d'une hauteur supérieure à 1,2 m (Blinn et *al.*, 1998) ou 1,5 m (Belles-Isles et *al.*, 2019; NRCS, 2006).
 - Approches en fortes pentes (Belles-Isles et *al.*, 2019; Blinn et *al.*, 1998; Lurtz, 2016; MAPAQ, 2005; MF, 2002; MNR, 1996; Pamela et *al.*, 2016; USDA, 2011).
 - Cours d'eau en forte pente ou caractérisé par une grande vitesse d'écoulement (Clarkin et *al.*, 2006; Lohnes et *al.*, 2001; Weaver et *al.*, 2015).
 - Exposition de la roche mère au niveau du lit du cours d'eau. Son exposition pourrait représenter un obstacle à l'excavation et l'enrochement de la surface de roulement enrochée de la TAGE.

Sommaire

Le remplacement d'un ponceau simple constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG permet la réalisation des activités d'utilisation intensive par des véhicules lourds de l'utilisateur principal, tout en évitant les risques et les impacts associés à sa dégradation et sa défaillance en le remplaçant par une traverse à gué aménagée par enrochement qui permet le maintien d'un accès limité pour les utilisateurs secondaires. L'impression générale des experts et de la littérature scientifique et grise consultée est que les TAGE sont des ouvrages polyvalents et faciles à adapter aux conditions du site de traversée (Avis d'experts (Séminaire de Québec et Groupe Lebel A et B (2019), Hydro-Québec et Groupe TCI (2019); Clarkin et *al.*, 2006; Keller et Sherar, 2003; Lurtz, 2016; MF, 2002; NRCS, 2006). Ce type d'ouvrage se distingue par sa durabilité, son faible besoin d'entretien et son faible potentiel de défaillance et d'impact sur la qualité de l'eau. Comparativement à un ponceau simple, le risque de défaillance de ce type d'ouvrage

est considéré comme faible et les impacts associés sont aussi considérés comme étant très faibles pour la qualité de l'eau (Blinn *et al.*, 1998; Clarkin *et al.*, 2006; Keller et Sherar, 2003 ; MF, 2002; Roni et Beechie, 2013; NRCS, 2006; Weaver et Hagans, 1994; Weaver *et al.*, 2015). Ces distinctions majeures font en sorte que ce type d'ouvrage est fiable et à l'épreuve du temps et des intempéries. Nonobstant, une TAGE n'est pas conçue pour la circulation de véhicules lourds, la circulation fréquente de véhicules légers et le passage à gué en hiver, en périodes de crue, de gel, de frai ou de migration du poisson et lors d'évènements climatiques exceptionnels.

Les risques, les coûts potentiels évalués et l'efficacité de ce mode de gestion à répondre aux différentes fonctions d'une traverse de cours d'eau sont résumés dans la Figure 4.4. Ces résultats sont associés au remplacement d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG dont le diamètre peut varier entre 450 et 1000 mm et 1200 et 2000 mm, par une traverse à gué aménagée par enrochement.

Mode de gestion par mise hors service – Ponceau simple			
<p style="text-align: center;">Aménagement de la traverse de cours d'eau conventionnel – Ponceau simple Aménagement initial : Année 0</p> <p><u>Fonctions assurées (conception)</u> Érosion et apport de sédiments ou de contaminants limités. Évacuation des eaux de ruissellement. Libre passage de l'eau. Libre passage du poisson (si nécessaire). Stabilité du lit, des berges et des talus des remblais de la structure. Support de la route.</p> <p><u>Coûts potentiels (\$)</u> 450 à 1000 mm x 9 à 12 m : • Coût optimiste : 2 654,35 \$ • Coût probable : 4 647,14 \$ • Coût pessimiste : 13 338,63 \$ 1200 à 2200 mm x 9 à 12 m : • Coût optimiste : 5 331,03 \$ • Coût probable : 8 778,39 \$ • Coût pessimiste : 20 850,54 \$</p>	<p style="text-align: center;">Suivi et entretien – Ponceau simple Période d'utilisation intensive : 0-3 ans</p> <p><u>Fonctions assurées</u> Libre circulation de l'eau. Sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs. Stabilité du lit. Support de la route.</p> <p><u>Risques</u> Apport de sédiments et autres contaminants. Érosion des berges et des talus des remblais de la structure. Obstacle à la libre circulation des eaux de ruissellement détournées. Obstacle au libre passage du poisson.</p> <p><u>Coûts potentiels (\$)</u> N.A.</p>	<p style="text-align: center;">Démant. partiel de la traverse conventionnelle et Amé. de la traverse alternative Remplacement : Année 3</p> <p><u>Fonctions assurées (conception)</u> Érosion et apport de sédiments ou de contaminants limités. Évacuation des eaux de ruissellement. Libre circulation de l'eau et des débris. Libre passage du poisson. Sécurité des biens et des personnes et des utilisateurs. Stabilité du lit, des berges et des rives. Support d'un accès limité.</p> <p><u>Coûts potentiels (\$)</u> 450 à 1000 mm x 9 à 12 m : • Coût optimiste : 2 749,09 \$ • Coût probable : 4 288,99 \$ • Coût pessimiste : 7 626,16 \$ 1200 à 2200 mm x 9 à 12 m : • Coût optimiste : 2 348,43 \$ • Coût probable : 4 993,62 \$ • Coût pessimiste : 6 891,06 \$</p>	<p style="text-align: center;">Suivi et entretien – Traverse à gué aménagée par enrochement Période faible utilisation : Après année 3</p> <p><u>Fonctions assurées*</u> Érosion et apport de sédiments ou de contaminants limités. Évacuation des eaux de ruissellement. Libre circulation de l'eau et des débris. Libre passage du poisson. Sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs. Stabilité du lit, des berges et des rives. Support d'un accès limité.</p> <p><u>Risques</u> Faible apport de sédiments (temporaire)</p> <p><u>Risques **</u> Affouillement, déplacement et érosion du matériel d'enrochement du lit, des berges et des approches. Apport de sédiments et autres contaminants. Sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs.</p> <p><u>Coûts potentiels (\$)</u> N.A.</p>

*Fonction assurées Respect des principes qui encadrent la faible fréquentation.

**Risques: Liés au non-respect des principes qui encadrent la faible fréquentation.

Figure 4.4 : Efficacité, risques et coûts – Mode de gestion par mise hors services – Ponceau simple.

Chapitre 5 : Discussion

Le but de cette étude est d'orienter la prise de décisions en lien avec l'aménagement de traverses de cours d'eau pendant la phase de planification du développement de chemins à faible fréquentation en comparant la vie utile, les coûts directs et indirects et les fonctions assurées par les ouvrages et les interventions associées. Le premier objectif consistait à élaborer une structure de découpage des opérations (SDO) qui détaillerait les interventions associées aux modes de gestion à l'étude. Les SDO sont présentés et documentés dans les sections Structure de découpage des opérations de chaque mode de gestion (voir SDO, Chapitres 2 à 4). Elles ont été élaborées à l'aide de la revue de la littérature scientifique et grise, la consultation d'experts et la documentation de travaux. Le deuxième objectif consistait à estimer les coûts potentiels associés aux interventions identifiées dans les SDO de chacun des modes de gestion. À cet effet, il a été possible d'estimer les coûts potentiels sous la forme d'évaluations à trois valeurs pour les lots de travail qui sont typiquement liés à l'aménagement et le démantèlement des ouvrages à l'étude (voir Évaluation à trois valeurs, Chapitre 2, Chapitre 3, Ponceau simple et Ouvrage amovible et Chapitre 4). Ces évaluations à trois valeurs se basent sur des données qui proviennent des mêmes sources que celles utilisées pour l'élaboration de la SDO. Toutefois, le processus d'acquisition de données n'a pas permis d'obtenir la combinaison de données recherchées pour effectuer l'évaluation à trois valeurs des lots de travail qui sont typiquement liés au suivi et à l'entretien des ouvrages à l'étude. Le troisième objectif consistait à identifier des critères potentiels d'efficacité qui peuvent influencer les coûts évalués, les risques et les fonctions des interventions documentées. Ces critères potentiels d'efficacité sont présentés dans les sections Critères potentiel d'efficacité de chaque mode de gestion (voir Critères potentiels d'efficacité, Chapitre 2, Chapitre 3, Ponceau simple et Ouvrage amovible et Chapitre 4). Ils ont été identifiés à l'aide des mêmes sources de données que les deux autres objectifs.

Dans l'ensemble, le premier et le troisième objectif ont été complétés et le deuxième a été partiellement atteint pour les trois modes de gestion à l'étude. Cette étude est donc en mesure d'orienter la prise de décisions en lien avec l'aménagement de traverses de cours d'eau pendant la phase de planification du développement de chemins à faible fréquentation en comparant la vie utile, les coûts directs et les fonctions assurées par les structures.

Récapitulatif des résultats

Cette section vise à revenir brièvement sur les principaux résultats qui ressortent de l'élaboration de la SDO, de l'estimation des coûts potentiels et l'identification de critères potentiels d'efficacité pour chaque mode de gestion à l'étude avant d'entamer la comparaison des modes de gestion (voir section Comparaison des modes de gestion à l'étude, Chapitre 5). Ces résultats sont résumés dans le Tableau 5.1 de manière à distinguer les principaux bénéfiques (Fonctions assurées), inconvénients (Coûts et Risques) et considérations (Facteurs influençant la durée et les coûts des interventions) associés aux modes de gestion à l'étude pour les classes de dimensions évaluées. Leur interprétation doit se faire en considérant les limites et les biais associés à l'étude (voir section Limites et biais, Chapitre 5).

Tableau 5.1 : Récapitulatif des résultats de l'étude.

Mode de gestion	Récapitulatif des résultats de l'étude							
	Période d'utilisation intensive		Période de faible utilisation		Facteurs influençant la durée et les coûts des interventions	Diamètre de 450 à 1000 mm	Diamètre de 1200 à 2000 mm	Diamètre de 2200 à 3000 mm et PLM de 5 à 6 m
	Fonctions assurées	Risques	Fonctions assurées	Risques		Coûts	Coûts	Coûts
Mode de gestion par abandon - Ponceau simple	Libre circulation de l'eau. Stabilité du lit. Support de la route (3 ans). Sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs.	Érosion des berges et des talus des remblais de l'ouvrage. Apport de sédiments et autres contaminants dans le cours d'eau. Obstacles à la libre circulation des eaux de ruissellements détournées et au libre passage du poisson.	Support de la route (25 ans).	<i>Idem</i> à l'Abandon d'un ponceau simple (période d'utilisation intensive). Affouillement ou érosion du lit. Obstacle à la libre circulation de l'eau. Sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs.	Expérience et habileté de l'équipe. Disponibilité du matériel de remblayage et de stabilisation. Nature du substrat des rives et du lit. Dimensions de l'ouvrage. Respect du libre passage du poisson.	Optimiste : 2 654,35 \$. Probable : 4 647,14 \$. Pessimiste : 13 338,63 \$.	Optimiste : 5 331,03 \$. Probable : 8 778,39 \$. Pessimiste : 20 890,54 \$.	Optimiste : 12 346,37 \$. Probable : 18 611,69 \$. Pessimiste : 29 600,85 \$.
Mode de gestion par fermeture - Ponceau simple	<i>Idem</i> à l'Abandon d'un ponceau simple.	<i>Idem</i> à l'Abandon d'un ponceau simple.	Éviter les risques et les impacts associés à la défaillance d'une traverse de cours d'eau.	Faible apport de sédiments (temporaire). Érosion et ornières générés par passages à gué fréquents des autres utilisateurs.	<i>Idem</i> à l'Abandon d'un ponceau simple. Ampleur, composition, distance et direction de déplacement du matériel de remblai à retirer. Allocation des bonnes ressources (machines) aux bons moments. Déficit de matériel et intention de réutiliser les conduits retirés. Approche en forte pente ou présence d'obstacle à la stabilisation (ensemencement et paillage).	Optimiste : 3 870,74 \$. Probable : 6 145,44 \$. Pessimiste : 17 528,64 \$.	Optimiste : 7 011,00 \$. Probable : 10 825,66 \$. Pessimiste : 24 775,42 \$.	
Mode de gestion par fermeture - Ouvrage amovible	<i>Idem</i> à l'Abandon. Libre circulation des débris. Libre passage du poisson. Intégrité des berges et du lit.	Érosion des talus des remblais des appuis. Faible apport de sédiments et autres contaminants. Obstacle à la libre circulation des eaux de ruissellement détournées.	<i>Idem</i> à la Fermeture d'un ponceau simple.	<i>Idem</i> à la Fermeture d'un ponceau simple.	<i>Idem</i> à la Fermeture d'un ponceau simple. Cours d'eau bien défini, étroit, droit et uniforme. Berges stables, étroites et incisées. Appuis basés sur un substrat grossier, rocheux ou sur la roche mère. Critères de conceptions sélectionnés : Dégagement minimum et renforcement ou stabilisation par enrochement des berges.			Optimiste : 9 799,69 \$. Probable : 12 047,05 \$. Pessimiste : 24 259,06 \$.
Mode de gestion par mise hors service - Ponceau simple	<i>Idem</i> à l'Abandon.	<i>Idem</i> à l'Abandon.	<i>Idem</i> à l'Abandon d'un ponceau simple (période d'utilisation intensive). Évacuation des eaux de ruissellement en provenance du chemin. Libre circulation des débris. Libre passage du poisson. Support d'un accès limité pour des véhicules légers.	Faible apport de sédiments (temporaire). Risques liés au non-respect des principes qui encadrent la faible fréquentation : Affouillement, déplacement et érosion du matériel d'enrochement. Apport de sédiments et contaminants dans le cours d'eau. Sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs.	<i>Idem</i> à la Fermeture d'un ponceau simple. Berges hautes et incisées. Taille et forme du substrat naturel du lit (diamètre minimum du matériel). Formes et pentes des approches et large de la surface de roulement (dimensions de la surface de roulement à enrocher). Distance de déplacement du matériel d'enrochement.	Optimiste : 5 403,44 \$. Probable : 8 936,13 \$. Pessimiste : 20 964,79 \$.	Optimiste : 7 679,46 \$. Probable : 13 772,01 \$. Pessimiste : 27 741,60 \$.	

Comparaison des modes de gestion

La comparaison des modes de gestion s'effectue à partir des classes de diamètre de ponceau, ou les classes de portée libre maximale, qui ont pu être évaluées dans le cadre de l'estimation de leurs coûts potentiels. Le but recherché est de confronter les coûts associés aux lots de travail évalués afin de dresser un portrait des conséquences positives et négatives associées à chaque mode de gestion pour éclairer la prise de décisions. Les résultats de cette étude ont permis d'évaluer quatre principales comparaisons.

Comparaison : Modes de gestion par abandon et par fermeture d'un ponceau simple

La première comparaison s'intéresse aux modes de gestion par abandon et par fermeture d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG. Son objectif est de déterminer l'importance des coûts attribués aux interventions qui permettent d'éviter les impacts associés à la dégradation et la défaillance d'un ponceau sur la qualité de l'eau, l'habitat du poisson et la sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs du chemin. Cette comparaison s'effectue à l'échelle de deux classes de diamètre de ponceau, soit les classes de diamètre de 450 à 1000 mm et de 1200 à 2000 mm. Le Tableau 5.2 permet d'illustrer cette comparaison par l'évaluation des écarts entre les coûts potentiels de ces modes de gestion (\$) et la variation proportionnelle des coûts potentiels de la fermeture par rapport à l'abandon d'un ponceau simple (%). Cette comparaison permet d'observer que la hausse des coûts attribués à la fermeture semble diminuer avec l'augmentation de la taille du diamètre du ponceau et avec une estimation des coûts allant d'optimiste à pessimiste. Cette observation pourrait aussi s'expliquer par les coûts des matériaux qui pourraient être plus importants pour les ponceaux simples de plus grandes dimensions. Outre cette observation, deux constats peuvent ressortir de cette comparaison. Premièrement, les coûts potentiels associés au mode de gestion par abandon d'un ponceau simple sont inférieurs au mode de gestion par fermeture d'un ponceau simple. Deuxièmement, les interventions associées au démantèlement d'un ponceau simple sont moins coûteuses que celles associées à son aménagement pour les deux classes de diamètre de ponceau. Ces constats mettent en évidence que l'abandon est moins coûteux que la fermeture lorsque l'analyse des coûts se limite aux interventions réalisées par l'utilisateur principal. Nonobstant, le démantèlement d'un ponceau simple est la seule intervention qui permet d'éviter à 100 % le risque et les impacts associés à sa défaillance. Dans un contexte où la qualité de l'eau et des habitats du poisson et la sécurité des biens en aval représentent des enjeux importants, le démantèlement est la solution qui permet de limiter le plus possible les perturbations associées à la défaillance d'un ponceau simple. C'est dans cette optique, que les écarts présentés dans le Tableau 5.2 peuvent être utilisés comme balises ou seuils pour guider la prise de décisions et justifier le démantèlement d'un ponceau simple par rapport à son abandon. Par exemple, si les dommages potentiels associés à la défaillance d'un ponceau simple d'un diamètre de 1000 mm entraînaient des dépenses supérieures à 4 190,01 \$ pour la restauration de sites d'intérêt pour le poisson ou l'entretien et la réparation des biens et structures en aval qui sont affectés par le lessivage du ponceau,

il serait plus rentable de le démanteler avant sa défaillance. D'autre part, il est important de souligner que les interventions associées au démantèlement d'un ponceau simple ne représentent même pas la moitié des coûts associés à son aménagement. En considérant les sources de financement qui pourraient provenir de programmes ou des acteurs qui cherchent à assurer la qualité de l'eau, des habitats du poisson et la sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs du chemin, cette stratégie de gestion devient de plus en plus attrayante.

Tableau 5.2 : Comparaison des coûts potentiels : Mode de gestion par abandon et par fermeture d'un ponceau simple.

Comparaison des coûts potentiels : Modes de gestion par abandon et par fermeture - Ponceau simple						
Classe de diamètre	450 à 1000 mm			1200 à 2000 mm		
Coût	Optimiste (\$)	Probable (\$)	Pessimiste (\$)	Optimiste (\$)	Probable (\$)	Pessimiste (\$)
Mode de gestion par abandon - Ponceau simple	2 654,35	4 647,14	13 338,63	5 331,03	8 778,39	20 850,54
Mode de gestion par fermeture - Ponceau simple	3 870,74	6 145,44	17 528,64	7 011,00	10 825,66	24 775,42
Écart (\$)	1 216,39	1 498,30	4 190,01	1 679,97	2 047,27	3 924,88
Variation proportionnelle des coûts (%)	45,83	32,24	31,41	31,51	23,32	18,82

Comparaison : Modes de gestion par abandon d'un ponceau simple et par fermeture d'un ouvrage amovible

La deuxième comparaison s'intéresse au mode de gestion par abandon d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG et au mode de gestion par fermeture à l'aide d'un ouvrage amovible constitué d'appuis situés à l'extérieur de la limite supérieure des berges d'un cours d'eau. Son objectif est de mettre en valeur les bénéfices et les coûts associés à l'installation et au retrait d'un ouvrage amovible en comparaison avec un ponceau simple abandonné. Cette comparaison s'effectue à l'échelle d'une classe de diamètre de ponceau, soit la classe de diamètre de 2200 à 3000 mm, et la classe d'ouvrage amovible équivalente, soit la classe de portée libre maximale de 5 à 6 m ou de longueur de tablier de 6,2 à 7,2 m. Le Tableau 5.3 permet d'illustrer cette comparaison et les écarts entre les coûts potentiels (\$) et la variation proportionnelle des coûts potentiels de la fermeture à l'aide d'un ouvrage amovible par rapport à l'abandon d'un ponceau simple (%). De prime abord, les résultats de cette étude démontrent que les interventions associées au mode de gestion par fermeture à l'aide d'un ouvrage amovible sont moins coûteuses que les interventions associées à l'abandon. En considérant l'ensemble des fonctions assurées par l'ouvrage amovible, ces résultats démontrent un avantage considérable à prioriser l'utilisation d'un ouvrage amovible d'une portée libre maximale de 5 à 6 m au détriment d'un ponceau simple d'un diamètre qui varie entre 2200 à 3000 mm. Ces résultats pourraient soutenir la suggestion de Volpé (2018) comme quoi les ouvrages amovibles pourraient être plus avantageux lorsqu'ils sont comparés à des ponceaux de plus grandes dimensions. Nonobstant, les limites associées à l'étude du mode de gestion par fermeture d'un

ouvrage amovible restreignent cette interprétation (voir section Limites et biais, Chapitre 5). En considérant que les coûts associés au suivi et à l'entretien des ouvrages pendant la période d'utilisation intensive sont similaires, cette interprétation pourrait être valide si les coûts associés aux éléments de travail exclus de l'étude pour l'ouvrage amovible sont inférieurs à 2 546,68 \$ (voir section Limites et biais, Chapitre 5).

Tableau 5.3 : Comparaison des coûts potentiels : Mode de gestion par abandon d'un ponceau simple et mode de gestion par fermeture d'un ouvrage amovible.

Comparaison des coûts potentiels : Mode de gestion par abandon d'un ponceau simple et mode de gestion par fermeture d'un ouvrage amovible			
Classes équivalentes	Diamètres de ponceau : 2200 à 3000 mm.		
	PLM : 5 à 6 m ou LT : 6,2 à 7,2 m.		
Coût	Optimiste (\$)	Probable (\$)	Pessimiste (\$)
Mode de gestion par abandon - Ponceau simple	12 346,37	18 611,69	29 600,85
Mode de gestion par fermeture - Ouvrage amovible	9 799,69	12 047,05	24 259,06
Écart (\$)	-2546,68	-6564,64	-5341,79
Variation proportionnelle des coûts (%)	-20,63	-35,27	-18,05

Comparaison : Modes de gestion par abandon et par mise hors service d'un ponceau simple

La troisième comparaison, touche aux modes de gestion par abandon et par mise hors service d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG. Son but est d'évaluer l'importance des coûts attribués à l'aménagement d'une TAGE pour répondre à des besoins de faible fréquentation et éviter les impacts et les risques associés à la dégradation et la défaillance d'un ponceau simple abandonné. Cette comparaison est possible à l'échelle de deux classes de diamètre de ponceau, soit la classe de diamètre de 450 à 1000 mm et la classe de diamètre de 1200 à 2000 mm. Le Tableau 5.4 illustre les écarts (\$) et la variation proportionnelle des coûts attribués à la mise hors service en comparaison avec l'abandon d'un ponceau simple (%). Les écarts et les variations proportionnelles des coûts permettent de soulever deux autres constats. Tout d'abord, les coûts potentiels associés au mode de gestion par mise hors service sont supérieurs à ceux du mode de gestion par abandon pour les deux classes de diamètre. Ensuite, la très grande majorité des coûts potentiels associés aux interventions liés au remplacement du ponceau simple par une TAGE sont moins importants que l'aménagement du ponceau simple. En somme, la hausse des coûts potentiels attribués au remplacement d'un ponceau simple par une traverse à gué aménagée par enrochement ne constitue pas la part la plus importante des coûts liés à la mise hors service. Le remplacement d'un ponceau simple par une TAGE est une dépense supplémentaire qui représente des coûts similaires ou inférieurs à l'aménagement du ponceau. En considérant les avantages de la TAGE, cette stratégie de gestion permet de limiter les risques de perturbation du milieu aquatique, tout en

permettant la mise en place d'un ouvrage qui perdure et sur lequel les utilisateurs peuvent compter pour leurs activités sylvicoles, récréatives, de recherche et de maintenance (lignes de transport d'énergie).

D'autre part, les écarts obtenus représentent des seuils potentiels qui peuvent guider la prise de décisions en lien avec la mise hors service d'un ponceau simple dans l'optique d'éviter les risques et les impacts liés à sa dégradation et sa défaillance et de répondre aux besoins de faible fréquentation après son retrait. Par exemple, dans l'éventualité où les coûts associés aux impacts potentiels de la fermeture complète de l'accès et de la dégradation et de la défaillance d'un ponceau simple d'un diamètre de 1000 mm sont supérieurs à 7 626,16 \$, il serait potentiellement plus économique de le remplacer par une TAGE.

Tableau 5.4 : Comparaison des coûts potentiels : Modes de gestion par abandon et par mise hors service d'un ponceau simple.

Comparaison des coûts potentiels : Modes de gestion par abandon et par mise hors service - Ponceau simple						
Classe de diamètre	450 à 1000 mm (TAGE : Classe 0 à 2 m)			1200 à 2000 mm (TAGE : Classe 2 à 4 m)		
	Optimiste (\$)	Probable (\$)	Pessimiste (\$)	Optimiste (\$)	Probable (\$)	Pessimiste (\$)
Mode de gestion par abandon - Ponceau simple	2 654,35	4 647,14	13 338,63	5 331,03	8 778,39	20 850,54
Mode de gestion par mise hors service - Ponceau simple	5 403,44	8 936,13	20 964,79	7 679,46	13 772,01	27 741,6
Écart (\$)	2 749,09	4 288,99	7 626,16	2 348,43	4 993,62	6 891,06
Variation proportionnelle des coûts (%)	103,57	92,29	57,17	44,05	56,89	33,05

Comparaison : Modes de gestion par fermeture et par mise hors service d'un ponceau simple

La quatrième comparaison touche aux modes de gestion par fermeture et par mise hors service d'un ponceau constitué d'un conduit circulaire simple en TTOAG. L'objectif de cette comparaison est de déterminer l'importance des coûts associés à l'aménagement d'une TAGE qui vise à prévenir la dégradation du site de traversée après le démantèlement d'un ponceau simple en répondant aux besoins de faible fréquentation des utilisateurs. Cette comparaison s'effectue à l'échelle des classes de diamètre de ponceau de 450 à 1000 mm et de 1200 à 2000 mm. Les écarts et les variations proportionnelles des coûts potentiels attribués à l'installation d'une TAGE par rapport à l'abandon sont présentés dans le Tableau 5.5. La confrontation de ces résultats permet de relever deux principaux constats. En premier lieu, la mise hors service d'un ponceau simple est plus coûteuse que sa fermeture. En second lieu, les coûts potentiels associés aux interventions liées à l'aménagement de la TAGE sont inférieurs aux coûts potentiels associés au démantèlement ou à l'aménagement d'un ponceau simple pour les classes de diamètre évaluées. Ce qui suggère que l'installation d'une traverse à gué aménagée par enrochement est moins coûteuse que l'aménagement ou le démantèlement d'un ponceau simple.

D'autre part, les écarts présentés dans le Tableau 5.5 peuvent aussi servir de seuils potentiels pour guider la prise de décisions en lien avec l'aménagement d'une TAGE lorsque ces interventions visent à prévenir l'érosion et les dommages générés par la circulation d'utilisateurs secondaires dans le site de traversée après le démantèlement du ponceau simple. Par exemple, advenant que les bénéfices associés au maintien d'un accès limité aux véhicules légers soient supérieurs à 3 436,15 \$, il serait potentiellement viable d'aménager une TAGE après le démantèlement d'un ponceau simple d'un diamètre de 1000 mm. Dans une autre mesure, le maintien d'un accès n'est pas une solution viable lorsque l'objectif de la fermeture du chemin est de bloquer l'accès à un territoire privé ou à l'habitat d'une espèce d'intérêt comme le caribou des bois.

Tableau 5.5 : Comparaison des coûts potentiels : Modes de gestion par fermeture et par mise hors service d'un ponceau simple.

Comparaison des coûts potentiels : Modes de gestion par fermeture et par mise hors service - Ponceau simple						
Classe de diamètre	450 à 1000 mm (TAGE : Classe 0 à 2 m)			1200 à 2000 mm (TAGE : Classe 2 à 4 m)		
	Optimiste (\$)	Probable (\$)	Pessimiste (\$)	Optimiste (\$)	Probable (\$)	Pessimiste (\$)
Mode de gestion par fermeture - Ponceau simple	3 870,74	6 145,44	17 528,64	7 011,00	10 825,66	24 775,42
Mode de gestion par mise hors service - Ponceau simple	5 403,44	8 936,13	20 964,79	7 679,46	13 772,01	27 741,60
Écart (\$)	1 532,70	2 790,69	3 436,15	668,46	2 946,35	2 966,18
Variation proportionnelle des coûts (%)	39,60	45,41	19,60	9,53	27,22	11,97

Considérations supplémentaires

En considérant les limites de l'étude (voir section Limites et biais, Chapitre 5), le mode de gestion par abandon d'un ponceau simple est la stratégie de gestion qui est probablement la moins coûteuse puisqu'elle n'inclut aucune mesure d'entretien après la période d'utilisation intensive. Ce constat est valide pour le contexte réglementaire actuel en forêt publique au Québec, mais il pourrait ne plus l'être dans l'avenir. Il est donc fort probable que la fermeture et la mise hors service d'un ponceau simple se révèlent moins coûteuses qu'un mode de gestion qui consisterait à assurer l'intégrité de l'ouvrage pendant la période de faible fréquentation par l'entremise de mesures de suivi, d'entretien et de réfection préventives. En effet, plusieurs experts, articles et guides consultés lors du processus d'acquisition de données semblaient indiquer que l'entretien et la réfection d'une traverse de cours d'eau sont des interventions coûteuses et qui pourrait même représenter des coûts équivalents ou supérieurs à la construction initiale de l'ouvrage (Avis d'expert, Hydro-Québec et Séminaire de Québec, 2019; Kocher et *al.*, 2007; USDA, 1999; Weaver et *al.*, 2015). Ainsi, il est possible que les modes de gestion par fermeture et par mise hors service deviennent des stratégies cohérentes dans un contexte de chemins à faible fréquentation.

Limites et biais

Les résultats qui découlent des évaluations à trois valeurs et des comparaisons des modes de gestion et leurs interprétations pourraient être limités ou biaisés par la méthode de recherche sélectionnée, les lots de travail qui n'ont pas pu être évalués et les éléments de travail qui ont été exclus de l'étude.

Biais et limites liés à la méthode de recherche

Les principaux biais associés à la méthode de recherche sélectionnée pour cette étude résident dans l'utilisation d'une combinaison de données (matériaux utilisés, durée des opérations, ressources nécessaires et dimensions de l'ouvrage) qui proviennent de différentes sources pour effectuer l'évaluation à trois valeurs des coûts potentiels. De prime abord, il est possible que la précision et l'exactitude des valeurs associées au temps de travail des données récoltées dans le cadre de la revue de la littérature scientifique et grise et de l'évaluation par des experts ne soient pas au même niveau que les valeurs associées au temps de travail productif transformé des données récoltées dans le cadre de la documentation de travaux. En effet, l'ajustement des temps de travail productif (palier de 15 minutes) ne garantit pas d'émuler parfaitement les valeurs qui ressortiraient d'une évaluation par un groupe d'experts ou d'une évaluation présentée dans la littérature scientifique et grise. En second lieu, il est possible que le contexte ou les cadres réglementaires entourant l'aménagement et le démantèlement des ouvrages étudiés comportent des subtilités inconnues qui pourraient faire varier la nature, l'ampleur ou le déroulement de certaines interventions associés aux données récoltées dans le cadre de la revue de la littérature scientifique et grise. Par exemple, les données récoltées dans le cadre de la revue de la littérature scientifique et grise pour les lots de travail associés à l'aménagement d'un ponceau simple s'effectuent dans le respect des cadres réglementaires de la Californie (Kocher et *al.*, 2007) ou du Québec avec le RADF ou le RNI (Hotte et Quirion, 2003; Torreblanca-Alarie, 2018; Volpé, 2018). Des subtilités liées aux critères de conception, comme la profondeur d'enfouissement du conduit ou la largeur minimum de la surface de roulement du chemin, pourraient changer entre ces cadres réglementaires et pourraient potentiellement faire varier le temps de travail associé à la Mise en place du conduit (lot de travail de niveau 3) et le Remblayage du conduit (lot de travail de niveau 3) lors de l'aménagement du ponceau simple dans le cadre des modes de gestion par abandon, par fermeture et par mise hors service d'un ponceau simple.

Les principales limites associées à la méthode de recherche sélectionnée sont liées au cadre établi pour l'étude des modes de gestion. À cet effet, l'établissement d'une SDO, l'estimation des coûts potentiels et l'identification de critères potentiels d'efficacité sont les produits d'une synthèse conjointe des données obtenues à l'aide de la revue de la littérature scientifique et grise, de consultations d'experts et de la documentation de travaux. Les résultats qui en découlent sont justement limités par l'amplitude de la littérature scientifique et grise consultée, l'expérience et le nombre de groupes d'experts interrogé et

l'effectif et les conditions des sites d'étude documentés. À première vue, la fiabilité des résultats de plusieurs évaluations à trois valeurs semble être limitée par le faible effectif de données récoltées. En effet, la comparaison des classes de diamètre de ponceau des évaluations à trois valeurs associées au Retrait du ponceau simple (lot de travail de niveau 2) démontre que les coûts associés aux valeurs pessimistes de la classe de diamètre de 450 à 1000 mm sont supérieurs à ceux de la classe de diamètre de 1200 à 2000 mm (voir Tableau 2.2.3 dans Évaluation à trois valeurs, Chapitre 3, Ponceau simple). Cette observation suggère que les valeurs pessimistes associées au démantèlement d'un ponceau simple à l'échelle de la classe de diamètre de 1200 à 2000 mm sont fort probablement sous-évaluées. La sous-évaluation des valeurs pessimistes de cette classe de diamètre se répercute dans les évaluations à trois valeurs associées à celle-ci (Démantèlement de la traverse de cours d'eau – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1) du Mode de gestion par fermeture – Ponceau simple et Démantèlement de la traverse de cours d'eau alternative – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1) du Mode de gestion par mise hors service – Ponceau simple). Dans la même mesure, la comparaison des coûts potentiels des classes de TAGE pour l'évaluation à trois valeurs de l'Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 2) démontre que les valeurs pessimistes de la classe de 0 à 2 m sont supérieures aux valeurs pessimistes des classes de 2 à 4 m et de 4 à 6 m (voir Tableaux 4.3.3.1 à 4.3.3.3, Évaluation à trois valeurs, Chapitre 4). Ce qui suggère que les valeurs pessimistes des classes de 2 à 4 m et de 4 à 6 m sont probablement sous-évaluées. Ce qui se répercute au niveau des évaluations à trois valeurs associées pour les classes de TAGE de 2 à 4 m et de 4 à 6 m (Aménagement de la traverse de cours d'eau alternative – Traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 1) du Mode de gestion par mise hors service – Ponceau simple). En bref, l'interprétation des évaluations à trois valeurs associées aux modes de gestion par fermeture et par mise hors service d'un ponceau simple pour la classe de diamètre de ponceau de 1200 à 2000 mm doit se faire avec précaution et en sachant que les valeurs pessimistes sont probablement sous-estimées. Des études supplémentaires et la documentation de sites d'étude supplémentaires pourraient pallier cette limite et établir des estimés pessimistes plus fiables.

Lots de travail non évalués

Les lots de travail qui n'ont pas pu être évalués dans le cadre de l'étude limitent, en quelque sorte, les résultats des évaluations à trois valeurs des modes de gestion et les comparaisons entre ceux-ci. Tout d'abord, les évaluations à trois valeurs des lots de travail associés au suivi et l'entretien des ouvrages à l'étude pendant la période de fréquentation intensive pour l'ensemble des modes de gestion n'ont malheureusement pas été possibles. En effet, la documentation de ces coûts semble être mise de côté par la littérature scientifique et grise consultée et être plutôt axée sur l'entretien de la surface de roulement du chemin, notamment pour son nivellement et son déneigement, et la réfection des ouvrages avant ou après leur défaillance. Ce qui implique que l'interprétation des résultats de l'évaluation à trois valeurs pour les

trois modes de gestion se limite aux coûts associés à l'aménagement et au démantèlement des ouvrages étudiés. Dans une autre mesure, les comparaisons entre les modes de gestion et les constats qui en découlent sont limités de la même façon. Il est fort possible que les hausses et les baisses de coûts potentiels attribués aux comparaisons présentées dans les Tableaux 5.2 à 5.5 soient probablement biaisées pour les mêmes raisons. Pour la comparaison entre le mode de gestion par abandon et par fermeture d'un ponceau simple (Tableau 5.2), les écarts sont les mêmes puisque les résultats de l'évaluation à trois valeurs du Suivi et entretien – Ponceau simple (lot de travail de niveau 1) restent les mêmes pour les deux modes de gestion. Toutefois, les hausses constatées devraient diminuer puisque les coûts potentiels du mode de gestion par abandon devraient être plus grands, alors que les écarts entre les modes de gestion restent les mêmes. Pour les comparaisons en lien avec le mode de gestion par mise hors service d'un ponceau simple (Tableaux 5.4 et 5.5), il est fort probable que l'ajout des coûts potentiels associés à l'évaluation à trois valeurs du Suivi et entretien – Traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 1) se traduise par une augmentation des écarts et une modification du rapport entre les coûts potentiels des deux modes de gestion. Pour la comparaison entre le mode de gestion par fermeture d'un ouvrage amovible et le mode de gestion par abandon d'un ponceau simple (Tableau 5.3), il est difficile de déterminer comment l'évaluation à trois valeurs du Suivi et entretien – Ouvrage amovible (lot de travail de niveau 1) pourrait influencer les écarts et le rapport entre les coûts potentiels du mode de gestion par fermeture d'un ouvrage amovible et le mode de gestion par abandon d'un ponceau simple. En bref, les interprétations des écarts et des hausses ou baisses des coûts potentiels attribués aux différentes comparaisons des modes de gestion sont limitées aux interventions associées à l'aménagement et au démantèlement des ouvrages. Des études supplémentaires et la consultation de groupes d'experts supplémentaires pourraient être envisagées afin de compléter l'estimation des coûts potentiels associés au suivi et l'entretien des ouvrages étudiés.

Éléments de travail exclus de l'étude

L'interprétation des résultats de cette étude doit se faire en sachant que plusieurs éléments de travail n'ont pas été intégrés dans le processus de développement des structures de découpages des opérations, les estimés des coûts potentiels et l'identification de critères potentiels d'efficacité.

En premier lieu, le cadre de cette étude prévoyait la documentation des opérations et des coûts directs associés aux modes de gestion à l'étude à l'échelle de différentes classes qui réfèrent aux dimensions de l'ouvrage utilisé. Ce faisant, plusieurs coûts indirects associés aux opérations documentées ne sont pas intégrés, comme les frais de conception, d'ingénierie, de gestion et de pension de l'équipe et les coûts liés aux cadres réglementaires en vigueur. En deuxième lieu, le cadre d'étude n'inclut pas de méthode pour mesurer les coûts potentiels attribués aux externalités négatives générées par la dégradation des ouvrages étudiés ou la défaillance d'un ponceau simple. L'estimation des coûts indirects associés aux impacts

environnementaux ou des coûts directs associés à la restauration du site de traversée à l'échelle d'une traverse de cours d'eau pour chaque classe de diamètre de ponceau simple est d'une très grande complexité. L'inclusion de cet aspect des coûts nécessiterait beaucoup de temps et mériterait même son propre projet de recherche. En troisième lieu, les éléments de travail associés à la prospection du site de traversée et la mobilisation des équipes et de la machinerie pour l'ensemble des modes de gestion n'ont pas été intégrés. Ces éléments ont été exclus, puisqu'ils sont très variables entre les organisations, les conditions de travail, les régions et les contextes d'aménagement et de démantèlement des ouvrages. Toutefois, ils ont le potentiel d'influencer les résultats des évaluations à trois valeurs et des comparaisons entre les modes de gestion. Particulièrement au niveau des modes de gestion par fermeture et par mise hors service qui nécessitent une première mobilisation pour l'aménagement du ponceau simple et une autre mobilisation après la période de fréquentation intensive pour la phase de démantèlement ou de remplacement du ponceau simple. En quatrième lieu, plusieurs éléments de travail spécifiques aux modes de gestion par fermeture n'ont pas été intégrés au cadre de cette étude. En effet, les coûts associés à la gestion des matières résiduelles (conduits), la remise en production forestière de l'emprise du chemin et les mesures pour bloquer l'accès au chemin qui menait au site de traversée ont été exclus. De plus, plusieurs autres éléments spécifiques au mode de gestion par fermeture d'un ouvrage amovible n'ont pas été intégrés à son cadre d'étude. Notamment, les coûts potentiels associés à la mise en place et l'entretien des panneaux de signalisation, les coûts associés à l'inspection, le nettoyage, la réparation et l'entreposage des éléments d'appuis et de tablier de conception de l'ouvrage amovible après son retrait.

En somme, les biais, les limites, les éléments exclus de l'étude et les éléments non évalués peuvent limiter les coûts potentiels associés aux modes de gestion à l'étude. L'interprétation de ces résultats doit se faire en sachant que les coûts potentiels qui découlent de cette étude n'incluent pas ces éléments de travail.

Validité des résultats

La méthode de recherche établie pour atteindre les objectifs ciblés par cette étude a été élaborée de manière à incorporer des données qui proviennent de différentes sources, soit la littérature scientifique et grise, des évaluations par des experts et la documentation des travaux à l'étude. La combinaison de ces sources de données permet de balancer les forces et faiblesses associées à une estimation qui se base sur une seule de ces sources de données et assure la validité interne des résultats de l'étude. La validité externe des résultats de l'étude est difficile à établir puisque les experts et la littérature scientifique et grise consultés et les sites d'étude documentés ne sont pas nécessairement représentatifs de l'ensemble des conditions et contraintes qui peuvent être rencontrées en forêt publique québécoise. Des recherches supplémentaires pourraient approfondir les sujets abordés dans cette étude et contribuer à améliorer la validité externe des résultats.

Nonobstant, ces résultats contribuent à l'avancement des connaissances scientifiques et peuvent orienter la prise de décisions en lien avec l'aménagement de traverses de cours d'eau lors de la phase de planification du développement de chemins dans un contexte de faible fréquentation. Les données brutes et transformées en lien avec les évaluations à trois valeurs des trois modes de gestion à l'étude peuvent facilement être reprises et adaptées aux besoins d'une organisation. Les coûts potentiels qui en résultent sont le produit d'un processus polyvalent d'acquisition de données et d'analyses intuitives qui permettent de repousser les limites des résultats et de produire des estimés qui sont plus représentative de la diversité de conditions qui peuvent être rencontrées dans des contextes d'aménagement par abandon, par fermeture et par mise hors service d'une traverse de cours d'eau.

Conclusion

Cette étude cherche à orienter la prise de décisions en lien avec l'aménagement de traverses de cours d'eau pour la phase de planification du développement de chemins à faible fréquentation à l'échelle de trois modes de gestion. Le processus d'acquisition de données a permis de documenter les interventions nécessaires, d'estimer leurs coûts potentiels et d'identifier des critères potentiels d'efficacité en lien avec les phases d'aménagement et de démantèlement des ouvrages étudiés. Les résultats et les comparaisons en lien avec la durée de vie utile, les risques et les fonctions assurées par les ouvrages suggèrent plusieurs constats qui peuvent guider la prise de décisions en fonctions des besoins de fréquentation, des conditions de réalisation et des moyens de l'utilisateur principal. Ces résultats et constats permettent aussi de mieux saisir l'importance des coûts associés à une gestion des traverses de cours d'eau qui intègre les enjeux de la qualité de l'eau, du poisson et de ses habitats et de la sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs. Nonobstant, les principales lacunes de cette étude résident dans les évaluations à trois valeurs qui n'ont pas pu être réalisées et celles qui comportent un plus faible effectif. Dans le futur, il serait intéressant de poursuivre et bonifier cette étude à l'aide d'un plus grand nombre de sites d'étude et la documentation des éléments de travail associés au suivi et à l'entretien des ouvrages pendant la période de fréquentation intensive.

Bibliographie

Arsenault, M. P. 2014. Estimation des coûts pour la mise en œuvre des travaux de réfection dans la portion forestière du bassin versant de la rivière Bulstrode, en amont du réservoir Beaudet. Agence forestière des Bois-Francs, Rapport réalisé pour la ville de Victoriaville, Canada, 21 p. + annexes.

Bagley, E. M. 1998. A citizen's guide to wildland road removal. Graduate Student Theses, Dissertations, and Professional Papers, No. 6591, University of Montana, USA, 55 p. + annexes.

Barnard, R. J. et al. 2013. Water crossings design guidelines. Washington Department of Fish and Wildlife, USA, 211 p. + annexes.

Belles-Isles, M. J. et al. 1998. Traverse des cours d'eau à gué. Rapport présenté à TransÉnergie (Hydro-Québec) par Naturam Environnement Inc., Québec, Canada, 27 p. + annexes.

Best, D. W. et al. 1995. Role of fluvial hillslope erosion and road construction in the sediment budget of Garrett Creek, Humboldt County, California. Dans *Geomorphic Processes and Aquatic Habitat in the Redwood Creek Basin*, Northwestern California, US Geological Survey Professional, Chapitre M, USA, 1454 p.

Blinn, R. C. et al. 1998. Temporary stream and wetland crossing options for Forest Management. United States Department of Agriculture (USDA), Forest Service, North Central Research Station, General Technical Report NC-202, USA, 55p. + annexes.

Boulfroy, E. et al. 2015. Pistes de solutions pour augmenter la rentabilité des opérations forestières et améliorer l'habitat du caribou par une meilleure gestion du réseau routier et de l'enfeuillage. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO) et Cégep de Sainte-Foy. Rapport 2014-12, Québec, Canada, 94 p. + annexes.

Bureau du forestier en chef, Québec. 2010. Bilan d'aménagement forestier durable du Québec 2000-2008. Gouvernement du Québec, Roberval, Canada, 290 p.

Chantiers Chibougamau, Québec. 2019. Ponts-dalles temporaires – Plan et Devis. Notes générales, plan, élévation, coupes et détails. Chantiers Chibougamau et Nordic Structures, Projet Ponts-dalles temporaires, Québec, Canada, 5 p.

Clarkin, K. et al. 2006. Low-Water Crossings: Geomorphic, biological and engineering Design Considerations. Forest Service, United States of America's Department of Agriculture (USDA), USA, p. 133 + annexes.

Desautels, R. et al. 2009. Voirie forestière, dans *Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Manuel de foresterie*, 2^{ième} édition. Ouvrage collectif, Éditions Multimondes, Québec, Canada, p. 1147-1186.

Direction générale des acquisitions intersectorielles du Centre d'acquisition gouvernementale, Québec. 2020. Taux de location de machinerie lourde avec opérateur et équipements divers – En vigueur le 1^{er} avril 2021. Les publications du Québec, Québec, Canada, 145 p.

Doucet, R. et Côté, M. 2009. Manuel de foresterie. Éditions MultiMondes et Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Québec, Canada, 1510 p.

Edwards, P. J., Wood, F. et Quinlivan, R. L. 2016. Effectiveness of Best Management Practices that Have Application to Forest Roads: A littérature synthesis. General Technical Report NRS-163, Forest Service, United States Department of Agriculture, USA, p. 169 + annexes.

FPIInnovations et Canards illimités. 2016. Routes d'accès et milieux humides : Guide sur la planification, la construction et l'entretien. Publication spéciale SP-530F, FPIInnovations inc., Canards illimités inc., Québec, Canada, 81 p. + annexes.

Furniss, M. J. et *al.* 1991. Road Construction and Maintenance. Chapter 8, Influences of Forests and Rangeland Management on Salmonid Fishes and Their Habitats. American Fisheries Society Special Publication #19, USA, p. 297-323.

Gagnon, A. et Lemieux, L. 2006. Plan – Traverse à gué. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, secteur Estrie, Québec, Canada, 1 p.

Gauthier, L. et Varady-Szabo, H. 2014. Mesures d'atténuation des impacts des chemins forestiers en Gaspésie. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, Rapport de recherche, Québec, Canada, p.32.

Gesnest, B-A. et *al.* 2015. Principes et techniques de la gestion de projets. Les éditions Sigma Delta, 5^{ième} édition, Québec, Canada, 555 p.

Gillies, C. 2007. Erosion and sediment control practices for forest roads and stream crossings – A practical operations guide. FPIInnovations inc., Western Region. Advantage Vol. 9, No. 5, 87 p.

Giroux, H. et *al.* 2019. La gestion des opérations et de la logistique : Méthodes et principes fondamentaux. 2^{ième} édition, JFD Édition, Québec, Canada, 504 p.

Groupe Bauval Inc. 2020. Calculateur Pierre et Sable. Techmix, Division Bauval Inc., Québec, Canada, [En ligne]. Disponible à : https://www.bauval.com/techmix/produit_calculateur_pierre_sable.php (consulté le 22 décembre 2020).

Halima, S. 2007. La littérature grise : face méconnue de la documentation scientifique (1^{ère} partie). Documentation et bibliothèque, Vol. 53, No. 4, p. 205-210.

Hotte, M. et Quirion, M. 2003. Guide technique no. 15 – Traverses de cours d'eau. Fondation de la faune du Québec, et Fédération des producteurs de bois du Québec, Québec, Canada, p. 32.

Hydro-Québec (HQ), Équipement. 2011. Installation de ponts provisoires – Spécifications techniques particulières. Hydro-Québec, STP-MT-09-100A, Québec, Canada, 11 p.

Hydro-Québec (HQ), Équipement et services partagés. 2014. Cahier des bonnes pratiques en environnement – Construction de ligne de transport d'énergie. Québec, Canada, 79 p. + annexes.

Keller, G. et Sherar J. 2003. Best management practices Field guide: Low volume roads engineering. Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, p. 158.

Kocher D. S. et *al.* 2007. Rural Roads: A Construction and Maintenance Guide for California Landowners. Publication 8262, University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, USA, 23 p.

Labelle, E. R. et *al.* 2018. Exploring the use of harvesters in large-diameter hardwood-dominated stands. Forests, Vol. 9, No. 424, 14 p.

Latrémouille, I. 2012. Guide de saines pratiques d'entretien des chemins forestiers dans les Zecs. Zecs Québec, Québec, Canada, 70 p.

Légère, G. et Dostie, R. 1999. Aménagement d'ouvrages temporaires pour traverser les cours d'eau dans les chemins d'hiver du Québec. Rapport spécial No. RS-134, FERIC et Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec, Canada, 15 p. + annexes.

Lohnes, R. A. et al. 2001. Low water stream crossings : Design and Construction Recommendations. Department of Civil and Construction Engineering, Université de l'État de l'Iowa, USA, 29 p. + annexes.

Lurtz, R. M. 2016. Practical design guidelines for replacement of deficient bridges with low-water stream crossings in the rural Midwest. Thèse de maîtrise en science, Université de l'État du Kansas, USA, 95 p.

Manitoba Conservation and Water Stewardship (MCWS), Manitoba. 2012. Forestry road management. Forest Practices Guidebook 2012-2017, Forestry Branch, Manitoba Conservation Water Stewardship, Gouvernement du Manitoba, Canada, 13 p. + annexes.

Maurin, L. P. et Stubblefield, A. P. 2011. Channel adjustment following culvert removal from roads in northern California, USA. Ecological Restoration, Vol. 29, No. 4, p. 382 à 391.

Merrill, B. R. et Casaday, E. 2001. Field techniques for forest and range road removal. California State Parks, North Coast Redwoods District, Roads, Trails and Resources Maintenance, USA, 44 p.

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Québec (MAPAQ). 2005. Les passages à gué dans le cadre d'activités agricoles. Version préliminaire du 19 mars 2003, mise à jour le 15 janvier 2005, Gouvernement du Québec, Canada, 3 p. + annexes.

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), Québec. 2020. Guide d'application du Règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'État, [en ligne], Gouvernement du Québec, Canada. Disponible à <http://publications.mffp.gouv.qc.ca/radf> (Consulté le 11 novembre 2020).

Ministère des Pêches et Océans (MPO), Canada. 2008. Passage à gué temporaire. Version 1.0, Gouvernement du Canada, Canada, 5p.

Ministère des Ressources naturelles (MRN), Québec. 1997. L'aménagement des ponts et des ponceaux dans le milieu forestier. Gouvernement du Québec, Canada, 146 p.

Ministère des Ressources naturelles et Faune (MRNF), Québec. 2007. Guide – Techniques de fermeture de chemins du domaine de l'État. Gouvernement du Québec, Canada, 33 p.

Ministère des Transports, Québec (MTQ). 2008. Mesures d'atténuation environnementales temporaires. Construction routière – Tome 2, Chapitre 9. Gouvernement du Québec, Canada, 40 p.

Ministère des Transports, Québec (MTQ). 2014. Manuel de conception des ponceaux. Gouvernement du Québec, Canada, 470 p. + annexes.

Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, Québec (MTQ). 2017. Manuel d'inspection des structures. Ouvrages routiers – Guides et Manuels. Gouvernement du Québec, Canada, 540 p.

Ministry of Forests (MF), British Columbia. 2001. Best management practices handbook: Hillslope restoration in British Columbia. Resource Tenures and Engineering Branch, Watershed Restoration Program, Ministry of Forests, Gouvernement de la Colombie-Britannique, Canada, 188 p. + annexes.

Ministry of Forests (MF), British Columbia. 2002. Forest road engineering guidebook. Forest practices Code of British Columbia Guidebook, Ministry of Forests, Gouvernement de la Colombie-Britannique, Canada, 160 p. + annexes.

Ministry of Forests, Lands, Natural Resource Operations and Rural Development (MFLNRO), British Columbia. 2018. Engineering Manual. Engineering Branch, Gouvernement de la Colombie-Britannique, Canada, 301 p. + annexes.

Ministry of Natural Resources (MNR), Manitoba. 1996. Manitoba Stream Crossing Guidelines for the Protection of Fish and Fish Habitat. Gouvernement du Manitoba et Ministère Pêche et Océan Canada, Canada, 48 p. + annexes.

Natural Resources Conservation Service (NRCS), United States of America. 2006. Stream crossing – Ford: Georgia Guide Sheet No. GA-578-GS1. United States Department of Agriculture (USDA), USA, 2 p.

New Hampshire Division of Forests and Lands (NHDL) et University of New Hampshire Cooperative Extension (UNH). 2016. New Hampshire best management practices for erosion control on timber harvesting operations. New Hampshire Division of Forests and Lands, USA, 76 p. + annexes.

Pamela, J. E. et al. 2016. Effectiveness of Best management Practices that Have Application to Forest Roads : A Literature Synthesis. General Technical Report NRCS -163, Forest Service, USA, 169 p. + annexes.

Paradis-Lacombe, P. 2018. Caractérisation de l'état et de la durabilité des traverses de cours d'eau sur les chemins forestiers. Mémoire de maîtrise, Université Laval, 76 p. + annexes.

Roni, P. et Beechie, T. 2013. Stream and watershed restoration: A guide to restoring riverin precesses and habitats. Advancing river restoration and management, publication de John Wiley and Sons, Ltd., 289 p. + annexes.

Soleno inc., Québec. 2020. Produits - Tuyau d'acier : Tuyau de tôle ondulée galvanisée (TTOAG). Liste de prix 2020 – Québec, Québec, Canada, [En ligne]. Disponible à : <https://soleno.com/produits/tuyau-dacier/> (consulté le 11 décembre 2020).

Switalski, T. A. et al. 2004. Benefits and impacts of road removal. Frontier, Ecology and Environment, 2nd ed., vol. 1, de The Ecological Society of America, USA, p. 21-28.

Torreblanca-Alarie, Pablo. 2018. Impact du changement réglementaire du RNI vers le RADF sur les coûts d'installation de traverses de cours d'eau dans la région de Lanaudière. Rapport à l'intention de Sylvain Jutras, dans le cadre du cours FOR-3005, Département des Sciences du Bois et de la Forêt, Faculté de Foresterie, de Géographie et de Géomatique, Université Laval, Québec, Canada, p. 35 + annexes.

Toupin, D. 2005. Ouvrages pour traverser les cours d'eau dans les forêts privées. Québec, Canada, 42 p.

United States Department of Agriculture Forest Service (USDA), United States of America. 1999. Roads Analysis: Informing Decisions About Managing the National Forest Transportation System. United States Department of Agriculture, USA, 222 p.

United States Department of Agriculture (USDA), United States of America. 2011. Conservation practice standard – Stream crossing : Code 578. Natural Resources Conservation Service (NRCS), United States Department of Agriculture, USA, 5 p.

United States Department of Agriculture (USDA), United States of America. 2013. Pictorial guide to stream crossings and watering ramps. Natural Resources Conservation Service (NRCS), United States Department of Agriculture, USA, 4 p.

United States Department of Agriculture (USDA), United States of America. 2017. Conservation practice standard – Stream crossing : Code 578. Natural Resources Conservation Service (NRCS), United States Department of Agriculture, USA, 6 p.

Volpé, S. 2018. Conditions et impacts financiers à utiliser des ouvrages amovibles pour les traverses de cours d'eau au Québec. Rapport sans restriction – FPInnovations, Québec, Canada, 31 p.

Wayne Bell, F. et al. 1997. Productivity, cost, efficacy and cost effectiveness of motor-manual, mechanical, and herbicide release of boreal spruce plantations. *The Forestry Chronicle*, Vol. 73, No. 1, p. 39-46.

Weaver, W. et Hagans, D. 1994. Handbook for Forest and Ranch roads : A guide for planning, designing, constructing, reconstructing, maintaining and closing wildland roads. Préparé pour The Mendocino County Resource Conservation District, USA, 161 p. + annexes.

Weaver, W. et Hagans, D. 2009. Road upgrading, decommissioning and maintenance – Estimating costs on small and large scales. Road maintenance, road decommissioning, and stream crossing upgrades, Session two, de Pacific Watershed Associates, USA, p. 80-103.

Weaver, W. et al. 2015. Handbook for Forest and Ranch roads – Guide for planning, designing, constructing, reconstructing, maintaining and closing wildland roads. Mendocino County Resource Conservation District, Ukiah, California, USA, 341 p. + annexes.

Annexe 1 : Mode de gestion par abandon

Tableau 1.2.1 : Revue de la littérature scientifique et grise et avis des experts - Installation du ponceau simple (données brutes).

Référence ou source	Revue de la littérature scientifique et grise et les évaluations des experts : Aménagement de la traverse de cours d'eau - Ponceau simple (lot de travail de niveau 1)														
	Caractéristiques du conduit			Installation du ponceau simple (lot de travail de niveau 2)			Maintenance des matériaux (lot de travail niveau 2)			Matériaux			Total (\$)	Décision	Justification (exclusion)
	Diamètre (mm)	Longueur (m)	Composition	Durée	Ressources	Coût (\$)	Durée	Ressources	Coût (\$)	Description	Conduit (\$)	Géotextile (\$)			
Arsenault, 2014.	800 à 3000	8 à 12	Section simple d'un TTOAG	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	N.D.	6 360,00 à 9 540,00 (795,00 \$/m)	Echu	Taux machines et main d'oeuvre, durée des travaux et coûts conduite et géotextile inconnus.
Arsenault, 2014.	800 à 3000	N.D.	Section simple d'un TTOAG	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	N.D.	N.D.	6 775,00	Echu	Taux machines et main d'oeuvre, durée des travaux et coûts conduite et géotextile inconnus.
Desautels et al., 2009.	450 à 1000	12	Section simple d'un TTOAG	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	N.D.	N.D.	1 600,00 à 3 500,00	Echu	Taux machines et main d'oeuvre, durée des travaux et coûts conduite et géotextile inconnus.
Desautels et al., 2009.	450	8 à 12	Section simple d'un TTOAG	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	N.D.	N.D.	880,00 à 1 320,00 (110,00 \$/m)	Echu	Taux machines et main d'oeuvre, durée des travaux et coûts conduite et géotextile inconnus.
Desautels et al., 2009.	3600	8 à 12	Section simple d'un TTOAG	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	N.D.	N.D.	12 000,00 à 18 000,00 (1500,00 \$/m)	Echu	Taux machines et main d'oeuvre, durée des travaux et coûts conduite et géotextile inconnus.
Desautels et al., 2009.	1200 à 3600	12	Section simple d'un TTOAG	N.D.	N.D.	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	N.D.	N.D.	4 600,00 à 19 000,00	Echu	Taux excavatrice et ouvrier, durée travaux et coûts conduite et géotextile inconnus.
Morissette, 2017.	1400	N.D.	Section simple d'un TTOAG	N.D.	N.D.	3 600,00	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2 600,00	N.A.	6 200,00	Echu	Taux machines et main d'oeuvre, durée des travaux et coût géotextile inconnus.
Weaver et Hagens, 2009.	900	12	Section simple d'un TTOAG	N.D.	Excavatrice (115 \$/h). Tracteur à chenilles (85 \$/h).	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	N.D.	2 445,00	Echu	Durée des travaux et coûts conduites et géotextile inconnus.
Hotte et Quirion, 2003.	900	8	Section simple d'un TTOAG	9h	Excavatrice inconnue, 12 (80 \$/h); 9h. 5h par ouvrier; 2 x 9h.	1 170,00	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1 040,00	N.A.	2 210,00	Inclus	
Kocher et al., 2007.	900	12	Section simple d'un TTOAG	7h	Excavatrice inconnue, 35 (175 \$/h); 7h. chenille JD450 (130 \$/h); 7h. (55 \$/h); 3h.	2 300,00	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2 350,00	N.A.	4 650,00	Inclus	
Torreblanca-Alaric, 2018.	2700	12	Section simple d'un TTOAG	17h	Excavatrice CAT 329 (135 \$/h); 17h. (50 \$/h); 13h25m	2 957,50	N.D.	Excavatrice CAT329 (135 \$/h); 45m. Ouvrier (50 \$/h); 45m. Transport (ressource inconnue); 600 \$	Incomplet	Manutention estimée et source N.D.	9 261,96	219,39	13 076,35	Inclus	
Volpé, 2018.	1200	12	Section simple d'un TTOAG	9h	Excavatrices 351 : 2 x 9h. benne articulée (660) 33-441 : 9h. Superviseur 9h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Volpé, 2018.	450 à 1000	12	Deux sections de TTOAG x 6 m	13h10m	Excavatrices 351 (125 \$/h); 2 x 13h10m. benne articulée (660) 33-441 (125 \$/h); 8h40m. Ouvrier (30 \$/h); 2h.	4 615,00	N.D.	N.D.	100,00	Manutention estimée et source N.D.	370,00 à 710,00	N.A.	5 085,00 à 5 425,00	Inclus	
Volpé, 2018.	1200 à 2000	12	Deux sections de TTOAG x 6 m	18h50m	Excavatrices 351 (125 \$/h); 2 x 18h50m. benne articulée (660) 33-441 (125 \$/h); 11h20m. Ouvrier (30 \$/h); 12h.	6 485,00	N.D.	N.D.	100,00	Manutention estimée et source N.D.	900,00 à 2 000,00	N.A.	7 485,00 à 8 585,00	Inclus	
Volpé, 2018.	2200 à 3000	12	Deux sections de TTOAG x 6 m	26h	Excavatrices 351 (125 \$/h); 2 x 26h. benne articulée (660) 33-441 (125 \$/h); 14h. Ouvrier (30 \$/h); 16h.	8 730,00	N.D.	N.D.	100,00	Manutention estimée et source N.D.	2 200,00 à 3 420,00	N.A.	11 030,00 à 12 250,00	Inclus	
Volpé, 2018.	3300	12	Deux sections de TTOAG x 6 m	31h	Excavatrices 351 (125 \$/h); 2 x 31h. benne articulée (660) 33-441 (125 \$/h); 16h. Ouvrier (30 \$/h); 18h.	10 290,00	N.D.	N.D.	100,00	Manutention estimée et source N.D.	4 060,00	N.A.	14 450,00	Inclus	
Avis d'expert, Contremaître de chantier, Séminaire de Québec, 2021.	450	9	Section simple d'un TTOAG	1h	Excavatrice 201 : 1h. Ouvrier : 1h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'expert, Contremaître de chantier, Séminaire de Québec, 2021.	450	12	Section simple d'un TTOAG	2h	Excavatrice 201 : 2h. Ouvrier : 2h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'experts, Opérateur C et contremaître C, Groupe Lebel, 2021.	450	9	Section simple d'un TTOAG	3h	Excavatrice 301 : 3h. Ouvrier : 3h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'experts, Opérateur B et contremaître B, Groupe Lebel, 2021.	450	9	Section simple d'un TTOAG	4h	Excavatrice 301 : 4h. Ouvrier : 4h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'expert, Contremaître de chantier, Séminaire de Québec, 2021.	900	9	Section simple d'un TTOAG	2h	Excavatrice 201 : 2h. Ouvrier : 2h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'expert, Contremaître de chantier, Séminaire de Québec, 2021.	900	12	Section simple d'un TTOAG	3h	Excavatrice 201 : 3h. Ouvrier : 3h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'experts, Opérateur C et contremaître C, Groupe Lebel, 2021.	900	9	Section simple d'un TTOAG	5h	Excavatrice 301 : 5h. Ouvrier : 5h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'experts, Opérateur B et contremaître B, Groupe Lebel, 2021.	900	9	Section simple d'un TTOAG	6h	Excavatrice 301 : 6h. Ouvrier : 6h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'expert, Contremaître de chantier, Séminaire de Québec, 2021.	1000	9	Section simple d'un TTOAG	4h	Excavatrice 201 : 4h. Ouvrier : 4h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'expert, Contremaître de chantier, Séminaire de Québec, 2021.	1000	12	Section simple d'un TTOAG	5h	Excavatrice 201 : 5h. Ouvrier : 5h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'experts, Opérateur C et contremaître C, Groupe Lebel, 2021.	1000	9	Section simple d'un TTOAG	5h	Excavatrice 301 : 5h. Ouvrier : 5h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'experts, Opérateur B et contremaître B, Groupe Lebel, 2021.	1000	9	Section simple d'un TTOAG	7h	Excavatrice 301 : 7h. Ouvrier : 7h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'expert, Contremaître de chantier, Séminaire de Québec, 2021.	1200	9	Section simple d'un TTOAG	5h	Excavatrice 201 : 5h. Ouvrier : 5h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'experts, Opérateur C et contremaître C, Groupe Lebel, 2021.	1200	9	Section simple d'un TTOAG	5h	Excavatrice 301 : 5h. Ouvrier : 5h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'expert, Contremaître de chantier, Séminaire de Québec, 2021.	2000	9	Section simple d'un TTOAG	8h	Excavatrice 201 : 8h. Ouvrier : 8h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'expert, Contremaître de chantier, Séminaire de Québec, 2021.	2400	12	Section simple d'un TTOAG	8h	Excavatrice 201 : 8h. Ouvrier : 8h.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	

Tableau 1.2.3 : Installation du ponceau simple – TTOAG 450 mm à 1000 mm (données transformées).

Installation du ponceau simple (lot de travail de niveau 2) - TTOAG 450 à 1000 mm (données transformées)											
Référence et dimensions du conduit	Lots de travail						Matériaux			Total (\$)	
	Ressources	Mise en forme des approches	Aménager la fondation	Remblayage du conduit	Stabilisation des berges et talus	Durée d'exécution	Coût (\$)	Membrane géotextile (\$)	Conduit (\$)		Coût (\$)
Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 450 mm x 9 m.	Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h			1h		1h	245,70	219,39	504,67	724,06	969,76
	Superviseur : 57,20 \$/h			1h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			1h							
Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 450 mm x 12 m.	Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h			2h		2h	491,40	219,39	672,89	892,28	1 383,68
	Superviseur : 57,20 \$/h			2h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			2h							
Avis d'experts (Groupe Lebel C, 2021). 450 mm x 9 m.	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h			3h		3h	831,00	219,39	504,67	724,06	1 555,06
	Superviseur : 57,20 \$/h			3h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			3h							
Avis d'experts (Groupe Lebel B, 2021). 450 mm x 9 m.	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h			4h		4h	1 108,00	219,39	504,67	724,06	1 832,06
	Superviseur : 57,20 \$/h			4h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			4h							
Hotte et Quirion, 2003. 900 mm x 8 m.	Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h			9h		9h	2 726,10	219,39	968,3	1 187,69	3 913,79
	Superviseur : 57,20 \$/h			9h							
	Ouvriers : 57,20 \$/h (par ouvrier)			2 x 9h							
Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 900 mm x 9 m.	Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h			2h		2h	491,40	219,39	1 089,34	1 308,73	1 800,13
	Superviseur : 57,20 \$/h			2h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			2h							
Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 900 mm x 12 m.	Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h			3h		3h	737,10	219,39	1 452,45	1 671,84	2 408,94
	Superviseur : 57,20 \$/h			3h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			3h							
Avis d'experts (Groupe Lebel C, 2021). 900 mm x 9 m.	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h			5h		5h	1 385,00	219,39	1 089,34	1 308,73	2 693,73
	Superviseur : 57,20 \$/h			5h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			5h							
Avis d'experts (Groupe Lebel B, 2021). 900 mm x 9 m.	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h			6h		6h	1 662,00	219,39	1 089,34	1 308,73	2 970,73
	Superviseur : 57,20 \$/h			6h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			6h							
Kocher et al. 2007. 900 mm x 12 m.	Excavatrice (35 tonnes) : 162,60 \$/h			7h		7h	2 452,20	219,39	1 452,45	1 671,84	4 124,04
	Bouteur chenille (JD-450) : 106,40 \$/h			7h							
	Superviseur : 57,20 \$/h			7h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			3h							
Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 1000 mm x 9 m.	Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h			4h		4h	982,80	219,39	1 684,46	1 903,85	2 886,65
	Superviseur : 57,20 \$/h			4h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			4h							
Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 1000 mm x 12 m.	Excavatrice (25 tonnes) : 131,30 \$/h			5h		5h	1 228,50	219,39	2 245,95	2 465,34	3 693,84
	Superviseur : 57,20 \$/h			5h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			5h							
Avis d'experts (Groupe Lebel C, 2021). 1000 mm x 9 m.	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h			5h		5h	1 385,00	219,39	1 684,46	1 903,85	3 288,85
	Superviseur : 57,20 \$/h			5h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			5h							
Avis d'experts (Groupe Lebel B, 2021). 1000 mm x 9 m.	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h			7h		7h	1 939,00	219,39	1 684,46	1 903,85	3 842,85
	Superviseur : 57,20 \$/h			7h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			7h							
Volpé, 2018. 450 à 1000 mm x 12 m.	Excavatrice (35 tonnes) : 162,60 \$/h			2 x 13h10m		13h10m	7 339,83	219,39	704,14 à 2 344,46	923,53 à 2 563,85	8 263,36 à 9 903,68
	Camion benne articulé 6x6 (33 à 44 tonnes) : 213,15 \$/h			1 x 8h40m							
	Superviseur : 57,20 \$/h			13h10m							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			8h							

*Donnée ajoutée ou ajustée.

*Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.

Tableau 1.2.4 : Installation du ponceau simple - TTOAG 1200 à 2000 mm (données transformées).

Installation du ponceau simple (lot de travail de niveau 2) - TTOAG 1200 à 2000 mm (données transformées)											
Référence et dimensions du conduit	Lots de travail						Matériaux			Total (\$)	
	Ressources	Mise en forme des approches	Aménager la fondation	Remblayage du conduit	Stabilisation des berges et talus	Durée d'exécution	Coût (\$)	Membrane géotextile (\$)	Conduit (\$)		Coût (\$)
Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 1200 mm x 9 m.	Excavatrice (20 tonnes) : 131,30 \$/h			5h		5h	1 228,50	219,39	2 198,55	2 417,94	3 646,44
	Superviseur : 57,20 \$/h			5h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			5h							
Avis d'experts (Groupe Lebel C, 2021). 1200 mm x 9 m.	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h			5h		5h	1385,00	219,39	2 198,55	2 417,94	3 802,94
	Superviseur : 57,20 \$/h			5h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			5h							
Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 2000 mm x 9 m.	Excavatrice (20 tonnes) : 131,30 \$/h			8h		8h	1 865,6	219,39	4 932,91	5 152,30	7 017,90
	Superviseur : 57,20 \$/h			8h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			8h							
Volpé, 2018. 1200 mm x 12 m.	Excavatrice (35 tonnes) : 162,60 \$/h par excavatrice			2 x 9h		9h	5 874,75	219,39	2 931,4	3 150,80	9 025,55
	Camion benne articulé 6x6 (33 à 44 tonnes) : 213,15 \$/h			9h							
	Superviseur : 57,20 \$/h			9h							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			9h							
Volpé, 2018. 1200 à 2000 mm x 12 m.	Excavatrice (35 tonnes) : 162,60 \$/h par excavatrice			2 x 18h50m		18h50m	10 303,97	219,39	3 046,20 à 6 892,23	3 265,59 à 7 111,62	13 569,56 à 17 415,59
	Camion benne articulé 6x6 (33 à 44 tonnes) : 213,15 \$/h			11h20m							
	Superviseur : 57,20 \$/h			18h50m							
	Ouvrier : 57,20 \$/h			12h							

*Donnée ajoutée ou ajustée.

*Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.

Tableau 1.2.5 : Installation du ponceau simple - TTOAG 2200 à 3000 mm (données transformées).

Installation du ponceau simple (lot de travail de niveau 2) - TTOAG 2200 à 3000 mm (données transformées)										
Lots de travail	Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 2400 mm x 12 m.			Torreblanca-Alarie, 2018. 2700 mm x 12 m.			Volpé, 2018. 2200 à 3000 mm x 12 m.			
	Excavatrice (20 tonnes) : 131,30 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrice (CAT329) : 162,60 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h	Excavatrices (35 tonnes) : 162,60 \$/h par excavatrice	Camion benne articulé 6x6 (33 à 44 tonnes) : 213,15 \$/h	Superviseur : 57,20 \$/h	Ouvrier : 57,20 \$/h
Mise en forme des approches										
Aménager la fondation	8h	8h	8h	17h	17h	13h25m	2 x 26h	14h	26h	16h
Remblayage du conduit										
Stabilisation des berges et talus										
Durée d'exécution	8h			17h			26h			
Coût (\$)	1 965,60			4 494,50			13 841,70			
Matériaux										
Membrane géotextile (\$)	219,39			219,39			219,39			
Conduit - Ponceau simple (\$)	8 182,85			10 504,15			7869 à 12104,81			
Coût (\$)	8 402,24			10 723,54			8 088,39 à 12 324,20			
Total (\$)	10 367,84			15 218,04			21 930,09 à 26 165,90			

*Donnée ajoutée ou ajustée.

*Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.

Tableau 1.3.1: Revue de la littérature scientifique et grise et les évaluations par des experts - Installation d'un conduit de drainage (données brutes).

Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellements - Conduits de drainage des fossés (lot de travail de niveau 2) : Données brutes*											
Source	Caractéristiques de la structure			Installation d'un conduit de drainage de fossés			Manutention	Matériaux Coût conduit (\$)	Total (\$)	Décision	Justification (exclusion)
	Diamètre (mm)	Longueur (m)	Composition	Durée	Ressources	Coût (\$)					
Avis d'experts, Opérateur et contremaître, Hydro-Québec et Groupe	300	9	Section simple d'un TTOAG	1h	Excavatrice 25 t, superviseur et ouvrier.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'expert, Contremaître de chantier, Séminaire de Québec, 2021.	300	9	Section simple d'un TTOAG	1h	Excavatrice 25 t, superviseur et ouvrier.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'experts, Opérateur B et contremaître B, Groupe Lebel, 2021.	300	9	Section simple d'un TTOAG	45m	Excavatrice 30 t et ouvrier.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'experts, Opérateur C et contremaître C, Groupe Lebel, 2021.	300	9	Section simple d'un TTOAG	45m	Excavatrice 30 t et ouvrier.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'experts, Opérateur B et contremaître B, Groupe Lebel, 2021.	300	9	Section simple d'un TTOAG	1h	Excavatrice 30 t et ouvrier.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'experts, Opérateur B et contremaître B, Groupe Lebel, 2021.	450	9	Section simple d'un TTOAG	1h	Excavatrice 30 t et ouvrier.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'experts, Opérateur C et contremaître C, Groupe Lebel, 2021.	450	9	Section simple d'un TTOAG	1h	Excavatrice 30 t et ouvrier.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'experts, Opérateur B et contremaître B, Groupe Lebel, 2021.	450	9	Section simple d'un TTOAG	1h15m	Excavatrice 30 t et ouvrier.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'experts, Opérateur A et contremaître A, Groupe Lebel, 2019.	300	12	Section simple d'un TTOAG	1h	Excavatrice (CAT 330C-L), superviseur et ouvrier.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'expert, Contremaître de chantier, Séminaire de Québec, 2021.	300	12	Section simple d'un TTOAG	1h	Excavatrice 25 t et ouvrier.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'expert, Contremaître de chantier, Forêt Montmorency, 2021.	300	9	Section simple d'un TTOAG	2h	Excavatrice 25 t et ouvrier.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Avis d'expert, Contremaître de chantier, Forêt Montmorency, 2021.	450	12	Section simple d'un TTOAG	3h	Excavatrice 25 t et ouvrier.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	Inclus	
Kocher et al., 2007	450	12	Deux sections de TTOAG	3h	Petite excavatrice (120 \$/h): 3h. Ouvrier (55 \$/h): 3h.	525,00	N.A.	1425,00	1950,00	Inclus	
Weaver et Hagans, 2009.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	Excavatrice (115 \$/h). Tracteur à chenilles (85 \$/h).	N.D.	N.A.	N.D.	550,00 à 650,00	Exclus	Dimension, durée des travaux et coût des matériaux inconnus.

*Les valeurs (coûts et de durée) sont associées à l'aménagement d'une seule structure de déviation des eaux de ruissellement.

Tableau 1.3.2 : Installation des ponceaux de drainage 300 à 450 mm x 9 m (données transformées).

Aménagement de structures de détournement des eaux de ruissellement - Conduits de drainage des fossés x 9 m (lot de travail de niveau 2)									
Référence et dimension des structures	Installation des conduits de drainage des fossés (lot de travail de niveau 3)								
	Ressources	Préparation de la fondation	Installation des conduits	Remblayage des conduits	Ajustement et stabilisation des talus	Durée d'exécution	Sous-total (\$)	Matériaux Coût des conduits (\$)	Total (\$)
Avis d'expert (Groupe Lebel B, 2021). 300 mm x 9 m.	Excavatrice 30 t : 162,60 \$/h			1h30m		1h30m	415,50	654,12	1 069,62
	Superviseur : 57,20 \$/h			1h30m					
	Ouvrier : 57,20 \$/h			1h30m					
Avis d'expert (Groupe Lebel C, 2021). 300 mm x 9 m.	Excavatrice 30 t : 162,60 \$/h			1h30m		1h30m	415,50	654,12	1 069,62
	Superviseur : 57,20 \$/h			1h30m					
	Ouvrier : 57,20 \$/h			1h30m					
Avis d'expert (Groupe Lebel B, 2021). 300 mm x 9 m.	Excavatrice 30 t : 162,60 \$/h			2h		2h	554,00	654,12	1 208,12
	Superviseur : 57,20 \$/h			2h					
	Ouvrier : 57,20 \$/h			2h					
Avis d'experts (Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019). 300 mm x 9 m.	Excavatrice 25 t : 131,30 \$/h			2h		2h	491,40	654,12	1 363,56
	Superviseur : 57,20 \$/h			2h					
	Ouvrier : 57,20 \$/h			2h					
Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 300 mm x 9 m.	Excavatrice 25 t : 131,30 \$/h			2h		2h	491,40	654,12	1 363,56
	Superviseur : 57,20 \$/h			2h					
	Ouvrier : 57,20 \$/h			2h					
Avis d'expert (Groupe Lebel B, 2021). 450 mm x 9 m.	Excavatrice 30 t : 162,60 \$/h			2h		2h	554,00	1009,34	1 563,34
	Superviseur : 57,20 \$/h			2h					
	Ouvrier : 57,20 \$/h			2h					
Avis d'expert (Groupe Lebel C, 2021). 450 mm x 9 m.	Excavatrice 30 t : 162,60 \$/h			2h		2h	554,00	1009,34	1 563,34
	Superviseur : 57,20 \$/h			2h					
	Ouvrier : 57,20 \$/h			2h					
Avis d'expert (Forêt Montmorency, 2021). 300 mm x 9 m.	Excavatrice 25 t : 131,30 \$/h			4h		4h	982,80	654,12	1 636,92
	Superviseur : 57,20 \$/h			4h					
	Ouvrier : 57,20 \$/h			4h					
Avis d'expert (Groupe Lebel B, 2021). 450 mm x 9 m.	Excavatrice 30 t : 162,60 \$/h			2h30m		2h30m	692,50	1 009,34	1 701,84
	Superviseur : 57,20 \$/h			2h30m					
	Ouvrier : 57,20 \$/h			2h30m					

*Donnée ajoutée ou ajustée.

*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.

Tableau 1.3.3 : Installation des ponceaux de drainage 300 à 450 mm x 12 m (données transformées).

Aménagement de structures de détournement des eaux de ruissellement - Conduits de drainage des fossés x 12 m									
Référence et dimension des structures	Installation des conduits de drainage des fossés					Durée d'exécution	Sous-total (\$)	Matériaux	
	Ressources	Préparation de la fondation	Installation des conduits	Remblayage des conduits	Ajustement et stabilisation des talus			Coût des conduits (\$)	Total (\$)
Avis d'expert (Séminaire de Québec, 2021). 300 mm x 12 m.	Excavatrice 25 t : 131,30 \$/h			2h		2h	491,40	872,16	1 363,56
	Superviseur : 57,20 \$/h			2h					
	Ouvrier : 57,20 \$/h			2h					
Avis d'experts (Groupe Lebel A, 2019). 300 mm x 12 m.	Excavatrice (CAT 330C-L) : 162,60 \$/h			2h		2h	554,00	872,16	1 426,16
	Superviseur : 57,20 \$/h			2h					
	Ouvrier : 57,20 \$/h			2h					
Kocher <i>at al.</i> 2007. 450 mm x 12 m.	Petite excavatrice : 114 \$/h			6h		6h	1 370,40	1 408,28	2 778,68
	Superviseur : 57,20 \$/h			6h					
	Ouvrier : 57,20 \$/h			6h					
Avis d'expert (Forêt Montmorency, 2021). 450 mm x 12 m.	Excavatrice 25 t : 131,30 \$/h			6h		6h	1 474,20	1 345,78	2 819,98
	Superviseur : 57,20 \$/h			6h					
	Ouvrier : 57,20 \$/h			6h					
*Donnée ajoutée ou ajustée.									
*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.									

Annexe 2 : Mode de gestion par fermeture – Ponceau simple

Tableau 2.2.1 : Documentation des travaux – Retrait du ponceau simple (données brutes).

Retrait du ponceau simple (lot de travail de niveau 2) - Données brutes																																			
Sites d'étude				Ressources	Retrait du matériel de remblai (lot de travail de niveau 3)										Retrait du conduit (lot de travail de niveau 2)					Remise en état des berges et du lit (lot de travail de niveau 3)															
Nom	Diamètre (mm)	Longueur (m)	Distance déplacement matériel (m)		Retrait matériel granulaire (s)					Retrait radier et autres débris ligneux (s)					Durée tot. (s)	Retrait conduit et membrane géotextile (s)				Reconstitution (s)					Stabilisation (s)				Durée tot. (s)						
					Exca.	Mat	Dé.	Mat	Op	Mat	D	Autre	Mat	Durée		M.	Fa	Dé.	Fa	D	Op	Fa	D	Autre	Fa	Durée	M.	Dé.		M	D	Op	D	Autre	M.
T006-03	600	9	20 à 30	Excavatrice (Komatsu PC200LC)	4663	96	73	384	5216	2617	1669	0	0	4286	9502	38	98	80	0	216	384	0	34	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	448
				Superviseur	4663	96	73	384	5216	2617	1669	0	0	4286	9502	38	98	80	0	216	384	0	34	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T006-07	900	9	80 à 100	Excavatrice (Komatsu PC200LC)	5811	202	450	64	6527	1296	2087	0	50	3433	9960	42	106	406	14	568	158	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	186	
				Superviseur	5811	202	450	64	6527	1296	2087	0	50	3433	9960	42	106	406	14	568	158	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T010-08	900	9	20	Excavatrice (Caterpillar 326F)	3825	15	190	70	4100	0	0	0	20	20	4120	390	50	0	5	445	100	0	0	0	190	115	0	0	0	0	0	0	405		
				Superviseur	3825	15	190	70	4100	0	0	0	20	20	4120	390	50	0	5	445	100	0	0	0	190	115	0	0	0	0	0	0	0	405	
T2C-008-09	900	9	230 à 250	Excavatrice (John Deere 210G)	14897	0	4215	72	19184	4287	688	0	46	5021	24205	64	24	177	18	283	426	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	426	
				Camion benne articulé (6x6)	8162	11851	2033	0	22046	1288	1604	0	0	2892	24938	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T004-07	1400	12	130 à 150	Excavatrice (Caterpillar 336E)	3387	34	1660	16	5097	1588	40	12	12	1652	6749	58	96	0	0	154	526	0	0	13	413	574	0	0	0	0	0	0	0	1526	
				Camion benne articulé (6x6)	2549	5238	90	0	7877	0	0	0	0	0	7877	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T15-3	1400	12	20 à 40	Transporteur	0	0	0	0	0	765	958	0	0	1723	1723	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
				Superviseur	3387	34	1660	16	5097	1588	40	12	12	1652	6749	58	96	0	0	154	526	0	0	13	413	574	0	0	0	0	0	0	0	1526	
T006-05	1500	12	40 à 60	Excavatrice (John Deere 350G)	10269	892	38	308	11507	76	0	0	0	76	11583	112	294	0	26	432	253	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	253	
				Superviseur	10269	892	38	308	11507	76	0	0	0	76	11583	112	294	0	26	432	253	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	253
T1-C008-9	1800	12	180 à 200	Excavatrice (Komatsu PC200LC)	12019	1651	222	304	14196	1799	1483	0	0	3282	17478	62	138	242	14	456	264	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	270		
				Superviseur	12019	1651	222	304	14196	1799	1483	0	0	3282	17478	62	138	242	14	456	264	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	270
T1-C008-9	1800	12	180 à 200	Excavatrice (John Deere 210G)	12108	0	1676	158	13942	3491	1715	83	0	5289	19231	152	116	28	0	296	574	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	588		
				Camion benne articulé (6x6)	6026	6178	6017	0	18221	0	0	0	0	0	18221	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Camion benne 10 roues	4451	7688	5365	0	17504	0	0	0	0	0	17504	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				Superviseur	12108	0	1676	158	13942	3491	1715	83	0	5289	19231	152	116	28	0	296	574	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	588		

Tableau 2.3.1 : Documentation des travaux et évaluations par des experts : Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Fossés de déviation (données brutes).

Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellements - Fossés de déviation (lot de travail de niveau 2) : Données brutes																
Site d'étude	Longueur (m)	Ressources	Installation des fossés de déviation*													
			Excavation du fossé et retrait du conduit					Stabilisation du fossé					Total (\$)	Durée d'exécution		
			M.	Dé_M.	D_Op.	D_Autre.	Durée	Coût (\$)	M_Sta.	Dé_Sta.	D_Op_Sta.	D_Autre_Sta.			Durée	Coût (\$)
T004-8S	12	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h	442	0	0	27	7m49s	24,56	0	0	0	0	0	0,00	24,56	7m49s
		Superviseur : 57,20 \$/h	442	0	27	0	7m49s		0	0	0	0	0	0,00		
T18-2 (A)	12	Excavatrice (Komatsu PC210LC) : 131,30 \$/h	640	0	0	0	10m40s	33,51	0	0	0	0	0	0,00	33,51	10m40s
		Superviseur : 57,20 \$/h	640	0	0	0	10m40s		0	0	0	0	0	0,00		
T18-2 (B)	12	Excavatrice (Komatsu PC210LC) : 131,30 \$/h	625	0	0	42	11m07s	34,93	0	0	0	0	0	0,00	34,93	11m07s
		Superviseur : 57,20 \$/h	625	0	42	0	11m07s		0	0	0	0	0	0,00		
T18-2 (C)	12	Excavatrice (Komatsu PC210LC) : 131,30 \$/h	656	0	0	62	11m58s	37,60	0	0	0	0	0	0,00	37,60	11m58s
		Superviseur : 57,20 \$/h	656	0	62	0	11m58s		0	0	0	0	0	0,00		
T004-7	12	Excavatrice (CAT 336E) : 162,60 \$/h	632	0	0	0	10m32s	38,59	0	0	0	0	0	0,00	38,59	10m32s
		Superviseur : 57,20 \$/h	632	0	0	0	10m32s		0	0	0	0	0	0,00		
T007-3	12	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h	866	0	150	72	18m08s	56,97	0	0	0	0	0	0,00	56,97	18m08s
		Superviseur : 57,20 \$/h	866	0	222	0	18m08s		0	0	0	0	0	0,00		
T007-4S	12	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h	907	0	26	0	15m33s	48,85	75	140	0	0	3m35s	11,26	60,11	19m08s
		Superviseur : 57,20 \$/h	907	0	26	0	15m33s		75	140	0	0	3m35s			
T15-3 (A)	12	Excavatrice (JD 350G) : 162,60 \$/h	2126	0	216	0	39m02s	142,99	0	0	0	0	0	0,00	142,99	39m02s
		Superviseur : 57,20 \$/h	2126	0	216	0	39m02s		0	0	0	0	0	0,00		
T15-3 (B)	12	Excavatrice (JD 350G) : 162,60 \$/h	2616	0	16	0	43m52s	160,70	314	15	29	0	5m58s	21,86	160,7	49m50s
		Superviseur : 57,20 \$/h	2616	0	16	0	43m52s		314	0	44	0	5m58s			

*Les valeurs (coûts et de durée) sont associées à l'aménagement d'une seule structure de déviation des eaux de ruissellement.

Tableau 2.3.2 : Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement – Fossés de déviation (données transformées).

Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellements - Fossés de déviation (lot de travail de niveau 2)								
Site d'étude	Longueur (m)	Ressources	Installation des fossés de déviation				Durée d'exécution	Total (\$)
			Excavation des fossés et retrait des conduits		Stabilisation des fossés			
			Durée	Coût (\$)	Durée	Coût (\$)		
T004-8S	12	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h	15m38s	49,12	0	0	15m38s	49,12
		Superviseur : 57,20 \$/h	15m38s		0	0		
T18-2 (A)	12	Excavatrice (Komatsu PC210LC) : 131,30 \$/h	21m20s	67,02	0	0	21m20s	67,02
		Superviseur : 57,20 \$/h	21m20s		0	0		
T18-2 (B)	12	Excavatrice (Komatsu PC210LC) : 131,30 \$/h	22m14s	69,86	0	0	22m14s	69,86
		Superviseur : 57,20 \$/h	22m14s		0	0		
T18-2 (C)	12	Excavatrice (Komatsu PC210LC) : 131,30 \$/h	23m56s	75,20	0	0	23m56s	75,20
		Superviseur : 57,20 \$/h	23m56s		0	0		
T004-7	12	Excavatrice (CAT 336E) : 162,60 \$/h	21m04s	77,18	0	0	21m04s	77,18
		Superviseur : 57,20 \$/h	21m04s		0	0		
T007-3	12	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h	36m16s	113,94	0	0	36m16s	113,94
		Superviseur : 57,20 \$/h	36m16s		0	0		
T007-4S	12	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h	31m06s	97,70	7m10s	22,52	38m16s	120,22
		Superviseur : 57,20 \$/h	31m06s		7m10s			
T15-3 (A)	12	Excavatrice (JD 350G) : 162,60 \$/h	1h18m04s	285,98	0	0	1h18m04s	285,98
		Superviseur : 57,20 \$/h	1h18m04s		0	0		
T15-3 (B)	12	Excavatrice (JD 350G) : 162,60 \$/h	1h27m44s	321,40	11m56s	43,72	1h39m40s	365,12
		Superviseur : 57,20 \$/h	1h27m44s		11m56s			

***Donnée ajoutée ou ajustée.**

Tableau 2.4.2. : Documentation des travaux et évaluations par des experts : Stabilisation finale – Paillis et semences (données transformées).

Stabilisation finale - Paillis et semences (lot de travail de niveau 2)								
Site d'étude	Ressources	Ensemencement et paillage (lot de travail de niveau 3)						
		Préparation (s)	Disposition (s)	Durée	Coût (\$)	Matériaux	Coût (\$)	Total (\$)
T006-5	Ouvrier (57,20 \$/h)	327	2221	42m28s	40,48	4 balles de pailles et 10 kg de semences,	75,00	115,48
T004-8S	Ouvrier (57,20 \$/h)	380	3143	58m43s	55,98	4 balles de pailles et 10 kg de semences,	75,00	130,98
T004-3	Ouvrier (57,20 \$/h)	N.D.	N.D.	1h	57,20	4 balles de pailles et 10 kg de semences,	75,00	132,20
T006-7	Ouvrier (57,20 \$/h)	642	4072	1h18m34s	74,90	4 balles de pailles et 10 kg de semences,	75,00	149,90
T3-C008-09	Trois ouvriers (57,20 \$/h par ouvrier)	N.D.	N.D.	45m	128,70	4 balles de pailles et 10 kg de semences,	75,00	203,70

**Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise (Hydro-Québec et Groupe TCI 2019).*

Annexe 3 : Mode de gestion par fermeture – Ouvrage amovible

Tableau 3.2.1 : Préparation – Ouvrage amovible (données brutes et transformées).

Préparation (lot de travail de niveau 2) : Données brutes et transformées			
Lots de travail	Avis d'experts, (Contremaîtres, Boisaco et Chantiers Chibougamau, 2019). PLM (5 à 6 m) et LT (6,2 à 7,2 m).	Volpé, 2018. PLM (6 m) et LT (7,2 m).	Site Boisaco. PLM (5 m) et LT (6,2 m).
Ressources :	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier	Ouvrier : 57,20 \$/h	Ouvriers : 57,20 \$/h par ouvrier
Préparation de la membrane géotextile	2 x 15m	1 x 1h	2 x 10m30s
Installation des ancrages	2 x 20 m	1 x 9h	2 x 20m
Installation des garde-roues	2 x 3h		2 x 5h
Durée d'exécution	3h35m	10h	5h30m30s
Total (\$)	409,93	572,00	630,15
*Donnée ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.			

Tableau 3.4.1 : Installation de l'ouvrage amovible – Données brutes.

Installation de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2) : Données brutes																													
Site d'étude	Portée libre maximale (m)	Longueur tabliers (m)	Dégagement amont (m)	Type d'appuis	Distance déplacement matériel (m)	Ressources	Mise en forme des approches (s)					Aménager les appuis (s)					Montage (s)					Durée d'exécution totale	Coût opérations (\$)						
							Nivellement					Stabilisation					Montage (s)												
							M	Dé_M	D_Op	D_Autre	Durée d'exéc.	M	Dé_M	D_Op	D_Autre	Durée d'exéc.	M	Dé_M	D_Op	D_Autre	Durée d'exéc.			M	Dé_M	D_Op	D_Autre	Durée d'exéc.	
Site Chantiers Chibougamau	6	7.2	1.8	Remblais de nivellement (1.5 m) et matelas-culées.	500	Excavatrice (CAT 330) : 162,60 \$/h	1810	0	95	41	9146	1507	0	937	32	9676	5618	316	1100	48	16564	554	919	1165	0	2638	10h33m44s	2 795,44	
						Camion benne articulé 6x6 (JD 260E) : 178,35 \$/h	0	0	0	0	1200	0	0	0	0	3600	0	0	0	0	2400	0	0	0	0	0			
						Superviseur : 57,20 \$/h	1810	0	95	41	9146	1507	0	937	32	9676	5618	316	1100	48	16564	1088	919	631	0	2638			
						Ouvrier : 57,20 \$/h	0	0	0	0	0	1109	0	0	0	1109	1824	0	324	0	3627	1719	919	0	0	2638			
Site Boisaco	5	6.2	0.6	Coussin nivellement et matelas-culées.	30	Excavatrice (CAT 336) : 162,60 \$/h	0	0	0	0	7200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7200	521	1025	1123	0	2669	7h11m06s	1 760,37
						Excavatrice (Koma 240 LC) : 140,20 \$/h	3927	23	0	94	4044	1358	1048	2288	59	4753	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
						Superviseur : 57,20 \$/h	3927	23	0	94	11244	1590	1048	2056	59	4753	0	0	0	0	0	7200	615	1025	1029	0	2669		
						Ouvriers (2) : 57,20 \$/h par ouvrier	0	0	0	0	0	1590	1048	2056	59	4753	0	0	0	0	0	0	615	1025	1029	0	2669		
Référence ou source	Portée libre maximale (m)	Longueur tabliers (m)	Dégagement amont (m)	Type d'appuis	Distance déplacement matériel (m)	Ressources	Mise en forme des approches					Aménager les appuis					Montage (s)					Durée d'exéc. tot.	Coût opérations (\$)						
Morisette, 2017.	5	6.2	N.D.	Coussin nivellement et matelas-culées.	N.D.	Excavatrice (Koma PC290LC) : 148,90 \$/h	1h					2h30m					30m					4h	1 282,00						
						Superviseur : 57,20 \$/h	1h					2h30m					30m												
						Ouvriers (2) : 57,20 \$/h par ouvrier	2 x 1h					2 x 2h30m					2 x 30m												
						Excavatrices (35 tonnes) : 162,60 \$/h par machine	2 x 8h					2 x 10h					2 x 1h												
Volpé, 2018.	6	7.2	N.D.	Remblais de nivellement et matelas-culées.	N.D.	Camion benne articulé 6x6 (A35D ou A40D) : 213,15 \$/h	8h					4h					0					19h	10 094,20						
						Superviseur : 57,20 \$/h	8h					10h					1h												
						Ouvriers (2 à 3) : 57,20 \$/h par ouvrier	0					3 x 1h					2 x 1h												
						Excavatrice 35 tonnes : 162,60 \$/h	1h					4h																	
Avis d'experts, Contremaîtres, Boisaco et Chantiers	6	7.2	N.D.	Coussin nivellement et matelas-culées.	N.D.	Camion benne articulé 6x6 (JD 260E) : 178,35 \$/h	1h					0										5h	1 849,35						
						Superviseur : 57,20 \$/h	1h					4h																	
						Ouvriers (2) : 57,20 \$/h par ouvrier	2 x 1h					2 x 4h																	

Notes : Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise. Donnée ajoutée ou ajustée.

Tableau 3.4.2 : Installation de l'ouvrage amovible – Données transformées.

Installation de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2) : Données transformées																	
Site d'étude	Portée libre maximale (m)	Longueur tabliers (m)	Dégagement amont (m)	Type d'appuis	Distance déplacement matériel (m)	Ressources	Mise en forme des approches	Aménager les appuis		Montage	Durée d'exéc. tot.	Coût opérations (\$)	Coût matériaux (\$)		Total (\$)		
								Nivellement	Stabilisation				Pont-dalles temporaires	Membrane géotextile			
Site Chantiers Chibougamau	6	7.2	1.8	Remblais de nivellement (1.5 m) et matelas-culées.	500	Excavatrice (CAT 330) : 162,60 \$/h	2h32m26s	2h41m16s	4h36m04s	43m58s	10h33m44s	2 795,44	3 454,48	600,00	6 849,92		
						Camion benne articulé 6x6 (JD 260E) : 178,35 \$/h	20m	1h	40m								
						Superviseur : 57,20 \$/h	2h32m26s	2h41m16s	4h36m04s	43m58s							
						Ouvrier : 57,20 \$/h		18m29s	1h00m27s	43m58s							
Site Boisaco	5	6.2	0.6	Coussin nivellement et matelas-culées.	30	Excavatrice (CAT 336) : 162,60 \$/h	2h		2h	44m29s	7h11m06s	1 760,37	2 889,94	600,00	5 250,31		
						Excavatrice (Koma 240 LC) : 140,20 \$/h	1h07m24s	1h19m13s									
						Superviseur : 57,20 \$/h	3h07m24s	1h19m13s	2h	44m29s							
						Ouvriers (2) : 57,20 \$/h par ouvrier		1h19m13s		44m29s							
Référence ou source	Portée libre maximale (m)	Longueur tabliers (m)	Dégagement amont (m)	Type d'appuis	Distance déplacement matériel (m)	Ressources	Mise en forme des approches		Aménager les appuis		Montage	Durée d'exéc. tot.	Coût opérations (\$)	Coût matériaux (\$)		Total (\$)	
Morisette, 2017.	5	6.2	N.D.	Coussin nivellement et matelas-culées.	N.D.	Excavatrice (Koma PC290LC) : 148,90 \$/h	1h		2h30m		30m		4h	1 282,00	2 889,94	600,00	4 771,94
						Superviseur : 57,20 \$/h	1h		2h30m		30m						
						Ouvriers (2) : 57,20 \$/h par ouvrier	2 x 1h		2 x 2h30m		2 x 30m						
						Excavatrices (35 tonnes) : 162,60 \$/h par machine	2 x 8h		2 x 10h		2 x 1h						
Volpé, 2018.	6	7.2	N.D.	Remblais de nivellement et matelas-culées.	N.D.	Camion benne articulé 6x6 (A35D ou A40D) : 213,15 \$/h	8h		4h		0		19h	10 094,20	3 454,48	600,00	14 148,68
						Superviseur : 57,20 \$/h	8h		10h		1h						
						Ouvriers (2 à 3) : 57,20 \$/h par ouvrier	0		3 x 1h		2 x 1h						
						Excavatrice 35 tonnes : 162,60 \$/h	1h		4h								
Avis d'experts, Contremaîtres, Boisaco et Chantiers	6	7.2	N.D.	Coussin nivellement et matelas-culées.	N.D.	Camion benne articulé 6x6 (JD 260E) : 178,35 \$/h	1h						5h	1 849,35	3 454,48	600,00	5 903,83
						Superviseur : 57,20 \$/h	1h		4h								
						Ouvriers (2) : 57,20 \$/h par ouvrier	2 x 1h		2 x 4h								

Notes : Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise. Donnée ajoutée ou ajustée.

Tableau 3.7.1 : Documentation des travaux de fermeture de chemin et évaluations par des experts : Retrait de l'ouvrage amovible (données brutes).

Retrait de l'ouvrage amovible (lot de travail de niveau 2) : Données brutes																																														
Site d'étude	Portée libre maximale (m)	Longueur tablier (m)	Dépassement amont (m)	Types d'appuis	Distance déplacement matériel (m)	Ressources	Retrait du matériel remblai (s)										Démontage (s)										Retrait des appuis (s)										Remise en état des berges (s)									
							Matériel granulaire					Radier et débris ligneux					Durée tot.	Tablets et matelas-culées					Durée tot.	Matériel granulaire					Radier et débris ligneux					Durée tot.	Stabilisation					Durée tot.						
							M	Dc	M	D	Op	M	Dc	M	D	Op		M	Dc	M	D	Op		M	Dc	M	D	Op	M	Dc	M	D	Op		M	Dc	M	D	Op							
T1-C008-SMD	3	6.2	1.25	Cousin nivellement, radier de bois et matelas-culées	20	Excavatrice (CAT139E) : 162,60 \$/h	655	0	79	0	891	703	36	48	2412	197	383	1565	61	2206	252	0	121	15	294	394	0	0	1076	200	367	0	0	567												
						Superviseur : 57,20 \$/h	0	0	0	0	0	0	0	0	1565	383	197	61	2206	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
						Ouvrier : 57,20 \$/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
						Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h	7947	0	1043	165	8635	1950	664	194	20998	228	0	467	31	726	86	0	0	0	242	226	0	0	554	0	0	0	0	0												
T004-3	1.5	2.8	0.5	Cousin nivellement et radier de bois	210	Superviseur : 57,20 \$/h	7947	0	1043	165	8635	1950	664	194	20998	228	0	467	31	726	86	0	0	0	242	226	0	0	554	0	0	0	0	0												
						Canon benne articulée 666 (JD 280E) : 178,35 \$/h	2562	3886	0	0	1399	1540	0	0	9387	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
						Transporteur : 207,82 \$/h	0	0	0	0	3909	6427	169	0	10905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
						Ouvrier : 57,20 \$/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	467	0	228	31	726	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
T004-8S	3	6.2	1	Remblai nivellement (0,75 à 1 m) et radier de bois	130	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h	14212	0	6244	257	11906	2204	1300	113	36236	310	0	564	50	924	150	0	0	0	781	188	0	0	1119	0	0	0	0	0												
						Superviseur : 57,20 \$/h	14212	0	6244	257	11906	2204	1300	113	36236	310	0	564	50	924	150	0	0	0	781	188	0	0	1119	0	0	0	0	0												
						Canon benne articulée 666 (JD 280E) : 178,35 \$/h	5887	8404	0	0	2653	4341	59	0	21344	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
						Transporteur : 207,82 \$/h	0	0	0	0	7083	8177	0	0	15262	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
T007-7S	1.5	2.8	0.5	Cousin nivellement et radier de bois	100	Excavatrice (JD 210G) : 131,30 \$/h	1207	0	0	141	6499	32	31	72	7982	456	149	0	91	696	78	0	0	0	1497	204	0	0	1779	0	0	0	0	0												
						Superviseur : 57,20 \$/h	1207	0	0	141	6499	32	31	72	7982	456	149	0	91	696	78	0	0	0	1497	204	0	0	1779	0	0	0	0	0												
						Transporteur : 207,82 \$/h	0	0	0	0	2621	2819	0	0	5440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
						Ouvrier : 57,20 \$/h	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
Référence ou source	Portée libre maximale (m)	Longueur tablier (m)	Dépassement amont (m)	Types d'appuis	Distance déplacement matériel (m)	Ressources	Retrait du matériel remblai										Démontage										Retrait des appuis										Remise en état des berges									
Avis d'experts, (Contremâtres, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019)	5	6.2	N.D.	Cousin nivellement et matelas-culées	20	Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h																					4h																			
						Superviseur : 57,20 \$/h																					4h																			
						Ouvrier : 57,20 \$/h																					4h																			
						Excavatrice (30 tonnes) : 162,60 \$/h																					5h																			
Avis d'experts, (Contremâtres, Hydro-Québec et Groupe TCI, 2019)	6	7.2	N.D.	Cousin nivellement et matelas-culées	20	Superviseur : 57,20 \$/h																					5h																			
						Ouvrier : 57,20 \$/h																					5h																			

Notes : Données fournies, ajustées ou estimées à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et autre. Données ajustées ou ajoutées.

Tableau 4.3.2.1 : Documentation des travaux – Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (données transformées).

Installation de la traverse à gué aménagée par enrochement (lot de travail de niveau 2) : Données transformées																								
Sites d'étude	Largeur LHE (m)	Dimensions de l'enrochement	Distance déplacement matériel (m)	Ressources	Préparation			Manutention des matériaux			Aménagement des approches			Aménagement du lit			Matériaux (\$)		Durée d'exécution	Total (\$)				
					Prép. membrane géo.	Durée tot.	Coût (\$)	Chargement et déchargement	Transport	Durée tot.	Coût (\$)	Exca. surface rout.	Erosc. surface rout.	Durée tot.	Coût (\$)	Exca. surface rout.	Erosc. surface rout.	Stabilisation lit et berges			Durée tot.	Coût (\$)	Matériau d'enroc.	Membrane géotextile
T007-03	0,75 à 1	Approche : Entrées = 18 x 4 m. Approche : Sortie = 17,5 x 4 m. Lit = 1 x 4 m.	60	Excavatrice (JD 210G LC) : 131,30 \$/h	0	2m22s	4,51	0	0	0	1h03m16s	3h17m52s	4h21m08s	850,26	22m17s	50m17s	3h03m50s	2h16m24s	428,58	732,90	200,00	10h09m54s	3298,50	
				Superviseur : 57,20 \$/h	0			0	0	0	0	0			0	0	0							0
				Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	2 x 2m22s			0	0	0	31m20s	0			0	0	0							0
				Camions benne 10 roues : 120,25 \$/h par machine	0			2 x 30m	2 x 4h	0	0	0			0	0	0							0
T007-45	0,75 à 1	Approche : Entrées = 20 x 4 m. Approche : Sortie = 20 x 4 m. Lit = 1 x 4 m.	20	Excavatrice (JD 210G LC) : 131,30 \$/h	0	4m52s	9,28	0	0	0	48m08s	1h39m40s	2h27m48s	509,64	3m51s	21m23s	28m06s	53m19s	167,50	732,90	200,00	7h00m59s	2701,57	
				Superviseur : 57,20 \$/h	0			0	0	0	0	0			0	0	0							
				Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	2 x 4m52s			0	0	0	47m31s	0			0	0	0							
				Camions benne 10 roues : 120,25 \$/h par machine	0			2 x 30m	2 x 4h	0	0	0			0	0	0							
T18-2	1 à 1,5	Approche : Entrées = 12 x 3 m. Approche : Sortie = 7,5 x 3 m. Lit = 1,25 x 3 m.	15	Excavatrice (Komatsu PC200LC) : 131,30 \$/h	0	5m29s	10,45	0	0	0	34m09s	33m48s	1h07m57	217,16	2m47s	11m40s	7m12s	21m39s	68,02	418,80	200,00	5h05m05s	1455,55	
				Superviseur : 57,20 \$/h	0			0	0	0	0	0			0	0	0							
				Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	2 x 5m29s			0	0	0	3m52s	0			0	0	0							
				Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	0			1 x 30m	1 x 4h	0	0	0			0	0	0							
T425-2	1 à 1,5	Approche : Entrées = 9 x 4,75 m. Approche : Sortie = 4 x 4,75 m. Lit = 1 x 4,75 m.	10	Excavatrice (CAT 312D) : 114 \$/h	0	0	0,00	0	0	0	3h02m57s	50m03s	3h53m	664,83	N.D.	N.D.	12m21s	Incomplet	Incomplet	523,50	0,00	Incomplet	Incomplet	
				Superviseur : 57,20 \$/h	0			0	0	0	0	0			0	0								
				Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	0			0	0	0	0	0			0	0								
				Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	0			1 x 45m	1 x 6h	0	0	0			0	0								
101+100	2 à 3	Approche : Entrées = 23 x 3 m. Approche : Sortie = 4 x 3 m. Lit = 2,5 x 3 m.	10	Excavatrice (JD 225G) : 131,30 \$/h	0	0	0,00	0	0	0	6m	28m50s	34m50s	105,43	1m44s	5m58s	5m17s	12m59s	40,79	209,40	0,00	2h02m49s	626,18	
				Superviseur : 57,20 \$/h	0			0	0	0	0	0			0	0								
				Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	0			0	0	0	0	0			0	0								
				Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	0			1 x 15m	1 x 2h	0	0	0			0	0								
T15-3	2 à 3	Approche : Entrées = 23 x 4,5 m. Approche : Sortie = 22 x 4,5 m. Lit = 2,5 x 4,5 m.	40	Excavatrice (JD 350G) : 162,60 \$/h	0	12m32s	24,53	0	0	0	1h18m26s	1h04m50s	2h23m16s	548,87	14m19s	9m43s	28m58s	53m	194,15	837,60	200,00	6h58m48s	2887,40	
				Superviseur : 57,20 \$/h	0			0	0	0	0	0			0	0								
				Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	2 x 12m32s			0	0	0	25m13s	0			0	0								
				Camions benne 10 roues : 120,25 \$/h par machine	0			2 x 30m	2 x 4h	0	0	0			0	0								
Site Perdu	2 à 3	Approche : Entrées = 26 x 4,5 m. Approche : Sortie = 22,5 x 4,5 m. Lit = 2,5 x 4,5 m.	40	Excavatrice (CAT 330C-1) : 162,60 \$/h	0	3m33s	6,77	0	0	0	1h16m13s	1h41m17s	4h30m	1082,25	27m14s	22m48s	8m09s	59m01s	216,20	837,60	200,00	7h30m04s	3023,00	
				Superviseur : 57,20 \$/h	0			0	0	0	0	0			0	0								
				Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	2 x 3m33s			0	0	0	31m24s	0			0	0								
				Camions benne 10 roues : 120,25 \$/h par machine	0			2 x 30m	2 x 4h	0	0	0			0	0								
10	3 à 4	Approche : Entrées = 5 x 4 m. Approche : Sortie = 4 x 4 m. Lit = 3,5 x 4 m.	45	Excavatrice (CAT 312B) : 114 \$/h	0	0	0,00	0	0	0	52m52s	1h21m45s	4h30m	541,12	3m48s	24m40s	0	28m28s	81,22	418,80	0,00	6h13m05s	1425,25	
				Superviseur : 57,20 \$/h	0			0	0	0	0	0			0	0								
				Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	0			0	0	0	0	0			0	0								
				Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	0			1 x 30m	1 x 4h	0	0	0			0	0								
51	4 à 4,5	Approche : Entrées = 22 x 4 m. Approche : Sortie = 4 x 4 m. Lit = 4 x 4 m.	10	Excavatrice (Volvo ECR235D) : 131,30 \$/h	0	0	0,00	0	0	0	1h55m30s	52m31s	6h45m	811,69	6m25s	4m42s	23m31s	34m38s	108,81	628,20	0,00	9h07m39s	2076,55	
				Superviseur : 57,20 \$/h	0			0	0	0	0	0			0	0								
				Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	0			0	0	0	0	0			0	0								
				Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	0			1 x 45m	1 x 6h	0	0	0			0	0								
41	5 à 6	Approche : Entrées = 22 x 4 m. Approche : Sortie = 11 x 4 m. Lit = 5 x 4 m.	10 à 20	Excavatrice (Volvo ECR235D) : 131,30 \$/h	0	0	0,00	0	0	0	46m22s	1h41m33s	9h	1082,25	9m30s	27m29s	0	36m59s	116,19	837,60	0,00	11h04m54s	2500,74	
				Superviseur : 57,20 \$/h	0			0	0	0	0	0			0	0								
				Ouvrier(s) : 57,20 \$/h par ouvrier	0			0	0	0	0	0			0	0								
				Camion benne 10 roues : 120,25 \$/h	0			1 x 1h	1 x 8h	0	0	0			0	0								

*Donnée fournie, ajustée ou estimée à l'aide d'experts ou de la revue de littérature scientifique et grise.