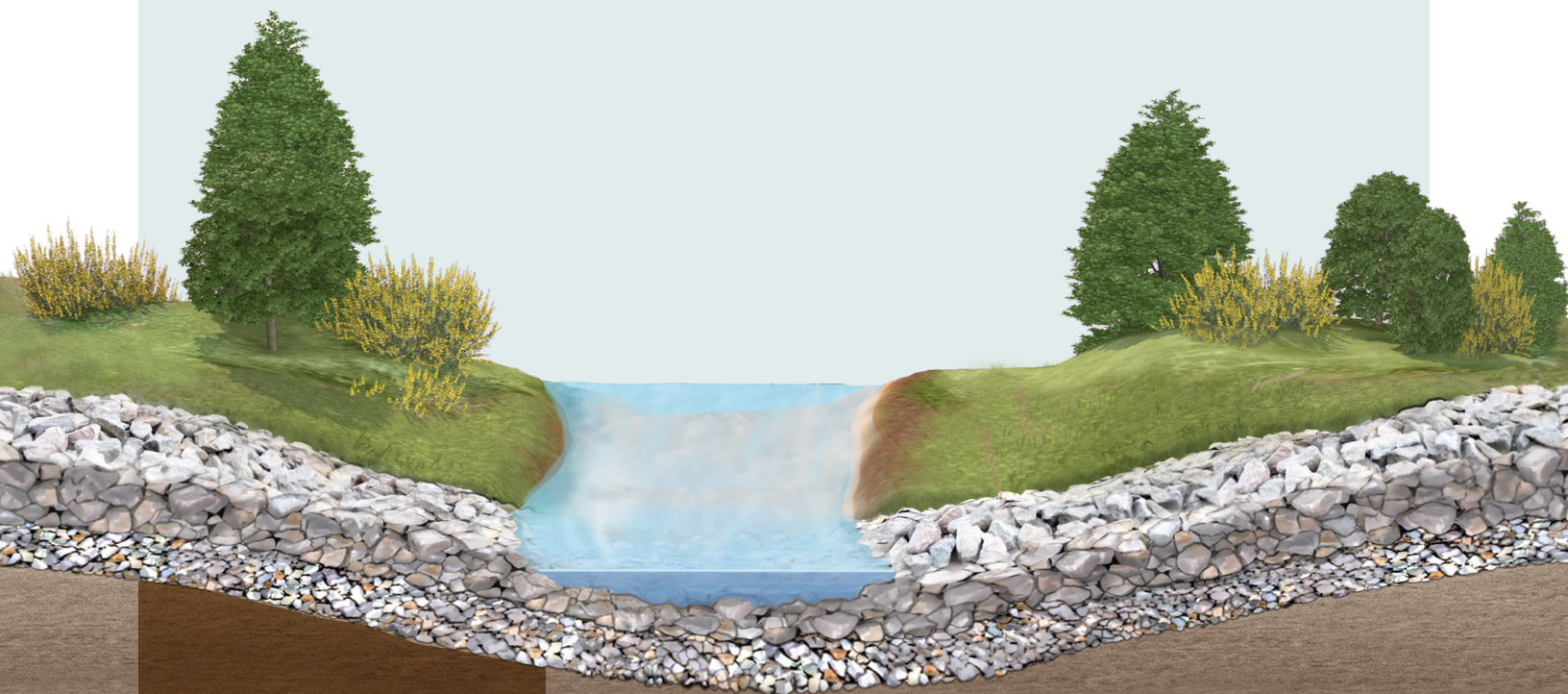


GUIDE

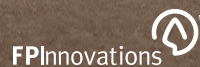
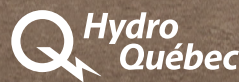
DE SAINES PRATIQUES POUR LES CHEMINS FORESTIERS À FAIBLE UTILISATION

Stratégies de gestion et de mise en application



HIVER 2022

Sylvain Jutras, ing.f., Ph.D.
Philippe Paradis-Lacombe, ing., M.Sc.
Olivier Ferland
Karelle Gilbert, M.Sc.
Audrey-Anne Grenier
Elsa Goerig, Ph.D.
Normand É. Bergeron, Ph.D.



Faculté de foresterie,
de géographie
et de géomatique



UNIVERSITÉ
LAVAL

Avant-propos

Ce guide s'adresse aux intervenants et intervenantes qui doivent planifier ou réaliser, à court, moyen et long terme, des travaux de voirie sur des chemins forestiers à faible utilisation. Ces chemins sont caractérisés par une construction initiale visant une période d'utilisation intensive généralement courte, telles que l'extraction de bois ou la construction de ligne électrique, suivie d'une longue période d'utilisation sporadique par des véhicules légers.

Le guide présente des saines pratiques de gestion des chemins forestiers visant à assurer la durabilité et la résilience des structures qui les composent (chaussées,

traverses de cours d'eau, fossés, etc.) tout en réduisant leurs impacts sur les milieux aquatiques et en assurant la sécurité des utilisateurs. Pour ce faire, l'accent est mis sur la description de techniques permettant de réduire les apports de sédiments liés à la construction, l'utilisation et l'entretien des chemins à faible utilisation.

Des stratégies visant une gestion responsable des chemins forestiers à faible utilisation sont présentées. Elles vont de l'étape de leur planification jusqu'à leur fin de vie utile, en tenant compte de leur utilisation une fois que l'usage pour laquelle ils avaient été construits est terminé.

Ce guide ne remplace pas les cadres légaux et réglementaires en vigueur sur les territoires publics et privés du Québec, mais vise plutôt à s'y ajouter. Toutefois, plusieurs saines pratiques et recommandations faites dans ce guide pourraient ne pas respecter les règles en vigueur selon certaines situations étant donné leur caractère novateur axé sur la recherche et l'expérimentation. Il est donc important pour le lecteur de bien analyser les règles s'appliquant à sa situation avant la réalisation d'interventions proposées dans ce guide.

Financement et collaborateurs

Ce guide a été produit grâce à la collaboration et au financement obtenus par le biais d'un projet financé, en partie, par le programme de «subvention de recherche et développement coopérative» (RDC) du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) intitulé «**Développement de méthodes de mise hors service des chemins à faible fréquentation**». Ce projet s'est déroulé du 1^{er} avril 2017 au 31 mars 2022, sous la supervision de Sylvain Jutras, ing.f., Ph.D., professeur titulaire, spécialisé en hydrologie forestière, au Département des sciences du bois et de la forêt de la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique de l'Université Laval. La

co-supervision du projet a été assurée par Normand Bergeron, Ph.D., professeur spécialisée en géomorphologie et habitat fluvial au Centre Eau, Terre et Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) et par Nancy Gélinas, Ph.D., professeure titulaire, spécialisée en économie forestière, au Département des sciences du bois et de la forêt de la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique de l'Université Laval. Ce projet a été appuyé techniquement et financièrement par Hydro-Québec (Trans-Énergie), Énergir (anciennement Gaz Métro), le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec (MFFP) et FPIinnovations. Des

partenaires supplémentaires ont participé à différentes étapes cruciales du projet, dont le Conseil des Innus de Pessamit, le Séminaire de Québec, Pêches et Océans Canada (MPO), le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (MELCC) de même qu'André P. Plamondon, Kathy Pouliot et Vicky Larocque. Les auteurs de ce guide tiennent à souligner l'indispensable collaboration de chacune des personnes représentant ces partenaires au cours des nombreuses étapes de planification et de réalisation des travaux de recherche pendant ce projet. Sans leur apport constructif et leur engagement actif, ce guide n'aurait pu être complété.

CITATION

La référence bibliographique à ce guide est:

Jutras, S., Paradis-Lacombe, P., Ferland, O., Gilbert, K., Grenier, A-A., Goerig, E. et Bergeron, N.É. 2022. Guide de saines pratiques pour les chemins forestiers à faible utilisation – Stratégies de gestion et de mise en application. Université Laval. Québec, Québec, Canada. 80 pages

Sources des figures, images et photos

Quelques figures sont tirées directement du *Guide d'application du Règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'État* et ont été reproduites à partir de la publication en ligne disponible à l'adresse <http://mffp.gouv.qc.ca/RADF/guide/>.

Table des matières

Avant-propos	i
Financement et collaborateurs	i
Table des matières	ii
Liste des figures et des tableaux	v
Glossaire	vii
Liste des acronymes	viii
Introduction	1
1. Enjeux liés aux chemins forestiers à faible utilisation	3
1.1. État des chemins forestiers publics au Québec	3
1.2. Effets du réseau de chemins forestiers sur l'habitat aquatique	4
1.2.1. Entraves à la libre circulation du poisson	4
1.2.2. Apports de sédiments dans les cours d'eau	5
2. Description des structures de voirie forestière	6
2.1. Types de chemins forestiers	6
2.1.1. Chemins à faible utilisation	6
2.1.2. Données cartographiques des chemins multiusages	6
2.2. Types d'ouvrages pour traverser les cours d'eau	7
2.3. Types de structures de drainage	9
2.3.1. Fossés de drainage	9
2.3.2. Conduits de drainage	9
2.3.3. Barres d'eau	9
2.3.4. Creux drainants	10
2.3.5. Fossés de déviation	10
3. Stratégies de gestion pour les chemins à faible utilisation	11
3.1. Stratégies par entretien préventif des structures	14
3.2. Stratégies par adaptation des structures	14
3.3. Stratégies par fermeture du chemin	15
4. Saines pratiques de gestion des chemins à faible utilisation	16
4.1. Ouvrages préconisés sur les chemins à faible utilisation	16
4.1.1. Ouvrages pour traverser les cours d'eau	16
4.1.1.1. Traverses de type ponceau	16
4.1.1.2. Traverses à gué aménagées	18
4.1.1.2.1. Description sommaire	18
4.1.1.2.2. Analyse préliminaire du site	18
4.1.1.2.2.1. Pente des approches et des berges du cours d'eau	18
4.1.1.2.2.2. Pente longitudinale du cours d'eau	19
4.1.1.2.2.3. Morphologie du cours d'eau	20
4.1.1.2.2.4. Matériaux composant le lit et les berges	20
4.1.1.2.2.5. Considérations fauniques	20
4.1.1.2.3. Paramètres de conception	20
4.1.1.2.3.1. Calcul du débit de conception au site de traversée	21

4.1.1.2.3.2. Calcul de la hauteur d'eau et des vitesses d'écoulement au site de traversée.....	22
4.1.1.2.3.3. Conception de l'enrochement de protection.....	25
4.1.1.2.3.3.1. Sélection du type de pierres.....	25
4.1.1.2.3.3.2. Calcul du calibre de l'enrochement.....	26
4.1.1.2.3.3.3. Calcul de l'épaisseur de l'enrochement pour la surface de roulement.....	27
4.1.1.2.3.3.4. Calcul de la gradation des pierres de l'enrochement.....	27
4.1.1.2.3.3.5. Conception du filtre sous l'enrochement.....	27
4.1.1.2.3.3.6. Conception du para fouille et de la clé d'ancrage (optionnel).....	28
4.1.1.2.3.4. Résumé concernant la conception des traverses à gué aménagées.....	28
4.1.1.2.4. Installation d'une traverse à gué aménagée selon la conception établie.....	28
4.1.1.2.4.1. Préparation.....	29
4.1.1.2.4.2. Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement.....	29
4.1.1.2.4.3. Aménagement des approches.....	30
4.1.1.2.4.4. Aménagement du lit et des berges.....	31
4.1.1.2.4.5. Stabilisation finale.....	32
4.1.1.2.4.6. Adaptation de la procédure d'installation de la TGA en l'absence d'une structure permettant le passage de la machinerie.....	32
4.1.1.2.4.7. Signalisation.....	33
4.1.1.2.5. Enjeux de sécurité.....	33
4.1.1.2.6. Qualité de l'eau et prises d'eau potable.....	33
4.1.1.2.7. Enjeux sur les habitats aquatiques.....	33
4.1.1.2.8. Travaux de recherche supplémentaires recommandés.....	35
4.1.1.3. Traverses de cours d'eau temporaires.....	35
4.1.1.3.1. Types de traverses de cours d'eau temporaires.....	35
4.1.1.3.2. Planification.....	36
4.1.1.3.2.1. Évaluation du site de traversée pour l'installation.....	36
4.1.1.3.2.2. Portée libre.....	36
4.1.1.3.2.3. Hauteur des appuis.....	37
4.1.1.3.2.4. Sélection du type d'appui aménagé.....	37
4.1.1.3.3. Composition d'un pont temporaire.....	37
4.1.1.3.3.1. Tablier.....	37
4.1.1.3.3.2. Appuis.....	38
4.1.1.3.3.2.1. Appui constitué d'un coussin de nivellement.....	38
4.1.1.3.3.2.2. Appui constitué d'un remblai de nivellement.....	39
4.1.1.3.3.3. Avantages et inconvénients.....	39
4.1.1.3.4. Installation.....	40
4.1.1.3.4.1. Aménagement des appuis.....	40
4.1.1.3.4.2. Montage.....	40
4.1.1.3.4.3. Mise en forme des approches.....	41
4.1.1.3.4.4. Finition.....	41
4.1.2. Structures de drainage.....	42
4.1.2.1. Fossés.....	42
4.1.2.2. Conduits de drainage.....	43
4.1.2.3. Bassins de sédimentation.....	44
4.1.2.4. Barres d'eau.....	44
4.1.2.5. Creux drainant.....	45
4.1.2.6. Fossés de déviation.....	46
4.1.3. Exemple d'adaptation d'un chemin forestier.....	46

4.2. Entretien préventif des chemins forestiers à faible utilisation.....	48
4.2.1. Objectifs de l'entretien préventif	48
4.2.2. Inventaire des structures.....	48
4.2.3. Inspection des structures	48
4.2.4. Types d'interventions requises.....	49
4.2.4.1. Contrôle de la végétation.....	49
4.2.4.2. Entretien de la surface de roulement	49
4.2.4.3. Entretien des fossés	49
4.2.4.4. Entretien des conduits de drainage.....	50
4.2.4.5. Entretien des traverses de type ponceau.....	50
4.2.4.6. Entretien des traverses à gué aménagées	51
4.2.4.7. Entretien des ponts temporaires	51
4.2.4.8. Entretien des barres d'eau et des creux drainants	51
4.2.4.9. Entretien des fossés de déviation	52
5. Désactivation de chemins forestiers.....	53
5.1. Mise en œuvre des interventions (point stratégique 1)	54
5.2. Démantèlement des traverses de cours d'eau (point stratégique 2)	54
5.2.1. Principes et étapes de réalisation.....	54
5.2.2. Retrait de l'ouvrage permettant de franchir un cours d'eau.....	55
5.2.2.1. Retrait des composantes réutilisables et des matières résiduelles	55
5.2.2.2. Retrait du matériel de remblai	56
5.2.3. Stabilisation des berges et du lit du cours d'eau.....	56
5.2.4. Stabilisation finale	57
5.2.5. Considérations supplémentaires	58
5.3. Démantèlement du chemin (point stratégique 3)	59
5.3.1. Traitement superficiel - Désactivation temporaire	59
5.3.1.1. Scarification	59
5.3.1.2. Stabilisation finale	60
5.3.2. Traitement partiel du chemin - Désactivation semi-permanente.....	60
5.3.2.1. Refaçonnage du chemin.....	60
5.3.2.2. Stabilisation finale	61
5.3.2.3. Remplacement des structures de drainage des eaux de ruissellement.....	62
5.3.3. Traitement complet du chemin - Désactivation permanente.....	62
5.3.3.1. Démantèlement complet du chemin	62
5.3.3.2. Stabilisation finale	63
5.4. Reboisement de l'emprise du chemin (point stratégique 4).....	63
5.5. Signalisation et obstruction de l'accès (point stratégique 5).....	64
6. Bibliographie.....	66
Annexe 1 Caractérisation des chemins selon leur classement	70
Annexe 2 Prédiction de la durée de vie des TTOG	71

Liste des figures et des tableaux

Liste des figures

Figure 1: Exemple d'un ponceau muni d'un tuyau (MFFP, 2021a) (Source: RADF [art. 95]).	7
Figure 2: Exemple d'un ponceau de bois (MFFP, 2021a) (Source: RADF [annexe 11]).	8
Figure 3: Exemple d'un ouvrage amovible (MFFP, 2021a) (Source: RADF [annexe 11]).	8
Figure 4: Vue d'ensemble d'une traverse à gué aménagée.	8
Figure 6: Conduit de drainage ou ponceau de drainage (MFFP, 2021a).	9
Figure 5: Fossé de drainage.	9
Figure 7: Barre d'eau aménagée.	10
Figure 8: Creux drainant.	10
Figure 9: Fossé de déviation.	10
Figure 10: Schéma 1 – Schéma décisionnel pour le réseau de chemins existants.	12
Figure 11: Schéma 2 – Schéma décisionnel pour la construction de nouveaux chemins ou la réactivation de chemins existants.	13
Figure 12: Exemple d'un ancien ponceau de bois (vue en coupe).	16
Figure 13: Coupe longitudinale d'une traverse à gué aménagée.	19
Figure 14: Vue en coupe dans le sens du cours d'eau d'une traverse à gué aménagée.	19
Figure 15: Schéma 3 - Étapes à suivre pour la conception d'une TGA.	21
Figure 16: Vue en coupe dans le sens du cours d'eau d'une traverse à gué aménagée.	22
Figure 17: Vue en coupe dans le sens du cours d'eau d'une traverse à gué aménagée.	22
Figure 18: Positionnement des sections d'écoulement pour calcul hydraulique simplifié avec l'équation de Manning.	24
Figure 19: Ressaut hydraulique au droit d'une TGA (modélisé avec Hec-Ras).	24
Figure 20: Modélisation 1D d'une TGA avec Hec-Ras (vue de profil).	24
Figure 21: Modélisation 1D d'une TGA avec Hec-Ras (vue 3D).	25
Figure 22: Modélisation 1D d'un tronçon de cours d'eau avec Hec-Ras (vitesses d'écoulement).	25
Figure 23: Exemple illustrant les 3 axes d'une pierre.	25
Figure 24: Coupe transversale d'une TGA avec clé d'ancrage en gabions.	28
Figure 25: Combinaison d'un conduit de drainage de fossé et d'une barre d'eau dans l'approche d'une TGA (deux ans après son installation) (Source O. Ferland 2021).	29
Figure 26: Stabilisation des berges et du lit du cours d'eau (Ferland, 2022).	30
Figure 27: Stabilisation des berges et du lit du cours d'eau (Ferland, 2022).	32
Figure 28: Portée libre (PL) et dégagement (DÉ) d'un pont temporaire (Source: O. Ferland 2020).	36
Figure 29: Dalles de bois lamellé-collé (gauche), dalles en poutres de bois interreliées (droite) et caissons et plaque de fermeture en acier (centre inférieur) (Source O. Ferland 2019 et F. Godin 2020).	37
Figure 30: Éléments d'appui préfabriqués en bois lamellé-croisé (gauche) et en poutres de bois interreliées (droite) sur coussins de nivellement (Source O. Ferland 2019).	38
Figure 31: Appui constitué d'un coussin de nivellement sur lequel est déposé un matelas-culée (Ferland, 2022).	38
Figure 32: Appui constitué d'un remblai de nivellement (Ferland, 2022).	39
Figure 33: Pose d'un élément de tablier préfabriqué (Ferland, 2022).	40
Figure 34: Exemple d'un chemin humide à cause d'un mauvais drainage.	42
Figure 35: Exemple de section d'un fossé.	42
Figure 36: Seuil schématisé dans un fossé.	43
Figure 37: Berme filtrante schématisée.	43
Figure 38: Bassin de sédimentation à 20 m d'un cours d'eau.	44
Figure 39: Barre d'eau aménagée en approche d'une TGA (Source O. Ferland 2020).	44
Figure 40: Vue en profil d'une barre d'eau.	44
Figure 41: Espacement recommandé des barres d'eau (Keller et Sherar, 2003; Maine Forest Service, 2017; Warren, 1998).	45
Figure 42: Exemple de creux drainant.	45
Figure 43: Chemin en dévers schématisé.	45

Figure 44: Fossé de déviation aménagé en approche d'une TGA (Source O. Ferland 2020).....	46
Figure 45: Exemple d'un tronçon de chemin endommagé.....	47
Figure 46: Adaptation d'un chemin forestier endommagé et à faible utilisation	47
Figure 47: Pente transversale d'un chemin forestier.....	49
Figure 48: Accumulation de sédiments à l'entrée d'un conduit de drainage (Source Paradis-Lacombe, 2021).	50
Figure 49: Retrait du matériel de remblai et des matières résiduelles d'un ponceau (Ferland, 2022).	55
Figure 50: Démantèlement d'une traverse de cours d'eau : deux mois après l'ensemencement et le paillage des surfaces perturbées et exposées à l'érosion (Ferland, 2022).....	57
Figure 51: Chemin avant (haut) et après (bas) le remaniement vers l'intérieur.....	60
Figure 52: Chemin avant (haut) et après (bas) le remaniement du matériel vers l'extérieur.....	61

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des principales classes de chemins multiusages (extrait de l'annexe 4 du RADF).....	6
Tableau 2: Problèmes fréquemment rencontrés sur les TTOG et les tuyaux en PEHD et les recommandations associées.	17
Tableau 3: Résultats d'un exemple d'utilisation de l'équation de Manning.....	23
Tableau 4: Taille des pierres requises (Smith, 1995).	26
Tableau 5: Pentes latérales des fossés admissibles en fonction des types de sols (OIFQ, 2009; MAPAQ, 1986).	42

Glossaire

Barre d'eau

Tranchée peu profonde et arrondie creusée à angle dans un chemin en pente de façon à évacuer les eaux de ruissellement de la surface de roulement tout en permettant la circulation des véhicules.

Chemin à faible utilisation

Chemin caractérisé par de courtes périodes d'utilisation intensive par l'utilisateur principal (activités d'aménagement forestier) et de longues périodes de faible utilisation où il est inutilisé ou utilisé irrégulièrement par des utilisateurs secondaires (e.g. activités de prélèvement faunique).

Chemin multiusage

Chemin en milieu forestier construit ou utilisé à des fins multiples, comme les activités d'aménagement forestier, récréotouristiques et de prélèvement faunique (LADTF, art. 41).

Conduit de drainage (ponceau de drainage)

Ouvrage construit sous remblai comportant un conduit qui permet le drainage des eaux de ruissellement d'un côté à l'autre du chemin.

Creux drainant

Point bas aménagé dans un chemin de façon à évacuer les eaux de ruissellement de la surface de roulement tout en permettant aisément la circulation des véhicules.

Dégagement (DÉ)

Correspond à l'espace entre la surface de l'eau et la base du tablier d'un pont temporaire.

Fossé

Canal ouvert visant à évacuer les eaux de ruissellement d'un chemin forestier et ou d'une superficie forestière adjacente à un chemin.

Fossé de déviation

Tranchée creusée à angle à travers un chemin ayant pour objectif de faire traverser les eaux d'un fossé d'un côté à l'autre du chemin.

Gué (ou traverse à gué)

Endroit peu profond d'un cours d'eau permettant la traversée de véhicules, de vélos, de bétail ou de piétons à même son lit.

Matelas-culée

Matelas de bois utilisé comme point d'appui d'un tablier d'un pont temporaire.

Portée libre (PL)

Correspond à l'espace qui sépare les faces intérieures des appuis d'un pont temporaire.

Passage à gué

Action de franchir un cours d'eau directement sur son lit à un endroit propice ou aménagé à cet effet.

Traverse à gué aménagée (TGA)

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.

Traverse de cours d'eau

Ouvrage construit pour permettre à un chemin de franchir un cours d'eau.

Utilisateur principal (ou primaire)

Personne réalisant les travaux de construction d'un chemin ou qui l'utilise régulièrement au sens de l'article 97 du RADF. Inclut les personnes réalisant une activité d'aménagement forestier, le gestionnaire d'une pourvoirie, d'une zone d'exploitation contrôlée (ZEC) ou d'une réserve faunique ou une entreprise qui réalise des activités minières ou des travaux d'utilité publique.

Utilisateur secondaire et tertiaire

Autres utilisateurs du territoire forestier. Par exemple, un utilisateur d'une pourvoirie, d'une ZEC ou d'une réserve faunique ou une personne réalisant une activité de prélèvement faunique.

Véhicule léger

Automobile d'une masse nette inférieure à 4 500 kg, véhicule tout-terrain motorisé et motoneige.

Véhicule lourd

Automobile d'une masse nette supérieure à 4 500 kg, machinerie lourde, autobus, véhicule-outils et véhicule récréatif.

Liste des acronymes

- DÉ:** Dégagement d'un pont temporaire.
- DM:** Dégagement minimum d'un pont temporaire.
- LADTF:** Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier.
- LiDAR:** *Light detection and ranging.*
- MNT:** Modèle numérique de terrain.
- MTQ:** Ministère des Transports du Québec.
- MFFP:** Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec.
- PEHD:** Polyéthylène haute densité.
- PL:** Portée libre d'un pont temporaire.
- PLM:** Portée libre maximale d'un pont temporaire.
- RADF:** Règlement sur l'aménagement durable des forêts.
- RNI:** Règlement sur les normes d'intervention du domaine de l'État.
- SEPAQ:** Société des établissements de plein air du Québec.
- TGA:** Traverse à gué aménagée.
- TTOG:** Tuyau de tôle d'acier ondulée galvanisée.
- VTT:** Véhicule tout-terrain
- ZEC:** Zone d'exploitation contrôlée.

Introduction

En Amérique du Nord, la mécanisation de l'industrie forestière qui a suivi la Seconde Guerre mondiale a causé une expansion graduelle des réseaux de chemins en milieu forestier. Dans les forêts du domaine de l'État au Québec, c'est dans les décennies 1990 et 2000 que le réseau de chemins forestiers a pris le plus d'expansion; celui-ci comptait en 2020 plus de 476 000 km de chemins publics (MFFP, 2021c). Désormais nommés «chemins multiusages» depuis l'entrée en vigueur en avril 2013 de la *Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier* (LADTF) (chapitre A-18.1), ces chemins ont été construits en très grande majorité par des industriels forestiers pour permettre la récolte et le transport du bois, conformément au précédent régime forestier, édicté par la *Loi sur les forêts* (chapitre F-4.1). C'est donc le *Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État* (RNI) (chapitre A-18.1, r. 7) qui a encadré la construction de chemins forestiers publics entre 1988 et 2018. Les autres intervenants qui ont aussi construit une partie des chemins dans les forêts du domaine de l'État sont principalement les entreprises qui y réalisent des travaux d'utilité publique (i.e. Hydro-Québec, Énergir, etc.), de même que les gestionnaires fauniques (i.e. pourvoiries, zones d'exploitation contrôlée ou réserves fauniques). Pendant la période d'activité principale, les chemins multiusages sont généralement utilisés par des véhicules lourds de façon intensive. C'est alors l'utilisateur principal qui doit prendre en charge leur entretien et leur réfection. Après cette période, ces chemins publics sont laissés en place pour servir de voie d'accès à tous les utilisateurs potentiels du territoire pour y permettre des activités diverses, tels que les travaux sylvicoles, la protection des forêts, l'accès à des sites d'intérêts, la chasse, la pêche et la

villégiature. Ces activités utilisent d'ailleurs presque exclusivement des véhicules légers (automobile à masse nette < 4 500 kg, véhicule tout-terrain motorisé, motoneige, etc.). La majorité des chemins multiusages se trouvant dans cette situation semblent soutenir une très faible utilisation, puisqu'ils ne sont fréquentés qu'en de très rares occasions pendant les décennies suivant la fin de leur usage intensif (Paradis-Lacombe, 2018). Bien que le terme technique de «**chemin forestier à faible utilisation**» ne soit pas reconnu dans les cadres légaux et réglementaires en vigueur au Québec, il correspond à la situation précédemment décrite et constitue le concept central de ce document.

De nombreuses modifications au cadre réglementaire visant la voirie forestière ont été apportées en avril 2018 avec l'entrée en vigueur du *Règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'État* (RADF) (chapitre A-18.1, r. 0.01). Cependant, les chemins multiusages qui ne sont pas utilisés régulièrement, conformément à l'article 97 du RADF, ne sont généralement pas entretenus puisque personne n'est tenu de le faire. Il en résulte un risque accru de dégradation d'une grande partie du réseau de chemins forestiers publics. Le réseau primaire, qu'il soit principal ou stratégique, est généralement utilisé de façon continue par l'industrie forestière ou par d'autres gestionnaires de territoires à vocation faunique et récréative comme les pourvoiries, les zones d'exploitation contrôlée (ZEC), les parcs nationaux et les réserves fauniques. Bien que ces chemins primaires soient les mieux entretenus du réseau, les interventions majeures s'y font souvent en réaction à des problèmes imprévus plutôt que de façon préventive. Comme les chemins construits par l'industrie forestière pour accéder aux ressources

ligneuses sont très nombreux et que les autres intervenants ont des ressources monétaires, humaines et techniques limitées, une priorisation des interventions qui ont des impacts sur la sécurité des usagers ou sur les retombées économiques est faite localement. Ainsi, les chemins secondaires et tertiaires sont encore moins entretenus que les chemins primaires, causant éventuellement leur dépérissement. La surface de ces chemins est souvent envahie progressivement par de la végétation, en plus d'être ponctuellement érodée par la pluie. Ces problèmes ont souvent comme conséquence de restreindre l'accès aux véhicules lourds et légers. Selon les données gouvernementales les plus récentes, 3 % des chemins multiusages pourraient être considérés comme étant des chemins primaires (classes de chemins = Hors normes, 1 et 2), 35 % comme étant des chemins secondaires (classes de chemins = 3 et 4) et 48 % comme étant des chemins tertiaires (classes de chemins = 5, Inconnu et Non classé) (MFFP, 2021a). Une grande proportion des chemins secondaires et l'entièreté des chemins tertiaires sont susceptibles de correspondre à des chemins forestiers à faible utilisation.

Que ce soit lors de leur construction, leur utilisation intensive ou pendant la période de faible utilisation sans entretien, les traverses de cours d'eau peuvent avoir des impacts négatifs sur les écosystèmes aquatiques. Ils peuvent dégrader l'habitat aquatique via l'injection de sédiments fins dans l'eau (Bérubé *et al.*, 2010; Best *et al.*, 1995; King, 2017; Lilijaniemi *et al.*, 2002) et entraver le libre passage du poisson lorsqu'ils s'érodent, s'affaissent ou perturbent l'écoulement de l'eau (Bérubé *et al.*, 2010; Roni *et al.*, 2005; Trottier et Charrette, 2011). Ces dommages sont essentiellement causés par l'érosion des

matériaux granulaires qui constituent les chemins et leurs traverses de cours d'eau qui se détériorent par le manque d'entretien. La fermeture des chemins et le démantèlement de ses traverses de cours d'eau constituent une pratique efficace lorsqu'elle est effectuée suite à leur utilisation intensive (FRWCI, 2003; MRNF, 2007). Cependant, la fermeture d'un chemin n'implique pas nécessairement que celui-ci ne sera plus fréquenté et que les milieux sensibles seront exemptés de perturbations. En effet, le suivi de plusieurs sites de démantèlement de traverses de cours d'eau et la consultation d'experts (Ferland, 2022) ont permis de constater que malgré la mise en place des meilleures mesures d'obstruction de l'accès aux chemins, tels que l'installation de barrières et le retrait de ponceaux (MRNF, 2007), des utilisateurs supplémentaires peuvent contourner ces mesures et circuler dans le chemin ayant fait l'objet d'une fermeture. Hydro-Québec a effectué le suivi de l'intégrité de cours d'eau dans des emprises de ses lignes de transport d'énergie (HQ, 2014). Cette étude a permis de constater que les passages à gué répétés ou récurrents en véhicule tout-terrain ou en automobile par des utilisateurs supplémentaires peuvent mener à l'érosion du lit et des berges d'un cours d'eau, à la formation d'ornières et à la mobilisation de sédiments fins dans celui-ci.

Grâce à des travaux de réfection ou d'amélioration, il est possible de rendre carrossables à nouveau des chemins forestiers qui ne le sont plus en raison d'un manque d'entretien. Toutefois, les dommages environnementaux causés aux milieux aquatiques entre la fin de l'usage intensif du chemin et sa réfection peuvent être particulièrement importants. Puisqu'aucun utilisateur régulier ne peut être identifié pendant cette période (RADF, art. 97), ces chemins forestiers ne font l'objet d'aucun contrôle réglementaire. Le Québec se retrouve donc avec quelques centaines de milliers de kilomètres de chemins multiusages à faible utilisation sans

surveillance qui se dégradent avec le temps. À ceux-ci s'ajoutent d'ailleurs plusieurs autres milliers de kilomètres de chemins privés en milieux forestiers et agricoles construits et entretenus selon des méthodes diversifiées. En effet, les chemins à faible utilisation sont abondants en territoires privés et aucune réglementation comparable au RNI ou au RADF ne s'y applique de manière officielle. Certaines municipalités y favorisent de saines pratiques de gestion de la voirie et des eaux pluviales. Mais, tout comme dans les forêts du domaine de l'État, les problèmes liés à l'entretien à long terme y sont rarement encadrés. En fonction des intervenants interpellés par la gestion de la voirie forestière, certains y verront un enjeu de productivité forestière ou de sécurité publique, tandis que d'autres y verront des enjeux environnementaux ou fauniques. C'est pourquoi des solutions doivent être trouvées afin de mieux gérer ce vaste réseau et de mieux planifier le développement de ces chemins qui sont à la fois une richesse et un casse-tête pour les Québécois. Ce document présente des pistes d'amélioration techniques élaborées spécialement pour les chemins à faible utilisation, qui visent à réduire les impacts négatifs du manque d'entretien sur la sécurité des utilisateurs, l'environnement et l'accès au territoire. Ce document aborde aussi des propositions de stratégies de gestion du réseau de chemins forestiers à faible utilisation, à partir de l'étape de leur planification jusqu'à leur fin de vie utile.

1.

Enjeux liés aux chemins forestiers à faible utilisation

1.1. État des chemins forestiers publics au Québec

Un projet de recherche mené en 2015 au sein du Laboratoire d'hydrologie forestière de l'Université Laval, en partenariat avec la Fondation de la faune du Québec, la Fédération des pourvoiries du Québec, Zecs Québec et la Sépaq, a démontré qu'une quantité très importante de chemins forestiers sont non utilisés et non entretenus en forêt publique (Paradis-Lacombe, 2018). La proportion de chemins non utilisés et non entretenus était variable en fonction des territoires fauniques sur lesquels ils se trouvaient. Les territoires sur lesquels des inventaires terrain ont été effectués sont des ZEC, des réserves fauniques de la SEPAQ et des pourvoiries à droits exclusifs. Aucun inventaire n'a été effectué sur les territoires dits «libres». Ces inventaires terrain combinés aux informations disponibles dans les bases de données gouvernementales ont permis d'estimer le niveau d'utilisation et d'entretien des chemins sur des territoires plus vastes. Dans son étude réalisée à partir d'inventaires de chemins et de traverses de cours d'eau dans 13 bassins-versants québécois, Paradis-Lacombe (2018) a estimé, sur un territoire plus vaste composé de six unités de paysage régional dans lesquelles étaient situés les bassins versants, que seulement 21 % des chemins étaient entretenus et

que 54 % des traverses de cours d'eau étaient dans un état de dégradation avancée. Les inventaires terrain ont été nécessaires puisque le classement des chemins dans les bases de données n'était pas un bon indicateur de leur niveau d'utilisation et d'entretien. Des méthodes avancées d'analyse d'images combinées à des analyses spatiales permettraient possiblement de dresser un portrait global plus rapide et précis de la situation à l'aide des bases de données de chemins et d'imageries satellitaires et aéroportées que les méthodes traditionnelles de photo-interprétation. Les données LIDAR pourraient notamment être très utiles puisqu'il est maintenant possible d'en extraire des modèles numériques de canopée et de terrain qui permettent d'évaluer la présence de végétation sur la chaussée d'un chemin peu utilisé ou abandonné. Toutefois, l'état des traverses de cours d'eau sur ce vaste réseau de chemins forestiers ne peut être évalué à partir de ces données aéroportées. Les inventaires terrain sont donc requis pour ce volet.

Puisque les ponceaux des dernières décennies ont tous été construits selon le RNI et qu'ils sont pour la plupart munis de tuyaux en tôle d'acier ondulée galvanisée ou en plastique, il est

possible d'estimer leur état en fonction de diverses caractéristiques tels que leur matériel, leur dimension et leur âge. En ajoutant les conditions locales et l'utilisation de méthodes statistiques, il serait possible de dresser un bilan assez fidèle de leur état par zones de récoltes forestières homogènes lorsque la période de construction des routes est identifiable. Toutefois, cette méthode ne peut être utilisée sur les chemins plus anciens où certaines traverses ont été remplacées lorsqu'elles ont atteint la fin de leur durée de vie. Des données d'inspection et de suivi seront requises afin d'améliorer la planification de l'entretien du réseau de chemins forestiers. Bien que les utilisateurs des chemins multiusages constatent facilement l'impact de leur dégradation sur la sécurité des utilisateurs et l'accès au territoire, les chemins ont aussi des impacts environnementaux considérables. Dans ce guide, il sera uniquement question des impacts sur les écosystèmes aquatiques, mais il existe aussi de nombreux enjeux concernant la faune et la flore terrestres, la productivité forestière et la propagation d'espèces exotiques envahissantes, notamment.

1.2. Effets du réseau de chemins forestiers sur l'habitat aquatique

La construction, l'utilisation et la dégradation des chemins forestiers et des ponceaux qu'on y retrouve peuvent avoir des impacts considérables sur l'habitat aquatique et sur les populations de poissons. Ces impacts sont nombreux et sont majoritairement liés aux entraves à la libre circulation des poissons et aux apports de sédiments dans les cours d'eau.

1.2.1. Entraves à la libre circulation du poisson

Afin de compléter leur cycle de vie, les poissons doivent être en mesure d'accéder à une gamme d'habitats qui répondent à différents besoins selon le stade de vie, la saison, les conditions hydro-climatiques ou le cycle diurne. Il est donc primordial que les poissons puissent circuler librement dans les cours d'eau et bien que les ponceaux le permettent en théorie, ceux-ci constituent en fait fréquemment des entraves aux déplacements des poissons. Plusieurs caractéristiques des ponceaux peuvent contribuer à créer une entrave aux mouvements des poissons. Ainsi, le choix des matériaux constituant les ponceaux de même que leurs dimensions et caractéristiques physiques suite à leur installation peuvent contribuer à créer une vitesse de courant dépassant la capacité de nage des poissons, une profondeur d'eau trop faible pour permettre la nage, ou encore, dans certains cas, la formation d'une chute à l'extrémité aval du ponceau en raison de l'affouillement du lit (Gibson *et al.*, 2005; Goerig *et al.*, 2016; Park *et al.*, 2008; Warren Jr et Pardew, 1998).

Une vitesse de courant excessive est considérée comme la cause la plus fréquente d'entrave au mouvement créée par les ponceaux (Fitch, 1995; Gibson *et al.*, 2005; Larinier, 2002; Warren Jr et Pardew, 1998). Warren Jr et Pardew (1998) ont relevé que les ponceaux et les traverses en dalles de béton diminuaient significativement le nombre de mouvements chez les espèces de poissons et que plus l'écoulement de l'eau était modifié par la structure, plus la

structure représentait une barrière importante aux mouvements des poissons. Par exemple, parmi tous les types de traverses de cours d'eau étudiés, les ponceaux présentaient les vitesses d'écoulement les plus rapides et enregistraient le moins de mouvements de poissons. (Benton *et al.*, 2008). Des résultats similaires démontrant l'effet des ponceaux sur les mouvements de poissons ont également été obtenus récemment par Bouska et Paukert (2010) et Diebel *et al.* (2015).

La présence d'une chute à l'extrémité aval d'un ponceau constitue le premier obstacle potentiel au succès de franchissement de celui-ci par un poisson. La capacité de saut d'un poisson d'une taille et d'une espèce donnée déterminera donc si celui-ci est en mesure d'accéder à l'intérieur du ponceau. Une fois entré, le succès de franchissement d'un poisson dépendra des conditions hydrauliques (vitesses de courant, profondeur d'eau) à l'intérieur du ponceau, de sa longueur et de la capacité de nage du poisson. Pour réussir le passage, le poisson doit pouvoir nager plus vite que la vitesse de l'écoulement et ce, pendant une période de temps assez longue pour franchir le ponceau sur toute sa longueur. Si un poisson nage beaucoup plus vite que la vitesse du courant qu'il affronte, il progressera rapidement mais se fatiguera également plus rapidement, possiblement avant d'avoir franchi le ponceau en entier. Inversement, s'il nage juste un peu plus rapidement que la vitesse de courant dans le ponceau, il se fatiguera moins vite mais sa progression sera très lente et il se fatiguera possiblement également avant d'avoir atteint l'amont du ponceau. Le poisson fait donc un compromis entre la fatigue et la vitesse de nage, ce qui joue sur sa performance de passage (Castro-Santos, 2005) et son succès de franchissement. En général, les plus petits poissons ont un faible succès de franchissement parce qu'ils ne possèdent pas la musculature ou la morphologie nécessaires pour nager dans des conditions difficiles (Bourne *et al.*, 2011; Goolish, 1991). Cette capacité de nage est influencée par des caractéristiques

morphologiques comme la forme du rostre, la grosseur de la nageoire pectorale ainsi que la forme du corps (Johnson *et al.*, 2019; Kieffer *et al.*, 2009). Outre la capacité physique, le comportement et la motivation sont deux facteurs importants qui augmentent le succès de passage. Par exemple, les petits poissons utilisent souvent la rugosité des parois des ponceaux en TTOG pour se reposer là où il y a des vitesses de courant plus faibles et ainsi augmenter leur succès de franchissement (Goerig, Bergeron et Castro Santos, 2017). Goerig *et al.* (2017) ont eux aussi observé qu'en présence d'une vitesse d'écoulement élevée, les poissons nagent en longeant les parois des ponceaux, là où il y a un ralentissement de l'écoulement.

L'incapacité des poissons à remonter un ponceau et à accéder aux habitats en amont mène à la fragmentation de l'habitat fluvial, qui est l'un des effets les plus néfastes causés par les structures humaines puisqu'elle réduit la qualité et la quantité d'habitats disponibles (Diebel *et al.*, 2015; Goerig *et al.*, 2016; Jackson, 2003; Januchowski-Hartley *et al.*, 2013; Warren Jr et Pardew, 1998). Le problème est d'autant plus important lorsque des ponceaux infranchissables sont situés dans la section aval d'un cours d'eau car la totalité de l'habitat en amont devient alors indisponible. Les petits cours d'eau, en plus de composer la majorité des kilomètres fluviaux d'un bassin versant, offrent davantage d'habitats aquatiques de qualité que la branche principale d'une rivière. Ce sont des lieux privilégiés pour la reproduction et la croissance des alevins, tout en offrant souvent des refuges thermiques lorsque les températures s'élèvent dans la rivière principale. De plus, pour les espèces migratrices, il s'agit d'un enjeu vital puisque cela les contraint à des habitats sous-optimaux nuisant à leur vigueur et à leur survie. Cependant, même si la barrière survient plus en amont, il s'agit tout de même d'un enjeu puisque certaines espèces de poissons comme l'omble de fontaine utilisent principalement les têtes de cours d'eau comme habitat (Jackson, 2003; Kanno *et al.*, 2015).

Ultimement, la fragmentation peut mener à l'extinction de certaines populations (Olivieri, 2016; Torterotot *et al.*, 2014). En effet, les mouvements amont-aval permettent aux populations de rester génétiquement viables. Si les déplacements sont compromis, l'isolement des populations réduit le flux génétique, rendant la population plus vulnérable aux maladies, aux perturbations environnementales et ultimement, à l'extinction. Traditionnellement, selon des modélisations, une population viable génétiquement devrait être constituée d'environ 500 individus, mais ce chiffre tend à être revu à la hausse afin d'assurer une pérennité, soit entre 1 000 et 5 000 (Lynch et Lande, 1998).

1.2.2. Apports de sédiments dans les cours d'eau

La construction des chemins multiusages favorise la mobilisation de sédiments fins pendant l'installation des ponceaux et les apports par ruissellement durant la période de stabilisation des remblais. C'est pourquoi plusieurs articles du RNI et maintenant du RADF encadrent la construction des ponceaux afin de limiter les apports de sédiments dans les cours d'eau.

L'apport de sédiments a de nombreux impacts sur les écosystèmes aquatiques et ce, à tous les niveaux trophiques. À la base de la chaîne alimentaire, la productivité primaire peut être diminuée en raison de l'augmentation de la turbidité qui limite le passage de la lumière (Lloyd *et al.*, 1987). De plus, les sédiments peuvent créer un effet d'abrasion, érodant les algues qui sont une source d'alimentation pour les invertébrés. Par ailleurs, les sédiments fins qui se déposent dans le lit du cours d'eau peuvent colmater les interstices entre les sédiments grossiers, réduisant la qualité de l'habitat pour les invertébrés (Henley *et al.*, 2000). De ce fait, l'abondance d'invertébrés est réduite et les poissons se retrouvent avec une source d'alimentation réduite. Certaines espèces utilisent leur vision pour s'alimenter; ainsi, leur succès de chasse est

diminué en raison de la turbidité de l'eau (Bruton, 1985). Les sédiments, selon leur concentration et la durée d'exposition, peuvent obstruer les branchies des poissons, ce qui interfère avec leur performance respiratoire (Bruton, 1985) et peut causer la mortalité chez plusieurs espèces de salmonidés (Newcombe et Jensen, 1996).

Un des enjeux les plus préoccupants de la sédimentation survient lorsqu'elle a lieu sur les frayères des poissons. Les salmonidés tels le saumon atlantique (*Salmo salar*) et l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) sont des espèces particulièrement vulnérables à ce phénomène puisqu'ils utilisent le substrat comme habitat pour incuber leurs œufs. Les sédiments réduisent le taux de survie des œufs en créant un milieu anoxique qui affecte leur développement et empêche l'évacuation de déchets métaboliques (Bruton, 1985; Tappel et Bjornn, 1983). Les très fines particules de la grosseur de l'argile et du limon ont les effets les plus importants sur les œufs en incubation (Julien et Bergeron, 2006). Les sédiments fins qui s'infiltrent dans le substrat tendent à rester plus longtemps en place que ceux déposés à la surface du lit du cours d'eau (Dubé, 2006), augmentant ainsi la durée de leurs effets sur le développement des œufs. De plus, les sédiments fins présents dans les interstices nuisent à l'émergence des alevins, pouvant entraîner à court et moyen terme une diminution du succès reproducteur (O'Connor et Andrew, 1998; Peterson et Metcalfe, 1981). C'est pourquoi l'article 39 du RNI interdisait la construction d'un ponceau dans les 50 premiers mètres en amont d'une frayère. Depuis 2018, cette distance est passée à 100 m grâce à l'article 89 du RADF. Or, malgré ces dispositions réglementaires, un rapport de 2006 produit par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune portant sur l'impact de cinq ponceaux forestiers a montré que des quantités importantes de sédiments se retrouvaient jusqu'à 200 mètres en aval des ponceaux et ce, même 3 ans après leur installation (Dubé, 2006). Dans ces conditions, même le respect des normes ne semble pas suffisant pour assurer la protection des frayères.

Il est connu qu'une trop forte turbidité peut également affecter les poissons juvéniles, en particulier chez les salmonidés. Dans une étude menée en laboratoire, les saumons exposés à des augmentations successives de sédiments en suspension ont démontré des changements comportementaux significatifs (Robertson *et al.*, 2007). Aux concentrations de sédiments en suspension les plus faibles, une diminution de l'utilisation des abris accompagnée d'une augmentation de l'activité de recherche de nourriture ont été observées, suggérant ainsi que la turbidité agissait comme un couvert contre la prédation pendant l'alimentation. Avec les augmentations subséquentes de sédiments en suspension, les poissons ont cependant diminué leur activité d'alimentation puisque les sédiments ne constituaient pas une source de nourriture. De plus, les poissons démontraient une vigilance plus grande et diminuaient leur comportement territorial. Lorsque la hausse de turbidité est importante, il a été observé que les poissons quittent l'habitat qui leur était jusqu'alors favorable pour émigrer vers des zones moins turbides mais possiblement de moindre qualité (Sigler *et al.*, 1984).

Plusieurs études démontrent que la détérioration des ponceaux est responsable de la dégradation de l'habitat du poisson. Lorsque les ponceaux s'obstruent par accumulation de sédiments, de végétation ou de débris, ou qu'ils s'effondrent lorsque la durée de vie des matériaux est dépassée (e.g.: tuyaux de tôle percés par la rouille), la libre circulation du poisson est menacée (Bérubé *et al.*, 2010; Bouska et Paukert, 2010; Gibson *et al.*, 2005). De plus, lors de grandes crues, le remblai granulaire qui entoure les ponceaux dégradés peut être fortement érodé et causer l'injection d'une quantité considérable de sédiments dans les cours d'eau (Foltz *et al.*, 2008; King, 2017; Pyles *et al.*, 1988).

Puisque les ponceaux sont susceptibles de diminuer la qualité et l'accès à l'habitat du poisson, il est important de reconsidérer les pratiques conventionnelles à la suite de l'abandon des chemins forestiers.

2.

Description des structures de voirie forestière

2.1. Types de chemins forestiers

Les chemins multiusages sont définis dans la *Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier* (LADTF, art. 41): [...] *Constitue un chemin multiusage un chemin en milieu forestier, autre qu'un chemin minier, construit ou utilisé à des fins multiples, notamment en vue de permettre l'accès au territoire forestier et à ses ressources.* L'article 42 de cette même loi précise que: *Toute personne peut circuler sur un chemin multiusage en se conformant aux normes prescrites par le gouvernement par voie réglementaire pour la sécurité des utilisateurs et la protection des chemins.*

Selon l'article 3 de cette même loi, cette définition: [...] *s'applique aux territoires forestiers du domaine de l'État ou aux territoires forestiers appartenant à des propriétaires privés [...].*

C'est dans le *Règlement sur l'aménagement durable des forêts* (RADF) qu'on expose une série de dispositions qui s'appliquent aux chemins en milieu forestier qui se trouvent sur l'ensemble du territoire forestier du domaine de l'État (RADF, art. 62). On y précise aussi que ces dispositions ne s'appliquent pas: *aux routes dont la gestion relève du ministre responsable de la Loi sur la voirie et qui sont classées autoroute ou route nationale, route régionale ou route collectrice [...].*

À l'annexe 4 du RADF, un tableau complet permet de décrire plusieurs caractéristiques des différentes classes de chemins forestiers (Annexe 1). On y trouve des caractéristiques spécifiques qui permettent de différencier les chemins, telles que la durée d'utilisation et la largeur de la chaussée (Tableau 1). Les

Tableau 1: Caractéristiques des principales classes de chemins multiusages (extrait de l'annexe 4 du RADF).

Classe de chemin	Hors norme	1	2	3	4	5
Durée d'utilisation	50 ans	25 ans	25 ans	10 - 15 ans	3 - 10 ans	1 - 3 ans
Largeur de la chaussée	> 9,1 m	9,1 - 8,5 m	8,5 - 8 m	8 - 7,5 m	7,5 - 5,5 m	5,5 - 4 m

chemins à faible utilisation ne sont pas définis dans les cadres légaux et réglementaires actuellement en vigueur au Québec. Toutefois, ils pourraient concorder avec les usages de courte durée prévus pour les chemins de classe 3, 4 et 5.

Avant l'entrée en vigueur du RADF, il n'existait pas de classification réglementaire des types de chemins forestiers sur terres publiques. Ils étaient plutôt catégorisés selon une classification simplifiée (chemins primaires, secondaires, tertiaires, etc.) présentée dans les documents de référence du troisième programme d'inventaire écoforestier (MFFP, 2009).

2.1.1. Chemins à faible utilisation

Les chemins à faible utilisation n'ont pas de définition légale, donc ils ont été définis ainsi dans le présent document:

- Chemins à faible utilisation: Chemins caractérisés par une construction initiale visant une période d'utilisation intensive généralement courte, suivie d'une longue période d'utilisation sporadique par des véhicules légers.

Cette définition ne fait pas référence à une quantité de véhicules qui circule

sur un tronçon de chemins. Les documents qui utilisent cette approche pour caractériser les routes peu fréquentées les définissent comme des « *low-volume roads* », où moins de 400 véhicules y circulent par jour (Douglas, 2016). Toutefois, ce nombre varie énormément dans le monde en fonction des contextes et des situations. Dans le présent document, une utilisation beaucoup moins soutenue doit être considérée puisqu'elle peut n'être constituée que de quelques passages par jour, pendant quelques jours par mois, uniquement pendant la saison libre de neige. Ainsi, le concept d'usage sporadique décrit dans la définition de chemin à faible utilisation ne permet pas de correspondre au concept de faible fréquentation généralement utilisé dans la littérature.

2.1.2. Données cartographiques des chemins multiusages

La majorité des chemins forestiers publics qui apparaissent dans les bases de données gouvernementales ont été classés par photo-interprétation selon des normes techniques différentes de celles décrites dans le RADF. De plus, la base de données cartographiques

décrivant les chemins multiusages, anciennement nommée Routard mais maintenant intégrée à la couche numérique AQRéseau+, ne contient pas d'information relative à l'année de leur construction sauf pour les chemins très récents. Il est donc actuellement difficile de déduire une durée d'utilisation théorique qui aurait pu avoir été prévue au moment de la construction d'un chemin multiusage ni le dépassement de cette durée d'utilisation, car très peu de tronçons de chemins contiennent ce type d'information dans la base de données. Toutefois, il est très probable que des chemins ayant été construits en prévoyant initialement une courte durée d'utilisation soient tout de même utilisés de façon continue pendant une période excédant celle-ci. Il est tout aussi

probable que des chemins ne soient plus carrossables avant la fin de leur durée d'utilisation prévue, en particulier s'ils ne sont pas adéquatement entretenus.

Plusieurs sources de données cartographiques utilisées simultanément permettent d'identifier les chemins et les traverses de cours d'eau :

- Couche de chemins forestiers d'AQRéseau+ [<https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/adresses-quebec>]
- Géobase de référence hydrologique du Québec (GRHQ) [<https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/grhq>]
- Modèle numérique de terrain (MNT) et relief ombré dérivés du LiDAR [<https://www.donneesquebec.ca/recherche/fr/dataset/produits-derives-de-base-du-lidar>]

- Lits d'écoulement potentiels et indice d'humidité topographique dérivés du LiDAR [<https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/lits-d-ecoulements-potentiels-issus-du-lidar>]
- Service d'imagerie Web du MFFP (Forêt ouverte et WMS) [<https://www.foretoouverte.gouv.qc.ca/>] [<https://geoegl.msp.gouv.qc.ca/ws/mffpecofor.fcgi?>]
- Mosaïques annuelles d'images satellitaires Landsat de 1984 à aujourd'hui [<https://earthengine.google.com/timelapse/>]

Une méthode de travail basée sur la géo-interprétation des produits dérivés du LiDAR permet de faire une description préliminaire précise de l'ampleur du réseau de chemin forestier (Perreault et al., 2021).

2.2. Types d'ouvrages pour traverser les cours d'eau

En forêt publique québécoise, il est actuellement permis de construire trois types de traverses de cours d'eau : les ponceaux, les ouvrages amovibles et les ponts.

Voici les définitions légales de ces trois types d'ouvrages (RADF, art. 2) :

- Ponceau : un ouvrage construit sous remblai comportant une arche ou au moins un conduit et des matériaux de stabilisation et qui permet à un chemin de franchir un obstacle, tel un cours d'eau;
- Ponceau de bois : un ponceau comportant une arche de bois;
- Ouvrage amovible : un ouvrage aménagé temporairement pour franchir un cours d'eau;
- Pont : un ouvrage non construit sous remblai comportant des culées, parfois des piles, un tablier et des matériaux de stabilisation et qui permet à un chemin de franchir un obstacle, tel un cours d'eau.

Les ponceaux sont les ouvrages pour traverser les cours d'eau les plus répandus en forêt publique. Ils sont généralement constitués d'un tuyau

de tôle ondulée galvanisée (TTOG) ou d'un tuyau en polyéthylène haute densité (PEHD) sous remblai (Figure 1). Des arches et des ponceaux à déversoirs sont aussi considérés comme

des ponceaux, mais ces deux types de structures sont relativement rares en milieu forestier et la majorité sont très récentes.

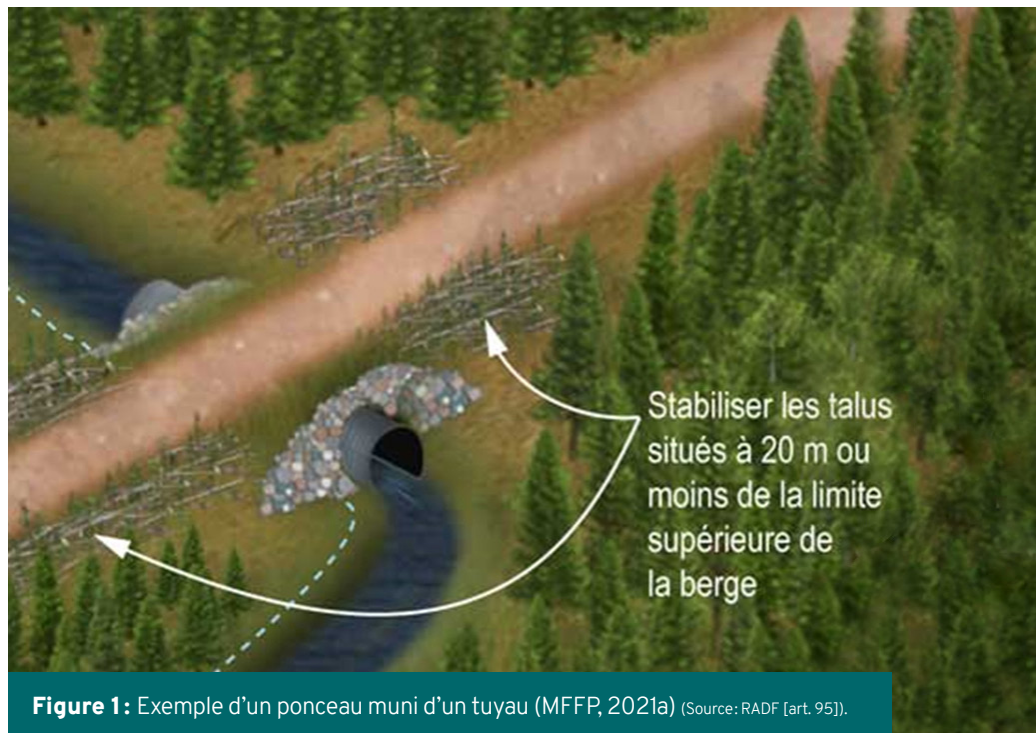


Figure 1: Exemple d'un ponceau muni d'un tuyau (MFFP, 2021a) (Source: RADF [art. 95]).

Les ponceaux de bois sont aussi des traverses de cours d'eau sous remblai. Même si leur structure est maintenant décrite dans l'annexe 11 du RADF (Figure 2). Ce sont principalement des ponceaux de bois rudimentaires qui sont parfois retrouvés sur d'anciens chemins à faible utilisation. Ils étaient construits principalement avant 1996 à l'aide de deux longerons en bois rond installés longitudinalement dans les berges du cours d'eau à traverser sur lesquels étaient clouées des billes de bois rond de plus petit diamètre. Un remblai de matériel granulaire était ensuite déposé au-dessus de la structure. Autant les anciens ponceaux de bois rudimentaires que les nouveaux types de ponceaux de bois décrits dans le RADF sont très peu fréquents en forêt publique québécoise..

Les ouvrages amovibles sont des ponts de petite envergure (Figure 3) destinés à être utilisés pour des périodes restreintes. Ils ont la particularité de ne pas être recouverts de remblai granulaire. Ils sont constitués d'un tablier (métal ou bois) déposé sur des appuis qui reposent sur une fondation (sol ou roc en place) et qui sont aménagés à l'extérieur de la limite supérieure des berges du cours d'eau. Ils ne sont actuellement utilisés au Québec que dans des situations particulières, comme lors de la construction de lignes électriques ou dans les dispositions prévues à l'article 110 du RADF. L'aménagement d'un ouvrage amovible est permis exclusivement dans un sentier d'abattage ou de débarbage, dans un chemin d'hiver ou dans un chemin que l'on prévoit utiliser et fermer de façon permanente moins de 3 ans après sa construction.

Les ponts étant presque exclusivement construits sur des chemins à forte utilisation où circulent fréquemment des véhicules lourds et légers, ceux-ci nécessitent un entretien et des inspections régulières. L'annexe 12 du RADF décrit les normes à respecter en matière de conception de ponts en forêt publique québécoise. Puisque ce document traite spécifiquement des chemins forestiers à faible utilisation, les ponts ne seront pas pris en considération.

À ces structures de traverses de cours d'eau s'ajoute une méthode qui n'est pas

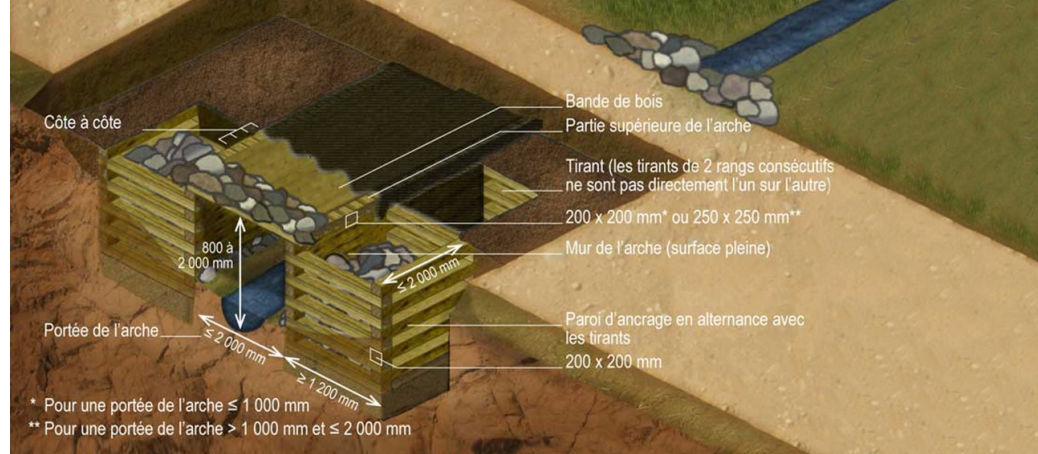


Figure 2: Exemple d'un ponceau de bois (MFFP, 2021a) (Source: RADF [annexe 11]).

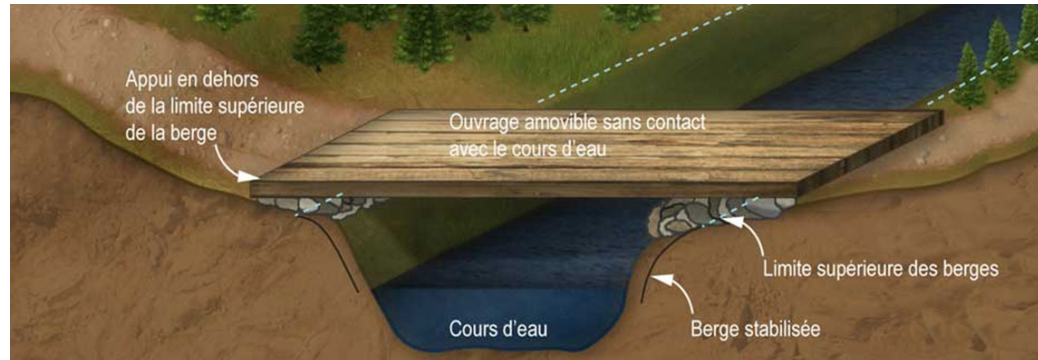


Figure 3: Exemple d'un ouvrage amovible (MFFP, 2021a) (Source: RADF [annexe 11]).

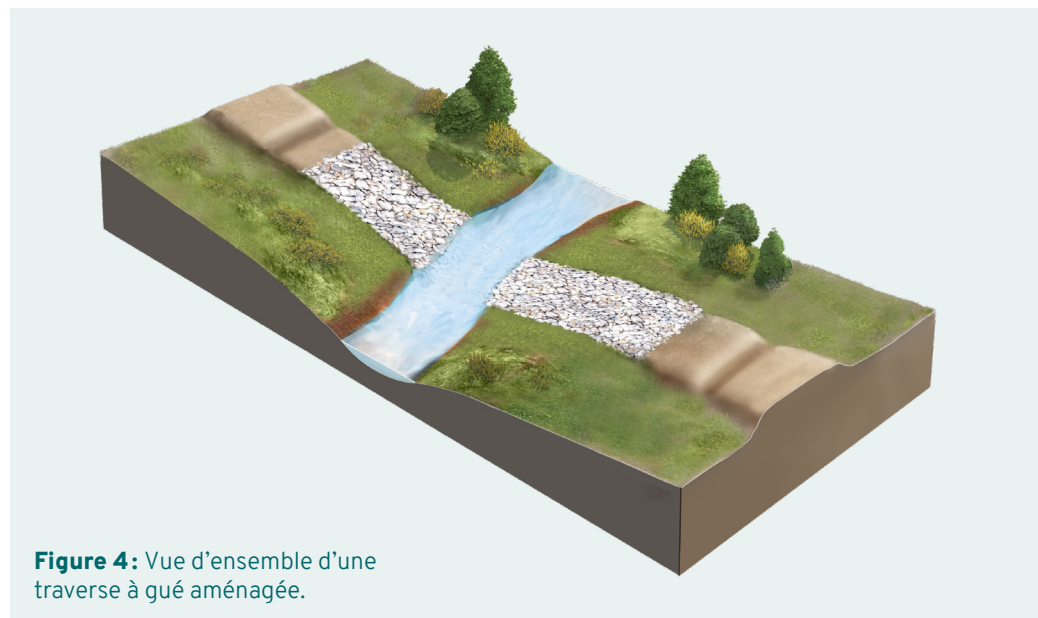


Figure 4: Vue d'ensemble d'une traverse à gué aménagée.

décrite dans le RADF, soit les traverses à gué aménagées (TGA) (Figure 4), qui sont des ouvrages ayant fait l'objet de travaux de recherche au cours des dernières années par certains auteurs de ce document.

Puisque ce type de traverse de cours d'eau n'a pas de définition légale, voici

ce qu'il convient d'utiliser :

- Traverse à gué aménagée: un ouvrage construit à travers un cours d'eau comportant une surface de roulement stabilisée au niveau de ses rives et de son lit qui permet le passage à gué de véhicules légers.

2.3. Types de structures de drainage

2.3.1. Fossés de drainage

Le terme fossé de drainage est utilisé dans ce guide pour décrire les dépressions creusées dans le sol de part et d'autre d'un chemin forestier et qui servent exclusivement au drainage des eaux de précipitation, de fonte ou de ruissellement (Figure 5). Ce type de structure de drainage a pour fonction de capter et d'évacuer ces eaux vers des zones stables ou stabilisées vouées à cet effet. Lorsque bien conçues et entretenues, ces structures contribuent à assurer la durabilité du chemin et préserver l'intégrité des milieux aquatiques, humides et riverains en limitant le transport de sédiments fins vers ceux-ci.

2.3.2. Conduits de drainage

Un conduit de drainage, ou ponceau de drainage, est un ouvrage construit sous remblai comportant un conduit qui permet le drainage des eaux de ruissellement d'un côté à l'autre du chemin (Figure 6). Ce type de structure de drainage est utilisé pour détourner les eaux de ruissellement d'un fossé de drainage d'un côté à l'autre du chemin (RADF, art. 79) ou pour préserver le drainage naturel du sol en assurant l'écoulement naturel des eaux de ruissellement d'un côté à l'autre du chemin (RADF, art. 74).

Dans un contexte de chemin à faible utilisation, le maintien des ponceaux de drainage peut être approprié lorsque ceux-ci font l'objet d'un suivi et d'un entretien minimal. Ils sont intégrés dans les stratégies de gestion proposées dans ce guide pour les chemins à faible utilisation.

2.3.3. Barres d'eau

Connues sous le nom de « *waterbar* » ou digue de déviation, une barre d'eau est une tranchée abrupte et peu profonde excavée dans un angle à travers la surface du chemin pour intercepter et détourner les eaux de ruissellement vers un fossé de drainage ou une zone stable

ou stabilisée à cet effet (Figure 7). Ce type de structure contribue au drainage de la surface du chemin, limite le potentiel d'érosion des eaux de ruissellement véhiculées par celle-ci et n'entrave pas la circulation des véhicules (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2002; MRNF, 2007; Weaver *et al.*, 2015).

L'efficacité de ces structures à jouer leurs rôles est directement reliée à leur conception, soit lorsqu'elles sont bien installées, situées et espacées et à leur niveau d'utilisation. Lorsque bien conçues et peu utilisées, ces structures sont aussi reconnues pour leur faible entretien (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2002; MRNF, 2007). Les barres d'eau sont des structures de drainage qui se prêtent à un chemin à faible utilisation et s'insèrent dans le cadre de stratégies d'adaptation et de fermeture proposées dans ce guide.



Figure 5: Fossé de drainage.

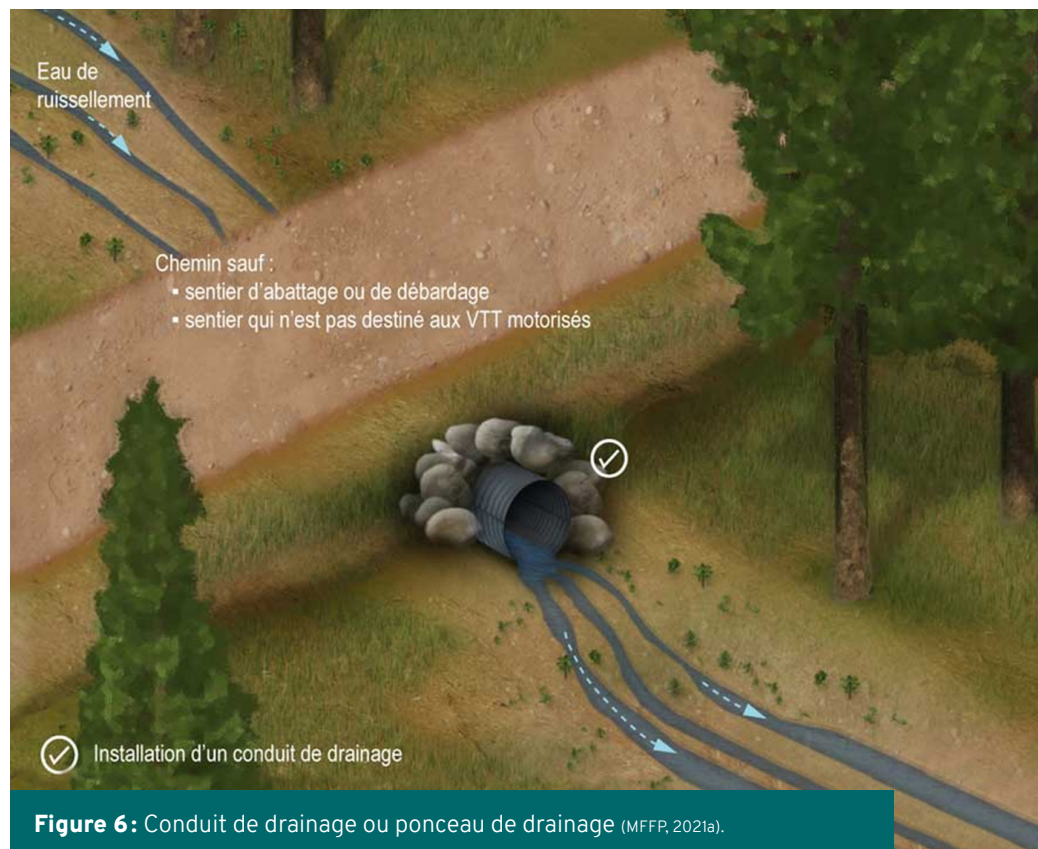


Figure 6: Conduit de drainage ou ponceau de drainage (MFFP, 2021a).

2.3.4. Creux drainants

Un creux drainant est une dépression peu profonde aménagée dans un chemin forestier pour diriger les eaux de précipitation, de fonte et de ruissellement à l'extérieur de la surface du chemin vers un fossé ou une zone stable ou stabilisée à cet effet. Aussi connue sous le nom de «*rolling dips*», «*drain dips*» et dépressions de drainage, les creux drainants contribuent au drainage de la surface du chemin, limitent le potentiel d'érosion des eaux de ruissellement et sont conçus pour ne pas entraver la circulation de véhicules légers (Bagley, 1998; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; Weaver *et al.*, 2015). Pour son aménagement, le chemin est profilé de manière à produire une longue et douce dépression à même la surface de roulement du chemin (Figure 8). En étant plus grand et moins abrupt qu'une barre d'eau, le creux drainant est plus durable et moins à risque d'être endommagé par la circulation de véhicules (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; Weaver *et al.*, 2015).

Les creux drainants sont disposés à un intervalle précis afin de prévenir l'accumulation et la canalisation des eaux de ruissellement sur la surface du chemin (Merrill et Casaday, 2001). Ils sont favorisés dans un contexte de faible utilisation et s'insèrent très bien dans le cadre des stratégies d'adaptation et de fermeture proposées par ce guide pour les chemins à faible utilisation.

2.3.5. Fossés de déviation

Aussi connu sous le nom de «*cross-ditch*», «*cross-road ditch*», «*cross-road drain*», le fossé de déviation (Figure 9) est aménagé dans le but d'intercepter et dévier les eaux de précipitation, de fonte et de ruissellement en provenance de la surface du chemin et de ses fossés de drainage vers une zone stable ou stabilisée pour limiter leur potentiel d'érosion et de mobilisation de sédiments fins vers un cours d'eau (Boulfroy *et al.* 2005; Gauthier et Varady-Szarbo,

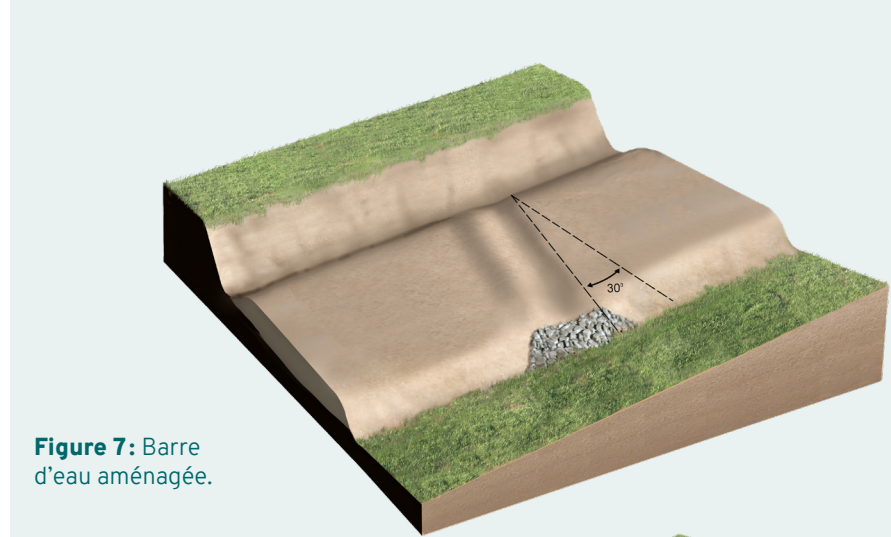


Figure 7: Barre d'eau aménagée.

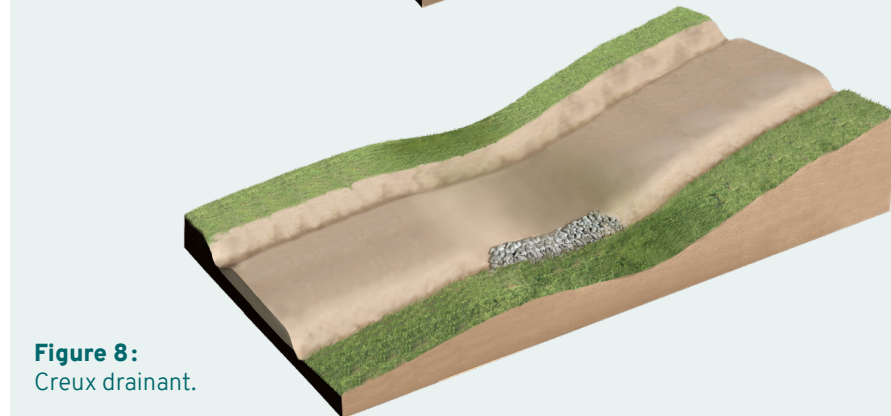


Figure 8: Creux drainant.

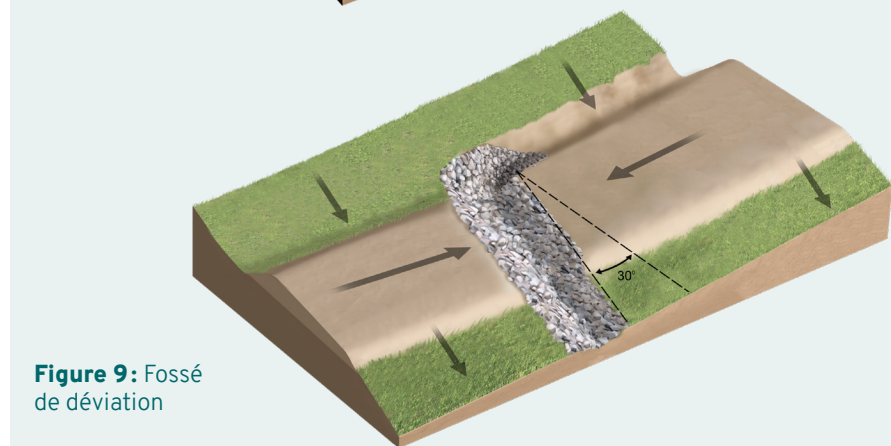


Figure 9: Fossé de déviation

2014; MF, 2002; MRNF, 2007; Roni et Beechie, 2013; Weaver *et al.* 2015). En plus des fonctions précédentes, il peut contribuer à limiter l'accès ou rendre un chemin impraticable (Bagley, 1998; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MRNF, 2007).

En général, ils sont utilisés pour assurer le drainage d'un chemin fermé ou démantelé et il est recommandé de les disposer à un intervalle régulier afin d'assurer une bonne dispersion des eaux de ruissellement et limiter leur potentiel

d'érosion (Bagley, 1998; MF, 2002; MRNF, 2007; Weaver *et al.*, 2015). Pour cet usage, l'efficacité de ces structures est directement déterminée par les conditions du site (pente) et l'intervalle de leur disposition. Dans le cadre de ce guide, les fossés de déviation sont plutôt proposés afin de remplacer les conduits de drainage qui sont mis en place afin de capter et détourner les eaux de ruissellement d'un chemin vers une zone stable ou stabilisée à plus de 20 m d'un cours d'eau.

3.

Stratégies de gestion pour les chemins à faible utilisation

Afin de minimiser à la fois les besoins d'entretien des chemins et les risques associés aux effets du temps et des intempéries, des stratégies de gestion permettant d'identifier les saines pratiques de travaux de voirie sont proposées dans cette section. Cela permettra au lecteur d'agir sur les chemins à faible utilisation en fonction de différents objectifs et de différentes activités à court, moyen et long terme. Cela se traduit par des méthodes de conception réfléchies dans l'objectif de rendre les structures plus résilientes aux aléas naturels et la mise en place de structures mieux adaptées à un entretien réduit. Idéalement, certaines de ces méthodes devraient avoir été planifiées avant même la construction des chemins, permettant ainsi de planifier à l'avance tout le cycle de vie utile de chaque tronçon de chemins multiusages. Toutefois, la présence d'un très abondant réseau de chemins

forestiers déjà en place nécessite d'envisager des solutions adaptées à cette situation. C'est dans cette optique que les Figures 10 et 11 présentent des schémas décisionnels permettant d'orienter une prise de décision qui s'inspire de saines pratiques documentées. Ils s'appuient sur la prémisse de base que les stratégies peuvent être mises en place dans le contexte d'un réseau de chemins déjà existant ou dans le contexte d'un réseau de chemins à construire ou à réactiver. La réactivation d'un chemin consiste à remettre en état un chemin qui a préalablement fait l'objet d'une fermeture temporaire ou permanente, ou qui a été abandonné. Très souvent, ces chemins à réactiver sont dans un état de dégradation avancé.

Ces schémas ont été conçus en tenant compte des besoins et des objectifs d'aménagement, de même que de l'état

du réseau de chemins à faible utilisation. En se basant sur les besoins d'utilisation actuels ou anticipés et sur l'état du réseau de chemins à faible utilisation, ces schémas permettent d'orienter la prise de décisions éclairées en lien avec trois grands types de stratégies, soit :

- les stratégies par entretien préventif des structures;
- les stratégies par adaptation des structures;
- les stratégies par fermeture du chemin.

Schéma décisionnel pour le réseau de chemins existants Choix des types de traverses de cours d'eau et d'infrastructures de drainage

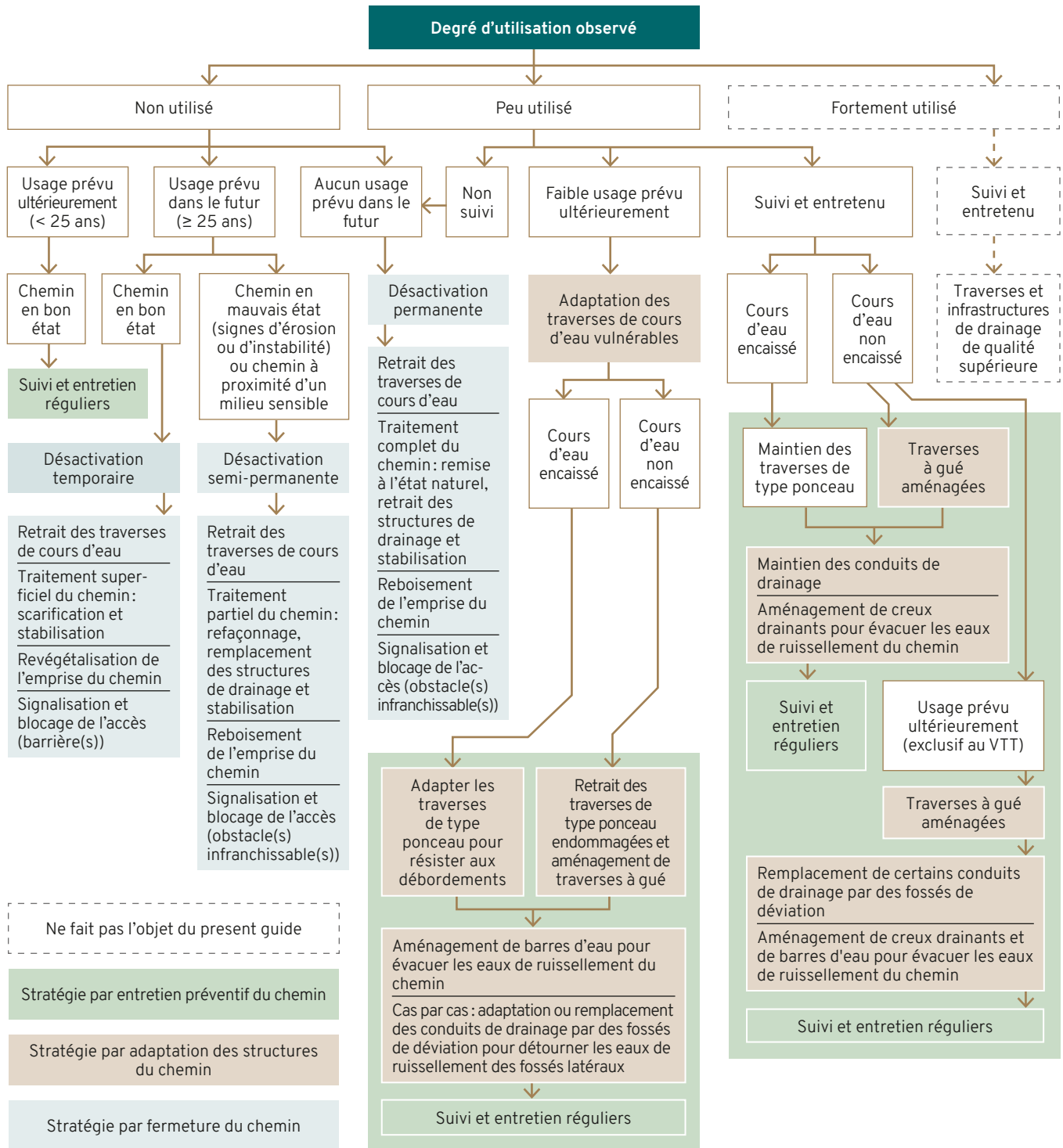


Figure 10: Schéma 1 – Schéma décisionnel pour le réseau de chemins existants.

Schéma décisionnel pour la construction de nouveaux chemins ou la réactivation de chemins existants Choix des types de traverses de cours d'eau et d'infrastructures de drainage

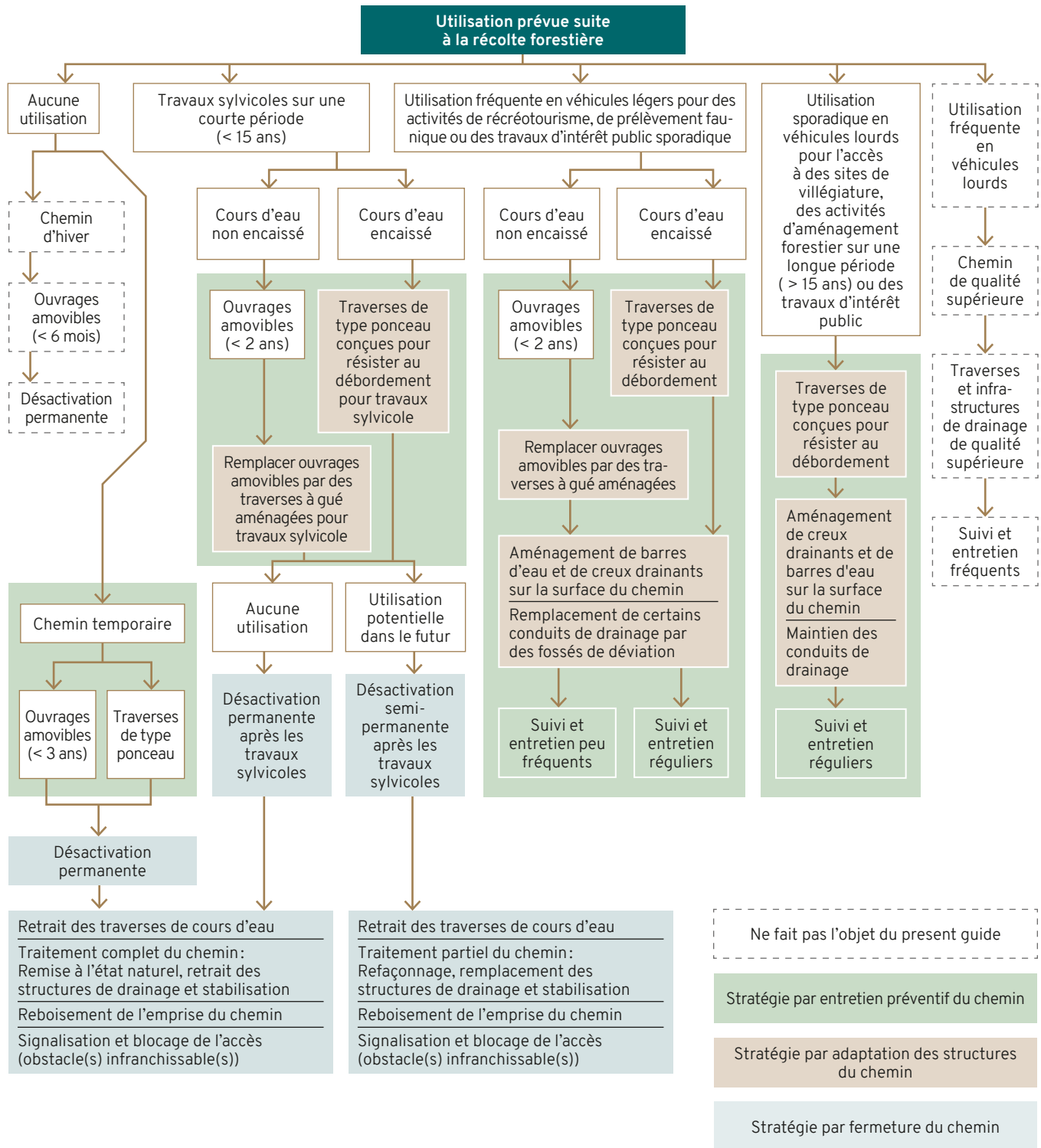


Figure 11 : Schéma 2 – Schéma décisionnel pour la construction de nouveaux chemins ou la réactivation de chemins existants.

3.1. Stratégies par entretien préventif des structures

Les stratégies par entretien préventif des structures sont applicables dans un contexte de chemin existant ou à construire. Elles consistent à prévenir la dégradation et la défaillance des structures en identifiant les dommages et les menaces potentielles et en assurant leur intégrité à l'aide de mesures correctives d'entretien. Elles sont proposées pour les chemins en bon état et dont un usage est prévu dans le futur (< 25 ans) ainsi que pour les chemins qui font l'objet d'une stratégie par adaptation

ou d'une stratégie par fermeture. La fréquence des inspections pour le suivi et la fréquence des mesures correctives pour l'entretien sont dictées par divers paramètres tels que l'état des structures et le niveau d'utilisation. Les schémas décisionnels (Figure 10 et Figure 11) permettent de cibler précisément quels chemins sont visés par cette stratégie et à quel moment de leur cycle de vie. Ces stratégies regroupent une combinaison d'interventions qui visent à maintenir le chemin en bon état afin de répondre

à des besoins actuels ou à de futurs besoins d'utilisation. Les interventions associées à ces stratégies sont mises en place et maintenues jusqu'au moment où les besoins d'utilisation ou l'état du chemin changent ou que celui-ci soit démantelé. La section «4.2. Entretien préventif des chemins forestiers à faible utilisation» portera sur les interventions et les mesures à mettre en place pour appliquer ces stratégies.

3.2. Stratégies par adaptation des structures

Les stratégies par adaptation des structures sont polyvalentes, s'insèrent dans un contexte de chemin à construire ou déjà existant et consistent à adapter les structures du chemin à une faible utilisation et un faible entretien. Elles peuvent se traduire par une amélioration ou un remplacement des structures de drainage des eaux de ruissellement et des traverses de cours d'eau. La notion de **faible utilisation** est centrale dans ces stratégies. Elles visent spécifiquement à permettre le maintien de l'accès au territoire pour des véhicules légers pendant plusieurs années. La vitesse et les périodes de déplacement des véhicules y seront fortement réduites à certains

endroits, tout comme l'accès pour des véhicules lourds. Certaines interventions associées à ces stratégies peuvent être adaptées à d'éventuels changements futurs des besoins d'utilisation.

Ces stratégies proposent, entre autres, le remplacement des conduits de drainage et des traverses de cours d'eau par des structures simples et l'ajout, si nécessaire, d'ouvrages de déviation des eaux de ruissellement sur la surface du chemin. Ces ouvrages sont décrits en détail dans les prochaines sections. Le remplacement des traverses de cours d'eau muni d'un tuyau par des traverses à gué aménagées est à prioriser lorsque

le chemin est peu utilisé, que l'entretien est minimal et que le cours d'eau n'est pas encaissé. Pour ce type de chemin, les conduits de drainage devraient être remplacés par des fossés de déviation quand il est prévu de l'entretenir à une plus faible fréquence. Lorsque l'espacement entre les conduits de drainage est grand, l'ajout de barres d'eau est fortement recommandé. Dans l'éventualité où le cours d'eau est encaissé, il est plus pertinent de prioriser l'adaptation des traverses de cours d'eau munies d'un tuyau à des conditions de débordements (MRNF 2007) ou d'envisager les stratégies de fermeture.

3.3. Stratégies par fermeture du chemin

Les stratégies par fermeture proposées sont la désactivation permanente, la désactivation semi-permanente et la désactivation temporaire du chemin à faible utilisation. Ces stratégies regroupent un éventail de traitements et d'interventions qui varient en fonction du caractère permanent ou temporaire de la fermeture et du contexte d'intervention (chemin construit ou à construire). Toutefois, chacune de ces stratégies incluent des interventions similaires, telles que le démantèlement des ouvrages permettant de traverser un cours d'eau, le reboisement ou la revégétalisation d'une partie du chemin, la signalisation et l'obstruction de l'accès. Les principales divergences résident dans la nature et l'intensité des traitements relatifs aux structures de drainage des eaux de ruissellement et au démantèlement du chemin. Les chemins ainsi fermés ne sont ensuite plus carrossables, même par des véhicules légers.

La stratégie par désactivation permanente d'un chemin à faible utilisation consiste à démanteler complètement le remblai du chemin, ses structures de drainage et ses traverses de cours d'eau, de même qu'à reboiser son emprise, signaler la fermeture de l'accès et empêcher son usage aux véhicules. Elle est recommandée quand aucun usage du chemin n'est prévu dans le futur. Elle permet d'éviter les coûts d'entretien du chemin, d'éliminer les risques de défaillance des structures et de minimiser les impacts environnementaux associés à leur dégradation. Cette stratégie est parfois utilisée au Québec dans des contextes visant à résoudre des enjeux écologiques telles que la fragmentation d'habitats, la lutte contre le braconnage et la protection d'espèces sensibles, vulnérables ou menacées. Elle est aussi utilisée dans le but de réduire la densité du réseau de chemins forestiers québécois en éliminant la duplication des accès. Cette stratégie est à prioriser quand :

- Le chemin existant est en très mauvais état, est actuellement inutilisé et son usage n'est pas anticipé dans le futur.

- Le chemin à construire ou récemment construit vise une utilisation intensive temporaire ne nécessitant aucun autre usage par la suite. La désactivation permanente du chemin est donc réalisée immédiatement après son usage intensif.
- Le chemin à construire ou récemment construit vise une utilisation intensive temporaire suivie d'une période de faible utilisation et d'une seconde période d'utilisation intensive. Des travaux sylvicoles dans les 10 à 15 années suivant la récolte forestière en sont un bon exemple. Après cette seconde utilisation intensive, aucun usage n'est anticipé dans le futur.

La stratégie par désactivation semi-permanente permet la fermeture d'un chemin qui n'est plus utilisé, qui ne le sera pas pendant plusieurs années, mais qui pourrait potentiellement être utilisé dans le futur. L'avantage de cette stratégie est que les interventions à faire sont moins intenses, permettent une éventuelle réouverture du chemin et limitent les impacts environnementaux associés à sa dégradation et à sa potentielle défaillance. Comme pour les autres stratégies par fermeture, les travaux consistent à démanteler les traverses de cours d'eau, signaler la fermeture de l'accès et empêcher son usage aux véhicules. Toutefois, elle nécessite de refaçonner le chemin (vers l'intérieur ou l'extérieur), reboiser l'emprise du chemin et remplacer les structures de drainage des eaux de ruissellement par des structures ne nécessitant pas d'entretien. Cette stratégie est à prioriser quand :

- le chemin ou ses structures déjà en place sont en mauvais état, comportent des signes d'érosion ou d'instabilité ou sont à proximité d'un milieu sensible et qu'il est possible que le chemin soit utilisé dans le futur.

La stratégie par désactivation temporaire permet la fermeture d'un chemin qui n'est plus utilisé, qui ne le sera pas pendant plusieurs années, mais qui devrait faire l'objet d'un usage ultérieur dans quelques décennies. L'avantage de cette stratégie est que les interventions à faire sont moins intenses, ne nécessitent aucun entretien pendant la période sans usage, permettent une éventuelle réouverture du chemin et limitent les impacts environnementaux associés à sa dégradation et à sa potentielle défaillance. Comme pour les autres stratégies par fermeture, les travaux consistent à démanteler les traverses de cours d'eau, signaler la fermeture de l'accès et empêcher son usage aux véhicules. Toutefois, cette stratégie se distingue par le traitement superficiel du remblai du chemin qui consiste en une scarification et une stabilisation de la surface de roulement (accotements et chaussée), un reboisement partiel ou une revégétalisation de l'emprise et par le maintien des structures de drainage des eaux de ruissellement (conduits et fossés de drainage). Cette stratégie est envisageable quand :

- le chemin à faible utilisation et ses structures de drainage sont en bon état, que les risques de leur défaillance sont faibles et qu'il est prévu de l'utiliser dans le futur.

La mise en application de ces interventions s'insère très bien dans le contexte actuel de fermetures temporaire et permanente d'un chemin multiusage du domaine de l'État.

4.

Saines pratiques de gestion des chemins à faible utilisation

4.1. Ouvrages préconisés sur les chemins à faible utilisation

4.1.1. Ouvrages pour traverser les cours d'eau

4.1.1.1. Traverses de type ponceau

Les ponceaux sont les ouvrages les plus répandus en forêt publique pour traverser les cours d'eau. Avant l'utilisation massive des TTOG et des tuyaux en PEHD, des ponceaux de bois rudimentaires étaient souvent construits sur les chemins tertiaires à partir de bois rond abattu sur place. Ils étaient constitués de deux longerons placés de part et d'autre du cours d'eau sur lesquels des billes étaient cloués et ensuite recouverts d'un remblai granulaire (Figure 12).

Ceux-ci ne se retrouvent maintenant que sur d'anciens chemins non utilisés depuis des décennies et sont maintenant pour la plupart affaissés et non fonctionnels (Paradis-Lacombe 2018). Ces ponceaux avaient une courte durée de vie puisque ceux-ci étaient souvent construits avec des essences de bois naturelles ayant une faible valeur économique. Leur durée de vie n'a pu être déterminée précisément mais celle-ci était assurément largement inférieure à une vingtaine

d'années (Paradis-Lacombe, 2018). De plus, aucune norme n'encadrait leur construction jusqu'en 1996. Depuis 2018, le RADF encadre plus précisément la construction des ponceaux de bois qui sont aujourd'hui construits d'une façon totalement différente (Figure 2).

Les ponceaux constitués d'un tuyau de tôle ondulée galvanisée (TTOG) sont utilisés depuis le début des années 1970 sur les chemins importants et depuis les années 1990, sur tous les autres types de chemins. Leur durée de vie est variable en fonction de la qualité de leur installation, des propriétés physico-chimiques de l'eau et du sol, ainsi que de l'épaisseur de la tôle. Sans tenir compte des propriétés physico-chimiques du milieu, il a été observé que les ponceaux de TTOG installés sous le régime du RNI dans les dernières décennies, c'est-à-dire avant la mise en application du RADF, avaient une faible épaisseur de tôle et plusieurs comportaient des défauts typiques d'une mise en place non optimale, ce qui explique en partie leur courte durée de vie de 25 à 30 ans (Paradis-Lacombe, 2018). Les ponceaux constitués d'un tuyau en polyéthylène haute densité (PEHD) ont, quant à eux, été installés en majorité à partir des années 2000. Ceux-ci étaient encore généralement en bon état une quinzaine d'années après l'installation. Les défauts observés sur les ponceaux de PEHD étaient principalement associés à une mauvaise installation (Paradis-Lacombe, 2018), ceux-ci n'étant pas sensibles à la corrosion. Plusieurs facteurs sont donc à considérer lors de la sélection d'un matériel pour la construction des ponceaux

car ils ont tous leurs avantages et leurs inconvénients au niveau du coût, de la facilité d'installation, de la durée de vie et de leur transport. Une analyse économique peut aussi être menée pour évaluer les coûts de revient à long terme selon l'importance du chemin. Sur les chemins non entretenus, les ponceaux, peu importe leur matériel, sont sujets à être bloqués et endommagés par débordement ce qui a fréquemment été observé (Paradis-Lacombe, 2018). La durée de vie d'un ponceau peut donc être réduite drastiquement si celui-ci ne fait pas l'objet d'une surveillance et d'un entretien régulier même si le matériel le plus durable est utilisé et que la mise en place est irréprochable.

Le RADF encadre actuellement la construction des traverses de cours d'eau sur les chemins multiusages par le biais de normes à respecter, notamment en ce qui a trait à certains critères de conception, mais aussi à la libre circulation du poisson. Dans le RADF, les normes à respecter pour la construction d'une traverse de cours d'eau se retrouvent à la section 3 intitulée « Ponts, ponceaux, ouvrages amovibles et ouvrages rudimentaires ». Les articles 95, 96, 99, 100, 101, 102, 104 et 107 du RADF traitent des normes à respecter sur les traverses de type ponceau. Il est à noter que les directives décrites dans le RADF s'appliquent uniformément, peu importe la classe de chemin. Par conséquent, les standards de qualité de construction des traverses de cours d'eau d'un chemin hors norme, d'une durée d'utilisation prévue de 50 ans, sont les mêmes que ceux employés pour un chemin de classe 5, dont la durée de vie sera de moins de 3 ans.

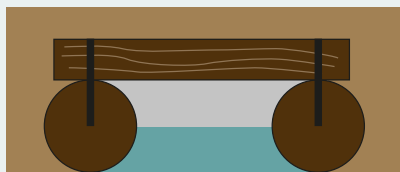


Figure 12: Exemple d'un ancien ponceau de bois (vue en coupe).

Les autres articles et annexes portent sur la libre circulation du poisson, les ponts, les ouvrages amovibles et les ouvrages rudimentaires. Différents guides ont aussi été produits au fil des ans tels que:

- L'aménagement des ponts et des ponceaux dans le milieu forestier (MRN, 1997)
- Saines pratiques – Voirie forestière et installation de ponceaux (MRN, 2001)
- Guide des saines pratiques d'entretien des chemins forestiers dans les zecs (Latrémouille, 2012)
- Guide d'application du RADF (MFFP, 2021a).
- Lignes directrices pour les traversées de cours d'eau au Québec (Pêches et Océans Canada, 2016)

Afin d'améliorer la durabilité des ponceaux sur les chemins destinés à un usage à long terme, il serait pertinent d'émettre quelques recommandations supplémentaires puisqu'il a été observé que les ponceaux se détériorent rapidement, voire de façon prématurée, sur les chemins forestiers à faible utilisation en forêt publique, tel que discuté plus haut (Paradis-Lacombe, 2018). La défaillance des ponceaux est souvent causée par une mauvaise installation (Douglas, 2016). Notons ici qu'aucune analyse financière n'a été effectuée afin de savoir s'il est plus rentable d'augmenter la qualité des matériaux et de la mise en place d'un ponceau pour qu'il soit plus durable ou de le remplacer plus fréquemment. Toutefois, il peut être intéressant d'identifier les lacunes observées sur les ponceaux afin de pouvoir, si souhaité, augmenter leur durabilité. Le Tableau 2 présente les problèmes les plus souvent observés sur les ponceaux de TTOG ou de PEHD en forêt publique (Paradis-Lacombe, 2018) ainsi que des recommandations.

Pour une installation optimale dans un souci de maximisation de la durée de vie des TTOG, se référer au *Handbook of steel drainage and highway construction products* (CSPI, 2010).

Tableau 2: Problèmes fréquemment rencontrés sur les TTOG et les tuyaux en PEHD et les recommandations associées.

Problèmes fréquents	Recommandations
Corrosion (TTOG)	En fonction du pH et de la résistivité électrique de l'eau et des matériaux de remblai, évaluer s'il serait pertinent de sélectionner un tuyau avec une tôle plus épaisse (annexe 2) ou de sélectionner des revêtements de protection additionnels sur le tuyau ou le radier. Comparer divers matériaux pour les environnements très agressifs en fonction de la durabilité et des coûts.
Déformation locale du tuyau (TTOG ou PEHD)	Éliminer les pierres de taille significative dans les matériaux de remblai qui peuvent entrer directement en contact avec le tuyau et l'endommager. Utiliser des pierres pour l'enrochement de protection de taille raisonnable pour ne pas endommager le tuyau, mais de taille suffisante pour résister à l'écoulement de l'eau.
Déformation longitudinale (TTOG ou PEHD)	Préparer une fondation adéquate lors de la mise en place du tuyau, notamment en asséchant la zone de travail et en compactant les matériaux de fondation.
Déformation transversale (TTOG ou PEHD)	Utiliser des matériaux de remblai de qualité. Bien compacter les matériaux de remblai par couches successives, il s'agit d'une norme à respecter dans le RADF (chapitre A-18.1, r. 0.01, article 99).
Enrochement de protection instable	Utiliser des tuyaux plus longs afin que l'enrochement de protection aux extrémités ait une pente plus douce. Les enrochements de protection verticaux ou à pente élevée non consolidés en pierre sont à éviter, car les matériaux de fondation peuvent s'affaisser avec le temps et de l'affouillement peut se produire, créant ainsi des instabilités et la chute des pierres.
Relâchement d'un assemblage (TTOG ou PEHD)	Préparer une fondation adéquate lors de la mise en place du tuyau, notamment en asséchant la zone de travail. Utiliser des matériaux de remblai de qualité. Bien compacter les matériaux de remblai par couches successives, puisqu'il s'agit d'une norme à respecter dans le RADF (chapitre A-18.1, r. 0.01, article 99).

4.1.1.2. Traverses à gué aménagées

4.1.1.2.1. Description sommaire

Une traverse à gué aménagée (TGA) se distingue d'une traverse à gué non aménagée par quelques caractéristiques importantes. Les traverses à gué non aménagées sont des endroits où un ou des véhicules franchissent un cours d'eau naturel en circulant directement sur son lit et ses berges, sans y avoir préalablement installé une quelconque structure. Puisque celles-ci ne sont pas aménagées et que leur utilisation n'est pas encadrée, elles peuvent être dangereuses pour les utilisateurs, créer des problèmes d'érosion du lit et des berges et ainsi générer des apports de sédiments fins dans les cours d'eau (Burdett *et al.*, 2014; Chin *et al.*, 2004; Gauthier *et al.*, 2013). Toutefois, les traverses à gué non aménagées pourraient possiblement être une solution valable dans certaines circonstances, comme par exemple lorsque les berges ont une pente appropriée et que les matériaux du lit du cours d'eau ont une capacité portante suffisante (cours d'eau peu profond et lit ferme et solide). Elles ne font toutefois pas l'objet de ce guide puisqu'elles n'ont pas été étudiées par l'équipe de l'Université Laval. Quant aux traverses à gué aménagées, celles-ci sont conçues pour traverser les cours d'eau de façon plus sécuritaire et en réduire le plus possible les problèmes environnementaux potentiels. Évidemment, le jugement des utilisateurs est primordial pour évaluer si les conditions (niveau d'eau, vitesse d'écoulement et visibilité) sont favorables pour traverser le cours d'eau. La sensibilisation des utilisateurs sera donc requise si ce type de traverse est éventuellement permis et répandu. Cependant, il est recommandé que ce type de traverse soit aménagé uniquement à des endroits où les hauteurs d'eau maximales et moyennes permettent leur usage sécuritaire. Les profondeurs d'eau sécuritaires seront présentées dans les prochaines sections. La Figure 13

illustre une traverse à gué aménagée type qui fera l'objet de cette section du guide.

Les TGA sont construites en excavant les berges et le lit du cours d'eau afin de créer des pentes assez douces pour qu'un véhicule léger puisse y circuler, par exemple une camionnette ou un véhicule tout-terrain (VTT). Par la suite, un matériel de protection est mis en place de façon à stabiliser la surface de roulement. La surface de roulement de la TGA peut être stabilisée de diverses façons: enrochement, agrégats confinés dans des géocellules, gabions, béton, asphalte et maçonnerie (Clarkin *et al.*, 2006). Tous ces matériaux comportent des avantages et inconvénients. La pierre traitée mécaniquement a été choisie par l'équipe de l'Université Laval pour construire les traverses à gué aménagées dans un contexte de chemin à faible utilisation. Les TGA faisant l'objet de ce guide ont donc une surface de roulement composée d'un enrochement. Cet enrochement sert à assurer une capacité portante suffisante pour le passage des véhicules et à protéger la traverse des forces d'écoulement de l'eau lors de crues. De cette façon, la traverse devrait conserver sa géométrie initiale plusieurs années selon le site, la conception et la qualité de la construction. Les excavations dans les berges sont réalisées de façon à ce que les talus aient des pentes faibles pour assurer leur stabilité. Ces talus sont ensuite végétalisés pour limiter leur érosion. Des barres d'eau sont aussi aménagées en haut des approches enrochées à une distance minimale de 20 m du cours d'eau pour évacuer vers la végétation les eaux de ruissellement pouvant provenir du chemin, ce qui réduit les apports de sédiments potentiels vers le cours d'eau. Un aspect intéressant des TGA en enrochement est qu'en cas de non-utilisation et du non-entretien du tronçon de chemin où elles se trouvent, la végétation pourra s'établir sur le chemin et l'approche qui mène à la traverse, tandis que le cours

d'eau reviendra à un état semblable à son état naturel sans intervention humaine. L'enrochement permet aussi de maintenir une rugosité dans le lit du cours d'eau contrairement à un matériel lisse et, par conséquent, une hauteur d'eau suffisante pour le passage de la faune aquatique. Toutefois, le dessus de l'enrochement doit être en continuité avec le lit du cours d'eau pour ne pas constituer un obstacle.

4.1.1.2.2. Analyse préliminaire du site

Avant que quelqu'un ne se rende sur place pour évaluer si le site est approprié pour aménager une TGA et y faire des relevés terrain, celui-ci peut faire des analyses préliminaires à partir des modèles numériques de terrain produits à partir de données LiDAR (*Light detection and ranging*) aéroportés du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec (MFFP). L'analyse de ces modèles numériques de terrain sur un Système d'information géographique (SIG) ou en ligne à partir de [<https://www.foretouverte.gouv.qc.ca/>] permettra d'estimer la pente du cours d'eau et des berges en extrayant des profils de terrain. Ces modèles numériques de terrain ont une résolution de 1 m (MFFP, 2020). De plus, toute imagerie aérienne disponible pourrait aussi être utile pour recueillir des indices sur la morphologie du cours d'eau. Ces analyses préliminaires permettront de déterminer si le site d'aménagement de la traverse à gué est approprié. Les sites sélectionnés devront toutefois faire l'objet d'une visite de reconnaissance et de relevés terrain pour la validation et la conception finale.

4.1.1.2.2.1. Pente des approches et des berges du cours d'eau

Les berges du cours d'eau au site de traversée doivent naturellement comporter des pentes faibles pour éviter de devoir excaver exagérément pour construire la traverse. L'excavation est requise pour profiler la traverse de façon à ce que les véhicules puissent aisément y circuler et y placer l'enrochement de protection

(Figure 13). Plus la traverse respectera le profil naturel des berges et plus elle s'harmonisera bien dans le cours d'eau, ce qui devrait allonger sa durabilité. Toutefois, le respect du profil naturel des berges ne doit pas être favorisé au détriment de la facilité d'utilisation de la traverse et de la sécurité.

Si les berges sont creusées de façon importante, la zone du lit ayant été excavée sera alors propice au dépôt des sédiments naturellement transportés par le cours d'eau à cause des vitesses d'écoulement réduites dans cette zone. La traverse pourrait donc rapidement devenir inutilisable ou requérir fréquemment de l'entretien si le cours d'eau transporte une quantité significative de sédiments. Aussi, plus les pentes des approches de la traverse seront élevées et moins la traverse sera stable et résistante à l'érosion causée par le cours d'eau, par les eaux de ruissellement provenant des approches et par le passage des véhicules. Le passage des véhicules y sera aussi plus difficile et risqué. La sélection d'un tronçon de cours d'eau où les pentes des berges sont faibles permettra donc d'augmenter la durée de vie utile de la traverse. Il est recommandé de ne pas implanter de traverses à gué aménagées là où la pente des approches serait supérieure à 10 % (Lohnes *et al.*, 2001). D'autres auteurs mentionnent plutôt une pente maximale de 20 % (Blinn *et al.*, 1998). Les traverses construites dans le cadre des projets de recherche du Laboratoire d'hydrologie forestière de l'Université Laval respectaient le critère d'une pente maximale de 20 % (Larocque, 2020). Dans les schémas décisionnels (Figure 10 et Figure 11), les cours d'eau ayant des pentes d'approches trop élevées sont caractérisés de «cours d'eau encaissés». Enfin, la traverse doit être aménagée de façon à ne pas réduire la section d'écoulement du cours d'eau.

4.1.1.2.2.2. Pente longitudinale du cours d'eau

Il est recommandé d'aménager ce type de traverse sur une section du cours d'eau où la pente longitudinale est faible pour en simplifier le design et la stabilité,

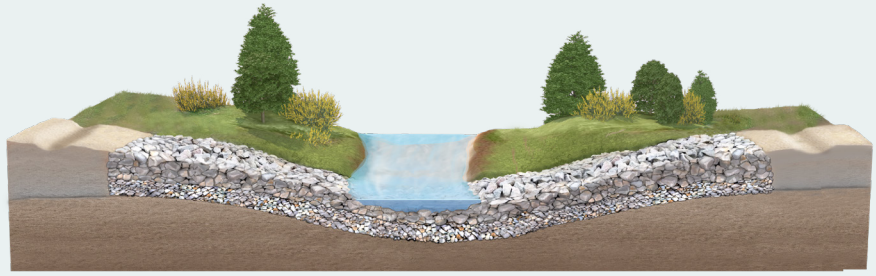


Figure 13: Coupe longitudinale d'une traverse à gué aménagée.

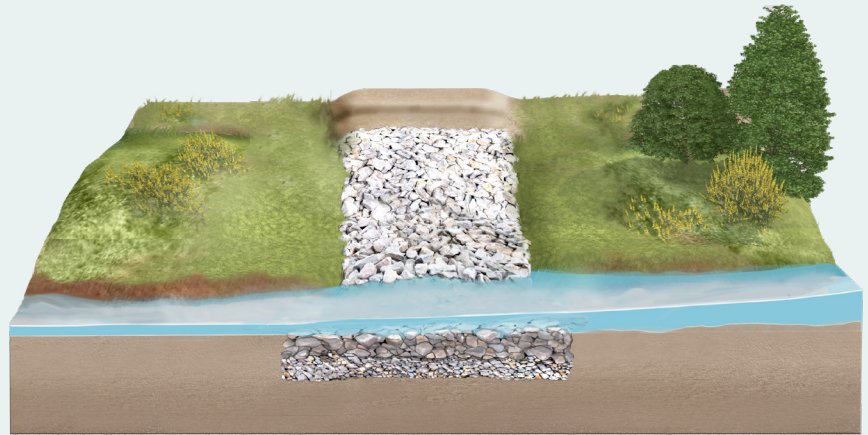


Figure 14: Vue en coupe dans le sens du cours d'eau d'une traverse à gué aménagée.

bien qu'il ne soit pas impossible d'en construire sur des cours d'eau à pente plus élevée (Figure 14).

Cette caractéristique permettra de s'assurer que les vitesses d'écoulement seront moins élevées comparativement à un secteur où la pente longitudinale est forte. Généralement, on observera une relation entre la pente longitudinale du cours d'eau et la taille des matériaux naturels qui forment le lit. Plus la pente longitudinale est élevée, plus le calibre des pierres pouvant résister aux effets mécaniques de l'eau et à la gravité sera grand. À l'inverse, plus la pente du cours d'eau sera faible, plus le calibre des pierres formant le lit sera petit. Dans les cours d'eau à pente très faible, on observera généralement que le lit est composé de matériaux granulaires plus fins tels du gravier et du sable. Cette pente devrait d'ailleurs être constante sur une distance suffisamment longue en amont et en aval de la traverse pour s'assurer que l'écoulement de l'eau se fasse de façon

semblable à petit et grands débits. Des méthodes existent pour dimensionner les pierres composant l'enrochement de protection de la traverse; celles-ci seront présentées dans les prochaines sections. La sélection d'un tronçon à pente faible permettra aussi plus facilement d'assurer la libre circulation du poisson puisque la surface de roulement doit être le plus horizontal possible pour que les véhicules y circulent. De cette façon, la surface de roulement enrochée pourra être au même niveau du lit du cours d'eau du côté amont et aval de la traverse. La construction de TGA sur des cours d'eau à pente élevée pourrait compromettre la circulation du poisson et requérir un enrochement composé de pierres de calibre trop élevé pour être carrossable. Dans un tel cas, une stabilisation en béton est parfois proposée (Keller et Sherar, 2003), ce qui complexifierait l'installation, serait plus coûteux et compromettrait la libre circulation du poisson.

4.1.1.2.3. Morphologie du cours d'eau

Le site choisi pour l'aménagement de la traverse doit, autant que possible, être le plus stable dans le temps. Il est donc recommandé de sélectionner un site où le tronçon est plutôt rectiligne et où le régime sédimentaire est en équilibre, c'est à dire où les taux d'érosion et de sédimentation sont à peu près équivalents. Les TGA sur des cours d'eau à forte mobilité pourraient se dégrader beaucoup plus rapidement. Dans de telles situations, les conseils d'un hydrogéomorphologue pourraient s'avérer très utiles pour sélectionner un site approprié.

4.1.1.2.4. Matériaux composant le lit et les berges

Les cours d'eau dont le lit et les berges sont constitués principalement de gravier grossier exempt de blocs ou de pierres de grande taille sont idéaux pour l'aménagement d'une traverse à gué. Cela signifie que la mise en place d'un enrochement de protection s'harmonisera bien avec la morphologie du cours d'eau. Dans ces cas, la traverse ne sera pas susceptible d'être ensevelie sous les sédiments ou d'être soumise à d'importantes forces hydrauliques qui pourraient déstabiliser l'enrochement. Les cours d'eau dont le lit est le socle rocheux ont évidemment une bonne capacité portante, mais signifient habituellement que les vitesses d'écoulement sont très élevées et cela pourrait être problématique pour la stabilité de la traverse. De plus, il sera difficile dans ces cas « d'ancrer » l'enrochement de protection au lit du cours d'eau et celui-ci pourrait plus facilement être emporté vers l'aval lors de crues. De la même façon, les tronçons où des pierres de très grande taille sont présentes signifient

probablement que les vitesses d'écoulement sont trop élevées pour aménager ce type de traverse. Cela pourra toutefois être validé en effectuant des calculs pour dimensionner l'enrochement de protection. À l'inverse, si le lit du cours d'eau est composé principalement de sable, la traverse pourrait être ensevelie de sédiments avec le temps et requérir un entretien plus fréquent puisque les vitesses d'écoulement sont plus faibles. La traverse pourrait aussi être plus instable dans ce type de matériel, car de l'affouillement dans la fondation pourrait survenir si les détails de conception sont négligés. Enfin, les tronçons composés en partie ou en totalité de matériaux organiques ou minéraux très fins tels que l'argile par exemple, sont pour l'instant à proscrire car ceux-ci ont une mauvaise capacité portante et que leurs eaux sont plus susceptibles d'être turbides, limitant la visibilité et la sécurité des usagers. De plus, la construction du chemin menant à la traverse dans des matériaux à faible capacité portante demande davantage d'efforts lors de la conception et la construction. Le document *Route d'accès et milieux humides: Guide sur la planification, la construction et l'entretien* (FPInnovations et Canards Illimités, 2016) est dédié spécialement à la construction de chemins et de traverses de cours d'eau dans des milieux humides. Ce document ne traite toutefois pas de l'utilisation de TGA dans les milieux humides. Davantage de travaux de recherche seraient donc nécessaires pour établir des recommandations sur l'utilisation de TGA dans des milieux où les matériaux ont une faible capacité portante. Davantage d'expérimentation et d'essais seraient nécessaires pour établir des recommandations pour ces conditions.

4.1.1.2.5. Considérations fauniques

Afin de limiter le plus possible les impacts sur la faune aquatique, il est recommandé, lorsque qu'une frayère est présente dans le cours d'eau, d'aménager la traverse en amont de celle-ci plutôt qu'en aval. Cela permettra de ne pas nuire aux déplacements et à la reproduction des poissons adultes. Le respect minutieux du niveau et de la forme des enrochements déposés dans le lit du cours d'eau afin qu'ils correspondent au profil initial permettra aussi d'assurer le libre passage du poisson. La mise en place d'un talweg profilé au niveau de la surface de roulement enrochée dans le lit du cours d'eau est aussi une intervention souhaitable pour favoriser le déplacement des poissons en période d'étiage. Il est aussi recommandé de choisir des périodes de faible débit pour exécuter les travaux afin de maintenir au minimum l'apport sédimentaire liés aux interventions affectant le lit et les berges (Gilbert *et al.*, 2021; Foltz *et al.* 2008).

4.1.1.2.3. Paramètres de conception

Après qu'un site approprié ait été sélectionné pour aménager la traverse à gué, plusieurs étapes doivent être suivies pour concevoir la traverse de façon durable. Celles-ci se divisent en trois étapes principales et indissociables:

- Calcul du débit de conception.
- Calcul de la hauteur d'eau et des vitesses d'écoulement.
- Conception de l'enrochement de protection.

Le schéma suivant (Figure 15) illustre l'ensemble des étapes qui doivent être suivies.

4.1.1.2.3.1. Calcul du débit de conception au site de traversée

Le calcul du débit de conception jumelé à des calculs hydrauliques permettra d'évaluer plus ou moins précisément selon les méthodes utilisées et des données disponibles, la hauteur d'eau du cours d'eau en crue ainsi que les vitesses d'écoulement au site de traversée. La conception de TGA à partir d'estimation de la hauteur d'eau et des vitesses d'écoulement obtenues par des indices hydrogéomorphologiques n'ont pas fait l'objet de travaux de recherche par l'équipe de l'Université Laval. Les vitesses d'écoulement permettront ensuite de sélectionner un calibre de pierre approprié pour résister aux forces d'écoulement et ainsi rester durablement en place dans le lit et les berges. La période de retour pour la conception des traverses à gué aménagées doit être choisie en fonction de la longévité souhaitée de la traverse. Plus la traverse est conçue pour une grande période de retour, plus elle sera résistante à des débits élevés qui surviennent plus rarement. Par exemple, en milieu forestier public québécois, une période de retour de 10 ans est utilisée depuis 1996 pour le dimensionnement des ponceaux dont la superficie du bassin versant est inférieure à 60 km² (RNI, annexe 3; RADF, annexe 6). Il est toutefois possible d'observer une crue de récurrence de plus de 10 ans durant une décennie puisqu'il s'agit d'estimations statistiques. L'interprétation adéquate de ce concept est de considérer une probabilité de 10 % d'observer un événement de crue de cette intensité chaque année. Pour les bassins versants dont la superficie est supérieure à 60 km², une période de retour de 20 ans est prescrite dans les cadres réglementaires québécois. Toutefois, les cours d'eau alimentés par des bassins versants de cette taille sont possiblement de trop grande envergure pour être traversés par des véhicules légers ce qui les rend impropres à l'implantation d'une TGA.

Dans le RADF, le calcul de débit pour les bassins versants dont la superficie est inférieure à 60 km² se fait avec la méthode rationnelle. Cette méthode de calcul

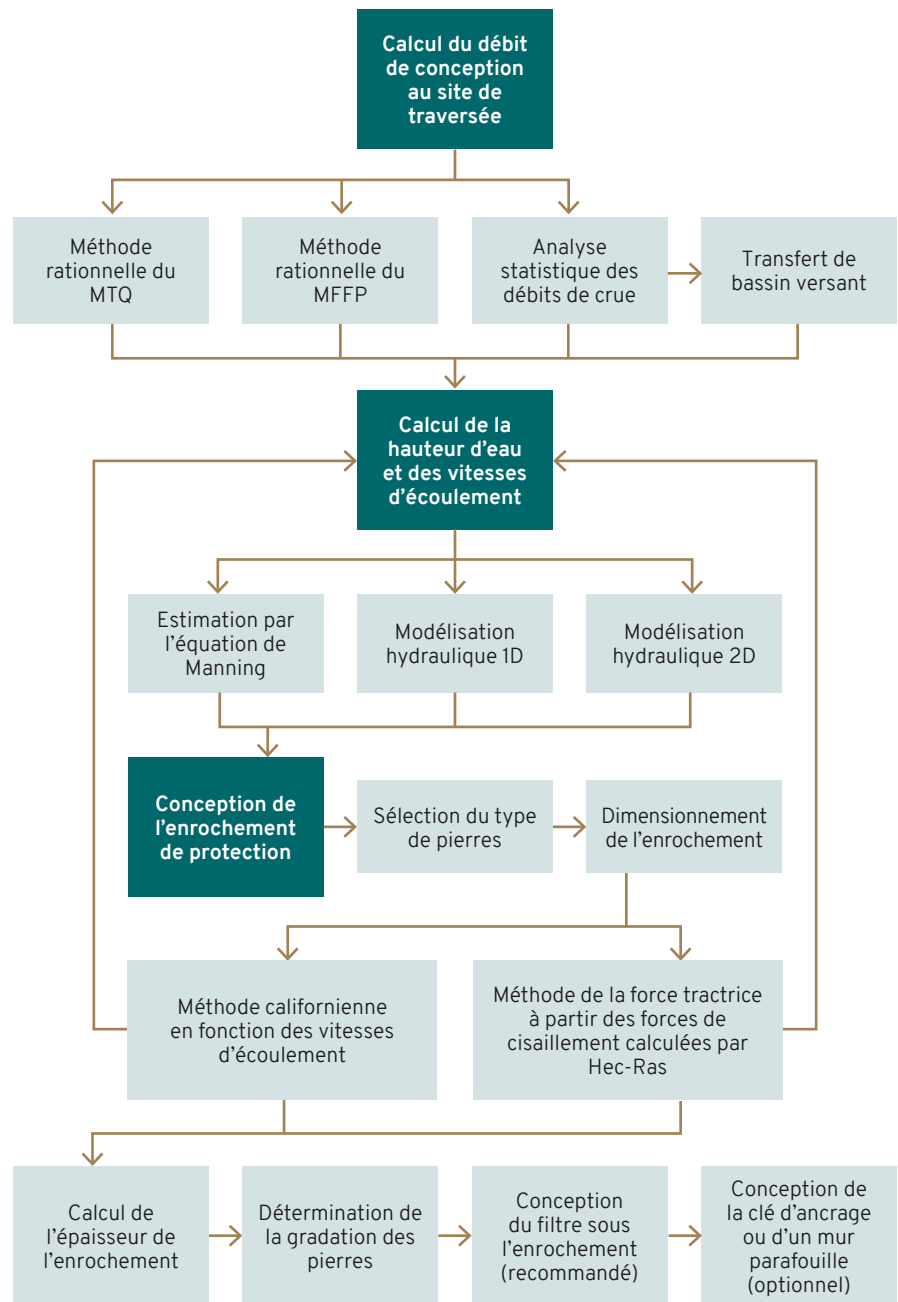


Figure 15: Schéma 3 - Étapes à suivre pour la conception d'une TGA.

peut être utilisée pour la conception des traverses à gué aménagées et est expliquée en détail à l'annexe 6 du RADF (chapitre A-18.1, r. 0.01). La méthode rationnelle présentée dans ce règlement est directement inspirée de celle décrite dans le *Manuel de conception des ponceaux* (MTQ, 2020) du Ministère des Transports du Québec (MTQ), et cette dernière pourrait aussi être utilisée pour

les bassins versants dont la superficie est inférieure à 25 km². Dans un même ordre d'idées, des analyses régionales effectuées sur les débits de plusieurs rivières permettent de calculer des débits pour des rivières non instrumentées. Une méthode de calcul basée sur cette approche a été développée au Québec et elle est disponible dans l'ouvrage *Hydrologie - Cheminement de l'eau*

(Anctil *et al.*, 2005). Toutefois, celle-ci s'applique à des bassins versants d'une superficie de quelques centaines de km² à plusieurs milliers de km², ce qui est d'utilité pour des rivières d'une taille trop élevée pour y aménager une traverse à gué. Par ailleurs, sur les cours d'eau instrumentés dont on dispose d'une longue série de débits mesurés, il est possible d'effectuer des analyses statistiques classiques pour calculer les débits de pointe correspondant à différentes périodes de retour. Les résultats de cette analyse peuvent être transférés à un autre site par la méthode de *Transfert de bassin versant*. Enfin, des recherches récentes effectuées par une équipe de l'*Institut national de la recherche scientifique* (INRS) présentent des résultats intéressants au sujet du calcul du débit de pointe par la méthode rationnelle (Mailhot *et al.*, 2021). Ces résultats pourraient éventuellement mener à une mise à jour de la méthode de calcul présentée dans le *Manuel de conception des ponceaux* du MTQ. En résumé, les outils suivants sont disponibles pour calculer les débits de pointe :

- Méthode rationnelle présentée dans le RADF.
- Méthode rationnelle présentée dans le *Manuel de conception des ponceaux* du MTQ.
- Analyse statistique des débits de crue (requiert une station hydrométrique sur le cours d'eau à l'étude).
- Transfert de bassin versant (requiert les résultats d'une analyse statistique sur un bassin versant ayant des caractéristiques compatibles avec le bassin à l'étude).

L'analyse régionale des débits de crue, les analyses statistiques et la méthode du transfert de bassin versant requièrent plus d'expérience et de jugement de la part de l'hydrologue.

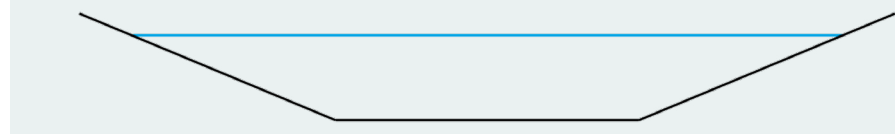


Figure 16: Vue en coupe dans le sens du cours d'eau d'une traverse à gué aménagée.

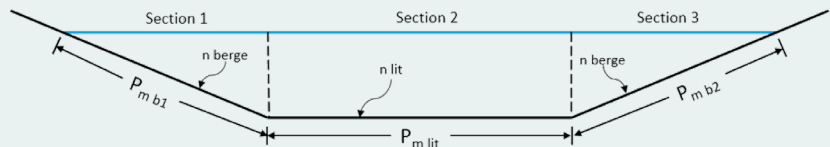


Figure 17: Vue en coupe dans le sens du cours d'eau d'une traverse à gué aménagée.

4.1.1.2.3.2. Calcul de la hauteur d'eau et des vitesses d'écoulement au site de traversée

Après que le débit de conception ait été calculé, la hauteur d'eau et les vitesses d'écoulement au site de traversée générées par ce débit doivent être déterminées. Cette étape peut être plus ou moins complexe selon la morphologie du cours d'eau. L'équation de Manning peut être utilisée pour calculer la hauteur d'eau et les vitesses d'écoulement pour un débit donné dans un chenal de pente et de géométrie constante (White, 2009). En d'autres mots, cette équation est applicable pour les écoulements uniformes qui ne peuvent être observés que dans des canaux artificiels comme ceux conçus pour l'irrigation. L'équation de Manning permet tout de même d'obtenir des résultats acceptables pour les cours d'eau naturels dans la pratique (Munson *et al.*, 2009). Le chenal ne doit pas subir d'effets de refoulement par des constriction ou des seuils situés plus en aval. L'équation requiert en entrée le coefficient de rugosité de Manning, la pente du chenal, l'aire de la section d'écoulement et le rayon hydraulique. Une section de cours d'eau naturel pourrait, par exemple, être modélisée comme une simple section trapézoïdale (Figure 16).

L'équation de Manning est la suivante (Munson *et al.*, 2009) :

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} S_0^{1/2}$$

Q = débit (m³/s)

A = aire de la section d'écoulement (m²)

R_h = rayon hydraulique (m)

S₀ = pente du lit du cours d'eau (m/m)

n = coefficient de rugosité de Manning (s/m^{1/3})

Le coefficient de rugosité de Manning (n) est disponible dans une multitude d'ouvrages portant sur l'hydraulique fluviale. Notamment, différentes valeurs sont disponibles dans le *Hydraulic Reference Manual* du logiciel Hec-Ras (US Army Corps of Engineers, 2021) et dans le *Manuel de conception des ponceaux* du MTQ (MTQ, 2020). Puisque le coefficient de rugosité de Manning est généralement différent pour le lit du cours d'eau (par exemple : gravier) et les berges (par exemple : végétation), la section d'écoulement peut être subdivisée en plusieurs sous-sections (Figure 17).

Il est ensuite possible de calculer le débit passant par chaque sous-section en tenant compte de la rugosité différente du lit et des berges (Akan et Iyer, 2021).

Le même principe s'applique à une section plus complexe.

$$Q = \left(\sum K_i \right) S_0^{1/2}$$

$$K_i = \frac{1}{n_i} A_i R_i^{2/3}$$

Où:

Q = débit (m³/s)

K_i = débitance de la sous-section (m³/s)

n_i = coefficient de rugosité de Manning de la sous-section (s/m^{1/3})

A_i = aire de la sous-section (m²)

R_i = rayon hydraulique de la sous-section (m)

S_0 = pente du lit du cours d'eau (m/m)

Le rayon hydraulique est l'aire de la section d'écoulement divisée par le périmètre mouillé:

$$R_h = \frac{A}{P_m}$$

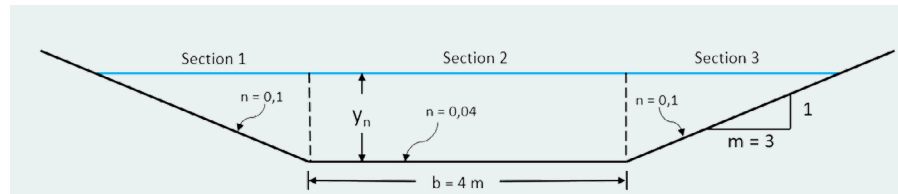
Où:

R_h = rayon hydraulique (m)

A = aire de la section d'écoulement (m²)

P_m = périmètre mouillé (m)

Puisque nous avons calculé préalablement le débit de conception de la traverse et que nous désirons obtenir la hauteur d'eau que générera ce débit dans le chenal, il faut procéder par itérations pour résoudre les équations précédemment présentées. Pour ce faire, il est possible de faire des itérations manuellement, d'utiliser un chiffrier de calcul avec un solveur itératif, d'utiliser un logiciel de programmation ou d'utiliser un logiciel de calcul déjà conçu à cette fin. Des logiciels de type «boîte à outils» sont disponibles gratuitement pour effectuer ce calcul. Enfin, il existe aussi des abaques qui permettent de ne pas avoir à faire ces calculs pour des sections simples (rectangulaires, trapézoïdales, etc.). Une description de l'utilisation de l'équation de Manning est disponible dans le *Manuel de conception des ponceaux* (Transports Québec, 2020)



Exemple d'application de l'équation de Manning

Tableau 3: Résultats d'un exemple d'utilisation de l'équation de Manning.

Paramètre	Section 1	Section 2	Section 3
Coefficient de Manning - n (s/m ^{1/3})	0,10	0,04	0,10
Hauteur normale - y_n (m)	0,51	0,51	0,51
Périmètre mouillé - P_m (m)	1,61	4,00	1,61
Aire - A (m ²)	0,39	2,03	0,39
Débitance (m ³ /s)	0,21	4,58	0,21
Vitesse (m/s)	0,55	2,25	0,55

dans la section *Hydraulique des cours d'eau*. Cette équation est aussi présentée de façon plus sommaire au chapitre 5 du *Manuel de Foresterie* (Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, 2009), *Hydrologie forestière et aménagement du bassin hydrographique*.

Par exemple, la hauteur d'eau et les vitesses d'écoulement seront calculées pour un débit de 5 m³/s dans la section suivante pour un tronçon de cours d'eau ayant une pente de 2 %:

Dans le schéma présenté plus haut, la section 1 et la section 3 étant identiques, nous avons donc deux sections triangulaires ayant chacune les propriétés suivantes:

$$A = \frac{m y_n^2}{2}$$

$$P_m = \sqrt{(m y_n)^2 + y_n^2}$$

Où:

y_n = hauteur normale (m)

m = pente des côtés (unités horizontales: 1 unité verticale, soit m H: V)

Pour la section 2, nous avons une section rectangulaire:

$$A = b y_n$$

$$P_m = b$$

Où:

b = largeur de la base

En entrant ces équations dans un chiffrier électronique et en utilisant un solveur itératif, nous obtenons une hauteur normale (y_n) de 0,51 m. Cette valeur est déterminée en visant un débit total de 5 m³/s et en itérant sur la hauteur normale (y_n) qui se doit d'être la même pour chaque sous-section. Le tableau 3 résume les résultats obtenus.

On observe que les vitesses d'écoulement sont beaucoup moins élevées sur les berges qu'au centre du chenal en fonction du coefficient de rugosité. La section d'écoulement doit être judicieusement positionnée lorsque l'équation de Manning est utilisée afin d'obtenir les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement nécessaires à la conception de la traverse à gué. Par exemple, pour obtenir la hauteur d'eau liée au débit de conception, les sections pour effectuer

les calculs pourraient être placés dans le chenal à l'amont et à l'aval de la traverse (Figure 18).

La pente du chenal utilisée pour les calculs doit être représentative de l'emplacement de la section d'écoulement. Les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement les plus élevées devraient être retenues pour le design. Cela permettrait d'estimer la hauteur d'eau et les vitesses d'écoulement au centre de la traverse (zone avec écoulement). Si l'on place la section directement sur la traverse, la hauteur d'eau sera sous-estimée parce que la section aura une aire plus élevée et un coefficient de Manning plus faible (enrochement). Si le cours d'eau a une pente significative et que les vitesses d'écoulement sont élevées à l'entrée de la traverse, un ressaut hydraulique pourrait se produire sur la traverse. Par exemple, la Figure 19 présente une modélisation hydraulique 1D réalisée dans Hec-Ras sur laquelle on observe un ressaut hydraulique au droit de la TGA.

Cet exemple illustre bien les limites de l'utilisation de l'équation de Manning puisque si l'on avait fait les calculs avec la section à l'amont ou à l'aval de la traverse, nous aurions obtenu une hauteur d'eau inférieure à ce qui est observé au centre de la traverse. De plus, on observe aussi une accélération de l'écoulement à l'entrée de la traverse, ce qui se traduit par des vitesses locales plus élevées.

Afin d'obtenir des résultats les plus réalistes possible, il est recommandé de procéder à une modélisation hydraulique complète en une dimension (1D) ou deux dimensions (2D). Toutefois, l'expérience et les connaissances du concepteur permettront de déterminer si l'équation de Manning est suffisante ou si une modélisation plus avancée est requise. La modélisation hydraulique 1D a été utilisée pour la conception de quatre traverses à gué expérimentales construites sous la supervision de l'équipe de recherche du Laboratoire d'hydrologie forestière de l'Université Laval (Larocque, 2020). La modélisation hydraulique complète d'un tronçon peut permettre d'obtenir des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement plus précises en fonction des

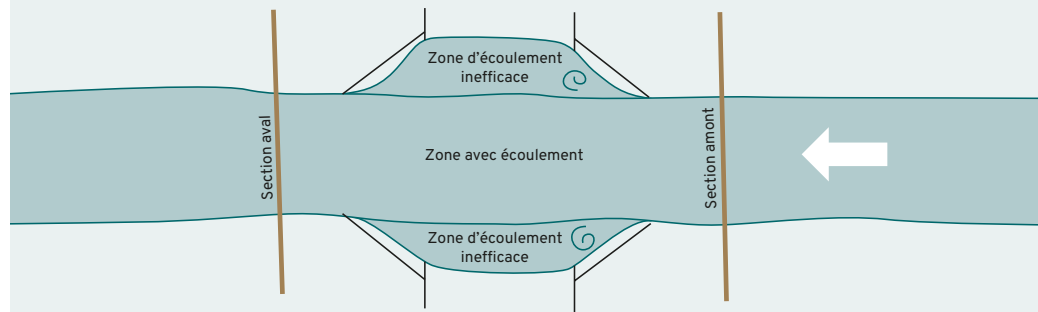


Figure 18: Positionnement des sections d'écoulement pour calcul hydraulique simplifié avec l'équation de Manning.

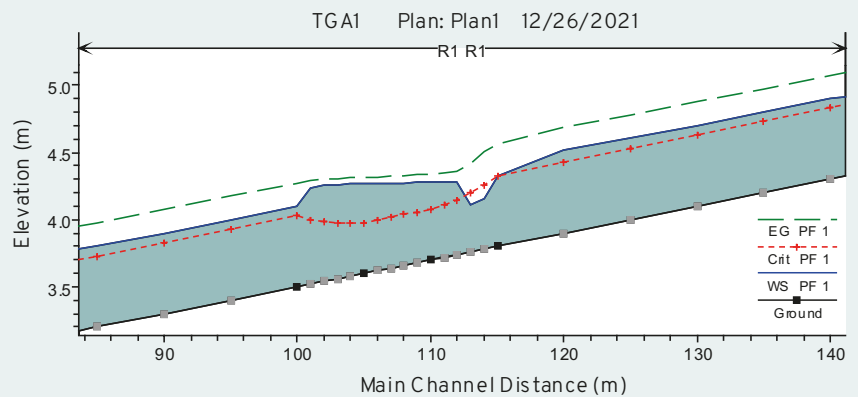


Figure 19: Ressaut hydraulique au droit d'une TGA (modélisé avec Hec-Ras)

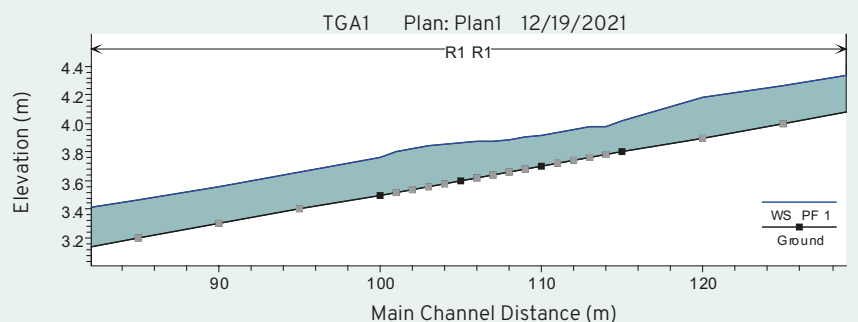


Figure 20: Modélisation 1D d'une TGA avec Hec-Ras (vue de profil).

caractéristiques du cours d'eau. La modélisation en 2D serait utile pour visualiser précisément la répartition des vitesses au site de la traverse. Ces vitesses devraient normalement être plus élevées au centre du chenal et plus faibles sur les berges du cours d'eau ou sur les approches de la traverse (Figure 18). Il est possible d'obtenir les vitesses d'écoulement estimées sur les berges en 1D en fonction du coefficient de rugosité de Manning si le logiciel le permet, mais de façon moins précise qu'en 2D. Si la modélisation est effectuée en 1D, les vitesses d'écoulement sur les approches

devraient être fixées à 0 puisque l'écoulement s'effectuera principalement au centre du chenal (Figure 18). En calculant précisément le niveau d'eau de conception et les vitesses d'écoulement, la quantité de pierres nécessaires pour la construction pourra être optimisée de façon à réduire les coûts et il sera possible d'évaluer si le site sélectionné est sécuritaire pour différentes conditions de débit. La Figure 20 présente les résultats d'une modélisation hydraulique en 1D où l'on peut observer les variations dans les hauteurs d'eau au droit de la TGA.

La Figure 21 présente la vue 3D de la TGA.

Par la suite, le logiciel de modélisation hydraulique peut nous donner divers paramètres tel la vitesse d'écoulement à chaque section (Figure 22).

Dans tous les cas, des relevés terrain seront nécessaires pour déterminer le coefficient de Manning et pour relever précisément le relief du terrain ainsi que la bathymétrie du cours d'eau. Toutefois, les modèles numériques de terrain produits à partir de données LIDAR aéroportées, tels que ceux distribués gratuitement par le MFFP pour le Québec méridional (voir <http://www.foretouverte.gouv.qc.ca>) peuvent être très utiles comme première estimation afin de positionner la traverse et évaluer si la traverse à gué aménagée est une solution envisageable pour le site.

4.1.1.2.3.3. Conception de l'enrochement de protection

4.1.1.2.3.3.1. Sélection du type de pierres

Afin que l'enrochement soit le plus stable possible, il est fortement recommandé d'utiliser des pierres angulaires produites par traitement mécanique. Les pierres angulaires s'emboîtent bien les unes avec les autres, ce qui permet d'obtenir un enrochement solidaire. L'utilisation de pierres arrondies n'a pas été testée dans les expérimentations menées par l'Université Laval. Il est généralement recommandé d'utiliser des pierres angulaires ayant des arêtes vives (NCHRP, 2006). Les pierres ne doivent pas être de forme trop allongée puisqu'il est recommandé que les pierres aient un ratio de longueur maximale sur épaisseur minimale de 3 (NCHRP, 2006). La Figure 23 illustre les 3 axes pour lesquels des mesures peuvent être prises sur une pierre pour obtenir la longueur maximale et l'épaisseur minimale. Il ne serait pas possible d'obtenir ces 3 mesures sur une pierre très arrondie.

Par la suite, les pierres doivent être durables, c'est-à-dire résistantes à

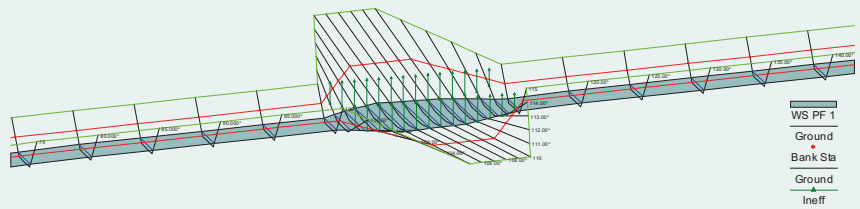


Figure 21: Modélisation 1D d'une TGA avec Hec-Ras (vue 3D).

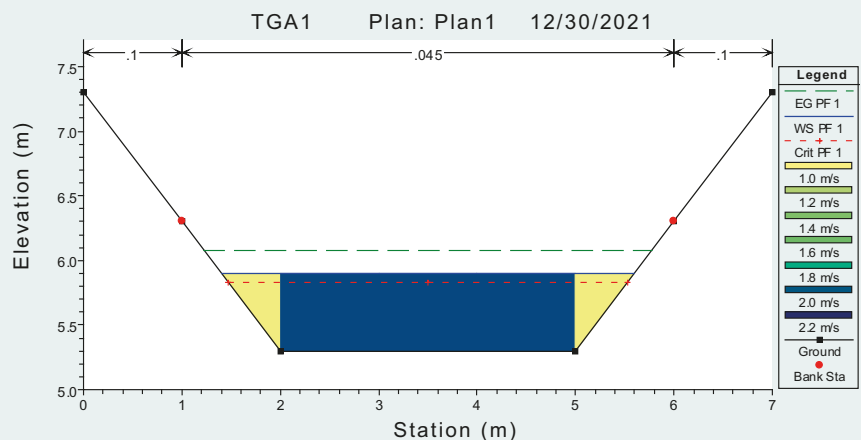


Figure 22: Modélisation 1D d'un tronçon de cours d'eau avec Hec-Ras (vitesses d'écoulement).

l'altération chimique, à l'abrasion, aux cycles de mouillage/séchage et au gel/dégel. L'objectif étant qu'elles aient une durée de vie équivalente à celle prévue de la traverse. Enfin, la densité spécifique des pierres doit être connue ou calculée pour utiliser adéquatement les équations de dimensionnement, car ces dernières ont été développées pour

des densités spécifiques typiques, par exemple 2,65. La densité pourrait être obtenue en pesant la pierre, ce qui nous donnerait sa masse et, par la suite, son volume pourrait être obtenu en insérant la pierre dans un contenant gradué rempli partiellement d'eau et en mesurant l'augmentation de volume généré. La formule suivante permet de calculer la densité spécifique d'une pierre en fonction des mesures expliquées précédemment:

$$S_g = \frac{m_{\text{pierre}}}{V_{\text{pierre}}} * \frac{1}{\rho_{\text{eau}}}$$

Où:

S_g = densité spécifique de la pierre (sans unité)

m_{pierre} = masse de la pierre (kg)

V_{pierre} = volume de la pierre (m³)

ρ_{eau} = densité de l'eau (kg/m³).



Figure 23: Exemple illustrant les 3 axes d'une pierre.

4.1.1.2.3.3.2. Calcul du calibre de l'enrochement

Si l'on utilise un logiciel de modélisation hydraulique pour obtenir les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement au droit de la traverse, le coefficient de rugosité de Manning doit être ajusté en fonction du calibre de l'enrochement utilisé. Le coefficient de rugosité de Manning peut être estimé en fonction du diamètre médian des pierres avec la formule suivante (Smith, 1995):

$$n = C d_m^{\frac{1}{6}}$$

Où:

C = une constante disponible dans la littérature

d_m = diamètre médian des pierres (mm)

n = coefficient de rugosité de Manning.

Le calibre des pierres doit se limiter à une taille raisonnable sinon les véhicules ne pourront pas circuler adéquatement sur la traverse. Des pierres d'une taille maximale de 200 mm ont été utilisées pour la construction des traverses expérimentales de l'Université Laval et permettent relativement bien le passage des véhicules à basse vitesse. Par conséquent, si des pierres de plus grande taille doivent être utilisées en fonction des calculs effectués, c'est que le site sélectionné n'est pas approprié pour aménager une traverse à gué. Il existe une multitude de méthodes pour calculer le calibre d'enrochement nécessaire en fonction de la hauteur d'eau, des vitesses d'écoulement et du degré d'inclinaison, soit la pente des approches de la traverse.

Une équation simple utilisée pour dimensionner les pierres en fonction de la vitesse d'écoulement est la suivante (Smith, 1995):

$$d_m = \frac{20,17V^2}{\sin(70 - \alpha)}$$

Où:

d_m = diamètre médian sphérique équivalent (mm)

V = vitesse d'écoulement (m/s)

α = angle des approches (degrés).

Tableau 4: Taille des pierres requises (Smith, 1995).

Vitesse (m/s)	Diamètre sphérique équivalent des pierres (mm)					
	Pente des approches (V:H)					
	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:8
1,0	29	26	24	23	23	23
1,5	66	58	55	53	52	51
2,0	117	103	97	94	92	91
2,5	183	161	152	147	144	142
3,0	264	232	219	212	208	204
3,5	359	316	298	289	283	278
4,0	469	412	389	377	370	363

Cette équation est adaptée du *California bank and shore protection manual* initialement paru en 1960. Cette équation a été développée pour la protection en enrochement des berges des cours d'eau. L'angle des approches peut être calculé par trigonométrie en fonction de la pente (V:H). Par exemple, si la pente est 1:4, l'angle sera de $\tan^{-1}(1/4)$ ce qui donne 14 degrés. Cette équation est valide pour des pierres ayant une densité spécifique de 2,65. La taille des pierres peut être ajustée en fonction de la densité spécifique grâce à l'équation suivante (Smith, 1995):

$$d_m(\text{ajusté}) = \frac{d_m * 1,65}{(S_g - 1)}$$

Où:

$d_m(\text{ajusté})$ = diamètre médian sphérique équivalent ajusté (mm)

d_m = diamètre médian sphérique équivalent (mm)

S_g = densité spécifique.

Le diamètre médian sphérique équivalent sert à déterminer la masse des pierres requise. Par exemple, une pierre angulaire difforme utilisée pour concevoir l'enrochement devra avoir une masse équivalente à une pierre ronde d'un diamètre calculé par l'équation précédente. Des mesures peuvent donc être effectuées pour valider la taille médiane au tamis des pierres afin de respecter la masse requise.

Le tableau 4 présente la taille des pierres requises en fonction de la vitesse d'écoulement et de la pente des approches de la traverse pour une densité spécifique de 2,65.

Une autre méthode pour calculer le calibre de l'enrochement se nomme la « *Tractive force method* » (Smith, 1995). La force de cisaillement sur le périmètre mouillé d'un cours d'eau se calcule avec l'équation suivante:

$$\tau = \gamma RS$$

Où:

τ = force de cisaillement au fond du cours d'eau (N/m²)

γ = poids spécifique de l'eau (KN/m³)

R = rayon hydraulique de la section d'écoulement (m)

S = pente du cours d'eau (m/m).

Le logiciel de modélisation hydraulique Hec-Ras permet d'extraire le cisaillement sur le lit et sur les berges du cours d'eau pour chaque section d'écoulement.

Par la suite, il faut comparer la force de cisaillement obtenue avec la force de cisaillement critique à laquelle peuvent résister les pierres d'une taille donnée. La force de cisaillement critique se calcule avec l'équation suivante (Smith, 1995):

$$\tau_c = K 0,06 \gamma (S_g - 1) d_m$$

Où:

τ_c = cisaillement critique (N/m²)

K = facteur de correction pour l'inclinaison des approches (sans unités)

γ = poids spécifique de l'eau (KN/m³)

S_g = densité spécifique des pierres (sans unité)

d_m = diamètre médian sphérique équivalent des pierres (mm).

La force de cisaillement critique calculée doit donc être égale ou supérieure à la force de cisaillement calculée pour le cours d'eau pour un débit de conception donné afin que les pierres ne soient pas déplacées.

Sur les approches, l'enrochement est généralement moins stable qu'au fond du cours d'eau à cause de leur inclinaison plus prononcée. Par conséquent, un facteur de correction doit habituellement être appliqué au cisaillement critique pour les pierres situées sur les berges. Toutefois, puisque la pente maximale acceptable des approches est de 20 %, le facteur de correction est près de l'unité. Nous recommandons tout de même de multiplier la force de cisaillement critique par 0,85 pour tenir compte de cet aspect dans les pires conditions. Le facteur de correction K à appliquer est donc de 0,85 pour des pierres angulaires traitées mécaniquement de plus de 50 mm de diamètre (Smith, 1995).

Enfin, il est à noter que d'autres formules de dimensionnement des enrochements de protection existent et pourraient donner des tailles de pierres différentes pour une même vitesse d'écoulement.

4.1.1.2.3.3.3. Calcul de l'épaisseur de l'enrochement pour la surface de roulement

Pour la surface de roulement enrochée d'une TGA, une épaisseur d'enrochement équivalant à 1,5 à 2 fois le diamètre médian des pierres est suffisante pour la protection contre l'érosion (Smith, 1995). Les traverses à gué aménagées expérimentales de l'Université Laval ont été construites avec une épaisseur d'enrochement équivalent à la taille des plus grandes pierres utilisées (100-200 mm), soit de 200 mm (Larocque, 2020). La mise en place d'un enrochement plus épais pourrait être requise si les conditions d'installation sont défavorables ou si le substrat du lit et des berges comporte une faible capacité portante (substrat fin à très fin, mou ou organique). Dans ce dernier cas, les pierres auront tendance à s'enfoncer dans le lit du cours d'eau lors de leur mise en place. Enfin, cet enrochement n'inclut pas le matériel utilisé pour établir le filtre granulaire.

4.1.1.2.3.3.4. Calcul de la gradation des pierres de l'enrochement

Le calcul du diamètre médian implique que 50 % des pierres auront un diamètre inférieur à celui calculé et que 50 % auront un diamètre supérieur à celui calculé. Dans le cas des traverses expérimentales de l'Université Laval, le diamètre médian calculé a servi à déterminer la taille des plus petites pierres et les plus grandes correspondaient à deux fois le diamètre médian. Il est recommandé d'avoir une certaine gradation dans la taille des pierres de façon à ce qu'elles s'imbriquent bien les unes dans les autres. La gradation des pierres est tout de même complexe et elle devrait être ajustée en fonction des matériaux disponibles. Plusieurs références sur la gradation des pierres sont disponibles dans NCHRP (2006).

4.1.1.2.3.3.5. Conception du filtre sous l'enrochement

À des fins de durabilité, il est fortement recommandé de mettre en place un filtre sous l'enrochement de protection pour éviter l'érosion des particules fines constituant en plus ou moins grande proportion les matériaux de fondation de la traverse. Une membrane géotextile ou des matériaux granulaires peuvent constituer le filtre. Cependant, lors de la conception des traverses à gué aménagées expérimentales de l'Université Laval, le Ministère Pêches et Océans Canada a recommandé, par précaution, d'éviter d'utiliser une membrane géotextile dans le lit du cours d'eau. Cette option ne devrait toutefois pas être écartée car le géotextile peut être une solution simple et rapide pour la mise en place d'un filtre. Par conséquent, nous recommandons uniquement l'utilisation d'un filtre granulaire sous l'enrochement de protection qui constitue la surface de roulement dans la zone de la traverse qui sera submergée au débit de conception. Pour la surface de roulement située dans les approches de l'ouvrage, le filtre granulaire pourrait toutefois être remplacé par une membrane géotextile.

La conception du filtre granulaire peut s'avérer complexe puisqu'il faut sélectionner des matériaux ayant une courbe granulométrique compatible avec les matériaux de fondation et l'enrochement de protection. Pour simplifier le travail de conception, nous recommandons de façon préliminaire d'utiliser des matériaux granulaires exempts de particules fines de taille supérieure aux matériaux du lit du cours d'eau (fondation de la traverse) et de taille inférieure aux pierres de l'enrochement de protection. Davantage d'expérimentations seraient requises pour développer une méthode plus simple adaptée pour ce type d'ouvrage. Au besoin, le concepteur est invité à consulter des manuels de référence dans le domaine, dont NCHRP (2006). L'épaisseur minimale du filtre granulaire recommandée est de 15 à 20 cm et celle-ci peut être augmentée de 50 % si l'installation se fait sous l'eau (NCHRP, 2006).

4.1.1.2.3.3.6. Conception du parafouille et de la clé d'ancrage (optionnel)

Les traverses expérimentales de l'Université Laval ont été construites sans clé d'ancrage et sans parafouille. Une clé d'ancrage ou un parafouille pourraient être utiles dans les cours d'eau plus pentus où la vitesse d'écoulement est élevée. Cela permettrait de limiter l'affouillement de la fondation de la traverse (perte des matériaux fins sous l'enrochement de protection) et le déplacement des pierres vers l'aval. La clé d'ancrage pourrait être constituée de gabions ou de pierres de plus grande dimension que celle de l'enrochement de protection et enfouie plus profondément dans le lit du cours d'eau. La clé d'ancrage à elle seule peut ne pas suffire à éliminer l'affouillement et l'ajout d'un parafouille pourrait se révéler nécessaire. Un parafouille est un petit mur étanche dont le haut est au niveau du lit du cours d'eau et dont le bas est enfoui sous le niveau de la fondation dans le lit du cours d'eau. Le parafouille permet donc de retenir les matériaux de la fondation de la traverse en cas d'érosion du lit en aval et de réduire grandement les risques d'affouillement. Le parafouille peut aussi être constitué de divers matériaux comme le bois, le béton et l'acier. Il est toutefois important de veiller à ce que ces éléments ne soient pas installés plus haut que le lit du cours d'eau pour ne pas nuire à la libre circulation du poisson. La Figure 24 illustre une coupe transversale d'une TGA munie d'un filtre granulaire sous l'enrochement de protection et d'une clé d'ancrage en gabions qui agit aussi comme mur parafouille grâce au filtre granulaire. Dans cet exemple, le filtre granulaire a été prolongé en profondeur jusqu'à la base des gabions, en amont pour éliminer la migration des particules fines de la fondation. D'autres configurations de clé d'ancrage et de parafouille sont possibles.

4.1.1.2.3.4. Résumé concernant la conception des traverses à gué aménagées

Telles que décrites précédemment, les TGA peuvent être conçues de diverses façons afin de répondre à des besoins spécifiques. Par exemple, diverses

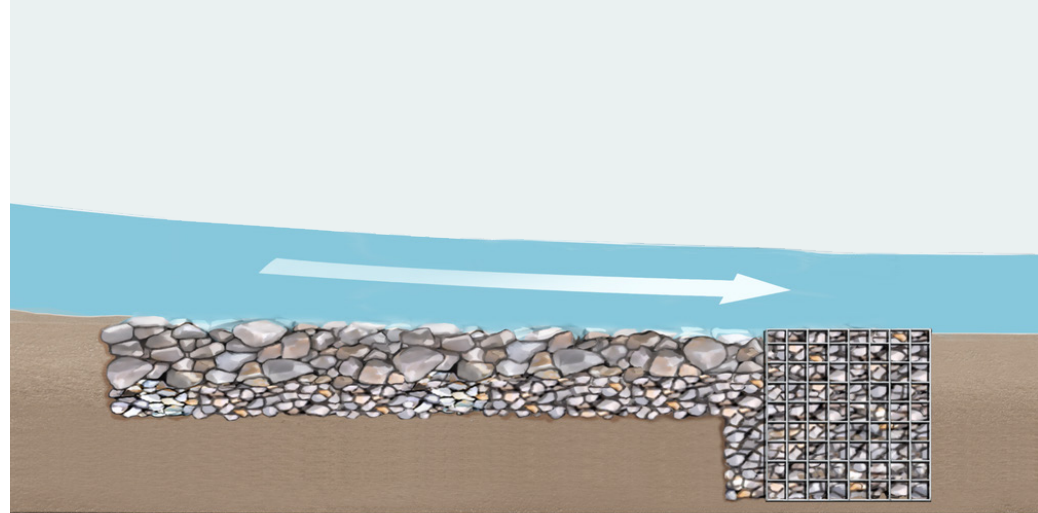


Figure 24 : Coupe transversale d'une TGA avec clé d'ancrage en gabions.

méthodes peuvent être utilisées pour calculer la hauteur d'eau et les vitesses d'écoulement au site de traversée. De plus, l'enrochement de protection peut être composé d'une seule couche de pierres ou être aussi muni d'un filtre granulaire afin d'augmenter la durabilité de la traverse. Une clé d'ancrage ou un mur parafouille peuvent aussi compléter la conception pour limiter l'affouillement et retenir les pierres de l'enrochement dans les cours d'eau plus pentus. Différents niveaux de détails peuvent être atteints lors de la conception telle que la gradation des pierres de l'enrochement de protection et du filtre granulaire. Il est donc important de sélectionner les méthodes de conception et les caractéristiques de la traverse répondant aux exigences du site d'implantation, aux besoins du propriétaire et aux besoins des utilisateurs. Les détails à considérer lors de la conception et la qualité de la construction de la traverse sont fonction du type de véhicules, du degré d'utilisation anticipé ainsi que la durée de vie souhaitée.

4.1.1.2.4. Installation d'une traverse à gué aménagée selon la conception établie

L'installation d'une traverse à gué aménagée regroupe un ensemble d'interventions dont la nature et l'ampleur sont influencées par le contexte de réalisation des travaux, les caractéristiques du site et les critères de conception de la TGA. En ce sens, cette section se concentre avant tout sur l'installation d'une TGA dans un contexte où elle est utilisée pour

remplacer une traverse de cours d'eau en bon état (ponceau ou ouvrage amovible). L'installation d'une TGA dans un autre contexte est aussi possible, mais les recommandations faites dans cette section doivent alors être adaptées en fonction de la situation rencontrée.

Sa mise en place devrait s'effectuer au même moment que le démantèlement de la traverse de cours d'eau à remplacer. Regrouper ces interventions permet de faciliter le déroulement des travaux, de limiter les perturbations du milieu et de réduire les coûts associés à la mobilisation et la démobilité des ressources (machinerie et travailleurs). Ainsi, la méthode recommandée comprend cinq principaux blocs de travail qui sont intimement liés et qui s'exécutent de concert, soit la préparation, l'aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement, l'aménagement des approches, l'aménagement du lit et la stabilisation finale. Ces blocs de travail sont documentés en détail dans les sous-sections suivantes. La procédure recommandée pour leur exécution consiste à commencer par la préparation et les interventions réalisées dans la zone de travail la plus éloignée du point d'accès au chemin (côté Forêt (sortie)) et travailler en reculant vers le point d'accès au chemin (côté Camp (entrée)) pour terminer avec la stabilisation finale. Ainsi, les cinq blocs de travail sont subdivisés en sept étapes chronologiques :

1. Préparation: Préparer la membrane géotextile (si utilisée) et assurer la manutention des matériaux.
2. Aménager la structure de détournement des eaux de ruissellement du côté Forêt (sortie).
3. Aménager l'approche du côté Forêt (sortie).
4. Aménager le lit.
5. Aménager l'approche du côté Camp (entrée).
6. Aménager la structure de détournement des eaux de ruissellement du côté Camp (entrée).
7. Stabilisation finale: Stabiliser les surfaces perturbées et exposées à l'érosion (ensemencement et paillage).

4.1.1.2.4.1. Préparation

La préparation à la mise en place de la TGA regroupe les manœuvres associées à la préparation de la membrane géotextile (si utilisée) et la manutention des matériaux. La préparation de la membrane géotextile consiste simplement à la découper selon les dimensions appropriées.

La manutention des matériaux comprend le chargement, le transport et le déchargement des matériaux utilisés pour l'enrochement de la surface de roulement de la TGA et son filtre granulaire. Les recommandations découlent des travaux de l'équipe de l'Université Laval et portent spécifiquement sur le déchargement du matériel et la coordination des interventions. L'emplacement de la zone de déchargement du matériel doit:

- Éviter de nuire au travail de l'équipe.
- Être situé à plus de 20 m du cours d'eau afin d'éviter que les sédiments fins mobilisés lors du nettoyage du matériel rejoignent le cours d'eau.
- Être à proximité du site pour minimiser la distance et, par conséquent, le temps de déplacement de la pelle mécanique lors de l'enrochement de la surface de roulement de la TGA (Ferland, 2022).

Le déroulement des travaux fait en sorte qu'il n'est pas absolument nécessaire que le matériel soit livré dans son entièreté



Figure 25: Combinaison d'un conduit de drainage de fossé et d'une barre d'eau dans l'approche d'une TGA (deux ans après son installation) (Source O. Ferland 2021).

dès le début des travaux. Néanmoins, la coordination des interventions est primordiale afin d'éviter des délais opérationnels lors de l'enrochement de la surface de roulement de la TGA. Il est aussi important de coordonner la période de travaux de façon à s'assurer que la circulation de véhicules lourds soit terminée avant de débuter l'installation de la TGA.

Enfin, suite au déchargement du matériel d'enrochement, il est recommandé de nettoyer le matériel afin d'éviter l'apport de sédiments fins (résidus et poussière de pierres) dans le cours d'eau. À cet effet, il est nécessaire de capter et de diriger les sédiments fins vers une zone de végétation stable situé à plus de 20 m du cours d'eau à l'aide d'une rigole d'interception et d'une barrière à sédiments qui pourraient être creusées et installées manuellement. Advenant que le matériel est laissé en place pendant une période prolongée avant les travaux, il serait aussi nécessaire de confiner et de stabiliser le matériel d'enrochement dans la zone de déchargement jusqu'au moment des travaux pour éviter l'apport de sédiments vers le milieu aquatique.

4.1.1.2.4.2. Aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement

Normalement les eaux captées par les fossés de drainage sont déviées vers le parterre forestier à au moins 20 m de la berge du cours d'eau. Lorsque la

topographie locale ne permet pas de dévier l'eau de chaque fossé, un ponceau de drainage est fréquemment utilisé pour transférer les eaux du fossé le plus haut (amont) du chemin vers le fossé le plus bas (aval) et la forêt. Toutefois, les approches inclinées vers le cours d'eau d'une traverse à gué aménagée peuvent diriger l'écoulement des eaux de ruissellement vers celui-ci. Il est ainsi primordial de s'assurer que les eaux de ruissellement canalisées par la surface du chemin soient détournées vers le milieu forestier avant de rejoindre la TGA. Une structure de détournement des eaux de ruissellement doit être aménagée à 20 m de la berge de part et d'autre du cours d'eau. Le type de structure de déviation doit être adapté selon le niveau d'utilisation et d'entretien du chemin. Chaque structure à 20 m des berges doit être capable de détourner un écoulement important en cas de rupture des autres structures de déviation des eaux de ruissellement localisées plus en amont sur le chemin.

Lorsque le chemin est entretenu et utilisé, les conduits de drainage des fossés peuvent être laissés en place et des barres d'eau (Figure 25) ou des creux drainants pourraient être installés afin d'assurer le détournement des eaux de ruissellement du chemin tout en permettant le passage des véhicules légers. Lorsqu'un chemin est peu entretenu

et peu utilisé, des fossés de déviation pourraient être installés pour remplacer les ponceaux de drainages situés à 20 m de part et d'autre du cours d'eau. Les principes de conception et d'installation de ces structures sont documentés dans les sections *Barres d'eau*, (Section 4.1.2.4), *Creux drainants* (Section 4.1.2.5) et *Fossés de déviation* (Section 4.1.2.6).

La procédure recommandée pour l'aménagement des structures de détournement des eaux de ruissellement consiste à installer la structure de détournement du côté Forêt (sortie) avant de se lancer dans l'aménagement de l'approche du côté Camp (entrée). La structure de détournement des eaux de ruissellement du côté Camp (entrée) est aménagée après les interventions associées à l'aménagement du lit et de l'approche du côté Camp (entrée). De cette façon, la machinerie n'a pas à circuler sur l'ouvrage ou dans le lit du cours d'eau pour aménager ces dernières.

4.1.1.2.4.3. Aménagement des approches

La surface de roulement enrochée des approches de la TGA enrochée doit être aménagée en respectant les principes de conception suivants :

- Aménager la surface de roulement enrochée de manière à ce qu'elle soit alignée avec le chemin et 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).
- Aménager les approches de manière à reproduire les conditions naturelles du site ou les rives adjacentes (USDA, 2011) tout en maintenant une inclinaison inférieure ou égale à 20 % (Belles-Isles *et al.*, 2019; Blinn *et al.*, 1998; NRCS, 2006; USDA, 2013).
- Aménager une surface de roulement enrochée dont la largeur est adaptée à l'usage anticipé (MF, 2002; USDA, 2011; USDA, 2013).
- Installer un filtre (granulaire ou membrane géotextile) sous la surface de roulement enrochée.
 - Voir: 4.1.1.2.3.3.5. *Conception du filtre sous l'enrochement*, page 27.



Figure 26 : Stabilisation des berges et du lit du cours d'eau (Ferland, 2022).

- Disposer le ou les matériaux sélectionnés pour l'enrochement de manière à couvrir l'ensemble de la surface de roulement comprise dans les approches.
 - La portion de la surface de roulement située en dessous du niveau des hautes eaux correspondant au débit de récurrence de crues sélectionné est enrochée à l'aide du même matériel que pour la portion située au niveau du lit et les berges. Le reste de la surface de roulement comprise dans les approches de l'ouvrage peut être enroché à l'aide d'un matériel d'un calibre différent.
 - Voir: 4.1.1.2.3.3.2. *Calcul du calibre de l'enrochement*, page 26 et 4.1.1.2.3.2. *Calcul de la hauteur d'eau et des vitesses d'écoulement au site de traversée*, page 22.
- Disposer le matériel d'enrochement sur une épaisseur minimale équivalente qui varie entre 1,5 à 2 fois le diamètre médian du matériel sélectionné, soit l'équivalent approximatif de deux couches successives de matériel (Clarkin *et al.*, 2006).
 - Voir: 4.1.1.2.3.3.3. *Calcul de l'épaisseur de l'enrochement pour la surface de roulement*, page 27.
- Adoucir la pente des talus formés par déblai dans un angle de repos stable (USDA, 2011; USDA, 2013).

En présence d'un chemin existant, le matériel de remblai des approches de la traverse de cours d'eau est retiré jusqu'à produire une fondation stable sur laquelle l'enrochement sera disposé. Lorsque le substrat de l'approche est constitué d'un sol mou, instable ou à faible capacité portante, il est recommandé d'ajouter une membrane géotextile par-dessus la fondation (Blinn *et al.*, 1998; Gagnon et Lemieux, 2006; Toupin, 2005; USDA, 2011; USDA, 2013). Cela permet d'améliorer la capacité de support de la surface de roulement enrochée et prévient l'enfoncement du matériel d'enrochement (Blinn *et al.*, 1998). Le matériel d'enrochement est ensuite disposé et compacté au fur et à mesure sur la fondation de l'approche ou sur la membrane géotextile.

L'aménagement des approches s'effectue en deux temps. Tout d'abord, l'approche du côté Forêt (sortie) est excavée et enrochée en reculant graduellement vers le cours d'eau. Après le démantèlement de la traverse de cours d'eau existante et l'aménagement de la surface de roulement enrochée du lit, l'excavation et l'enrochement de l'approche du côté Camp (entrée) peuvent se poursuivre en reculant graduellement vers l'entrée du chemin (Figure 26). Cette méthode permet d'éviter la circulation de la pelle

mécanique dans le lit du cours d'eau en présence d'une traverse fonctionnelle existante ou de limiter l'opération à un seul passage à gué sur le lit non stabilisé. En effet, la circulation de la machinerie dans le cours d'eau peut entraîner un apport important de sédiments. Réduire les passages à gué permet donc de diminuer significativement l'apport de sédiments lié à la construction de la TGA (Gilbert *et al.*, 2021).

4.1.1.2.4.4. Aménagement du lit et des berges

L'aménagement du lit et des berges jusqu'à la ligne des hautes eaux englobe les interventions associées au démantèlement, s'il y a lieu, de la structure qui permettrait de franchir le cours d'eau, la préparation du fond et des berges suivi de la mise en place d'une surface de roulement enrochée et la stabilisation des surfaces perturbées et exposées à l'érosion.

En présence d'une structure qui permettrait de franchir le cours d'eau, la première étape consiste à retirer le matériel de remblai situé en dessous de la limite supérieure des berges du cours d'eau et le conduit de drainage pour un ponceau ou démonter les composantes structurelles d'un pont temporaire (appuis, éléments d'appui et de tablier préfabriqués). Les détails concernant la mise en application et les considérations associés à ces interventions sont documentés dans la section *Démantèlement des traverses de cours d'eau (point stratégique 2)*.

En deuxième lieu, la fondation des berges (en débutant par la berge du côté Forêt (sortie)) et du lit doit être préparée en excavant et en aplanissant le substrat qui recevra le matériel d'enrochement pour le filtre granulaire, si utilisé, et la surface de roulement, tout en maintenant les inclinaisons appropriées.

En troisième lieu, l'empierrement des berges et du lit du cours d'eau vise à produire une chaussée qui est en mesure de résister aux aléas du cours d'eau et aux passages à gué (Kocher *et al.*, 2007; Roni et Beechie, 2013). Cette surface de roulement enrochée doit maintenir les processus naturels du cours d'eau et le libre passage du poisson (Clarkin *et al.*, 2006; MNR, 1996). Les principes de conception à respecter sont :

- Aligner la surface de roulement enrochée de manière à ce qu'elle soit droite, continue avec les approches et perpendiculaire avec le 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). Cet alignement réduit les surfaces perturbées par la mise en place de la TGA et les perturbations potentielles associées au passage à gué (Clarkin *et al.*, 2006; MNR, 1996).
 - Installer un filtre granulaire sous la surface de roulement enrochée. Le filtre granulaire peut être remplacé par une membrane géotextile au niveau des berges.
 - Voir: 4.1.1.2.3.3.5. *Conception du filtre sous l'enrochement*, page 27.
- Renforcer la surface de roulement située en dessous de la limite supérieure des berges du cours d'eau à l'aide du matériel d'enrochement approprié sur une épaisseur équivalente à 1,5 à 2 fois le diamètre médian du matériel sélectionné, soit une épaisseur qui correspond approximativement à deux couches successives de matériel (Clarkin *et al.*, 2006).
 - Voir: 4.1.1.2.3.3.3. *Calcul de l'épaisseur de l'enrochement pour la surface de roulement*, page 27 et 4.1.1.2.3.3.2. *Calcul du calibre de l'enrochement*, page 26.

- Aménager, si nécessaire, une clé d'ancrage ou un parafouille en aval de l'enrochement.
 - Voir: 4.1.1.2.3.3.6. *Conception du parafouille et de la clé d'ancrage (optionnel)*, page 28.
 - Disposer et niveler le matériel d'enrochement de manière à reproduire la morphologie du lit (forme et pente) et s'assurer que la surface de roulement soit au même niveau ou à un niveau légèrement inférieur au lit naturel. Ceci permet de prévenir l'affouillement du lit en amont et en aval de l'ouvrage (Clarkin *et al.*, 2006; MNR, 1996), de restaurer la dynamique naturelle du cours d'eau (Clarkin *et al.*, 2006; Keller et Sherar, 2003; Lurtz, 2016; USDA, 2011; USDA, 2013), de minimiser les modifications du chenal (Clarkin *et al.*, 2006) et d'assurer le libre passage du poisson. La surface de roulement enrochée dans le lit doit être en continuité avec le lit naturel en amont et en aval de l'ouvrage.
- Disposer et niveler le matériel d'enrochement de manière à reproduire la morphologie des berges (forme, profil et largeur) tout en s'assurant que la courbature longitudinale de la chaussée permet le passage de véhicule léger. La pente au niveau des berges doit être maintenue sous 10 % (Clarkin *et al.*, 2006) ou 20 % (Blinn *et al.*, 1998). Il faut assurer une bonne continuité entre la chaussée sur la berge et les caractéristiques en amont et en aval de celle-ci. L'application de ce principe permet de maintenir la dynamique naturelle du cours d'eau (Clarkin *et al.*, 2006; USDA, 2011; USDA, 2013).
 - Aménager un thalweg qui reproduit la forme et le profil naturel du cours d'eau qui permet de concentrer l'écoulement en période d'étiage afin de favoriser le libre passage du poisson (Belles-Isles *et al.*, 2019; Clarkin *et al.*, 2006; Gagnon et Lemieux, 2006; USDA, 2011).

En quatrième lieu, les surfaces perturbées et exposées à l'érosion au niveau du lit et des berges du cours d'eau doivent être immédiatement stabilisées après la mise en place de la surface de roulement enrochée (Figure 27). Les interventions associées à la stabilisation du lit et des berges visent à limiter le potentiel d'érosion et de mobilisation de sédiments fins et contribuent à assurer la durabilité de la surface de roulement enrochée. Pour y arriver, ces surfaces sont reconstituées ou remises en état en s'assurant de reproduire leurs caractéristiques (Bagley, 1998; Barnard *et al.*, 2013; Merrill et Casaday, 2001). Ces interventions sont davantage documentées dans la section 5.2. *Démantèlement des traverses de cours d'eau (point stratégique 2)*, page 54. De plus, les talus des berges en aval et en amont de la surface de roulement enrochée peuvent être renforcés à l'aide de pierres naturelles afin de les protéger contre l'érosion et prévenir l'affouillement ou le déplacement du matériel d'enrochement de la surface de roulement (Clarkin *et al.*, 2006; Keller et Sherar, 2003; Lohnes *et al.*, 2001; USDA, 2011). À cet effet, il est recommandé d'utiliser des pierres naturelles d'un diamètre supérieur ou égal à 15 cm (Gagnon et Lemieux, 2006).

4.1.1.2.4.5. Stabilisation finale

La stabilisation finale regroupe les manœuvres qui visent à assurer la stabilité des surfaces perturbées et exposées à l'érosion dans les approches de la traverse à gué aménagée et ainsi favoriser l'établissement d'un couvert végétal naturel. Ces manœuvres devraient être effectuées à la toute fin des travaux. Les principes et la méthode proposée (ensemencement et paillage) sont détaillés dans la Section 5.2. *Démantèlement des traverses de cours d'eau (point stratégique 2)*, page 54.



Figure 27: Stabilisation des berges et du lit du cours d'eau (Ferland, 2022).

4.1.1.2.4.6. Adaptation de la procédure d'installation de la TGA en l'absence d'une structure permettant le passage de la machinerie

En l'absence d'une traverse ou lorsque celle-ci est en mauvaise état, la machinerie doit franchir le cours d'eau en circulant directement sur son lit ou mettre en place une structure de traversée temporaire. La procédure décrite dans la présente section vise à minimiser les passages de la machinerie dans le lit du cours d'eau (Gilbert *et al.*, 2021). Il est à noter que la procédure décrite aux sections précédente n'est pas modifiée. Bien qu'elles n'aient pas été étudiées en détail et ne concordent pas toujours avec le cadre légal actuel, les alternatives suivantes ont le potentiel d'éviter ou de limiter les passages de la machinerie dans le cours d'eau:

1. Installer un ouvrage amovible temporaire afin de permettre à la pelle mécanique de déplacer le matériel d'enrochement d'un côté à l'autre du cours d'eau sans avoir à circuler directement sur son lit.
 - Un pont temporaire, tel que décrit dans la Section 4.1.1.3. Traverses de cours d'eau temporaires, page 35. Un aménagement rudimentaire et une installation simplifiée d'un pont temporaire est justifiable puisqu'il est mis en place pour une courte période (24h à 48h) afin de

permettre quelques passages de la pelle mécanique. Par exemple, les appuis peuvent être aménagées de manière à permettre au tablier d'être légèrement plus haut que le niveau de l'eau

- Un ouvrage constitué d'un conduit remblayé par des troncs d'arbres (RADF, art. 111).
- Un ouvrage constitué d'un ou plusieurs conduits remblayés avec le matériel d'enrochement sélectionné pour la TGA. Cette structure n'est pas encadrée dans le cadre légal actuel, mais sa mise en place pourrait s'effectuer selon les mêmes principes et considérations que les ouvrages amovibles décrits à l'article 111 du RADF. La procédure d'installation consisterait à mettre en place et utiliser le filtre granulaire et la surface de roulement enrochée du lit de la TGA comme fondation. Après la mise en place et le remblayage du ou des conduits, la machinerie serait en mesure de franchir le cours d'eau, sans être en contact avec le lit, pour l'aménagement de l'approche de la TGA du côté Forêt (sortie). Une fois terminé, le ou les conduits sont retirés et le matériel d'enrochement est utilisé pour réajuster la surface de roulement au niveau du lit et aménager l'approche du côté Camp (entrée).

2. Prévoir un emplacement de chaque côté de la traverse de cours d'eau pour décharger le matériel d'enrochement nécessaire à l'aménagement de chaque approche de la TGA.

- 2.1. Trouver deux points d'accès au chemin pour permettre au camion-benne de rejoindre les zones de déchargement de chaque côté du cours d'eau sans avoir à le franchir.
 - 2.2. Installer un ouvrage temporaire pour permettre au camion-benne et à la pelle mécanique de franchir le cours d'eau sans avoir à circuler directement sur le lit du cours d'eau.
 - Ces alternatives ont aussi le potentiel de faciliter le travail de l'opérateur de la pelle mécanique en réduisant la distance et ainsi la durée de ses déplacements pour l'enrochement de la surface de roulement du côté Forêt (sortie).
3. Transférer le matériel d'enrochement nécessaire à l'aménagement de l'approche de l'autre côté du cours d'eau, à l'aide de la pelle mécanique, avant de le franchir et de commencer à l'aménager. Les calibres de pierres différents sont disposés en piles distinctes à l'extérieure des berges.
- Cette alternative permet de limiter la circulation de la machinerie à un passage à gué aller-retour.
 - Inconvénients: Pour éviter de nuire aux travaux dans l'approche, il pourrait être nécessaire de déplacer à nouveau le matériel, ce qui ralentit la progression de l'équipe et peut occasionner des pertes de matériel. L'utilisation de plusieurs calibres différents (filtre granulaire et surface de roulement) pour l'aménagement de l'approche pourrait aussi complexifier ces opérations.

Finalement, le *Code de conduite provisoire – Traversées temporaires de cours d'eau* de Pêches et Océans Canada est un incontournable et une source importante d'informations pour la planification et la mise en œuvre de saines

pratiques qui permettent de limiter et atténuer les impacts des traversées sur le milieu aquatique, le poisson et son habitat (MPO, 2022).

4.1.1.2.4.7. Signalisation

Les guides et articles consultés recommandent généralement de mettre en place une signalisation adéquate qui permet d'indiquer la présence d'une TGA et la nécessité de ralentir et de circuler sur celle-ci à basse vitesse. Cette signalisation doit être localisée en tenant compte de la distance de visibilité de la TGA selon la configuration du chemin et de la distance nécessaire pour ralentir en fonction de la vitesse de circulation et du type de véhicule.

Par ailleurs, la signalisation d'une TGA peut aussi s'effectuer de manière à informer l'utilisateur de ses limites d'utilisation. Par exemple, le type de véhicules supportés, les périodes de traversée recommandées, la hauteur d'eau limite et la vitesse de circulation recommandées pour la traversée. La signalisation doit aussi être visible pour ne pas être un obstacle et aussi indiquer le risque de faible épaisseur ou l'absence d'un couvert de glace, lorsque la TGA est utilisée en hiver. Par ailleurs, les véhicules tirant une remorque pourraient avoir de la difficulté à utiliser les TGA dont les pentes des approches sont trop élevées.

4.1.1.2.5. Enjeux de sécurité

Certains documents de référence mentionnent que l'utilisation d'une TGA peut se révéler plus risquée lorsque la hauteur d'eau est plus élevée que 30 cm (Balke *et al.* 2011; Keller et Ketcheson, 2015). D'autres recommandent que la hauteur d'eau ne dépasse pas la hauteur des essieux du véhicule (MF, 2002). Toutefois, les hauteurs et les vitesses d'écoulement sécuritaires pour l'utilisation des TGA devraient être déterminées en fonction du type de véhicule et de ses caractéristiques. Puisque ces aspects n'ont pas été étudiés par l'équipe de l'Université Laval, il n'est pas possible d'émettre des recommandations précises à ce sujet.

Cependant, si le concepteur veut s'assurer que la TGA soit sécuritaire pour tout type de véhicule, celui-ci peut décider d'implanter les TGA uniquement sur des petits cours d'eau où la profondeur d'eau et les vitesses d'écoulement ne sont pas problématiques en tout temps. Enfin, les utilisateurs devraient être sensibilisés à ne pas utiliser la traverse s'ils ont un doute sur la profondeur d'eau.

4.1.1.2.6. Qualité de l'eau et prises d'eau potable

Dans un souci de protection de l'environnement, les véhicules qui utilisent les TGA doivent être en bonne condition mécanique et ne pas comporter de fuites d'huiles ou de graisses puisque ceux-ci entreraient directement en contact avec l'eau. Cet aspect est d'autant plus important si une prise d'eau potable est située en aval sur le cours d'eau. Par conséquent, il est important d'évaluer les risques de contamination en présence d'une prise d'eau potable. Le *Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection* peut être consulté à ce sujet (chapitre Q-2, r. 35.2).

4.1.1.2.7. Enjeux sur les habitats aquatiques

Il existe actuellement peu de littérature portant sur l'effet des traverses à gué aménagées sur les déplacements et le comportement du poisson. L'étude de Warren Jr et Pardew (1998) s'intéressant à l'effet de différentes traverses de cours d'eau sur les mouvements des poissons, dont une traverse à gué, mentionne que les mouvements des poissons y sont similaires à ceux ayant lieu dans un milieu naturel. La traverse à gué aménagée a comme avantage de maintenir un accès au territoire pour des activités récréotouristiques, d'entretien des structures laissées en place et de sylviculture. Néanmoins, les connaissances sur l'effet des traverses à gué aménagées sur le comportement du poisson sont limitées.

Les recommandations qui suivent sont basées sur les résultats obtenus lors de travaux de terrain réalisés à l'été 2020 dans le cadre d'un projet de maîtrise. Les données ont été récoltées lors d'un seul été sur un ruisseau graveleux et concerne le stade juvénile du saumon atlantique (*Salmo salar*). Les résultats ne peuvent donc être considérés comme directement applicables à d'autres espèces de poissons ou types de cours d'eau. Les résultats complets de cette étude seront disponibles lorsque le mémoire d'Audrey-Anne Grenier sera déposé au printemps 2022.

Le projet de maîtrise avait pour objectif d'étudier le comportement des saumons juvéniles à la suite de passages répétés d'un véhicule motorisé (quatre-roues) dans un cours d'eau à lit de graviers, soit le ruisseau Xavier, un tributaire de la rivière Sainte-Marguerite Nord-Est à Sacré-Cœur, sur la Haute-Côte-Nord. Des tacons ont été capturés par pêche électrique et marqués avec un transport passif (PIT tag) servant d'identificateur unique. Après une période de récupération, les poissons marqués ont été relâchés dans le ruisseau où un tapis d'antennes PIT stationnaire avait préalablement été installé sur le lit du cours d'eau. Des passages avec un véhicule motorisé de type VTT ont été réalisés sur un seuil naturel à différentes fréquences, soit à des intervalles de 15 et 60 minutes. Le réseau d'antennes PIT a permis de documenter en continu les déplacements des poissons avant, pendant et après chacun des traitements. À partir de ces données, une mesure d'activité des poissons a été calculée et utilisée comme variable d'analyse du comportement des poissons. Une activité était comptabilisée quand un poisson arrivait sur une antenne (nouvellement détecté sur cette antenne) ou quittait une antenne (n'a pas été détecté sur cette antenne pendant au moins 3 secondes). Les résultats montrent que les périodes de passages de véhicules motorisés ne correspondent ni à une augmentation, ni à une diminution significative de l'activité des poissons marqués par rapport

aux périodes pré et posttraitement. La variabilité de l'activité des poissons est plutôt expliquée par deux variables environnementales principales: la période de la journée et la température de l'eau.

Les saumons juvéniles étaient moins actifs durant le jour comparativement à l'aube, au crépuscule et la nuit, le niveau d'activité étant semblable au cours de ces trois dernières périodes de la journée. Ce résultat a maintes fois été décrit dans la littérature et correspond au besoin des jeunes saumons de se protéger des prédateurs visuels pendant le jour, ceux-ci demeurant cachés dans les interstices du substrat la majeure partie du temps. À l'aube et au crépuscule, les poissons sortent de leur cachette pour s'alimenter. En raison de la pénombre, leur alimentation est moins efficace qu'en plein jour, mais les tacons sont également beaucoup moins visibles pour les prédateurs. Les insectes invertébrés dont ils se nourrissent sont aussi beaucoup plus abondants car ils profitent également de la pénombre pour se déplacer en se laissant porter par le courant. Les poissons étaient également moins actifs au fur et à mesure que la température de l'eau se refroidissait vers fin de l'été et le début de l'automne. Au site d'étude, la température a commencé à s'abaisser vers la fin du mois d'août. Il a également été décrit dans la littérature que la capacité de réaction des saumons diminue lorsque la température de l'eau descend sous les 8-10 degrés Celsius. Étant ainsi encore plus susceptibles à la prédation, les juvéniles adoptent un comportement encore plus nocturne qu'en été. Les résultats obtenus correspondent donc parfaitement avec ce qui est connu du comportement de l'espèce étudiée. Ainsi, il serait attendu que les résultats diffèrent dans le cas d'une espèce ayant des optimums de température d'eau et des routines journalières différentes du saumon. De plus, les résultats ont été récoltés en dehors de la période de reproduction et le comportement des adultes n'a pas été étudié. Pour certaines espèces comme le saumon, la période de reproduction concorde avec la période de la chasse,

là où les traverses à gué risquent d'être plus utilisées. Cependant, les TGA sont plus souvent utilisées dans de plus petits cours d'eau qui sont moins fréquentés par les saumons pour la reproduction.

À la lumière des résultats et observations obtenus lors des travaux de terrain de l'été 2020, il est possible de faire les recommandations suivantes:

- Pour un ruisseau où l'on retrouve des saumons juvéniles: limiter les passages lorsque le soleil est couché (aube, crépuscule et nuit) puisqu'il s'agit du moment privilégié d'alimentation.
- Les matériaux des TGA devraient imiter les éléments de rugosité du lit du cours d'eau. Par exemple, conserver une hétérogénéité du substrat afin de permettre aux poissons de se déplacer ou de se mettre à l'abri des prédateurs.
- Ne pas installer de dalle de béton lisse comme matériel de renforcement de la surface de roulement d'une traverse à gué aménagée.
- Selon les espèces présentes dans le ruisseau, adapter les critères de conception de la TGA à la biologie des espèces qui pourraient être rencontrées.
- S'assurer que les TGA ne nuisent pas à la reproduction et aux mouvements des adultes. Exemple: mettre une TGA en amont d'une frayère au lieu d'en aval et limiter les passages lors du pic de la période de montaison.
- S'il s'agit d'une traverse à gué non aménagée, stabiliser les berges afin de minimiser l'injection de sédiments dans le cours d'eau.

4.1.1.2.8. Travaux de recherche supplémentaires recommandés

Plusieurs points concernant la conception et l'utilisation des TGA n'ont pas été couverts lors des travaux menés par l'équipe de l'Université Laval et permettraient d'émettre des recommandations plus précises. Les principaux points à étudier en détail sont les suivants :

- Hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement sécuritaires en fonction du type de véhicules.
- Introduction d'huile ou de graisse dans le cours d'eau lors du passage des véhicules.
- Comportement hivernal et printanier des TGA.
- Suivi de l'intégrité et de l'efficacité des TGA à maintenir un accès et assurer la libre circulation de l'eau et le libre passage du poisson sur une période de 10 ans.
- Construction de TAG dans les cours d'eau à sols mous.

4.1.1.3. Traverses de cours d'eau temporaires

4.1.1.3.1. Types de traverses de cours d'eau temporaires

Les ouvrages temporaires permettant de franchir un cours d'eau lors d'un usage intensif avec des véhicules lourds, tels que pour les activités d'aménagement forestier ou la construction et la réfection de chemins, forment deux groupes. Le premier groupe est constitué d'ouvrages qui peuvent être utilisés sur les chemins d'hiver, donc entre le 15 décembre et leur démantèlement avant le 31 mars du même hiver (RADF, art. 111). Les principales caractéristiques de ce groupe sont :

- Un ouvrage constitué d'un ou plusieurs tuyaux remblayés par des troncs d'arbres ou de la neige, avec ou sans membrane géotextile et des matériaux granulaires.
- Un ouvrage constitué de neige compactée ou d'eau gelée recouvertes si nécessaire d'une membrane géotextile et de matériaux granulaires.

- Un ouvrage constitué d'un pont de glace renforcé au besoin par des radiers de billes de bois interreliées.

Le deuxième groupe est constitué de variantes du pont temporaire qui comprend deux principaux éléments structurants, soit le tablier et les appuis sur lesquels repose le tablier (Figure 3). Les appuis reposent sur une fondation (sol ou roc en place) et sont parfois surmontés de radiers constitués d'éléments d'appui préfabriqués, aussi appelés matelas-culée, sur lesquels s'appuie le tablier. Les appuis sont aménagés à l'extérieur de la limite supérieure des berges du cours d'eau. Le tablier de l'ouvrage est généralement constitué de deux à trois éléments préfabriqués distincts, aussi appelés dalles, installés côte à côte ou joints avec une plaque de fermeture. Il comprend aussi des garde-roues pour les véhicules. L'utilisation du terme pont temporaire dans ce guide réfère directement à ce type d'ouvrage amovible et vise seulement à alléger la lecture. Le premier groupe d'ouvrages temporaires présenté plus haut n'est pas couvert par ce guide.

Le pont temporaire, aussi appelé ouvrage amovible, pont provisoire ou pont à dalles temporaires, est utilisé pour la circulation de véhicule lourds, de véhicules légers et d'engins forestiers dans des chemins multiusages (Ferland, 2022). Cet ouvrage peut être utilisé toute l'année, enlevé, puis remis en place au besoin s'il a été conçu et prévu à cette fin. Il est utilisé en forêt publique québécoise lorsque la fermeture du chemin est prévue dans les trois ans après sa construction (RADF, art. 110 et 112) ou dans un chemin d'hiver. Outre les principes qui guident le démantèlement d'une traverse de cours d'eau, l'installation et l'enlèvement des ouvrages amovibles en forêt publique québécoise doivent se conformer aux règles suivantes :

- 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 (RADF, art. 81).

- L'ouvrage ne peut être en contact avec l'eau (RADF, art. 110 et 111).
- Les appuis ou culées de l'ouvrage doivent être aménagés en dehors de la limite supérieure des berges du cours d'eau (RADF, art. 111).
- Le site de traversée doit aussi être propice à son aménagement de façon à limiter les perturbations du lit naturel lors de son utilisation et de son enlèvement (RADF, art. 111).
- 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 (RADF, art. 114).

En comparaison avec les traverses de cours d'eau de type ponceau, les ponts temporaires sont mieux adaptés aux cours d'eau qui transportent une importante quantité de sédiments et de débris ligneux (Barnard *et al.*, 2013) puisqu'ils sont installés temporairement et que leurs composantes sont installées en dehors de la limite supérieure des berges du cours d'eau. Les composantes préfabriquées du pont temporaire font en sorte qu'il est considéré comme étant sécuritaire, fiable, durable et réutilisable (Blinn *et al.*, 1998), mais leur acquisition initiale est coûteuse. Toutefois, ils ont le potentiel d'être financièrement compétitifs lorsqu'on compare les coûts potentiels de leur usage répété à moyen terme par rapport à ceux de ponceaux de grandes dimensions (Ferland, 2022; Volpé, 2018). En considérant qu'ils n'altèrent pas l'intégrité du lit et des berges d'un cours d'eau et que leurs impacts environnementaux sont presque toujours inférieurs à la mise en place d'un ponceau (Barnard *et al.*, 2013; Kocher *et al.*, 2017; MF, 2002; Weaver *et al.*, 2015), les ouvrages amovibles de ce type représentent une solution très avantageuse pour répondre à des objectifs de protection de l'environnement (FPIInnovations et Canards Illimitées, 2016).

Les sous-sections suivantes ont été rédigées de manière à présenter un portrait sommaire des considérations liées à la mise en place d'un pont temporaire.

Étant peu documenté dans la littérature, le contenu qui suit constitue une brève introduction aux techniques usuelles d'installation et aux bénéfices associés à l'utilisation de ce type d'ouvrage amovible sur les chemins à faible utilisation. Des études supplémentaires sont nécessaires afin de mieux cibler les avantages et les inconvénients associés à leur utilisation, notamment en ce qui a trait aux mesures et aux coûts d'entretien des composantes amovibles et réutilisables du pont temporaire, la mise en place d'appuis permanents dans le cadre d'une fermeture temporaire (désactivation temporaire) et le potentiel de combinaison simultanée d'un pont temporaire et d'une traverse à gué aménagée sur le même site de traversée. Enfin, des études supplémentaires seraient requises pour tester différentes méthodes d'installation et émettre des recommandations plus précises sur l'installation de ces ouvrages.

4.1.1.3.2. Planification

La planification de la mise en place d'un pont temporaire doit permettre d'évaluer si le site de traversée est approprié, de déterminer la portée libre requise par l'ouvrage pour enjamber le cours d'eau, d'estimer la hauteur des appuis nécessaire pour obtenir le dégagement minimum souhaité et sélectionner le type d'appui à aménager.

4.1.1.3.2.1. Évaluation du site de traversée pour l'installation

Le potentiel d'installation du site de traversée correspond à la capacité du site à permettre l'installation d'un pont temporaire. Le principal élément qui pourrait nuire à sa mise en place est la rectitude du tracé du chemin qui mène à l'ouvrage, particulièrement lorsque du transport de bois est prévu. En étant limitée en largeur, la surface de roulement du tablier du pont temporaire ne permet pas à des véhicules longs tels qu'un camion équipé d'un fardier ou d'une remorque de pivoter ou tourner sur le tablier. Ce qui implique que l'axe du chemin en approche doit être droit et

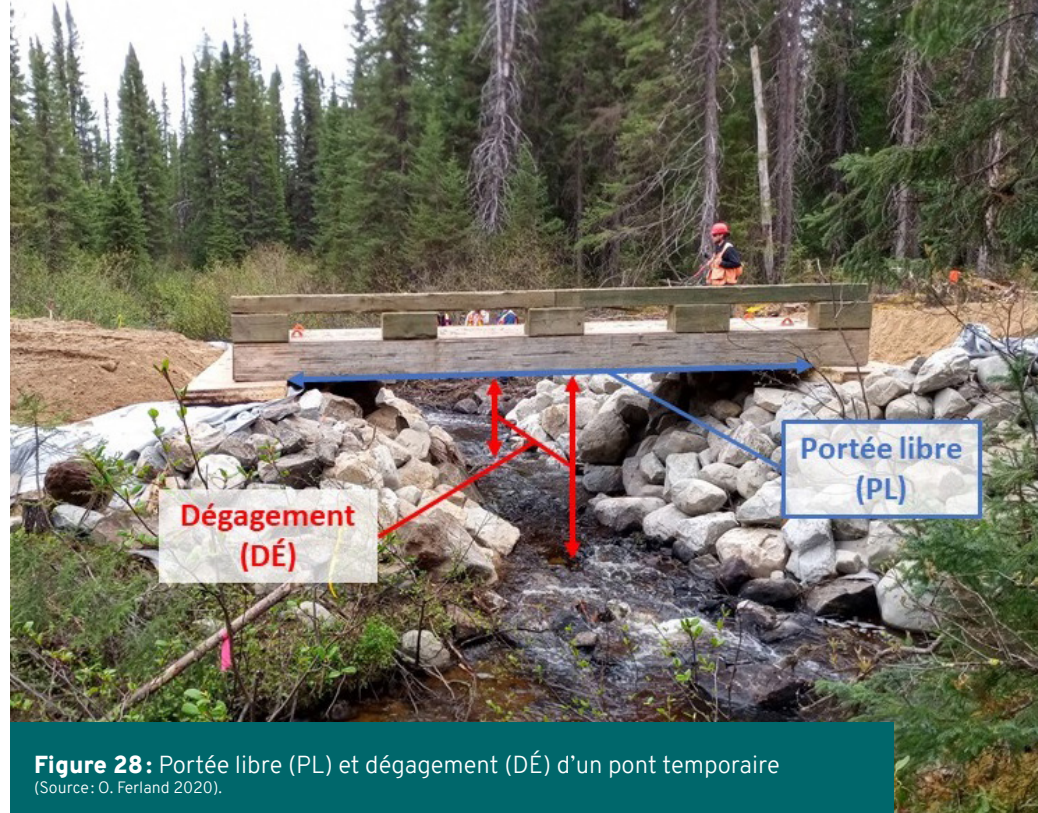


Figure 28 : Portée libre (PL) et dégagement (DÉ) d'un pont temporaire
(Source: O. Ferland 2020).

aligné avec le tablier des deux côtés du site de traversée de manière à permettre aux véhicules longs de circuler sur le pont temporaire sans avoir à modifier leur direction sur le tablier. Les pentes des chemins d'approche de part et d'autre de l'ouvrage doivent aussi être faibles afin d'éviter le besoin de ralentir ou d'accélérer lorsque les véhicules lourds sont sur le tablier.

Tirés de la littérature scientifique, les facteurs et les conditions présentés ci-dessous peuvent faciliter le déroulement des travaux d'installation du pont temporaire. Ils peuvent être utilisés à la fois comme indicateurs pour estimer les coûts et la durée des travaux et être utiles pour évaluer le potentiel d'un site de traversée à accueillir un pont temporaire.

- Faible espacement entre les berges et des approches avec une faible pente (Barnard *et al.*, 2013). Limite l'ampleur des remblais des approches et des appuis pour atteindre le DM souhaitée et dévier les eaux de ruissellement à l'extérieur des zones de 20 m mesurées à partir de la berge du cours d'eau (Ferland, 2022).
- Cours d'eau étroit, uniforme et bien défini (Keller et Sherar, 2003; MF,

2002; NHDFL et UNH, 2016; Weaver *et al.*, 2015). Facilite l'alignement des éléments d'appui et de tablier préfabriqués et des approches (Ferland, 2022).

- Appuis érigés sur une fondation constituée d'un substrat grossier, rocheux ou sur la roche mère (Keller et Sherar, 2003). Facilite l'aménagement des appuis (Ferland, 2022).

4.1.1.3.2.2. Portée libre

La portée libre (PL) du pont temporaire correspond à la distance qui sépare les appuis d'un pont temporaire. Cette distance est évaluée après avoir identifié l'emplacement des appuis et doit être inférieure à la portée libre maximale (PLM) de l'ouvrage qui est utilisé (Figure 28). La PLM est directement reliée aux spécifications du fabricant des composantes et est prescrite par les devis du fabricant du pont temporaire. En connaissant ces valeurs, le planificateur peut s'assurer du bon déroulement des opérations et mieux coordonner ses ressources (machinerie et structures disponibles). L'emplacement des appuis est déterminé par ces deux principes :

1. Les appuis sont situés à l'extérieur de la limite supérieure des berges du cours d'eau.

- Cette position permet d'éviter de nuire à la circulation des débris (ligneux, sédiments et glaces) et de restreindre l'écoulement de l'eau (MFFP, 2020; Weaver *et al.*, 2015).

2. Les appuis sont alignés de manière à être parallèles au cours d'eau et perpendiculaires à l'axe de la surface de roulement du chemin en approche.

- Cet alignement permet l'installation d'un tablier perpendiculaire au cours d'eau et dans l'axe de la surface de roulement du chemin. Ultiment, l'alignement des appuis contribue à la mise en place d'une surface de roulement droite et continue qui assure un passage sécuritaire pour tous les types de véhicules qui pourraient y circuler.

4.1.1.3.2.3. Hauteur des appuis

La hauteur des appuis à aménager est estimée en considérant deux principaux éléments. Le premier élément à considérer est que la surface du tablier doit être le point le plus haut du pont temporaire et des approches. De cette façon, les eaux de ruissellement de la surface de roulement s'écoulent et sont dirigées vers l'extérieur des zones de 20 m mesurées à partir des berges du cours d'eau. Le deuxième élément à considérer est que le dégagement (DÉ) du pont temporaire doit respecter le dégagement minimum (DM) souhaité (Figure 28). Le DÉ d'un pont temporaire correspond à la distance qui sépare le dessous de son tablier et la surface de l'eau et le DM correspond plutôt à un critère de conception sélectionné afin d'assurer la libre circulation de l'eau et des débris flottants (branches, glaces, etc.). À l'exception de l'article 94 qui touche spécifiquement au cours d'eau navigable, le RADF ne comporte pas de norme ou principe pour guider ou prescrire un DM pour les ouvrages amovibles. La littérature recommande de s'assurer que le pont temporaire comporte un DM qui permet la libre circulation des débris

flottants, le libre passage du poisson et la libre circulation de l'eau pendant la période où il est laissé en place (Barnard *et al.*, 2013; Keller et Sherar, 2003; MF, 2002; NHDFL et UNH, 2016; Weaver *et al.*, 2015). Toutefois, les seuils recommandés de DM varient entre les articles et les guides consultés. Voici quelques exemples:

- DM de 0,5 à 1 m (Keller et Sherar, 2003) ou de 0,9 m (Weaver *et al.*, 2015) par-dessus le niveau d'eau attendu en période de crue pour la période où l'ouvrage est laissé en place.
- DM de 1 m par-dessus la limite supérieure des berges du cours d'eau lorsqu'il est nécessaire d'assurer la libre circulation des débris flottants ou lorsque l'ouvrage est laissé en place à longueur d'année. Sans quoi il est recommandé de retirer l'ouvrage avant la fonte des neiges (HQ, 2011).

4.1.1.3.2.4. Sélection du type d'appui aménagé

La sélection du type d'appui aménagé s'effectue en considérant les exigences requises par le devis de l'ouvrage, les conditions du site de traversée (PL nécessaire), le DM souhaité pour la hauteur des appuis et l'expérience de l'équipe responsable de l'installation. Ce guide s'est concentré sur les appuis constitués d'un coussin de nivellement ou d'un remblai de nivellement. Ces deux types d'appui sont intéressants et la sélection revient à celui qui a le mandat de planifier l'installation du pont temporaire et doit toujours s'effectuer en respectant les exigences du devis. À cet effet, il est recommandé de vérifier la stabilité des berges du cours d'eau et de procéder à l'identification des sols au niveau des appuis en concordance avec les exigences du devis du pont temporaire installé (HQ, 2011). Pour guider le choix entre ces deux types d'appui, les principaux avantages, inconvénients et recommandations qui leur sont associés sont présentés dans la sous-section *Appuis*.

4.1.1.3.3. Composition d'un pont temporaire

4.1.1.3.3.1. Tablier

Le tablier du pont temporaire est la composante structurelle amovible qui constitue la surface de roulement et qui assure le support des véhicules qui y circulent. Le tablier est généralement constitué de caissons en acier ou de dalles de poutres de bois interreliées ou de bois lamellé-collé (Figure 29). Une plaque de fermeture centrale peut être ajoutée pour joindre deux caissons en acier, de même que des protecteurs en contreplaqué traité pour protéger les dalles en bois lamellé-collé contre l'abrasion générée par le passage des véhicules.

Le tablier du pont temporaire est généralement accompagné de garde-roues, chasse-roues ou glissières mises en place pour diriger et retenir les véhicules sur la surface de roulement de l'ouvrage. Elles sont en bois et/ou acier et peuvent être amovibles ou fixées directement sur le tablier. La mise en place des garde-roues sur le tablier peut s'effectuer préalablement à l'installation du pont temporaire ou suite à l'installation du tablier sur le chantier. Cette deuxième option impliquant des garde-roues amovibles

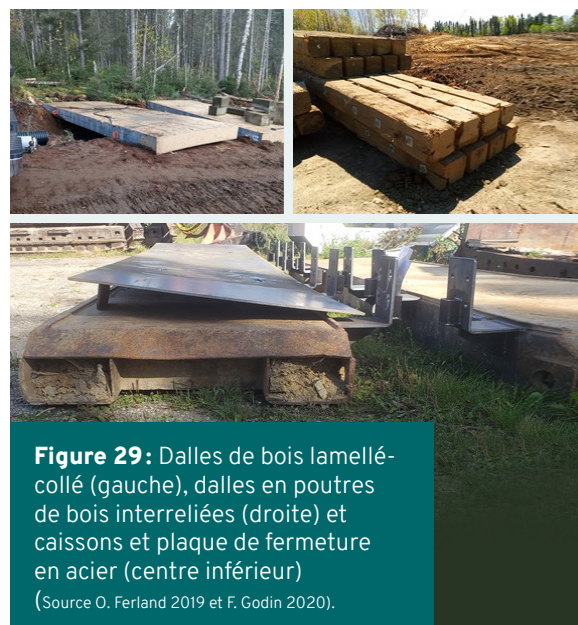


Figure 29: Dalles de bois lamellé-collé (gauche), dalles en poutres de bois interreliées (droite) et caissons et plaque de fermeture en acier (centre inférieure)

(Source O. Ferland 2019 et F. Godin 2020).

facilite l'empilement, le transport et l'installation du tablier (Ferland, 2022). Cependant, l'installation de garde-routes doit s'effectuer en respectant les recommandations et spécifications du fabricant du pont temporaire.

4.1.1.3.3.2. Appuis

Les appuis sont les composantes structurales qui supportent le tablier et sa charge. Ils assurent le transfert et la répartition des forces à la fondation en provenance du tablier du pont temporaire (Blinn *et al.*, 1998; HQ, 2011; MNR, 1996). Ce guide se concentre sur deux types d'appui, soit l'appui constitué d'un coussin de nivellement et l'appui constitué d'un remblai de nivellement. Des éléments d'appui préfabriqués ou radiers (matelas-culée) peuvent bonifier ces deux types d'appui et reposer directement sur ceux-ci (Figure 30). Ils offrent un point d'appui stable pour le tablier et contribuent à répartir les forces à la fondation en provenance du tablier lors de son utilisation.

L'aménagement des appuis commence par l'établissement d'une fondation appropriée. Pour ce faire, la matière organique et végétale est retirée afin d'exposer le sol minéral (HQ, 2011) qui est ensuite nivelé et compacté de manière à établir une fondation sur sol ferme, grossier ou rocheux (Keller et Sherar, 2003). Pour les sols à faible capacité portante (substrat très fin ou organique), la fondation peut être renforcée à l'aide d'un tapis de fascines ou des radiers de bois séparés par une membrane géotextile. Cette intervention supplémentaire a le potentiel de:

- Répartir les forces à la fondation, limiter l'enfoncement et faciliter le retrait des composantes amovibles de l'ouvrage (Blinn *et al.*, 1998; FPInnovations et Canards Illimités, 2016; HQ, 2011).
- Protéger le tablier de la pourriture en l'éloignant du sol, limiter l'apport de sédiments dans le cours d'eau et prévenir les mouvements ou le tassement des appuis ou du tablier (Blinn *et al.*, 1998).



Figure 30: Éléments d'appui préfabriqués en bois lamellé-croisé (gauche) et en poutres de bois interreliées (droite) sur coussins de nivellement (Source O. Ferland 2019).



Figure 31: Appui constitué d'un coussin de nivellement sur lequel est déposé un matelas-culée (Ferland, 2022).

4.1.1.3.3.2.1. Appui constitué d'un coussin de nivellement

Construit sur la fondation, le coussin de nivellement est constitué d'une membrane géotextile pliée en portefeuille (Figure 31) et remplie avec du matériel granulaire (sable, gravier et pierre < 75 mm). La conception d'un coussin de nivellement comme appui est très peu documentée dans la littérature scientifique, mais il est juste de proposer que son épaisseur soit déterminée par les conditions du site de traversée et le DM souhaité. De plus, le coussin de nivellement peut être renforcé à l'aide d'un enrochement pour augmenter la

stabilité de l'appui (Keller et Sherar, 2003; MNR, 1996; MRN 1997; Weaver *et al.*, 2015) et le protéger contre l'érosion en période de crues (Gillies, 2007; Keller et Sherar, 2003; NHDFL et UNH, 2016).

Étant peu documenté dans la littérature, il est difficile de déterminer les limites d'application de ce type d'appui et de cibler des critères précis pour guider leur conception. Néanmoins, ce type d'appui pourrait possiblement se révéler utile dans un contexte où l'ouvrage est installé pendant une courte période de temps et qu'il est retiré avant le début de l'hiver sur des petits cours d'eau intermittents.

4.1.1.3.3.2.2. Appui constitué d'un remblai de nivellement

Tel que son nom l'indique, l'appui constitué d'un remblai de nivellement est un remblai érigé à l'aide de matériel granulaire (sable, gravier et pierre < 75 mm) compacté et nivelé (Figure 32). Les talus du remblai de nivellement sont stabilisés à l'aide d'une membrane géotextile et d'un enrochement et la pente des talus doit être inférieure à 1V: 2H (HQ, 2011). L'épaisseur du remblai de nivellement est en partie déterminée par le DM souhaité pour le pont temporaire et les conditions du site de traversée (Ferland, 2022). Lorsque des radiers de bois sont utilisés, il est recommandé de limiter son épaisseur à un maximum de 1,5 m par rapport à la base de la fondation et en excluant l'épaisseur du matelas-culée, si utilisé (MF, 2002).

4.1.1.3.3.3. Avantages et inconvénients

À ce jour, la littérature ne spécifie pas les limites d'application d'un coussin de nivellement ou d'un remblai de nivellement pour un pont temporaire. Nonobstant cela, la documentation des sites d'installation et de démantèlement de ponts temporaires a permis de déduire quelques avantages et inconvénients qui peuvent guider la sélection du type d'appui à aménager. Les principaux avantages et inconvénients d'un coussin de nivellement par rapport au remblai de nivellement sont les suivants :

- Le coussin de nivellement permet de limiter l'enfoncement de l'appui en distribuant les charges au sol. Il pourrait aussi faciliter le retrait de l'ouvrage (FPInnovations et Canards Illimités, 2016; HQ, 2011).
- En séparant et en confinant le matériel granulaire utilisé pour l'appui et la fondation, la membrane géotextile pliée permet de limiter la perte des particules plus fines du matériel et les déplacements ultérieurs des matériaux qui les constituent (FPInnovations et Canards Illimités, 2016; HQ, 2011).



Figure 32: Appui constitué d'un remblai de nivellement (Ferland, 2022).

- Le coussin de nivellement est avantageux lorsque la fondation de l'appui comporte un substrat grossier (pierres > 100 mm et blocs) ou lorsque le roc ou la roche mère est exposé (HQ, 2011; MRN, 1997).
 - Le tassement initial de l'appui après l'usage du pont temporaire est plus difficile à corriger pour un coussin de nivellement car la membrane géotextile semble nuire à la manipulation et la compaction du matériel disposé entre ses plis.
 - Advenant qu'un problème de tassement, de nivellement ou d'alignement soit suspecté ou constaté pendant la période d'utilisation de l'ouvrage, les corrections nécessaires impliquent de manipuler à nouveau la membrane géotextile et possiblement la remplacer, et de reconstruire le coussin de nivellement.
- intensive et résister aux conditions hydrologiques du site de traversée au fil des années.
- Lors de la construction des appuis, il semble plus facile et pratique d'ajuster l'épaisseur, le nivellement et l'alignement d'un remblai de nivellement.
 - Advenant qu'un problème de tassement, de nivellement ou d'alignement soit suspecté ou constaté pendant la période d'utilisation de l'ouvrage, il semble aussi plus pratique d'effectuer un redressement ou une correction du nivellement pour un remblai de nivellement.
 - Le remblai de nivellement semble être une alternative intéressante lorsque les conditions du site de traversée (cours d'eau non encaissé) ou les objectifs de conception de l'ouvrage amovible (dégagement minimum) nécessitent l'édification d'appuis d'une bonne épaisseur.

Les principaux avantages potentiels à la sélection du remblai de nivellement par rapport à un coussin de nivellement sont les suivants :

- En raison des mesures de stabilisation par enrochement des talus d'un remblai de nivellement, il est possiblement plus durable et stable qu'un coussin de nivellement. Il pourrait mieux supporter une utilisation

4.1.1.3.4. Installation

La procédure proposée pour l'installation d'un pont temporaire se divise en quatre blocs de travail, soit l'aménagement des appuis, le montage, la mise en forme des approches et la finition.

4.1.1.3.4.1. Aménagement des appuis

L'aménagement des appuis regroupe les interventions liées à l'excavation et le nivellement des appuis du pont temporaire. Les appuis sont construits un à la fois et peuvent être aménagés avant ou pendant la mise en forme des approches. Leur aménagement est encadré ou s'effectue dans le respect de ces principes :

- Localisation: Les appuis sont situés à l'extérieur de la limite supérieure des berges du cours d'eau.
- Alignement: Les appuis sont parallèles au cours d'eau et perpendiculaires à l'axe de la surface de roulement du chemin en approche.
- Espacement: La distance entre les appuis (portée libre) est inférieure à la PLM du pont temporaire.
- Épaisseur: La hauteur des appuis, en incluant l'épaisseur des éléments d'appui préfabriqués utilisés, permet d'obtenir le DM souhaité en amont et en aval du tablier et permet à la surface du tablier d'être le point le plus haut de la traverse de cours d'eau.

L'aménagement des appuis débute par l'excavation et le nivellement de leur fondation. L'installation de l'appui se poursuit avec le remblayage, le nivellement et la stabilisation du type d'appui sélectionné. L'importance d'une bonne fondation est soulignée par certains auteurs et experts qui soutiennent que la défaillance d'un pont temporaire est généralement due aux conditions hydrologiques (crues et événements climatiques exceptionnels) auxquelles les appuis sont soumis, en particulier lorsque leur fondation est constituée d'un substrat fin (Ferland, 2022; Keller et Sherar, 2003). La fondation et les appuis du pont temporaire ont donc avantage à être bien conçus et protégés par un enrochement afin d'éviter leur dégradation et leur défaillance à la suite d'événements hydrologiques importants.



Figure 33 : Pose d'un élément de tablier préfabriqué (Ferland, 2022).

4.1.1.3.4.2. Montage

Le montage du pont temporaire rassemble les manipulations associées à la disposition des éléments d'appui préfabriqués (matelas-culée) sur les appuis aménagés (coussins ou remblais de nivellement), la pose des éléments de tablier préfabriqués et l'installation des garde-roues. Ces manipulations doivent s'effectuer à l'aide de chaînes ou d'élingues en nylon et des points d'attache prévus (ancrages) ou recommandés par le fabricant afin d'éviter de les endommager et pour assurer leur durabilité (HQ, 2011). Manipuler les éléments de tablier ou d'appui préfabriqués à l'aide des dents du godet et du pouce hydraulique d'une pelle mécanique est un exemple de pratique à proscrire. Dans la mesure du possible, il est aussi recommandé de limiter les manipulations au minimum pour limiter les risques d'endommager les composantes d'un pont temporaire (Ferland, 2022).

Préalablement au montage, une minutieuse inspection de l'intégrité de l'ensemble des composantes du pont temporaire est recommandée afin de s'assurer qu'ils respectent les exigences et les tolérances identifiées dans le devis de l'ouvrage. À la suite de cette inspection, les éléments d'appui et de tablier préfabriqués peuvent être installés

(Figure 33). La pose de ces composantes doit répondre aux spécifications et aux critères de tolérance du fabricant de l'ouvrage (HQ, 2011). Les principaux éléments à vérifier après leur pose sont les suivants :

1. Alignement, nivellement et stabilité:
 - Les matelas-culées sont parallèles avec le cours d'eau et perpendiculaires à la surface de roulement du chemin.
 - Le tablier est aligné avec la surface de roulement du chemin en approche.
 - Le tablier est au niveau, repose entièrement sur toute sa largeur sur l'appui et sa stabilité longitudinale et latérale est assurée en concordance avec les devis du pont temporaire. Sinon des contraintes ou tensions structurelles pourraient être générées lors de la circulation des véhicules (Weaver *et al.*, 2015).
2. Portée libre maximale:
 - Le tablier repose sur ses appuis en concordance avec la longueur d'appui minimale et la portée libre maximale recommandée par le fabricant du pont temporaire.
3. Dégagement minimum souhaité:
 - Le dégagement du pont temporaire est supérieur ou égal au DM souhaité.

4.1.1.3.4.3. Mise en forme des approches

La mise en forme des approches regroupe les interventions qui permettent d'aménager la surface de roulement sur remblais qui permet de rejoindre le pont temporaire et de franchir le cours d'eau à angle droit. Au sens de ce guide, l'approche représente la zone de 20 m mesurée horizontalement à partir de la limite supérieure des berges du cours d'eau. La mise en forme des approches d'un pont temporaire s'effectue selon les mêmes principes et normes qui englobent les ponceaux. En résumé, ces principes sont les suivants :

- Les débris, la matière végétale et organique doivent être retirés afin d'exposer le sol minéral de la fondation du remblai (Desautels *et al.*, 2009).
- En sol mou ou sur un sol à faible capacité portante, la fondation du remblai d'une approche peut être renforcée à l'aide d'une membrane géotextile et d'un tapis de fascines ou de radiers de bois (Blinn *et al.*, 1998; FPIInnovations et Canards Illimités, 2016; HQ, 2011).
- Le matériel recommandé pour le remblayage est généralement un mélange de gravier (sans pierre d'un diamètre supérieure à 75 mm) ou de sable (Desautels *et al.*, 2009; MRN, 1997).
- Le matériel de remblai est disposé et compacté en couche successive de 15 à 30 cm d'épaisseur (Desautels *et al.*, 2009; MRN, 1997).
- Le remblai de l'approche est aligné de manière à être droit et perpendiculaire au cours d'eau et son nivellement s'effectue de façon à produire une surface de roulement qui s'élève vers le tablier du pont temporaire (Gillies, 2007; MNR, 1996; NHDFL et UNH, 2016; Weaver *et al.*, 2015). Ce nivellement permet de détourner les eaux de précipitation, de fonte et de ruissellement vers les zones de 20 m mesurées à partir de la limite supérieure des berges et ainsi, limiter l'érosion et la mobilisation de sédiments fins vers le cours d'eau (Gillies, 2007; MFFP, 2021a; MNR, 1996).

- Le remblai doit être érigé et nivelé de manière à produire une surface régulière en forme de couronne et légèrement arrondie afin d'évacuer l'eau vers les talus.
- Les talus des remblais des approches doivent être stabilisés le plus rapidement possible de manière à éviter les risques d'érosion (RADF, art. 86). La pente de ces talus doit être adoucie dans un rapport inférieur à 1 (V):1,5 (H) et une technique de stabilisation par la végétation (ensemencement et paillage) ou l'enrochement (membrane géotextile et enrochement) doit être mise en place afin d'assurer leur stabilité (RADF, art. 73).

4.1.1.3.4.4. Finition

La finition regroupe les interventions qui permettent de conclure l'installation du pont temporaire. Il est d'abord recommandé d'inspecter et d'évaluer sa conformité aux exigences décrites dans le devis de l'ouvrage (HQ, 2011). En présence d'un problème de stabilité, de nivellement des appuis, de déplacement du tablier ou d'un critère de conception non satisfait (DM ou portée libre), des mesures correctives sont immédiatement mises en place. Ensuite, un essai de portance devrait être effectué à l'aide d'un véhicule lourd, comme la pelle mécanique, qui circule à quelques reprises sur l'ouvrage afin de permettre son tassement initial (HQ, 2011). Encore une fois, si un problème est constaté, il est nécessaire d'apporter des mesures correctives. Après cette dernière vérification de conformité, la stabilisation des talus près de l'ouvrage peut être effectuée avec la technique appropriée (enrochement ou ensemencement et paillage). Ces interventions sont suivies de l'installation de panneaux de signalisation.

Les panneaux de signalisation et les principes qui guident leur installation sont similaires à ceux d'un pont. Ces panneaux sont installés de part et d'autre du pont temporaire et face aux véhicules de manière à assurer leur visibilité (MFFP, 2021a). Les principaux panneaux et panonceaux et les mesures qui encadrent leur installation sont succinctement comme suit :

- Balises de danger (panneaux): Une paire de balises doit être installée sur un poteau ou directement sur l'ouvrage sans empiéter sur sa surface de roulement (MFFP, 2021b). Ces balises sont utilisées pour indiquer les limites de la chaussée du pont temporaire.
- Limite de charge (panneau): Installé à une distance de 20 à 30 m de part et d'autre de l'ouvrage sur l'accotement du chemin à droite. La limite de charge est autorisée ou déterminée par le MFFP (MFFP, 2021b).
- Borne kilométrique (panonceau): Installée sous un panneau de limite de charges de part et d'autre de l'ouvrage lorsque le chemin comporte des bornes kilométriques (MFFP, 2021b).
- Limite de vitesse (panneau): Installée à une distance de 50 à 75 m de part et d'autre de l'ouvrage. La limite de vitesse est déterminée par la classe de chemin et dans la mesure où elle est toujours inférieure à 30 km/h pour un pont temporaire (MFFP, 2021b).
- Passage étroit (panneau): Installé à une distance de 125 à 175 m de part et d'autre de l'ouvrage lorsque la largeur de la chaussée du pont temporaire est inférieure ou égale à 4,3 m (MFFP, 2021b).

Pour de plus amples informations, il est recommandé de consulter les normes et la réglementation en vigueur. Le *Guide de signalisation routière dans les forêts du domaine de l'État* du MFFP (MFFP, 2021b) est un incontournable et représente une bonne source d'information pour orienter la signalisation d'un pont temporaire.

4.1.2. Structures de drainage

4.1.2.1. Fossés

Les fossés sont une composante des chemins forestiers très importante, mais ceux-ci ne parviennent pas toujours à remplir convenablement, à court, moyen et long terme, leur rôle d'évacuation des eaux de précipitation, de fonte et de ruissellement vers des zones végétalisées. Leur conception initiale, mais aussi leur entretien régulier ou occasionnel doit viser la canalisation et l'évacuation de l'eau qui est déviée de son parcours naturel par la présence même du chemin. Il s'agit principalement des eaux de ruissellement provenant de la surface du chemin ainsi que les eaux provenant des superficies forestières adjacentes. Une fois canalisée dans les fossés, cette eau doit être évacuée par gravité vers des endroits qui ne sont pas des milieux hydriques. Une mauvaise conception et le manque d'entretien des fossés causent toutefois des problèmes fréquents tels que l'érosion, l'accumulation des sédiments et l'envahissement par la végétation. Ultiment, les fossés mal entretenus peuvent graduellement se remplir de sédiments, ce qui réduit leur capacité à évacuer les eaux vers des zones appropriées. L'érosion de ces fossés est une cause fréquente d'apport de sédiments vers les milieux aquatiques sur les chemins forestiers. Un versant qui alimente un fossé de chemin est, par définition, exempt de cours d'eau. Les fossés ne doivent donc pas canaliser des cours d'eau permanents ou intermittents ce qui est actuellement encadré par le RADF.

Le fossé doit être conçu de façon à ce que les eaux ne pénètrent pas la surface de roulement du chemin de façon prolongée (Figure 34) et que sa capacité portante en soit réduite (Weaver *et al.*, 2015).

Les fossés doivent être construits avec des pentes latérales adéquates pour limiter leur érosion et les éboulis qui pourraient bloquer l'écoulement de

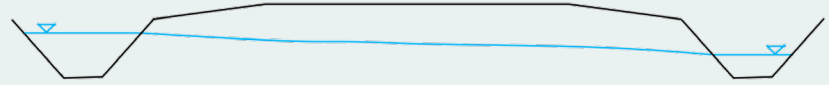


Figure 34 : Exemple d'un chemin humide à cause d'un mauvais drainage..

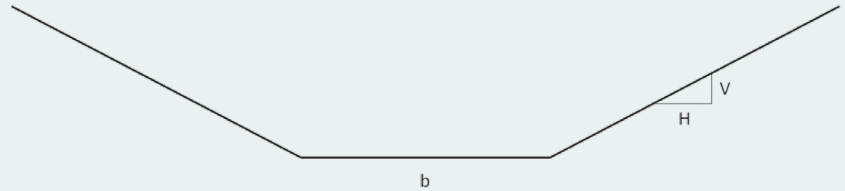


Figure 35 : Exemple de section d'un fossé.

Tableau 5 : Pentes latérales des fossés admissibles en fonction des types de sols (OIFQ, 2009; MAPAQ, 1986).

Type de sol	Pente (H: V)
Argile non compactée ou limon sableux	3:1
Sable silteux non compact	2:1
Argile compacte	1,5:1
Gravier anguleux compact	0,5:1
Tourbe	0,25:1
Roc, moraine, shiste	0:1

l'eau. Une section de fossé trapézoïdale est présentée à la Figure 35.

La pente latérale des fossés est exprimée en ratio d'unités horizontales pour une unité verticale (H: V). Une pente latérale de 2H: 1V est souvent donnée comme règle du pouce pour obtenir des fossés stables, mais cela est variable en fonction de la nature des sols en place. Le Tableau 5 présente la pente latérale des fossés admissible en fonction des types de sols selon le *Manuel de foresterie*.

Il n'est pas requis que les fossés soient dimensionnés lors de la construction d'un chemin, selon le RADF. Toutefois, dans certaines situations où les fossés drainent des versants ayant des superficies significatives et où peu de conduits de drainage sont requis par le RADF, leur dimensionnement permettrait de réduire les risques de débordement

et de dégradation du chemin et de ses structures. Pour ce faire, il serait nécessaire de délimiter le bassin versant alimentant le fossé et d'ensuite utiliser la méthode rationnelle ou un logiciel de modélisation hydrologique pour calculer le débit de pointe d'un tronçon de fossé. L'estimation de la hauteur d'eau et les vitesses d'écoulement dans le fossé en fonction du débit, de sa géométrie et de sa pente permettra d'envisager des solutions visant à réduire l'érosion du fossé. L'ajout d'enrochement ou de revêtement de protection dans le fond et les côtés du fossé pourra augmenter sa stabilité.

Dans les tronçons de fossé à pente modérée, il est possible d'aménager des seuils (Figure 36) et des bermes filtrantes (Figure 37) de façon à diminuer les vitesses d'écoulement et de retenir les sédiments en amont de ces structures. Elles doivent toutefois être vidangées lorsque les sédiments s'y étant accumulés réduisent fortement leur capacité d'emmagasinement, à défaut de quoi leurs effets bénéfiques seront de courte durée.

Plus la pente du fossé est prononcée, plus la distance entre deux structures doit être faible afin de limiter les vitesses d'écoulement. Dans les fossés comportant des seuils et des bermes filtrantes, un logiciel de modélisation hydraulique peut être utilisé pour calculer les courbes de remous. Afin de limiter la quantité d'eau qui doit être évacuée par les fossés, les eaux drainées doivent être détournées le plus souvent possible vers des zones de végétation. Il s'agit d'une exigence du RADF (art. 76). Cet article décrit le calcul permettant d'estimer la distance maximale à respecter entre les déviations en fonction de la pente du chemin et sera expliqué plus en détail à la prochaine section.

4.1.2.2. Conduits de drainage

Les conduits de drainage sont très importants pour assurer la durabilité des chemins et limiter l'érosion des fossés. Ils permettent l'évacuation des eaux captées par un fossé du côté amont du chemin vers le côté aval de celui-ci. Ils visent ainsi à assurer l'écoulement naturel de l'eau d'un côté à l'autre du chemin (RADF, art. 74). Les conduits de drainage sont habituellement constitués d'un TTOG ou d'un tuyau en PEHD. Toutefois, avant 1996, ils pouvaient être construits avec des arbres abattus sur place. Il est écrit à l'article 79 du RADF que les conduits de drainage doivent avoir un diamètre minimum de 300 mm. De plus, le remblai qui recouvre ces tuyaux doit être de 300 mm ou plus, le conduit doit

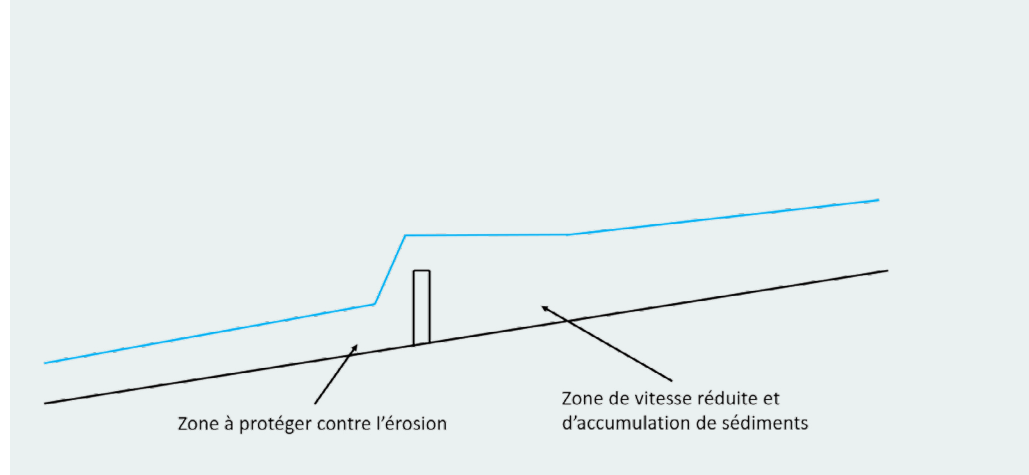


Figure 36: Seuil schématisé dans un fossé.

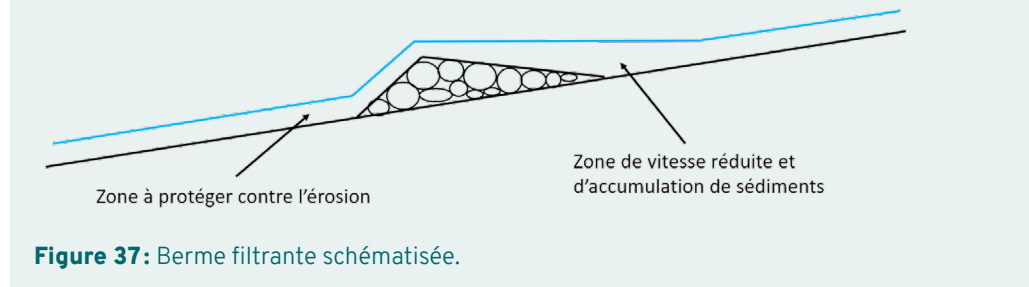


Figure 37: Berme filtrante schématisée.

dépasser du remblai sur une longueur minimale de 300 mm de chaque côté du chemin et le remblai doit être stabilisé à l'entrée et à la sortie. Par règlement, l'eau de ruissellement de la surface de roulement doit être évacuée à l'extérieur de la chaussée et des accotements vers une zone de végétation située à plus de 20 m d'un cours d'eau (RADF, art. 75). La distance maximale entre ces détournements se calcule en divisant le nombre 500 par la pente du chemin exprimée en pourcentage (RADF art. 76). Par exemple, pour un chemin ayant une pente de 5 %, la distance maximale entre les détournements doit être de 100 m. Sur ce chemin, il devrait donc y avoir au minimum un conduit de drainage à tous les 100 m pour détourner les eaux d'un côté à l'autre du chemin.

Cependant, les fossés peuvent drainer plusieurs hectares lorsque, par exemple, un chemin est construit à flanc de montagne, au bas d'une longue pente régulière ou convexe. Dans ces conditions, il peut y avoir de grandes distances entre

deux cours d'eau, faisant en sorte qu'un fossé se trouvant entre ceux-ci, du côté amont du chemin, pourrait capter les eaux provenant d'un bassin versant important. Il pourrait alors être avantageux de dimensionner les ponceaux de drainage en fonction de la superficie qu'ils drainent. Tel qu'expliqué précédemment pour les fossés, la méthode rationnelle ou un logiciel de modélisation hydrologique pourraient être utilisés pour dimensionner les ponceaux de drainage, tout comme c'est le cas actuellement pour les ponceaux sur les cours d'eau intermittents et permanents. Cela permettrait de connaître précisément le nombre de ponceaux requis et de les dimensionner adéquatement.

4.1.2.3. Bassins de sédimentation

Selon l'article 68 du RADF, un bassin de sédimentation doit être mis en place lorsqu'il n'est pas possible de dévier les eaux s'écoulant au pied d'un talus d'un chemin à 20 m d'un cours d'eau (Figure 38). Ce type de structure permet l'accumulation de sédiments par le ralentissement de la vitesse de l'eau. Toutefois, tous les bassins de sédimentation subissent des surverses lors d'événements de crue importants, ce qui leur confère un effet de filtration généralement limité aux particules grossières. De plus, au fur et à mesure qu'ils se remplissent de sédiments, leur efficacité de rétention est diminuée. Ainsi, pour demeurer efficaces, les bassins doivent être vidangés régulièrement des sédiments accumulés.

Ces types de structures ne sont donc recommandés que dans des situations où un suivi fréquent et un entretien à long terme sont prévus. Ainsi, puisque les besoins d'entretien visent à être minimisés pour la majorité des chemins à faible utilisation, il est préférable de ne pas utiliser de bassins de sédimentation, mais plutôt de dévier les eaux d'un côté à l'autre du chemin. Dans les situations où la déviation des eaux n'est pas envisageable et l'apport de sédiments potentiel est faible et circonscrit, il est recommandé d'implanter un bassin ayant une taille supérieure pouvant recueillir davantage de sédiments.

4.1.2.4. Barres d'eau

Les barres d'eau consistent en une tranchée plus ou moins profonde en travers d'un chemin qui a pour objectif d'évacuer les eaux de ruissellement provenant de la surface de roulement (Figure 39).

Les barres d'eau sont utilisées sur les chemins en pente qui ne sont pas surfacés par une niveleuse. Lorsque les chemins ne sont pas surfacés, ceux-ci deviennent rapidement vulnérables à l'érosion car la pente transversale du chemin n'est pas maintenue. Les barres d'eau permettent donc de limiter l'érosion de la surface du chemin en détournant les eaux de ruissellement et de les préserver plus longtemps. La Figure 40 présente la vue en profil d'une barre d'eau.

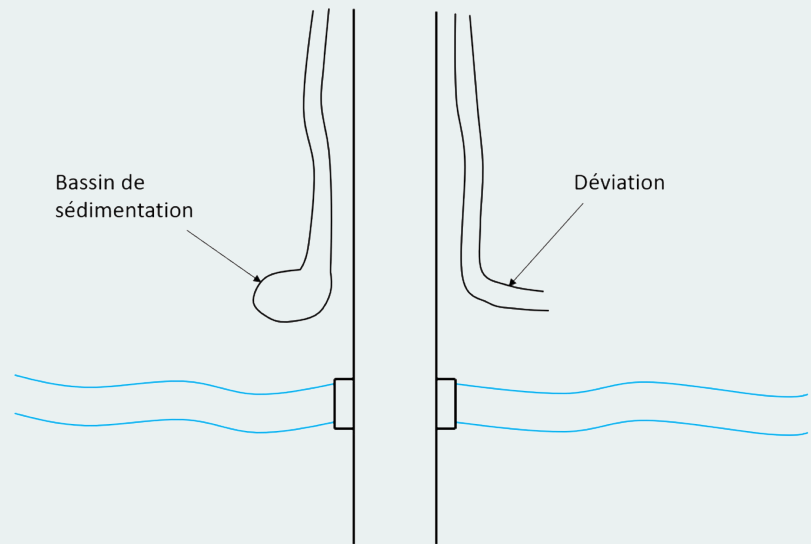


Figure 38: Bassin de sédimentation à 20 m d'un cours d'eau.



Figure 39: Barre d'eau aménagée en approche d'une TGA (Source O. Ferland 2020).



Figure 40: Vue en profil d'une barre d'eau.

Le matériel excavé pour construire la tranchée est ensuite utilisé pour construire une bosse en aval de celle-ci. La barre d'eau doit être suffisamment profonde pour évacuer l'eau et être durable tout en permettant la circulation des véhicules destinés à y circuler. La barre d'eau est habituellement orientée à un angle d'environ 30° pour faciliter l'évacuation des eaux de ruissellement (Weaver, W. *et al.*, 2015) (Figure 7). De plus, il est recommandé que le fond de la tranchée soit légèrement en pente vers la zone d'évacuation des eaux pour limiter l'accumulation de sédiments. La barre d'eau doit ensuite être compactée pour qu'elle soit résistante au passage des véhicules. Pour limiter au maximum l'érosion de la surface des chemins, plusieurs barres d'eau doivent être implantées à un espacement qui varie en fonction de la pente et des matériaux du chemin. Par exemple, la Figure 41 présente l'espacement recommandé en fonction de la pente du chemin provenant de diverses sources (Keller et Sherar, 2003; Maine Forest Service, 2017; Warren, 1998).

Il y a donc une grande variabilité dans l'espacement des barres d'eau selon les diverses sources. Il serait donc nécessaire de faire une revue de la littérature approfondie ou mener des expérimentations pour évaluer l'espacement nécessaire dans un contexte québécois. Enfin, il existe aussi d'autres types de barres d'eau pouvant être construites, mais qui semblent

plus rarement utilisées. Il s'agit des dalots en bois et des déflecteurs de caoutchouc. Des exemples de ces dispositifs de drainage de la surface du chemin sont disponibles dans *Le guide pour contrer l'érosion des chemins forestiers* (Rappel, 2015).

4.1.2.5. Creux drainant

Les creux drainants ont la même fonction que les barres d'eau, mais ils sont construits de plus grande taille afin qu'un véhicule puisse y circuler plus aisément (Figure 42).

Au lieu de creuser une tranchée dans le chemin comme pour une barre d'eau, le chemin doit être profilé de façon plus importante sur une distance plus longue. Les creux drainants sont donc plus durables que les barres d'eau puisqu'ils ont moins tendance à se combler de sédiments et ils sont plus résistants au

passage des véhicules. Ils doivent être utilisés prioritairement sur les chemins avec circulation plus élevée (Weaver *et al.*, 2015). Contrairement aux barres d'eau, ils n'ont pas de bosse en aval du creux et les véhicules qui y circulent peuvent donc avoir une garde au sol plus basse. Tout comme la barre d'eau, le fond du creux doit être construit légèrement en pente vers l'exutoire. L'exutoire du creux peut aussi être enroché pour protéger le talus du chemin de l'érosion par les eaux de ruissellement. Le creux drainant peut être construit sur un chemin ayant un fossé tel qu'illustré précédemment, mais il est aussi bien adapté aux chemins en dévers qui n'ont pas de fossé et qui sont remaniés vers l'extérieur (Figure 43). Les chemins en dévers peuvent toutefois être moins sécuritaires pour les utilisateurs puisque la pente transversale du chemin est inclinée vers le côté bas du terrain.

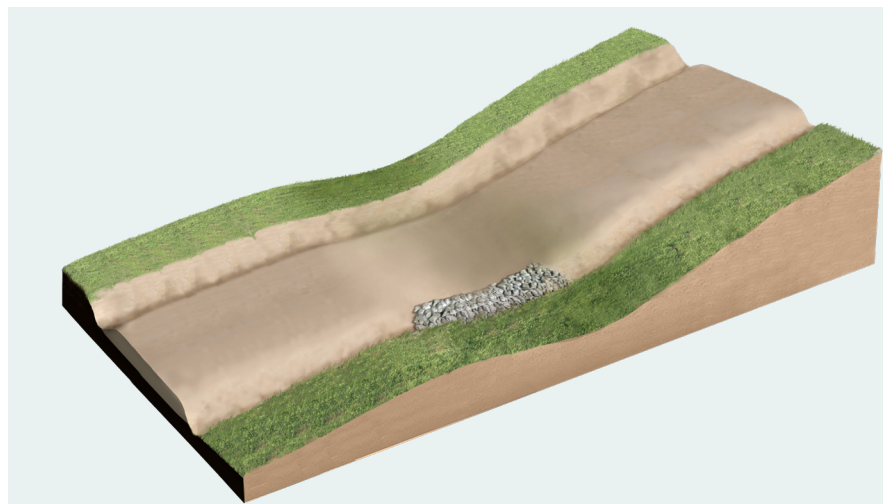


Figure 42: Exemple de creux drainant.

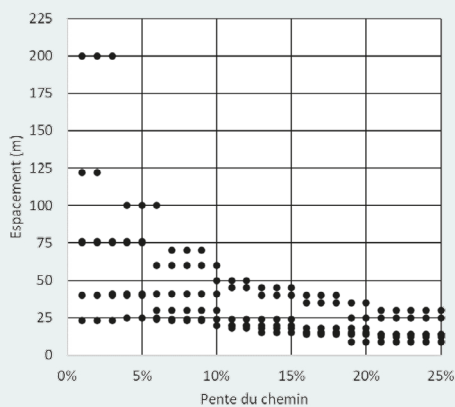


Figure 41: Espacement recommandé des barres d'eau (Keller et Sherar, 2003; Maine Forest Service, 2017; Warren, 1998).

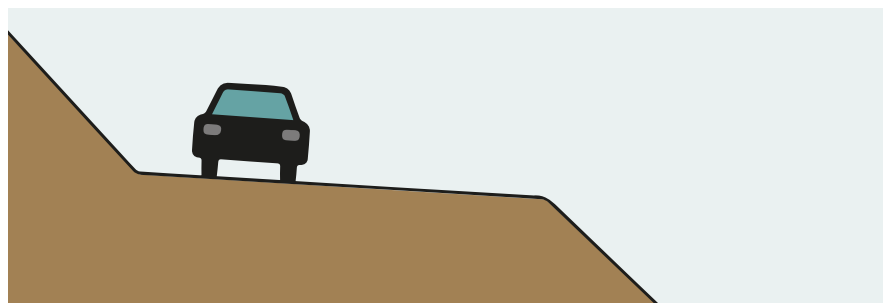


Figure 43: Chemin en dévers schématisé.

4.1.2.6. Fossés de déviation

L'aménagement d'un fossé de déviation (Figure 44) s'insère dans plusieurs contextes, notamment dans le cadre de certaines des stratégies par fermeture et par adaptation proposée pour la gestion d'un chemin à faible utilisation. Ils sont mis en place afin d'intercepter et dévier les eaux de ruissellement de la surface du chemin et de ses fossés vers une zone stable ou stabilisée afin de limiter leur potentiel d'érosion et d'éviter l'apport de sédiments dans un cours d'eau. Ils sont reconnus pour leur durabilité, leur résistance à l'érosion et aux passages de véhicules récréatifs et leur très faible entretien (Boulfroy *et al.* 2005; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MRNF, 2007; Weaver *et al.* 2015). Ultimement, ils sont utilisés pour jouer les rôles des ponceaux de drainage, sans structure enfouie.

Selon les conditions du site et le niveau d'utilisation, il pourrait s'avérer nécessaire d'adapter le fossé de déviation au passage de véhicules légers. Les parois et la base du fossé de déviation pourraient être adoucies et renforcées à l'aide d'un enrochement pour faciliter la circulation et assurer sa durabilité face à l'érosion générée par la circulation des véhicules légers et les eaux de ruissellement. Dans de tels cas, leur structure s'apparente à une traverse à gué aménagée, mais qui ne chevauche pas un cours d'eau, mais bien un fossé.

La méthode d'installation consiste à retirer le conduit de drainage et le matériel de remblai et ensuite excaver un fossé à travers le chemin de manière à capter et diriger les eaux de précipitation, de fonte et de ruissellement vers une zone stable ou stabilisée. Les principes qui guident son installation sont les suivants :



Figure 44: Fossé de déviation aménagé en approche d'une TGA (Source O. Ferland 2020).

- Profondeur: Équivalente ou légèrement supérieure à la profondeur du ou des fossés de drainage du chemin (MF, 2001; MRNF, 2007; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; Weaver *et al.* 2015).
- La profondeur de certains fossés de déviation pourrait nuire ou empêcher la circulation de certains véhicules légers. Pour y remédier, la forme et la pente des parois du fossé et le remblai des approches du chemin qui mène à celui-ci peuvent être adoucis et ajustés.
- Alignement: Excaver à travers le chemin dans un angle de 30° perpendiculaire au fossé de drainage ou 45° pour un chemin dont la pente est supérieure à 10 % (MF, 2001; MRNF, 2007; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; Weaver *et al.* 2015).
- Stabilisation: Stabiliser l'entrée et la sortie du fossé de déviation à l'aide d'un enrochement. Stabiliser à l'aide d'un enrochement la base et les parois du fossé lorsque le risque d'érosion est accru ((MF, 2001; MRNF, 2007; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; Weaver *et al.* 2015) ou, selon le niveau d'utilisation, lorsqu'il est utilisé.
- Indicateurs: forte pente, bassin de drainage important, substrat fin, utilisation plus fréquente du chemin par des véhicules.

4.1.3. Exemple d'adaptation d'un chemin forestier

Lorsqu'un chemin à faible utilisation existant est endommagé et que celui-ci doit être maintenu en état de fonctionnement pour que des véhicules puissent y circuler, les traverses de cours d'eau et les structures de drainage doivent être réparées, améliorées ou remplacées par des ouvrages mieux adaptés. Par exemple, à la Figure 45, des problèmes d'érosion sont visibles sur la surface de roulement du chemin. De plus, le conduit de drainage qui draine le fossé dans le bas de la pente est partiellement bloqué et l'eau a débordé sur le chemin, ce qui a endommagé la surface de roulement. Notons que le ponceau sur le cours d'eau est affaissé et doit être remplacé. Enfin, les sédiments provenant de la surface de roulement du chemin sont acheminés vers le cours d'eau. Ce chemin doit donc être aménagé de manière à ce qu'il soit sécuritaire pour les utilisateurs sans que celui-ci ne requiert de l'entretien trop fréquemment.

Pour ce faire, le ponceau affaissé a été remplacé par une TGA qui sera plus résistante aux aléas naturels et qui s'harmonisera mieux avec le cours d'eau ainsi qu'avec le contexte d'utilisation et d'entretien du chemin (Figure 46). Par la suite, le conduit de drainage bloqué a été remplacé par un fossé de déviation carrossable non sujet au blocage par les sédiments provenant du fossé et de la surface de roulement du chemin. Des barres d'eau ont été aménagées pour dévier les eaux de ruissellement de la surface de roulement du chemin vers la végétation dans le tronçon en pente et avant la TGA. Celles-ci permettront de limiter l'érosion de la surface de roulement et de la préserver plus longtemps. Le fossé a aussi été bloqué volontairement en aval du conduit de drainage en haut de la pente pour diminuer le débit évacué par le fossé et ainsi réduire les problèmes d'érosion. Ce conduit doit évidemment avoir une capacité d'évacuation suffisante pour évacuer les eaux à drainer.

Ces modifications apportées ont pour objectif de prolonger la durée de vie du chemin en le rendant plus résistant aux aléas naturels et en le protégeant de l'érosion. Ces modifications permettront aussi de réduire les apports de sédiments dans le cours d'eau. De plus, les modifications ont pour objectif d'augmenter la durabilité du chemin lorsque la fréquence d'entretien est faible. Sur cet exemple, ce sont les barres d'eau et le conduit de drainage en haut du tronçon en pente qui devrait demander le plus d'attention. Les barres d'eau doivent conserver leur géométrie pour être efficace et le conduit de drainage doit être débloqué pour conserver sa capacité d'évacuation. Par la suite, selon la qualité de la TGA et du fossé de déviation, ceux-ci ne devraient pas requérir fréquemment d'entretien s'ils ont été bien conçus. Enfin, diverses options auraient été possibles pour adapter ce tronçon de chemin. Les choix doivent être faits en fonction du niveau d'utilisation du chemin actuel et futur, de la configuration du chemin et du niveau d'entretien souhaité.

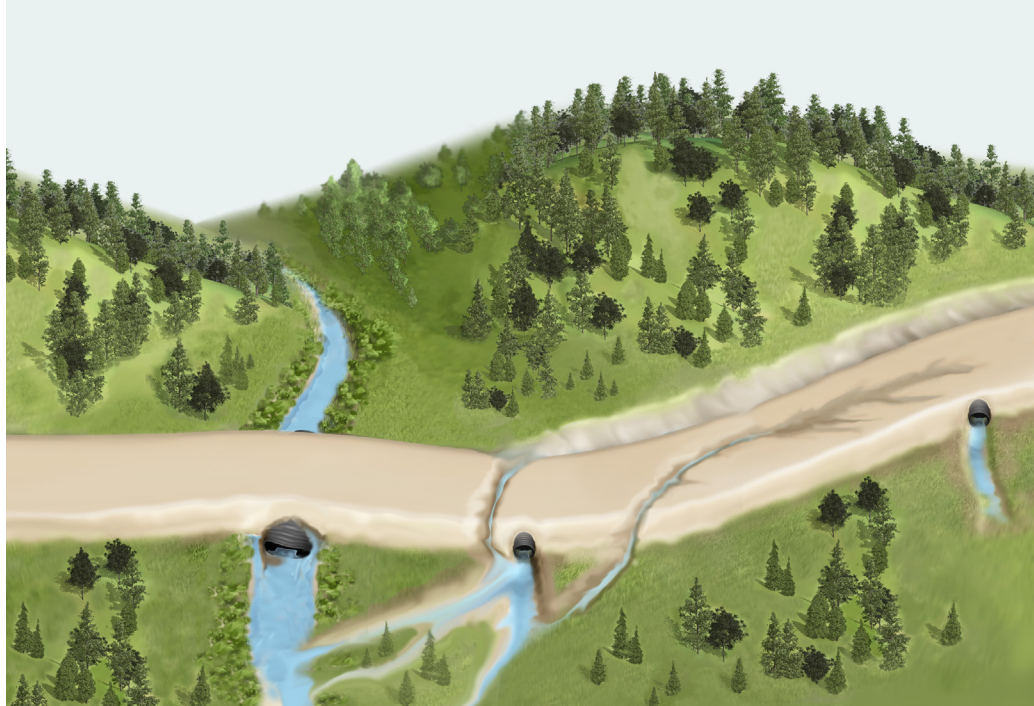


Figure 45 : Exemple d'un tronçon de chemin endommagé

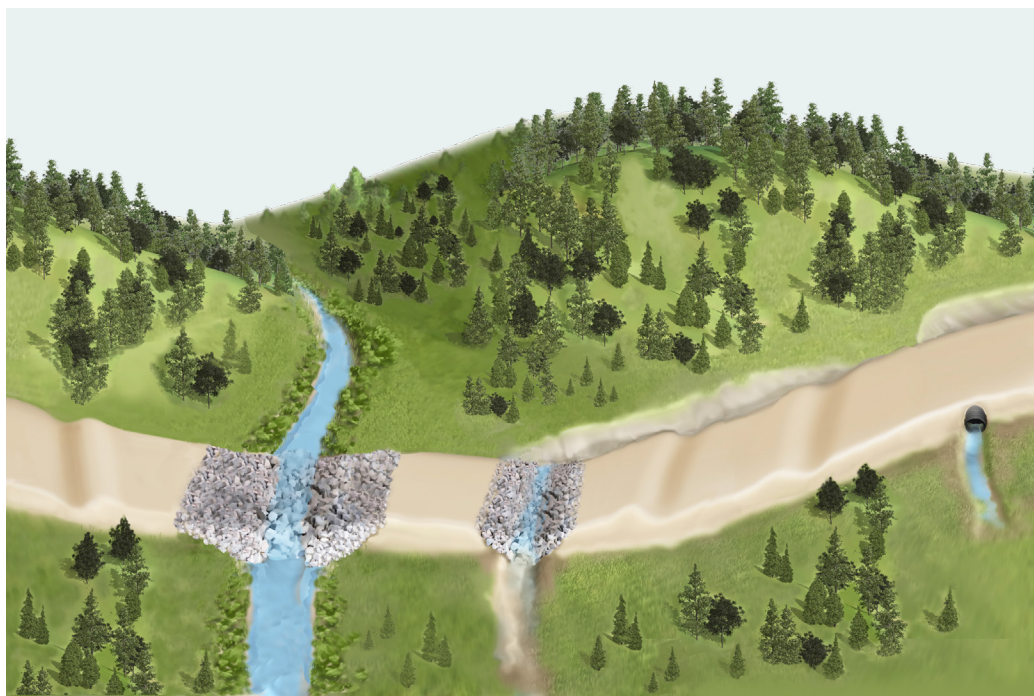


Figure 46 : Adaptation d'un chemin forestier endommagé et à faible utilisation

4.2. Entretien préventif des chemins forestiers à faible utilisation

4.2.1. Objectifs de l'entretien préventif

L'entretien du réseau routier vise d'abord à assurer la sécurité des utilisateurs en identifiant puis en réparant les structures dangereuses, notamment les traverses de cours d'eau en mauvais état. De plus, le contrôle de la végétation permet de maintenir une visibilité adéquate aux utilisateurs. L'entretien de la surface de roulement permet aux véhicules de circuler sur les chemins plus rapidement en limitant les risques de bris mécaniques. Une surface de roulement bien entretenue réduit les problèmes d'érosion du chemin par les eaux de ruissellement et augmente sa durabilité. L'enlèvement des débris qui obstruent les traverses de cours d'eau et les structures de drainage réduit les risques de débordement. L'entretien préventif permet de développer de bonnes habitudes de gestion du réseau routier en identifiant à l'avance les structures qui ont besoin d'intervention dans une période de temps déterminée. Cela évite les réparations d'urgence improvisées où la qualité des travaux risque d'être compromise tout en permettant d'anticiper les coûts à déboursier. De plus, l'entretien préventif permet généralement d'allonger la durée de vie des structures, ce qui peut réduire les coûts de réparation et de remplacement à long terme. Enfin, l'entretien du réseau routier permet aussi d'éviter les dommages aux habitats aquatiques en limitant les apports sédimentaires au cours d'eau découlant de l'érosion des chemins et des traverses. Les traverses endommagées peuvent aussi constituer une entrave à la circulation de la faune aquatique, ce qui peut fragmenter leur habitat.

4.2.2. Inventaire des structures

Avant d'établir un programme d'entretien préventif, il est nécessaire d'avoir en main les informations de base sur le réseau routier, notamment les informations suivantes sur les chemins, les traverses de cours d'eau et les structures de drainage (conduits de drainage et fossés) sont requises :

- Localisation géographique
- Type
- Dimensions
- Évaluation préliminaire de leur état
- Degré et potentiel d'obstruction (traverses de cours d'eau et structures de drainage)
- Usagers et usages prévisibles.

Le guide intitulé *Méthode uniforme d'inventaire des traverses de cours d'eau dans les zecs* de Latrémouille et al. (2014) pourrait être très utile à cette étape. De plus, les conditions particulières qui pourraient affecter les interventions, comme la présence de milieux sensibles (hydrique, humide, habitats espèces sensibles) sont à noter. Par conséquent, si ces informations ne sont pas disponibles, il sera important de prévoir des inventaires pour les obtenir. Les inventaires peuvent être planifiés à l'aide des données écologiques et autres documents disponibles. En ayant en main les informations de base sur le réseau routier, il sera ensuite possible d'identifier les structures qui ont besoin d'interventions ou de réparations urgentes. Les autres structures qui semblent dans un état acceptable pourront ensuite être inspectées plus rigoureusement.

4.2.3. Inspection des structures

Lorsqu'un inventaire complet des structures a été fait, il est ensuite possible de préparer un programme d'inspection et de suivi. L'inspection donne un portrait complet de l'état des structures et le suivi permet de suivre de près l'évolution de leur état. Une liste de points à inspecter doit être déterminée pour chaque type de structure et les critères les plus objectifs possibles doivent être définis pour évaluer leur état. Ces critères doivent idéalement permettre une homogénéité des résultats entre différents inspecteurs, ce qui demeure un défi de taille. Certains guides ont été produits et pourraient être très utiles tels que le *Manuel d'inspection des ponceaux* du MTQ (2019). Par la suite, la fréquence des inspections doit être suffisante pour suivre l'évolution de l'état des structures et planifier les travaux d'entretien et de remplacement de façon préventive. La fréquence d'inspection pourrait par exemple être fonction des caractéristiques suivantes :

- La durée de vie anticipée
- L'état actuel
- Les événements météorologiques significatifs et crues
- Le risque aux utilisateurs en cas de défaillance
- Le risque de dommage aux habitats aquatiques
- L'historique de défaillance (par exemple, blocage des traverses par des débris ligneux).

Les données récoltées doivent être structurées de façon à dresser un portrait global en « temps réel » de l'état des structures.

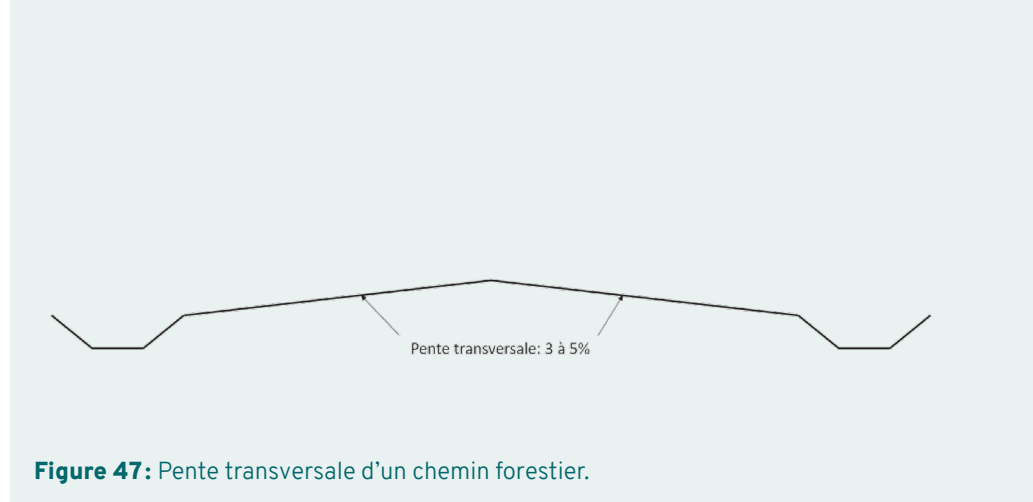
4.2.4. Types d'interventions requises

4.2.4.1. Contrôle de la végétation

Le contrôle de la végétation permet de maintenir un accès aux chemins peu utilisés. La végétation envahit rapidement les emprises des chemins et a tendance à s'établir sur la surface de roulement des chemins qui ne sont pas utilisés fréquemment. Lorsque la végétation s'établit sur la surface de roulement, la surface du chemin devient contaminée par la matière organique et l'évacuation de l'eau s'y fait plus difficilement. La capacité portante en est donc réduite. De plus, le contrôle de la végétation permet aussi de maintenir une visibilité adéquate aux utilisateurs et d'assurer une utilisation sécuritaire. La distance de visibilité est fonction de la vitesse des véhicules sur le chemin. Plus les véhicules circulent rapidement et plus la distance de visibilité doit être importante pour que les utilisateurs aient le temps de freiner et de ralentir au croisement avec un autre véhicule ou lorsqu'un obstacle est présent sur la route.

4.2.4.2. Entretien de la surface de roulement

L'entretien de la surface de roulement est fait de façon continue sur les chemins fortement utilisés. Lorsque la surface de roulement est bien entretenue, les véhicules peuvent y circuler beaucoup plus rapidement, ce qui est attrayant pour les véhicules lourds et les autres utilisateurs. Le maintien d'une pente transversale adéquate permet l'évacuation des eaux de ruissellement de la surface de roulement, ce qui limite l'érosion et permet de conserver la fondation du chemin plus sèche. Sur les chemins entretenus fréquemment, l'entretien de la surface de roulement se fait habituellement



avec une niveleuse. Toutefois, sur les chemins à faible utilisation, l'utilisation d'une niveleuse serait peu appropriée étant donné les recommandations d'implanter, lorsque possible, des traverses à gué, des barres d'eau et des creux drainants. De plus, la plupart des chemins à faible utilisation n'ont pas ou peu de matériel granulaire sur la couche de roulement, ce qui rendrait difficile le nivelage. Avec le temps, les particules fines à la surface des chemins se font lessiver par les eaux de ruissellement, ce qui dégage des matériaux de plus grande taille et rend les chemins cahoteux. Il est tout de même recommandé de maintenir une pente transversale le plus possible sur ces chemins avec d'autres méthodes pour limiter l'érosion des matériaux qui s'accélère rapidement lorsque des rigoles font leur apparition. Sur les chemins forestiers, il est recommandé de maintenir une pente transversale de 3 à 5 % (Figure 47) (Douglas, 2016).

4.2.4.3. Entretien des fossés

L'entretien des fossés consiste principalement à contrôler la végétation et à nettoyer les tronçons où des sédiments se sont accumulés au fil du temps. L'envahissement par la végétation et l'accumulation de sédiments réduisent la capacité d'évacuation des fossés. Puisque la végétation protège le fossé

de l'érosion de l'eau qui s'y écoule, il est recommandé de la tailler sans l'enlever complètement. Les sédiments qui se sont accumulés dans les fossés peuvent être retirés et il est recommandé de creuser uniquement le tiers inférieur pour laisser la végétation en place dans les talus (Latrémouille, 2012; Rappel, 2015). Cependant, toute la matière qui est retirée des fossés, qu'il s'agisse de végétaux ou de sédiments, doit être déplacée à un endroit où ils ne pourront pas être réintroduits malencontreusement par les eaux de ruissellement. Ces débris ne doivent donc pas être déposés en haut du talus des fossés, ce qui est parfois observé et considéré comme une mauvaise pratique (Rappel, 2015). Par la suite, dans les tronçons où des débordements sont souvent observés, il serait justifié de dimensionner le fossé avec des calculs hydrologiques et hydrauliques, ou d'ajouter des conduits de drainage pour détourner les eaux de ruissellement d'un côté à l'autre du chemin de façon à réduire la superficie drainée. De la même façon, dans les tronçons à forte pente où le chemin est victime d'érosion à cause de la présence du fossé, il pourrait être justifié de réfléchir à l'implantation d'un revêtement de protection contre l'érosion et de vérifier si les pentes des côtés sont adéquates.

4.2.4.4. Entretien des conduits de drainage

La majorité des conduits de drainage sont des tuyaux en polyéthylène de haute densité (PEHD) ou de tôle ondulée en acier galvanisée (TTOG) d'un diamètre de 300 mm. Étant donné leur petit diamètre, ceux-ci ont tendance à se bloquer facilement par les sédiments, les débris ligneux et la végétation qui s'y établit. Les conduits de drainage doivent donc être débloqués plus ou moins fréquemment selon l'endroit où ils sont installés. Par exemple, les conduits de drainage servant à détourner les eaux d'un fossé d'un côté à l'autre d'un chemin en bas d'un tronçon en pente perdent leur capacité hydraulique ou se bloquent fréquemment par les sédiments provenant du fossé (Figure 48). À noter que ce type de fossé ne comporte pas de mesures de protection contre l'érosion.

Les épisodes de fortes précipitations et de fonte des neiges sont problématiques, car c'est majoritairement à ce moment que les débris ligneux et les sédiments sont transportés par les eaux dans les fossés. Des vérifications devraient donc être faites après d'importants événements hydrologiques. Par conséquent, plus le contrôle de la végétation est effectué rigoureusement sur le chemin et les emprises, plus le risque de transport de débris ligneux est faible. Aussi, plus les fossés sont résistants à l'érosion, plus le risque de transport des sédiments est réduit. Il peut donc être judicieux de contrôler le problème à la source en augmentant la stabilité des fossés. De plus, les conduits de drainage qui se bloquent plus facilement pourraient être remplacés par des tuyaux de plus grand diamètre. Enfin, les conduits endommagés, par exemple ceux écrasés ou attaqués de façon significative par la corrosion, doivent être remplacés. Les conduits de drainage sont aussi endommagés par le passage des véhicules lorsque l'épaisseur de remblai sur ces derniers est trop mince.



Figure 48 : Accumulation de sédiments à l'entrée d'un conduit de drainage
(Source Paradis-Lacombe, 2021).

Il est donc important de veiller à conserver une épaisseur de remblai suffisante sur ceux-ci. Ces entretiens de routine permettent d'éviter des débordements associés à une érosion importante du chemin, ce qui engendrerait des coûts de réfection supérieurs au coût de l'entretien.

4.2.4.5. Entretien des traverses de type ponceau

L'entretien à effectuer sur les ponceaux constitués d'un TTOG ou d'un tuyau en PEHD concerne principalement le contrôle de la végétation, le dégagement des obstructions aux extrémités et la réparation au niveau des murs de tête, généralement en enrochement. Le contrôle de la végétation aux abords des traverses diminue le risque de blocage par les débris ligneux tout en augmentant leur visibilité et accessibilité pour les inspections. Les ponceaux dégagés sont aussi plus visibles pour les utilisateurs qui peuvent signaler plus rapidement les problèmes. Les débris ligneux qui s'accumulent à l'entrée des traverses doivent évidemment être enlevés fréquemment puisque ceux-ci diminuent la capacité d'évacuation. Dans les cas très problématiques, des dispositifs «anti-débris», telles que

des séries de poteaux verticaux ou des grilles, peuvent être installés en amont des traverses pour éviter qu'elles se bloquent (Keller, 2011). Ceux-ci peuvent toutefois constituer un obstacle au libre passage du poisson selon leur design et doivent être entretenus pour demeurer efficaces. Par la suite, les murs de tête composés généralement d'un enrochement de protection doivent être réparés si des dommages sont observés. Les enrochements ayant des pentes trop élevées sont plus instables. Par conséquent, si de l'affouillement se crée au pied de l'enrochement, des mouvements pourraient être observés et les pierres pourraient être déplacées dans le cours d'eau vers l'aval. Dans certains cas, les enrochements de protection devront donc être rechargés et réparés. Si l'épaisseur de remblai est insuffisante sur le tuyau, le chemin devrait être rechargé afin d'éviter que le tuyau ne soit endommagé par la circulation des véhicules. Si le remblai sur le tuyau est insuffisant, celui-ci ne sera plus en mesure de supporter les charges pour lesquelles il est conçu. Enfin, les tuyaux endommagés compromettant le rôle du ponceau d'évacuer les eaux ou de supporter la route et les véhicules doivent être remplacés.

4.2.4.6. Entretien des traverses à gué aménagées

Puisque les TGA sont pratiquement inexistantes actuellement en milieu forestier, mis à part certains agriculteurs qui en ont sur leurs terres, il n'y a pas encore d'expertise sur l'entretien qui doit y être effectué. Toutefois, il est possible d'anticiper les problèmes qui pourront potentiellement affecter les TGA. Voici une liste de ceux qui pourraient faire leur apparition au cours de la durée de vie des traverses :

- Envahissement par la végétation.
- Accumulation de sédiments et de débris ligneux.
- Orniéragage de la surface de roulement/enrochement de protection.
- Mouvement des pierres de l'enrochement de protection.
- Affouillement dans la fondation de la traverse.

En fonction du type de véhicules qui circulent sur ces traverses, celles-ci pourraient requérir plus ou moins d'entretien pour qu'elles demeurent utilisables longtemps. Il est primordial de déterminer la cause des problèmes observés pour les régler efficacement. Il est recommandé d'inspecter ces TGA après les crues importantes. Un déplacement des pierres de la surface de roulement enrochée peut indiquer un sous-dimensionnement de ces dernières qui peut être corrigé en les remplaçant par des pierres de plus grande taille. L'accumulation de sédiments, la formation d'ornières dans les approches, la présence de végétation ou le déplacement de pierres impliquent des corrections évidentes. Le dégagement de la végétation doit s'effectuer de manière à assurer la visibilité et le passage sécuritaire des utilisateurs. Néanmoins, il faut considérer que la végétation basse sur la traverse aide à contrer l'érosion et les apports de sédiments au cours d'eau. Enfin, si de l'affouillement est observé dans la fondation de la traverse, la conception de la traverse devrait être revue avant que des travaux correcteurs soient apportés.

4.2.4.7. Entretien des ponts temporaires

Cette section touche spécifiquement au suivi et à l'entretien d'un pont temporaire pendant la période où il est installé sur un site de traversée. Pour le suivi d'un pont temporaire, l'idéal est d'effectuer des inspections régulières afin de détecter et de prévenir les problèmes avant que des composantes fassent défaut et réduire la capacité de l'ouvrage à répondre à ses fonctions. À cet effet, il est particulièrement important d'effectuer une inspection des appuis et des approches de l'ouvrage après une crue, les dégels printaniers ou des événements climatiques exceptionnels. L'alignement des éléments de tablier et d'appui préfabriqués et l'épaisseur de ces derniers devraient être vérifiés au moins une fois par année. Il est particulièrement recommandé d'orienter le suivi autour de :

- L'intégrité et la stabilité des composantes de l'ouvrage ainsi qu'à la libre circulation de l'eau sous son tablier (HQ, 2011; Kocher *et al.*, 2007; MF, 2002).
- L'intégrité et la stabilité des remblais des approches et du matériel utilisé pour la conception des appuis (HQ, 2011; Kocher *et al.*, 2007; MF, 2002). L'érosion et la perte de matériel, le déplacement ou le tassement anormal d'un tablier sont des exemples d'indicateurs à surveiller (Ferland, 2022).
- Les dommages ou les signes de détérioration des éléments d'appui et de tablier préfabriqués, des garde-roues, des protecteurs de tablier en contreplaqué, des ancrages, de la quincaillerie et des autres composantes (HQ, 2011; MF, 2002).
- La présence et la visibilité des panneaux de signalisation (MFFP, 2021a). Il est crucial de s'assurer que les limites du tablier sont bien balisées et visibles. Sans quoi, les travaux d'entretien du chemin en hiver peuvent endommager significativement les garde-roues du pont temporaire et ainsi représenter un risque pour la sécurité des utilisateurs (Ferland, 2022).

Les activités d'entretien du pont temporaire doivent être conduites le plus tôt possible lorsque le suivi détecte ou suspecte un problème. Les actions les plus importantes consistent à :

- Entretien ou remplacer les composantes ou pièces endommagées avant leur défaillance (HQ, 2011; MF, 2002).
- Redresser et corriger l'alignement ou le nivellement des éléments d'appui et de tablier préfabriqués (HQ, 2011; MF 2002) afin d'éviter des contraintes ou des tensions structurelles qui pourraient être générées lors de la circulation des véhicules (Weaver *et al.*, 2015).
- Renforcer et stabiliser les appuis comportant des signes d'érosion, d'instabilité, de tassement ou de perte de matériel.
- Retirer les débris accumulés sur le lit du cours d'eau en amont ou en aval de l'ouvrage (HQ, 2011; Kocher *et al.*, 2007; Kocher *et al.*, 2007; MF, 2002), pour prévenir la formation d'obstacle à la circulation de l'eau, des poissons et des débris flottants.
- Retirer le sable et les autres débris qui s'accumulent sur la surface de roulement du tablier pour éviter leur introduction dans le cours d'eau (HQ, 2011; MF, 2002; MRN, 1997).

4.2.4.8. Entretien des barres d'eau et des creux drainants

Les barres d'eau requièrent de l'entretien pour qu'elles demeurent fonctionnelles. Celles-ci ont tendance à s'aplatir au fil du temps avec le passage des véhicules et plus particulièrement si le chemin est utilisé lorsque celui-ci est humide comme en période de fonte de la neige (Weaver *et al.*, 2015). Par conséquent, elles doivent être reprofilées et compactées au besoin. Quant aux creux drainants, ceux-ci requièrent moins d'entretien, car ils sont de plus grande dimension et n'ont pas de bosse qui peut s'aplatir comme les barres d'eau. Ils doivent aussi être reprofilés et compactés au besoin. Si des signes d'érosion sont observés à l'exutoire des

barres d'eau et des creux drainants, un enrochement de protection peut être implanté s'il n'y en a pas. Si un enrochement de protection est existant, celui-ci doit être réparé si des problèmes sont observés. Les deux principales causes d'érosion des barres d'eau et des creux drainants sont un trop gros espacement entre ceux-ci, ce qui favorise l'accumulation des eaux de ruissellement sur la surface du chemin, et une pente transversale du chemin insuffisante pour évacuer ces eaux vers les fossés de drainage. Par conséquent, la pente transversale et l'espacement entre ces dispositifs de déviation de l'eau doivent être revus et les correctifs nécessaires apportés. Si le tronçon de chemin requis à long terme comporte une pente très élevée, un tronçon alternatif moins pentu pourrait être sélectionné pour éliminer ou réduire le nombre de ces dispositifs de drainage.

4.2.4.9. Entretien des fossés de déviation

Les fossés de déviation sont reconnus comme étant des structures durables qui nécessitent très peu d'entretien lorsqu'elles sont bien conçues (Boulfroy *et al.*, 2015; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MRNF, 2007). Les mesures de suivi et d'entretien sont très peu documentées dans la littérature, puisqu'ils sont aménagés de manière à ne pas avoir besoin d'entretien. Néanmoins, il serait juste de prévoir des mesures d'entretien pour les fossés de déviation qui sont aménagés dans un chemin qui est utilisé par des véhicules légers et dont les fossés de drainage sont maintenus (stratégies de gestion par adaptation du chemin à faible utilisation).

L'entretien proposé ci-après s'inspire fortement des mesures pour assurer l'entretien des fossés de drainage d'un chemin. Pour le suivi, la nature et la fréquence des inspections peuvent aussi émuler les mesures de suivi des fossés de drainage. Toutefois, il serait pertinent d'augmenter la fréquence des inspections dans les chemins qui sont plus souvent fréquentés pour s'assurer

que l'érosion générée par le passage des véhicules légers n'altère pas la forme et les fonctions de drainage des fossés de drainage.

1. Retirer les débris (sédiments, branches, etc.) ou la végétation pouvant nuire au drainage et à la circulation des eaux de ruissellement dans le fossé de déviation.

- Les débris peuvent être retirés par une personne à l'aide d'une pelle ou encore à l'aide d'une pelle mécanique en appliquant la méthode du tiers inférieur: cette méthode consiste à retirer les débris accumulés dans le tiers inférieur et à laisser intact la partie supérieure ou les parois stabilisées du fossé de déviation (Latrémouille, 2012).
- Un apport excessif ou une obstruction importante du fossé de déviation pourraient indiquer que les structures de drainage du chemin en approche sont inefficaces ou défailtantes.

2. Redressement, reprofilage ou stabilisation du fossé de déviation

- Indicateurs: Signes d'érosion ou d'instabilité au niveau des parois, de l'entrée ou de la sortie du fossé de déviation.
- Ces signes pourraient indiquer un problème de conception (fossé de déviation trop incliné ou instabilité de la structure), la défaillance ou l'inefficacité des structures de drainage des eaux de ruissellement du chemin en approche.

5.

Désactivation de chemins forestiers

Référées sous différentes formes dans la littérature, « *closure* », « *deactivation* », « *decommissioning* », ou « *obliteration* », les stratégies de gestion par fermeture sont généralement mises en place afin d'éviter l'entretien du chemin et de ses structures, prévenir les impacts associés à leur dégradation et leur défaillance et peuvent contribuer à restreindre ou fermer l'accès au territoire (Bagley, 1998; Gauthier et Varady-Szabo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2002; MRN, 1996; MFFP, 2021a; MRNF, 2007; Weaver et Hagans, 1994; Weaver *et al.* 2015). Elles permettent notamment d'éviter l'érosion et l'apport de sédiments générés par les structures, restaurer les conditions d'écoulement naturel du cours d'eau, déconnecter les points de contact entre le réseau hydrologique et le réseau de chemins forestiers et prévenir les dommages aux structures laissées en place (Boulfroy *et al.*, 2015; Gauthier et Varady-Szabo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001; Weaver *et al.* 2015). En plus de ce qui précède, la fermeture d'un chemin a le potentiel de limiter les risques d'introduction d'espèces invasives, de feux de forêt, de braconnage et de collision et éviter les autres impacts liés à une présence anthropique (pollution, bruit, fragmentation des habitats de la faune locale, etc.) (USDA, 1999). En général, les objectifs poursuivis par la fermeture d'un chemin dictent la nature et l'intensité des interventions à mettre en œuvre.

Les stratégies de fermeture de chemin à faible utilisation proposées (désactivation temporaire, désactivation semi-permanente et désactivation permanente) sont documentées dans ce guide selon cinq points stratégiques. Chaque point stratégique est documenté en détail de manière à définir les interventions selon un gradient d'intensité qui précise les objectifs de fermeture auxquels elles répondent. Les points stratégiques documentés sont les suivants :

- Mise en œuvre des interventions.
- Démantèlement des traverses de cours d'eau.
- Démantèlement du chemin.
- Reboisement ou revégétalisation de l'emprise du chemin.
- Signalisation et obstruction de l'accès.

Au départ, les interventions associées à chaque point stratégique se basent sur les normes et les principes établis dans le RADF pour la fermeture temporaire ou permanente d'un chemin. Ces normes et ces principes sont élaborés de manière à encadrer les interventions associées à la fermeture d'un chemin qui visent principalement à empêcher son accès de façon temporaire ou permanente. Les recommandations qui ressortent de la littérature scientifique et des experts consultés ainsi que les observations qui ressortent des études de l'équipe de l'Université Laval sont ensuite utilisées pour approfondir le sujet et élaborer des stratégies qui proposent des interventions reconnues afin de mieux répondre aux objectifs poursuivis par la fermeture d'un chemin.

5.1. Mise en œuvre des interventions (point stratégique 1)

La mise en œuvre des interventions regroupe les conditions dans lesquelles les interventions doivent se dérouler lors de la fermeture d'un chemin forestier du domaine de l'État. Ces conditions sont les mêmes pour les trois stratégies de fermeture proposées.

Les interventions s'effectuent dans le respect des principes qui encadrent les travaux de fermeture d'un chemin du RADF. Ils ont pour objectifs de limiter les perturbations du lit du cours d'eau, d'assurer le libre passage du poisson, d'éviter l'apport de sédiments et la contamination du milieu aquatique, riverain, humide ou forestier et de préserver leur intégrité (MFFP, 2021a). Ces principes sont les suivants :

1. Les mesures utilisées 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 (RADF, art. 81).
 - Techniques utilisées pour prévenir l'apport et l'accumulation de sédiments dans le cours d'eau : Rideau de confinement de sédiments, assèchement de la zone de travail et exécution des travaux en période d'étiage (MFFP, 2021a).
 - Les structures d'assèchement de la zone de travail ne peuvent empêcher le libre passage du poisson pendant une période supérieure à 5 jours. Après 5 jours, ces structures ne peuvent pas restreindre la largeur du cours d'eau sur plus d'un tiers (1/3) de sa largeur (RADF, art. 93).
2. Les matières résiduelles et les déchets doivent être retirés et transportés vers un site approprié à l'extérieur de la forêt (RADF, art. 63).
3. La circulation des engins forestiers dans le lit du cours d'eau est limitée à un seul passage aller-retour et aucun travail ne peut se dérouler à partir du lit du cours d'eau (RADF, art. 26).
4. Les travaux se déroulent lors des périodes prévues par le MFFP (voir Annexe 5 du RADF).

Dans une autre mesure, plusieurs recommandations spécifiques à la période d'exécution des interventions ressortent de la littérature scientifique et des experts consultés. Brièvement, ces recommandations sont :

- Exécuter les interventions lorsque le cours d'eau est à sec ou en période d'étiage pour limiter l'apport et le transport de sédiments dans le cours d'eau (Merrill et Casaday, 2001).
- Exécuter les interventions en période de gel pour éviter les dommages au sol en milieux humides (FPInnovations et Canards Illimités, 2016).

5.2. Démantèlement des traverses de cours d'eau (point stratégique 2)

5.2.1. Principes et étapes de réalisation

Le démantèlement des traverses de cours d'eau regroupe les interventions qui touchent spécifiquement au traitement des ouvrages permettant de franchir des cours d'eau. À cet effet, le démantèlement des traverses de cours d'eau en forêt publique est guidé par les principes suivants :

- Retirer les ouvrages permettant de franchir un cours d'eau, comme les ponceaux et les ouvrages amovibles (RADF, art. 81).
- Stabiliser les berges et le lit du cours d'eau (RADF, art. 81).
- Stabiliser les berges, le lit et l'écote riverain du cours d'eau, la lisière

boisée et la bande de terrain visées aux articles 27 ou 34 du RADF qui sont perturbés au moment de la fermeture (RADF, art. 114).

- Reconstituer le couvert végétal dans la lisière boisée ou la bande de terrain visée aux articles 27 ou 34 du RADF (RADF, art. 81).
- Intercepter et détourner les eaux de ruissellement en provenance du chemin vers des zones stables ou stabilisées à plus de 20 m du cours d'eau (RADF, art. 75).

Les interventions associées au démantèlement visent entre autres à éviter l'apport de sédiments, à préserver l'intégrité du milieu aquatique ou riverain, à assurer la libre circulation de l'eau et du

poisson et, dans une certaine mesure, à rendre l'utilisation du chemin impossible après sa fermeture (MFFP, 2021a). Les étapes de la procédure recommandée pour le démantèlement d'un ponceau sont les suivantes :

1. Installer des structures pour capter les sédiments ou assécher la zone de travail lorsque nécessaire (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001; MF, 2002; MRNF, 2007; MFFP, 2021a).
2. Prélever et mettre de côté la matière organique et végétale qui tapisse les talus des remblais de l'ouvrage en prévision de la stabilisation des berges et des surfaces exposées à l'érosion et aux perturbations par les travaux (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014).

3. Retirer le conduit de drainage situé du côté Forêt (sortie) et le remplacer par un fossé de déviation qui permet de capter et dévier les eaux de ruissellement du chemin et de ses fossés vers une zone stable ou stabilisée à plus de 20 m du cours d'eau.
4. Retirer le matériel de remblai utilisé pour la mise en forme du chemin du côté Forêt (sortie) en reculant vers le cours d'eau et jusqu'à exposer le dessus du conduit (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001; MF, 2002).
5. Excaver le matériel de remblai situé sur les côtés du conduit de l'aval vers l'amont tout en maintenant assez de matériel à l'entrée du conduit pour maintenir l'écoulement du cours d'eau dans le conduit (Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001; MF, 2002).
6. Stabiliser les berges et le lit du côté Forêt (sortie) de l'aval vers l'amont (MF, 2001).
7. Retirer le matériel laissé en amont près de l'entrée du conduit et dévier le cours d'eau vers la section stabilisée du lit (MF, 2001).
8. Retirer le conduit et finaliser la stabilisation du lit du côté Camp (entrée) (MF, 2001; MF, 2002).
9. Retirer le reste du matériel de remblai de l'approche du côté Camp (entrée).
10. Retirer le conduit de drainage situé du côté Camp (entrée) et le remplacer par un fossé de déviation qui permet de capter et dévier les eaux de ruissellement du chemin et de ses fossés vers une zone stable ou stabilisée à plus de 20 m du cours d'eau.
11. Stabiliser les surfaces exposées à l'érosion et les surfaces perturbées par les travaux dans la lisière boisée et la bande de terrain visées à l'article 27 ou 34 du RADF (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001; MF, 2002).
12. Retirer les structures utilisées pour capter les sédiments (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001; MF, 2002).



Figure 49: Retrait du matériel de remblai et des matières résiduelles d'un ponceau (Ferland, 2022).

En ce qui concerne les ouvrages amovibles, la procédure est presque similaire sauf que le cours d'eau n'a pas à être dévié et qu'il n'y a pas de matériel de remblai à retirer en dessous de la limite supérieure des berges du cours d'eau.

Pour faciliter la lecture, les interventions précédemment décrites ont été regroupées et documentées en trois principaux blocs de travail, soit le retrait de l'ouvrage, la stabilisation des berges et du lit du cours d'eau et la stabilisation finale des surfaces perturbées ou exposées à l'érosion. D'autre part, les autres considérations associées au démantèlement d'une traverse de cours d'eau sont présentées dans la section *Considérations supplémentaires*.

5.2.2. Retrait de l'ouvrage permettant de franchir un cours d'eau

Le retrait de l'ouvrage servant à franchir un cours d'eau consiste principalement à retirer le matériel de remblai utilisé pour l'ouvrage et la mise en forme du chemin dans la zone de 20 m mesurée à partir de la limite supérieure des berges du cours d'eau de part et d'autre de celui-ci, et retirer les composantes réutilisables et les matières résiduelles (Figure 49).

5.2.2.1. Retrait des composantes réutilisables et des matières résiduelles

Le retrait des composantes réutilisables et des matières résiduelles regroupe les manœuvres associées aux traitements des matériaux qui constituaient l'ouvrage et qui doivent être retirés de la forêt. À cet effet, les conduits et les membranes géotextiles utilisés pour la construction des ponceaux sont retirés et déplacés par la pelle mécanique jusqu'à une zone de chargement qui ne nuit pas au déroulement des interventions. Ces matières résiduelles sont mises de côté en attendant leur transport vers un site voué à leur récupération ou leur enfouissement à l'extérieur de la forêt (MFFP, 2021a). Les composantes réutilisables sont, dans le cas d'un ouvrage amovible, les éléments d'appui et de tablier préfabriqués, les garde-roues et les dispositifs de signalisation. Ces composantes réutilisables sont retirées et déplacées jusqu'à leur zone de chargement. Les éléments d'appui et de tablier préfabriqués et les garde-roues sont manipulés par la pelle mécanique avec soin et à l'aide des points d'attache recommandés ou prévus par le fabricant afin d'éviter de les endommager et de réduire leur durée de vie (HQ, 2011).

5.2.2.2. Retrait du matériel de remblai

Le retrait du matériel de remblai regroupe un ensemble de manœuvres qui visent à reproduire le profil d'origine du site ou générer un profil qui s'harmonise avec le profil des rives, des berges et du lit du cours d'eau. Pour ce faire, l'objectif est d'excaver et de déplacer le matériel de remblai et reproduire la pente, la largeur, la localisation et la forme des rives, des berges et du lit du site (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). Plusieurs indicateurs peuvent être utilisés pour reproduire ces différentes caractéristiques lors du déroulement de ces interventions. Voici quelques exemples :

- Le profil des berges et des rives adjacentes au site (Maurin et Stubblefield, 2011; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001).
- L'exposition de débris ligneux (rondin, souche, branche, etc.), de la roche mère, d'un substrat plus grossier ou foncé et de la pierre de rivière (Maurin et Stubblefield, 2011; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001) lors de l'excavation permet de situer le niveau approximatif des rives, des berges et du lit naturel du site de traversée.
- La topographie générale du site et du paysage (Merrill et Casaday, 2001).

Reproduire les conditions initiales du site participe à la restauration de l'écoulement naturel du cours d'eau et la restauration des fonctions des bandes riveraines et du milieu riverain (Bagley, 1998; Barnard *et al.*, 2013; Merrill et Casaday, 2001). Toutefois, lorsque les conditions initiales sont inconnues ou impossibles à reproduire, il est recommandé d'adoucir la pente des berges et de la zone de 20 m de part et d'autre du cours d'eau dans un rapport inférieur à 1 (V) : 2 (H). Cela permet de prévenir le mouvement ou l'affaissement des sols exposés à l'érosion (Barnard *et al.* 2013; Weaver et Hagans, 1994; Weaver *et al.* 2015). Le matériel de remblai retiré est déplacé et stabilisé à plus de 20 m du cours d'eau

ou déposé dans une zone vouée à cet effet pour prévenir sa mobilisation vers le milieu aquatique, riverain ou humide (Bagley, 1998; Barnard *et al.*, 2013; HQ, 2014; Gauthier et Varady-Szabo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MFFP, 2021a; MRNF, 2007; Switalski *et al.*, 2004). À la suite du retrait et du déplacement du matériel de remblai, il est recommandé de décompacter et de scarifier le sol afin de favoriser l'infiltration des eaux de pluie, de fonte et de ruissellement ainsi que l'établissement d'un couvert végétal. Le succès des mesures de stabilisation se concrétisera par le retour de la végétation (Bagley, 1998; HQ, 2014; Gauthier et Varady-Szabo, 2014; MFFP, 2021a; MRN, 1997; MRNF, 2007). Les recommandations des experts en lien avec la profondeur du décompactage et de la scarification varient entre 400 mm à 900 mm approximativement (Bagley, 1998; MRNF, 2007; Weaver *et al.*, 2015).

Pendant les interventions, plusieurs mesures permettent de faciliter leur déroulement et favoriser leur succès. Ces mesures particulières sont les suivantes :

- Limiter les perturbations et maintenir le plus possible la végétation en place (MNR, 1997).
- Procéder au comblement des ornières, au décompactage et à la scarification des sols au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Ces mesures favorisent le retour du couvert végétal et l'infiltration des eaux après le démantèlement de la traverse de cours d'eau (HQ, 2014; Gauthier et Varady-Szabo, 2014; MFFP, 2021a; MRN, 1997; MRNF, 2007).
- Les matériaux résistants à l'érosion qui sont retirés au remblai ou aux talus de l'ouvrage, comme le matériel d'enrochement et autres débris ligneux, peuvent être mis de côté au fur et à mesure des interventions en vue de se préparer à la phase de stabilisation des surfaces perturbées et la stabilisation du lit et des berges du cours d'eau (Gauthier et Varady-Szabo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; Weaver *et al.* 2015).

- Les débris ligneux, les troncs, les fascines et les radiers de billes de bois retirés du remblai peuvent être disposés perpendiculairement à la pente de la rive au fur et à mesure du déroulement des interventions. De cette façon, ils peuvent contribuer à réduire la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement et capter les sédiments mobilisés par celles-ci avant qu'elles rejoignent le cours d'eau (Bagley, 1998; Maurin et Stubblefield, 2011; Merrill et Casaday, 2001; Roni et Beechie, 2013; Weaver *et al.* 2015). Les matériaux résistants à l'érosion qui sont ancrés, encastrés ou enfoncés dans un sol organique, comme des radiers de billes de bois et les fascines, peuvent être laissés en place (MRNF, 2007). Leur retrait risque d'introduire plus de sédiments et causer plus de dommages que lorsqu'ils sont laissés en place (FPInnovations et Canards Illimités, 2016).

5.2.3. Stabilisation des berges et du lit du cours d'eau

La stabilisation des berges et du lit du cours d'eau regroupe les mesures qui visent à assurer l'intégrité des berges et du lit en prévenant l'érosion et l'affouillement et limiter l'apport de sédiments fins dans le cours d'eau. La stabilisation du lit s'effectue dans le respect de ces principes :

1. Matériel de stabilisation utilisé: La dimension et la nature du matériel doivent permettre sa résistance au déplacement et l'érosion générée par les crues du cours d'eau (RADF, art. 114; MFFP, 2021a).
 - Utiliser des pierres hétérogènes de dimensions et de formes similaires au lit naturel du cours d'eau (MFFP, 2021a).
 - Ajouter sporadiquement quelques pierres d'un calibre équivalent à 1,5 fois la plus grosse pierre du lit pour augmenter sa stabilité et prévenir son affouillement (MFFP, 2021a).
 - Disposer le matériel de manière à bien l'imbriquer et à l'ancrer dans le substrat (MFFP, 2021a).

2. Disposer le matériel de stabilisation de manière à ne pas occasionner d'obstacle au libre passage du poisson ou à la libre circulation de l'eau (MFFP, 2021a).

Les berges du cours d'eau peuvent être stabilisées à l'aide d'un enrochement partiellement végétalisé ou encore d'ouvrages de génie végétal. À cet effet, la matière organique et végétale mise de côté au début et au fur et à mesure des interventions peut contribuer à leur stabilisation (Bagley, 1998; Maurin et Stubblefield, 2011; Merrill et Casaday, 2001; Roni et Beechie, 2013; Weaver *et al.* 2015). Pour de plus amples informations, voici une liste de guides et documents qui abordent une variété de techniques de stabilisation des berges d'un cours d'eau:

- *A citizen's guide to wildland road removal* (Bagley, 1998).
- *Best Management Practices Handbook: Hillslope Restoration in British Columbia* (MF, 2001).
- *Handbook for Forest, Ranch and Rural Roads* (Weaver *et al.*, 2015).
- *Low-volume roads engineering – Best Management Practices Field Guide* (Keller et Sherar, 2003).
- *Stream and watershed restoration – A Guide to restoring processes and habitats* (Roni et Beechie, 2013).

5.2.4. Stabilisation finale

La stabilisation finale regroupe les mesures associées à la stabilisation des surfaces perturbées et exposées à l'érosion dans la lisière boisée ou la bande de terrain visées aux articles 27 ou 34 du RADF. Ces interventions sont mises en place afin d'assurer la stabilité de ces surfaces et favoriser l'établissement d'un couvert végétal après les interventions (MFFP, 2021a). La technique privilégiée pour la stabilisation de ces surfaces est la combinaison d'un ensemencement et d'un paillage (Figure 50). Cette combinaison d'actions a le potentiel de prévenir l'érosion et la mobilisation de sédiments fins vers le cours d'eau et favorise l'établissement d'un



Figure 50 : Démantèlement d'une traverse de cours d'eau : deux mois après l'ensemencement et le paillage des surfaces perturbées et exposées à l'érosion (Ferland, 2022).

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).

La procédure de stabilisation consiste à disposer les semences sur les surfaces perturbées et exposées à l'érosion et à appliquer un tapis de pailles par-dessus celles-ci. Le tapis de paille permet de protéger temporairement les sols (1 à 2 ans) contre l'érosion générée par les précipitations, la fonte des neiges et les eaux de ruissellement, ce qui favorise la germination en retenant les semences et le sol tout en maintenant l'humidité (MNR, 1996; Weaver *et al.*, 2015). Voici quelques recommandations pour favoriser le succès des mesures de stabilisation:

- La disposition des semences et du paillis doit s'effectuer le plus rapidement possible (MFFP, 2021a; Weaver *et al.*, 2015).
- Disposer les semences et le paillis avant les périodes humides et le plus tôt possible dans la saison de croissance des semis, ce qui permet de favoriser leur germination et leur établissement (Weaver *et al.*, 2015).
- Disposer les semences et le paillis avant les périodes de crues puisqu'elles représentent les périodes critiques d'érosion et d'apports potentiels de sédiments fins dans le cours d'eau (Weaver *et al.*, 2015).

- Les semences employées doivent être adaptées aux conditions du site et être disposées selon les recommandations du fournisseur (HQ, 2014; Weaver *et al.*, 2015).
- Les semences de graminées sont souvent favorisées puisqu'elles permettent une protection rapide des sols. Toutefois, elles assurent une protection moins durable des sols que des plants d'arbres et d'arbustes (Weaver *et al.*, 2015).
- Disposer un tapis de paille d'une épaisseur de 75 mm par-dessus les semences (Weaver *et al.*, 2015).
- Fixer le paillis à l'aide de tiges en bois ou autres moyens tels qu'enfoncer la paille dans le sol à l'aide d'une pelle ou d'une fourche lorsque les surfaces à stabiliser sont exposées à de forts vents ou situées dans une pente supérieure à 45 % (Weaver *et al.*, 2015).
- Le tapis de pailles peut être remplacé par un rouleau de paille tressé avec un filet agrafé ou fixé autrement au sol (Weaver *et al.*, 2015).

5.2.5. Considérations supplémentaires

Le déroulement et l'efficacité des interventions associées au démantèlement d'un ouvrage permettant de franchir un cours d'eau sont affectés par plusieurs facteurs. En ce sens, les éléments clés identifiés ci-dessous représentent un ensemble de facteurs à considérer avant d'entamer les interventions.

- Volume de matériel de remblai à retirer: Le volume de matériel à retirer influence directement l'ampleur du travail et la durée des interventions (Bagley, 1998; Ferland, 2022; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001; Switalski *et al.*, 2004).
- Distance et direction de déplacement du matériel de remblai à retirer: La direction de déplacement du matériel de remblai par rapport à la pente du versant peut ralentir la progression des interventions (Bagley, 1998; Ferland, 2022). La distance à parcourir entre le site et la zone de stabilisation du matériel de remblai retiré influence directement l'ampleur du travail et la durée des interventions (Bagley, 1998; Ferland, 2022; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001; Switalski *et al.*, 2004).
- Composition du matériel de remblai à retirer: La présence de radiers de bille de bois, de fascines, de résidus d'ébranchage, de bois morts, de souches ou de débris ligneux dans le remblai peut ralentir la progression des interventions (Bagley, 1998; Ferland, 2022; MF, 2001; Switalski *et al.*, 2004).
- Déficit de matériel de remblai: La perte importante de matériel de remblai dû à la pente, l'érosion, l'entretien du réseau de chemins ou la défaillance de l'ouvrage peut nécessiter l'importation de matériel pour terminer la restauration du site (Merrill et Casaday, 2001).
- Condition d'humidité du sol: Les sols humides favorisent la formation d'ornière et peuvent potentiellement ralentir la progression des interventions (Bagley, 1998; Ferland, 2022).
- Disponibilité du matériel de stabilisation: Une quantité suffisante de matériel de stabilisation pour le lit, les berges et les rives (pierres, matière végétale, mousse et autres débris ligneux) à proximité favorise la progression des interventions (Ferland, 2022; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014).
- Intention de réutiliser le conduit du ponceau démantelé: Pour éviter de l'endommager, le conduit est manipulé avec précaution, ce qui peut ralentir la progression des interventions (Ferland, 2022; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014).
- Planification et allocation des ressources: Les éléments précédents sont à la base de la prise de décision en lien avec la mobilisation des ressources nécessaires à l'exécution des travaux de démantèlement d'un ouvrage servant à franchir un cours d'eau. L'allocation des bonnes ressources (machine, opérateur et main-d'œuvre) aux bons moments est un élément déterminant dans le succès et l'efficacité de l'équipe lors des interventions. En ce sens, assigner une équipe adéquate, expérimentée et bien supervisée permet de faciliter la progression des interventions (Bagley, 1998; Ferland, 2022; FPInnovations et Canards Illimités, 2016). Les experts consultés suggèrent plusieurs recommandations à ce sujet:
 - Mobiliser les mêmes ressources pour réaliser les travaux de démantèlement que pour réaliser les travaux de construction du chemin (Ferland, 2022). Par exemple, lorsqu'un camion-benne a été utilisé pour transporter le matériel de remblai du ponceau depuis un banc d'emprunt, il serait pertinent de prévoir un autre camion-benne pour transporter à nouveau le matériel de remblai jusqu'au banc d'emprunt.
 - Remblai comportant des matériaux organiques (radier de billes de bois, fascine, résidus d'ébranchage, souche et autres débris ligneux):
 - Mobiliser une pelle mécanique munie d'un pouce hydraulique qui facilite leur retrait et limite les manipulations supplémentaires (Ferland, 2022).
 - Mobiliser un transporteur lorsque le remblai est constitué d'une grande quantité de matériaux organiques de grandes dimensions qui doit être déplacée loin du site. Le transporteur est plus efficace et apte au chargement, transport et déchargement qu'un camion-benne pour des radiers de billes de bois, des troncs et des fascines (Ferland, 2022).

5.3. Démantèlement du chemin (point stratégique 3)

Ce point stratégique regroupe les traitements qui touchent au démantèlement des structures aménagées dans l'emprise du chemin. Ces structures aménagées sont le chemin en tant que tel avec ses talus, son remblai, ses accotements, sa chaussée, ainsi que les fossés de drainage et les conduits de drainage.

Il est important de préciser que le RADF n'inclut pas de normes, de critères ou de principes spécifiques aux traitements de ces structures lors de la fermeture temporaire ou permanente d'un chemin. Les traitements proposés s'inspirent ou proviennent directement de la littérature scientifique. Ils représentent une banque d'outils qui permettent d'atteindre divers objectifs qui pourraient être souhaités dans le cadre d'une fermeture temporaire ou permanente d'un chemin.

5.3.1. Traitement superficiel - Désactivation temporaire

Le traitement partiel du chemin est proposé pour la mise en œuvre de la stratégie par désactivation temporaire d'un chemin à faible utilisation. Ce traitement a pour objectifs de préparer le chemin à une fermeture temporaire de manière à limiter sa dégradation et réduire les risques et les impacts associés à celle-ci sur les milieux aquatiques, humides, riverains et forestiers, tout en conservant la mise en forme du chemin pour une future utilisation. Ce traitement consiste à scarifier et stabiliser la chaussée et les accotements d'un chemin qui font l'objet d'une fermeture de manière à favoriser la reconstitution d'un couvert végétal. Il a le potentiel de limiter l'érosion et la mobilisation de sédiments fins générés par les eaux de précipitation, de fonte et de ruissellement et peut dissuader les utilisateurs secondaires de circuler en véhicule.

Ce type de traitement est généralement recommandé pour un chemin ou une section d'un chemin stable, situé en pente nulle ou très faible et constitué de

remblais stabilisés et pouvant être laissés en place après la fermeture temporaire du chemin (MF, 2001; Switalski *et al.*, 2004). L'intensité du traitement est directement influencée par les caractéristiques du chemin. Face à des contraintes opérationnelles, financières ou de temps, il est recommandé de prioriser les chemins ou les sections d'un chemin fortement utilisés ou nivelés puisque leur surface tend à être plus compacte (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001) et ainsi propice à l'accumulation et le ruissellement de l'eau en surface.

5.3.1.1. Scarification

La scarification consiste à remanier et mélanger le matériel compacté de la surface du chemin (chaussée et accotements) sur une profondeur déterminée afin d'améliorer les conditions de germination du site, favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol et limiter l'érosion générée par les eaux de ruissellement. Combinée à des mesures de stabilisation, la scarification favorise la reconstitution d'un couvert végétal et le succès du reboisement des surfaces traitées et par conséquent, contribue à améliorer la productivité de l'espace occupé par le chemin (Bagley, 1998; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001; MRNF, 2007; Switalski *et al.*, 2004; Weaver *et al.*, 2015). La scarification peut aussi contribuer à limiter l'accès en offrant un obstacle dissuasif aux utilisateurs en véhicule (MF, 2001; Weaver *et al.*, 2015). Malgré ce qui précède, la scarification ne permet pas de restaurer les conditions hydrologiques ou écologiques initiales du site, et le succès du reboisement et de la reconstitution du couvert végétal peut être limité par les sols pauvres qui caractérisent généralement le matériel de remblayage d'un chemin forestier (Luce, 1997; Switalski *et al.*, 2004). En conservant la forme et l'empreinte du chemin, le risque d'érosion et de mobilisation de sédiments fins vers des zones sensibles par les eaux de ruissellement est toujours présent (Luce, 1997; Switalski *et al.*, 2004).

En ce qui concerne la procédure pour la scarification, il n'y a pas de consensus dans la littérature scientifique au niveau de la profondeur minimale recommandée. Toutefois, il serait juste de proposer que la scarification doive s'effectuer sur une profondeur qui varie entre 400 mm (MF, 2001; MRNF, 2007) et 900 mm (Bagley, 1998; Switalski *et al.*, 2004). Au cours des interventions, plusieurs mesures peuvent contribuer au succès du traitement. En voici quelques-unes :

- Bien mélanger le matériel de la surface traitée (pierres, sols organiques et minéraux) favorise la productivité du site (MF, 2001).
- Disposer des débris organiques et ligneux par-dessus les surfaces traitées et perpendiculairement à la pente. Ces débris permettent de réduire et de dissiper la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement et capter les sédiments fins mobilisés (Bagley, 1998; Maurin et Stubblefield, 2011; MF, 2001; Merrill et Casaday, 2001; Roni et Beechie, 2013; Weaver *et al.* 2015).
- Amender le sol pour améliorer la productivité du site et ainsi le succès du reboisement et de la reconstitution du couvert végétal (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001; Switalski *et al.*, 2004).

Par ailleurs, plusieurs facteurs peuvent nuire au déroulement des interventions associées à la scarification et se traduire par des coûts supplémentaires. Voici quelques facteurs tirés de la littérature scientifique :

- Dimensions de la surface à traiter (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001).
- Profondeur déterminée pour la scarification (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001).
- L'âge ou le niveau de compaction du chemin (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001).
- Machines et outils mobilisés (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001).

- Nature du matériel de la surface du remblai du chemin (Sable vs. Gravier).
- Présence de :
 - Débris ligneux de grandes dimensions (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001).
 - Arbres qui croient dans la surface traitée (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001).
 - Structures de drainage du chemin présentes ou à aménager (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001).

5.3.1.2. Stabilisation finale

La stabilisation finale regroupe les mesures associées à la stabilisation des surfaces traitées lors du traitement de scarification. Ces interventions sont mises en place afin d'assurer la stabilité de ces surfaces et favoriser l'établissement d'un couvert végétal après les interventions (MFFP, 2021a). La technique recommandée est la même que celle documentée pour la section *Stabilisation finale* du point stratégique 2 (*Démantèlement des traverses de cours d'eau*), soit la combinaison d'un ensemencement et d'un paillage. La procédure, les recommandations des experts et de la littérature scientifique et les autres considérations sont aussi les mêmes que celles présentées auparavant. La principale différence entre les deux points stratégiques est que la zone de couverture des semences et de la paille après la scarification peut se limiter à la chaussée et aux accotements du chemin traité. À cet effet, il pourrait s'avérer utile et profitable de mobiliser des ressources supplémentaires pour l'exécution de cette tâche, tel un VTT équipé d'un épandeur à semences.

5.3.2. Traitement partiel du chemin – Désactivation semi-permanente

Le traitement partiel du chemin est proposé dans le cadre de la mise en œuvre de la stratégie par désactivation semi-permanente d'un chemin à faible utilisation. Il a pour objectifs de préparer le chemin à une fermeture temporaire de manière à limiter les risques et les

impacts associés à sa dégradation sur les milieux aquatiques, humides, riverains et forestiers tout en conservant une portion importante des matériaux du chemin sur place et en facilitant la réouverture du chemin dans le futur (Bagley, 1998; Weaver *et al.*, 2015). Ce traitement consiste à refaçonner le chemin ou des sections de celui-ci, stabiliser les surfaces perturbées et exposées à l'érosion et remplacer les structures de drainage des eaux de ruissellement. Ces interventions sont reconnues pour leur efficacité à prévenir la défaillance et la dégradation d'un chemin non entretenu et à limiter les risques et les impacts associés. Néanmoins, la fermeture temporaire du chemin implique que la stabilité du matériel de remblai laissé en place pourrait s'altérer et un jour défaillir sans mesures de suivi et d'entretien. C'est pour cette raison que ce traitement est présenté comme une désactivation semi-permanente.

Le traitement partiel du chemin est à prioriser pour les chemins ou les sections du chemin à traiter qui comportent les indicateurs suivants :

- Signes d'érosion ou d'instabilité (Weaver *et al.*, 2015).
- Proximité d'un cours d'eau ou d'un milieu sensible (Weaver *et al.*, 2015).
- Talus escarpés (Weaver *et al.*, 2015).

5.3.2.1. Refaçonnage du chemin

Le refaçonnage du chemin regroupe un ensemble d'interventions visant à remanier la mise en forme du chemin (talus, chaussée et accotements) et à combler les fossés latéraux afin de produire une nouvelle mise en forme qui ne nécessite aucun entretien. Cette intervention cherche à modifier la mise en forme du chemin de manière à générer une surface inclinée qui permet de disperser efficacement les eaux de précipitation, de fonte et de ruissellement qui sont captées par celle-ci (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001; Weaver *et al.*, 2015).

Le matériel de remblai utilisé pour la

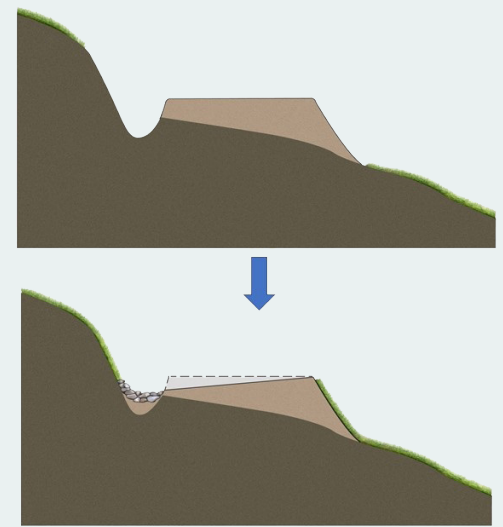


Figure 51: Chemin avant (haut) et après (bas) le remaniement vers l'intérieur.

mise en forme initiale du chemin est remanié de manière à produire une surface inclinée, continue, sans dépression, avec un angle de repos stable (Merrill et Casaday, 2001) et une pente transversale supérieure à celle du chemin (Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001; Weaver *et al.*, 2015). Le profil de cette nouvelle mise en forme permet d'éviter que les eaux de ruissellement s'y accumulent ou soient canalisées par le chemin vers des zones sensibles (Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001). La littérature scientifique promeut deux méthodes de remaniement du matériel de remblai, soit le remaniement du matériel par l'extérieur et le remaniement du matériel de remblai par l'intérieur.

Le remaniement du matériel vers l'intérieur du chemin (*insloping*) consiste à remblayer les fossés latéraux du chemin et produire une surface avec un angle de repos stable qui draine les eaux de ruissellement vers un creux à la base du remblai intérieur du chemin (Figure 51). Ce creux permet de les contenir à l'intérieur du remblai et de les diriger vers une structure de drainage qui permet de les transférer d'un côté à l'autre de la nouvelle mise en forme. Cette méthode est priorisée lorsque le talus qui retient le matériel laissé en place (bas de pente) est potentiellement instable

(Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001). En dirigeant les eaux de ruissellement vers l'intérieur du chemin, la nouvelle mise en forme contribue à limiter l'érosion de ce talus. Cette méthode est recommandée seulement lorsqu'il est possible d'assurer la stabilité du creux et de la nouvelle mise en forme (MF, 2001), sinon les eaux de ruissellement qui y sont drainées risquent de les éroder et de les déstabiliser. Lorsqu'il n'est pas possible d'assurer leur stabilité, il serait plus pertinent d'opter pour le remaniement du matériel vers l'extérieur (MF, 2001) ou le démantèlement complet du chemin.

Le remaniement du matériel vers l'extérieur (*outsloping*) consiste à remblayer les fossés latéraux du chemin et produire une surface avec un angle de repos stable qui relie le haut et la base du versant où a été aménagé le chemin pour drainer les eaux de ruissellement dans le sens de la pente naturelle du versant (Figure 52). Le remaniement du matériel de remblai vers l'extérieur éloigne les eaux de ruissellement du matériel de remblai laissé en place et limite son érosion et sa mobilisation (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001; Weaver *et al.*, 2015). Cette méthode est recommandée lorsqu'il est possible d'assurer la stabilité de la nouvelle mise en forme du chemin (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014). À cet effet, cette méthode se révèle des plus efficaces lorsque la pente transversale de la nouvelle mise en forme est inférieure à 6 % (MF, 2001).

Ces interventions peuvent être réalisées par une pelle mécanique, un boteur ou la combinaison des deux de manière à déplacer la majorité du matériel à l'aide du boteur et effectuer le travail de finition à l'aide de la pelle mécanique (Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001). Au fur et à mesure des interventions, plusieurs pratiques sont recommandées afin d'assurer leur succès. En voici quelques-unes :

- Décompacter et bien mélanger le matériel (pierres, sols organiques et

minéraux) afin de favoriser la productivité et les conditions de germination du site, l'infiltration de l'eau dans le sol et limiter l'érosion (Bagley, 1998; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001; MRNF, 2007; Switalski *et al.*, 2004; Weaver *et al.*, 2015).

- Conserver les débris organiques et ligneux excavés lors des interventions afin de les disposer par-dessus et perpendiculairement à la pente sur les surfaces traitées. Ces débris permettent de réduire et dissiper la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement et capter les sédiments fins mobilisés (Bagley, 1998; Keller et Sherar, 2003; Maurin et Stubblefield, 2011; MF, 2001; Merrill et Casaday, 2001; Roni et Beechie, 2013; Weaver *et al.* 2015).
- Disposer la matière organique disponible par-dessus les surfaces traitées favorise le rétablissement du site et améliore les chances de succès des mesures de reboisement, de revégétalisation et de stabilisation des surfaces perturbées et exposées à l'érosion (Bagley, 1998; Keller et Sherar, 2003; Weaver *et al.*, 2015). La matière organique permet de retenir l'humidité au sol, contient des nutriments essentiels aux plantes et organismes dans le sol et contribue à retenir le sol en place (Bagley, 1998).
- Conserver le matériel granulaire ou les pierres excavées lors des interventions afin de les utiliser pour stabiliser l'entrée, les parois et la sortie des structures aménagées pour le drainage des eaux de ruissellement.
- Anticiper les déficits et les surplus de matériel. Il pourrait s'avérer impossible d'assurer la stabilité de l'ensemble du matériel remanié et qu'il devienne nécessaire de déplacer des quantités importantes de matériel de remblai en surplus. À l'inverse, l'érosion générée par les eaux de précipitation, de fonte et de ruissellement ou les déplacements de matériel lors de l'entretien du chemin pourrait réduire la quantité de matériel disponible jusqu'au point où il serait nécessaire

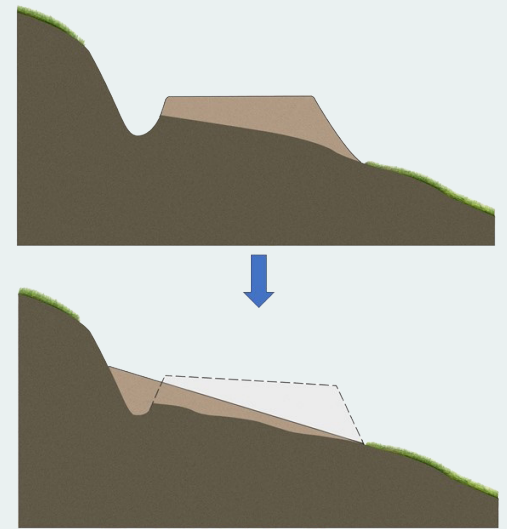


Figure 52: Chemin avant (haut) et après (bas) le remaniement du matériel vers l'extérieur.

d'importer du matériel supplémentaire pour combler ce déficit et compléter le remaniement du matériel (Merrill et Casaday, 2001).

Plusieurs facteurs peuvent nuire au déroulement des interventions associées au refaçonnage et se traduire par des coûts supplémentaires. Voici quelques facteurs tirés de la littérature scientifique :

- Dimensions de la surface à traiter (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001).
- Équipements appropriés : Pour de grandes surfaces, une niveleuse ou un boteur peut s'avérer plus pratique qu'une pelle mécanique (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001).
- Présence de débris ligneux de grandes dimensions (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001).
- Déplacement de matériel pour combler un déficit ou pallier un surplus (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MF, 2001).

5.3.2.2. Stabilisation finale

Après le refaçonnage du chemin, il est nécessaire de mettre en place des mesures de stabilisation des surfaces qui sont perturbées et exposées à l'érosion. Ces interventions sont mises en place afin d'assurer la stabilité de ces surfaces

et favoriser l'établissement d'un couvert végétal après les interventions (MFFP, 2021a). La technique et les procédures recommandées sont les mêmes que celles documentées dans la section *Stabilisation finale* du point stratégique 2 (*Démantèlement des traverses de cours d'eau*).

5.3.2.3. Remplacement des structures de drainage des eaux de ruissellement

Dans un contexte de fermeture temporaire, les structures de drainage des eaux de ruissellement initiales d'un chemin sont remplacées par des structures durables et qui nécessitent peu ou pas d'entretien lorsque le retour en forêt est prévu après la fermeture et que le chemin est en mauvais état ou lorsque le chemin pourrait potentiellement être utilisé dans le futur. Ces structures alternatives sont les barres d'eau, les creux drainants et les fossés de déviation. Elles sont décrites spécifiquement dans la section *Structures de drainage*. La conception et l'aménagement de ces structures s'adaptent aux conditions du chemin et à la méthode de remaniement du matériel sélectionnée. L'aménagement de ces structures s'insère dans des pratiques qui visent à préserver le drainage naturel du sol, limiter l'érosion et la mobilisation de sédiments fins vers les milieux aquatiques, humides, riverains et forestiers et éviter les impacts liés à leur défaillance.

Dans un contexte de remaniement vers l'extérieur, les barres d'eau et les creux drainants sont aménagés pour favoriser le drainage des eaux de ruissellement d'un côté à l'autre de la nouvelle mise en forme et les fossés de déviation sont aménagés pour remplacer les conduits de drainage installés afin de détourner les eaux de précipitation, de fonte et de ruissellement à l'extérieure de la zone de 20 m mesurée à partir de la limite supérieure des berges d'un cours d'eau. Pour le remaniement vers l'intérieur, les eaux de ruissellement captées par la nouvelle mise en forme sont dirigées vers son creux qui les canalise vers une structure aménagée pour les transférer d'un côté

à l'autre de celle-ci. Pour répondre à ces besoins, il est recommandé d'aménager des fossés de déviation et de porter une attention particulière à leur espacement et leur stabilisation pour limiter la concentration et la vitesse d'écoulement des eaux de ruissellement canalisées par le creux de la nouvelle mise en forme. Au même titre que pour le remaniement vers l'extérieur, les conduits de drainage utilisés pour détourner les eaux de ruissellement à l'extérieure de la zone de 20 m d'un cours d'eau sont remplacés par des fossés de déviation.

5.3.3. Traitement complet du chemin – Désactivation permanente

Le traitement complet du chemin est proposé dans le cadre de la stratégie par désactivation permanente d'un chemin à faible utilisation. Ce traitement a pour but de préparer le chemin à une fermeture permanente de manière à éviter son entretien, à éviter les risques et les impacts associés à sa dégradation sur les milieux aquatiques, humides, riverains, forestiers et la sécurité des biens, des personnes et des utilisateurs et à améliorer la qualité des habitats d'espèces sensibles. Il regroupe un ensemble d'interventions qui visent à remettre le milieu dans son état initial en reproduisant sa morphologie, son patron de drainage et ses caractéristiques naturelles. Pour y arriver, le chemin et ses structures de drainage sont démantelés et les surfaces perturbées et exposées à l'érosion sont stabilisées. Le traitement complet du chemin, parfois connu sous le nom de «*full roadfill pullback*», «*full recontouring*» «*obliteration*» ou «*road removal*», représente une solution efficace et fiable pour contrôler les externalités environnementales négatives qui accompagnent un chemin peu ou pas utilisé et non entretenu.

Ce traitement est le plus intensif qui soit proposé et devrait être mise en place seulement lorsqu'aucun usage n'est prévu pour le chemin dans le futur. Pour sa mise en application, il est généralement recommandé de prioriser les chemins situés en forte pente, dans des zones

instables (sujets à des glissements de terrain ou inondations, sol facilement érodable, etc.) ou à proximité de milieux sensibles (lac, cours d'eau et aire récréative). Les chemins ou les sections de chemins dont le remblai est constitué de débris ligneux ou des talus qui présentent une forte pente, des signes d'érosion ou des déplacements de matériel sont des exemples de sites à prioriser (Bagley, 1998; MF, 2001; MF, 2002; Weaver et Hagans, 1994; Weaver *et al.*, 2015)).

5.3.3.1. Démantèlement complet du chemin

Le démantèlement complet du chemin consiste à remanier le matériel de remblai du chemin, retirer et déplacer le matériel de remblai en surplus, retirer les matières résiduelles (conduits de drainage, membranes géotextiles, etc.) et réutilisables (panneaux de signalisation) et stabiliser le site.

Le remaniement du matériel de remblai du chemin s'effectue de façon à décompacter le matériel et reproduire la pente et la morphologie initiale du site dans l'optique de restaurer le drainage naturel du site (Bagley, 1998; Keller et Sherar, 2003; Merrill et Casaday, 2001; MF, 2001; Roni et Beechie, 2013). La pente et la morphologie initiale du site peuvent être estimées à l'aide de la topographie générale du versant et plusieurs indicateurs tels que l'exposition de matière organique, de débris ligneux, de la roche mère ou d'un sol noir/gris peuvent être utilisés pour identifier le niveau naturel (Merrill et Casaday, 2001). La procédure recommandée consiste en une série de manœuvres qui se répètent au fur et à mesure que l'équipe se rapproche du point de fermeture du chemin. Ces manœuvres sont les suivantes :

- Retirer et mettre de côté la matière organique et végétale de la section du chemin traité.
- Décompacter et disposer le matériel granulaire du remblai en débutant par le fossé et le remblai d'intérieur (haut de pente) en maintenant un bourrelet ou le talus du remblai situé en bas de pente.

- Disposer le matériel granulaire en couches successives en débutant par le matériel le plus grossier et en finissant avec le matériel le plus fin.
- Disposer le matériel de manière à reproduire la forme naturelle du site jusqu'à rejoindre le talus en bas de pente et terminer en comblant le deuxième fossé.
 - Conserver le matériel d'enrochement et les débris ligneux (souches, branches, troncs) qui peuvent être contenus dans le remblai pour la stabilisation du site.
- Disposer et niveler le reste du matériel de manière à reproduire la forme et la pente naturelle du site de manière à joindre le haut et le bas de la pente du versant.
- Retirer et déplacer le matériel de remblai en surplus et les matières résiduelles.
- Déplacer le matériel de remblai vers une zone stable prévue à cet effet et déplacer les matières résiduelles vers un site de traitement approprié (e.g. Écocentre).
- Stabiliser les surfaces perturbées et exposées à l'érosion à l'aide de la matière organique et végétale, les débris ligneux et le matériel d'enrochement mis de côté.
 - Disposer la matière organique par-dessus les surfaces perturbées et exposées à l'érosion améliore les chances de succès des mesures de reboisement et de stabilisation (Bagley, 1998; Weaver *et al.*, 2015).

Les saines pratiques qui favorisent le succès des interventions et les facteurs qui peuvent nuire à leur déroulement et ainsi se traduire par des coûts supplémentaires sont les mêmes que pour le traitement de *Refaçonnage du chemin*

(Section 5.3.2.1). La procédure détaillée et les autres considérations associées au positionnement de la machinerie et la sécurité des opérateurs en pentes fortes sont documentées dans les guides suivants:

- *Best Management Practices Handbook: Hillslope Restoration in British Columbia* (MF, 2001).
- *Field techniques for Forest and Range road removal* (Merrill et Casaday, 2001).

5.3.3.2. Stabilisation finale

La stabilisation finale consiste à stabiliser les surfaces perturbées ou exposées et s'effectue selon les mêmes principes et considérations que le traitement de désactivation temporaire ou semi-permanente.

5.4. Reboisement de l'emprise du chemin (point stratégique 4)

Dans les forêts du domaine de l'État, le reboisement de l'emprise d'un chemin faisant l'objet d'une fermeture temporaire ou permanente s'effectue dans le but d'assurer la remise en production forestière du site, de réduire les pertes de superficie forestière et/ou de contribuer à rendre l'utilisation du chemin impossible après sa fermeture. Les interventions liées au reboisement sont guidées par les principes suivants:

1. Reboiser l'emprise du chemin traité sur une distance minimale de 250 m à partir du point de fermeture ou jusqu'à rejoindre une traverse de cours d'eau démantelée (RADF, art. 81).
2. Réaliser le reboisement dans un délai de deux ans après la fermeture (RADF, art. 81).
3. Utiliser des essences adaptées au site (RADF, art. 81).

En ce sens, la plantation d'arbres ou d'arbustes permet le développement d'un couvert végétal durable et d'un réseau racinaire profond qui fournissent une protection contre l'érosion et assurent

la stabilité du sol à long terme (Keller et Sherar, 2003; MF, 2001; Weaver *et al.*, 2015). Outre les fonctions précédentes, le développement d'un couvert forestier contribue à rétablir les fonctions hydrologiques naturelles et à mitiger l'impact visuel d'un chemin sur le paysage (Keller et Sherar, 2003; MF, 2001).

Le succès des mesures de reboisement ou de revégétalisation est généralement influencé par les facteurs suivants:

- Conditions du site: Type de sol, exposition (soleil et ombre), humidité du sol, température saisonnière, patron d'écoulement (zone inondable) et de précipitation (Roni et Beechie, 2013; Weaver *et al.*, 2015).
- Essences utilisées (Keller et Sherar, 2003; Roni et Beechie, 2013; Weaver *et al.*, 2015).
- Période de plantation (Roni et Beechie, 2013; Weaver *et al.*, 2015).
- Autres: Compétition, broutement, espèces invasives, maladies, insectes (Roni et Beechie, 2013; Weaver *et al.*, 2015).

- Mise en place de mesures supplémentaires: Protection contre le broutement, arrosage ou fertilisation pour les sols pauvres, et contrôle de la compétition et des espèces invasives (Keller et Sherar, 2003; Roni et Beechie, 2013).

Les spécificités liées à la sélection des essences, la densité des plants, l'ampleur du tronçon du chemin fermé qui est traité, la période de plantation et la mise en place de mesures supplémentaires doivent prendre en considération les conditions du site et les objectifs de production souhaités (MF, 2001). Pour la sélection des essences utilisées, il est généralement recommandé de prioriser les essences locales et adaptées aux conditions du site (Keller et Sherar, 2003; Roni et Beechie, 2013; Weaver *et al.*, 2015). Les recommandations suivantes sont spécifiques aux espèces à prioriser pour des situations particulières:

- Sol perturbé: Utiliser des espèces pionnières puisqu'elles créent des conditions qui permettent l'établissement

des micro-organismes du sol et sont souvent associés à des bactéries fixatrices d'azote, ce qui favorise les conditions du sol et promeut l'établissement des espèces de succession locales (MF, 2001; MF, 2002).

- Sol non perturbé (horizons du sol intact): Utiliser des espèces de succession (MF, 2001).
- Sol pauvre: Utiliser des essences d'arbustes résistantes au sol infertile. Elles améliorent les conditions du sol en produisant une litière végétale et de l'humus (MF, 2001).
- Site situé en pente forte: Utiliser des essences reconnues pour leur résistance, une couverture dense et des racines profondes (Keller et Sherar, 2003).

En ce qui concerne la période de plantation, il est généralement recommandé de prioriser les périodes humides ou les périodes où les plants sont dormants (printemps et automne). Elles sont reconnues pour favoriser l'établissement et la survie des plants (MF, 2001; Weaver *et al.*, 2015). Enfin, voici quelques saines pratiques qui peuvent guider la mise en place des mesures de reboisement de l'emprise d'un chemin faisant l'objet d'une fermeture:

- Sélectionner en avance les essences et anticiper les réserves et la quantité de plants nécessaires pour le reboisement de l'emprise du chemin (MF, 2001; Roni et Beechie, 2013).

- Coordonner les mesures de reboisement de l'emprise du chemin avec les mesures de reboisement des blocs de coupes (MF, 2001; MRNF, 2007).
- Mise en place de mesures supplémentaires de protection contre le broutement, d'arrosage ou de fertilisation pour les sols pauvres, et de contrôle de la compétition et des espèces invasives (Keller et Sherar, 2003; Roni et Beechie, 2013).
- Entretien périodique jusqu'à l'établissement de la végétation (5 à 7 ans): Fertilisation, contrôle de la compétition et des espèces invasives et mesures de protection contre le broutement (Keller et Sherar, 2003; Roni et Beechie, 2013).

5.5. Signalisation et obstruction de l'accès (point stratégique 5)

En forêt publique québécoise, la fermeture temporaire ou permanente d'un chemin doit s'effectuer dans la mesure où la fermeture est signalée et que son utilisation est rendue impossible (MFFP, 2021a). La signalisation de la fermeture doit être adéquate et disposée stratégiquement afin d'assurer la visibilité des panneaux, d'informer l'utilisateur de la nature de la fermeture et de dissuader la circulation en véhicule. Les panneaux doivent être installés avec soin, soit sur l'accotement face aux véhicules, être visible de jour et de nuit et aucun obstacle (végétation, banc de neige, etc.) ne peut réduire sa visibilité (RADF, art. 115). À l'intersection du chemin qui croise le chemin fermé, un panneau affichant la fermeture du chemin, le retrait des traverses de cours d'eau et, si tel est le cas, la mise en place d'un obstacle à la circulation des véhicules doit être installé (RADF, art. 115). Le panneau utilisé à cet effet est un panneau de signal avancé de *Route barrée* auquel s'ajoute un panonceau indiquant la distance à parcourir entre l'intersection et le point de fermeture (MFFP, 2021b). Un panneau de *Route barrée* pour une fermeture temporaire (désactivation temporaire) ou de *Fin de route* pour une fermeture

permanente (désactivation semi-permanente ou permanente) (MFFP, 2021b) doit être installé au niveau du point de fermeture du chemin (MFFP, 2021a). En ce qui concerne la signalisation, plusieurs mesures supplémentaires peuvent contribuer au succès de la fermeture et orienter les utilisateurs du territoire face aux changements associés à la fermeture. En voici quelques exemples:

- Installer un panneau supplémentaire qui permet d'indiquer la durée et la raison de la fermeture du chemin (MRNF, 2007), valorise les bénéfices associés à la fermeture d'un chemin sur la protection des milieux aquatiques et d'espèces sensibles, le changement de vocation du chemin ou la sécurité des utilisateurs pourraient dissuader les utilisateurs de circuler dans le chemin à la suite de sa fermeture.
- Informer plus rapidement les utilisateurs:
 - Installer des panneaux de signal avancé de *Route barrée* supplémentaires aux intersections précédentes (MRNF, 2007) permet d'éviter aux utilisateurs d'avoir à effectuer un détour et de parcourir des distances inutiles.

- Installer des panneaux de signal avancé de *Route barrée* avec un panonceau indiquant le nom du chemin fermé à des intersections stratégiques ou à l'entrée des chemins d'accès principaux du secteur (accueil de la ZEC ou de la pourvoirie).
- Installer des panneaux indiquant la date prévue de la fermeture du chemin à l'intersection du chemin qui croise le chemin à fermer, à des intersections stratégiques ou à l'entrée des chemins d'accès principaux du secteur.
- Fournir des alternatives aux utilisateurs:
 - Installer des panneaux indiquant les directions d'un trajet ou chemin alternatif (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014) si possible, et un panonceau indiquant la distance à parcourir au niveau de l'intersection du chemin qui croise le chemin fermé.
 - Ajouter un panneau de signal avancé de *Demi-tour* à l'intersection du chemin qui croise le chemin fermé et un panonceau indiquant la direction et la distance à parcourir avant de rejoindre un endroit approprié

pour effectuer un demi-tour pour tous les types de véhicules qui pourraient utiliser le chemin.

L'utilisation du chemin faisant l'objet d'une fermeture temporaire ou permanente doit être rendue impossible après celle-ci (RADF, art. 115). La mise en œuvre des mesures associées aux stratégies de fermeture proposées comme le retrait des traverses de cours d'eau, les traitements du chemin (traitement complet (démantèlement et remise en état), traitement partiel (refaçonnage) et traitement superficiel (scarification)), le reboisement de l'emprise du chemin et la signalisation de la fermeture contribuent à rendre impossible son utilisation. Néanmoins, il pourrait être nécessaire de mettre en place des mesures qui visent précisément à bloquer l'accès au chemin fermé afin d'éviter que les sites traités, les zones reboisées et les espèces sensibles protégées soient perturbés par d'intrépides utilisateurs. Ces mesures pourraient aussi contribuer à dissuader la circulation de ces utilisateurs et ainsi limiter les risques pour leur sécurité. Ces mesures sont essentielles afin d'assurer la réhabilitation du chemin et la remise en état du milieu (MFFP, 2015). Le but précis est d'empêcher l'accès au chemin en véhicule à l'aide de barrières ou d'obstacles infranchissables (Boulfroy *et al.*, 2015; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; Keller et Sherar, 2003; MRNF, 2007; MFFP, 2015; Weaver *et al.*, 2015). L'installation de ces obstacles s'effectue dans la mesure où ils sont installés stratégiquement pour bloquer le ou les points d'accès au chemin fermé et éviter leur contournement (Boulfroy *et al.*, 2015; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; Keller et Sherar, 2003; MRNF, 2007; MFFP, 2015; Weaver *et al.*, 2015). À cet effet, il est préférable de situer ces obstacles à des endroits où le passage est naturellement plus étroit et que les espaces de contournement sont limités.

Les barrières ou les barricades sont généralement recommandées dans le cadre d'une fermeture temporaire puisqu'elles permettent de contrôler l'accès et d'entretenir les structures laissées en place

(MRNF, 2007; Weaver *et al.*, 2015) et facilitent la réouverture du chemin (Boulfroy *et al.*, 2015; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MRNF, 2007). Les principaux inconvénients associés à leur utilisation sont qu'elles peuvent être vandalisées, retirées et contournées et qu'elles nécessitent un entretien (Boulfroy *et al.*, 2015; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MRNF, 2007). Lors de leur mise en place, il est recommandé de les ancrer solidement dans le sol afin d'éviter leur retrait (Weaver *et al.*, 2015) et d'ajouter des blocs de pierres de chaque côté de celles-ci afin d'éviter les contournements. Les obstacles infranchissables, comme un monticule (matériel granulaire stabilisé, pierres, débris de coupes, troncs d'arbre, souches, etc.), des blocs de pierre ou de bétons sont plutôt recommandés dans la cadre d'une fermeture permanente (Boulfroy *et al.*, 2015; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MFFP, 2015; MRNF, 2007; Weaver *et al.*, 2015), probablement parce qu'ils sont plus difficile à retirer et qu'ils complexifient la réouverture du chemin par rapport à une barrière. Toutefois, ils sont généralement reconnus pour être moins coûteux qu'une barrière et, s'ils sont bien conçus, ne nécessitent aucun entretien (Boulfroy *et al.*, 2015; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014). Pour leur confection, plusieurs guides recommandent d'ériger ce type d'obstacle sur une hauteur minimale de 2 m (Boulfroy *et al.*, 2015; Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; MRNF, 2007).

L'efficacité générale de ces obstacles est généralement associée à leur localisation (Gauthier et Varady-Szarbo, 2014; Keller et Sherar, 2003; Weaver *et al.*, 2015), d'où l'importance de les situer stratégiquement. Le choix du type d'obstacle à mettre en place doit s'effectuer en considérant leurs avantages et inconvénients. Toutefois, il serait juste de proposer l'installation de barrières ou barricades pour la désactivation temporaire et l'installation d'obstacles infranchissables pour la désactivation permanente et semi-permanente.

6.

Bibliographie

- Akan, A. O. et Iyer, S. S. 2021. Open Channel Hydraulics. Elsevier, 2^{ième} édition, 434 p.
- Antcil, F., Rousselle, J. et Lauzon, N. 2005. Hydrologie – Cheminement de l'eau. Presses internationales Polytechnique, 317 p.
- Antcil, F., Rousselle, J. et Lauzon, N. 2012. Hydrologie – Cheminement de l'eau. Presses internationales Polytechnique, 2^{ième} édition, 391 p.
- 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.
- Balke K. et al. 2011. Signing strategies for low-water and flood-prone highway crossings. Texas transportation institute, Research and technology implementation office, Texas, USA, 201 p.
- 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. Traversée des cours d'eau à gué. Rapport présenté à TransÉnergie (Hydro-Québec) par Naturam Environnement Inc., Québec, Canada, 27 p. + annexes.
- Benton, P. D., Ensign, W. E. et Freeman, B. J. 2008. The effect of road crossings on fish movements in small Etowah Basin streams. *Southeastern Naturalist*, vol. 7, no. 2, p. 301-310.
- Bérubé, P. D. et al. 2010. L'effet à long terme des chemins forestiers sur la sédimentation. Notes techniques no. 11. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement forestier et Direction de l'environnement et de la protection des forêts, Gouvernement du Québec, Canada, 4 p.
- 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, C. et al. 1998. Temporary Stream and Wetland Crossing Options for Forest Management. Gen. Tech. Rep. NC-202. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station, Minnesota, USA, 67 p.
- 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'enfeuilletement. 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.
- Bourne, C. M., Kehler, D. G., Wiersma, Y. F. et Cote, D. 2011. Barriers to fish passage and barriers to fish passage assessments: the impact of assessment methods and assumptions on barrier identification and quantification of watershed connectivity. *Aquatic Ecology*, vol. 45, no. 3, p. 389-403.
- Bouska, W. W. et Paukert, C. P. 2010. Road crossing designs and their impact on fish assemblages of Great Plains streams. *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 139, no. 1, p. 214-222.
- Bruton, M. 1985. The effects of suspensoids on fish. Dans *Perspectives in Southern Hemisphere Limnology*, disponible via Springer, p. 221-241.
- Burdett, S., Smith, A., Hulley, M., Blair et E. Werner, K. 2014. Kerrbrook ford erosion and erosion reduction assessment. Royal Military College, Kingston, Ontario, Canada, 8 p.
- Castro-Santos, T. 2005. Optimal swim speeds for traversing velocity barriers: an analysis of volitional high-speed swimming behavior of migratory fishes. Dans *Journal of Experimental Biology*, vol. 208, no. 3, p. 421-432.
- Chin, A., Rohrer, D. M., Marion, D. A., Clingenpeel, J. A. 2004. Effects of all-terrain vehicles on stream dynamics. Dans *Proceedings of the Ouachita and Ozark Mountains Symposium*, Ecosystem Management Research, vol. Octobre 2004, Arkansas, USA, p. 292-296.
- Clarkin, K., Keller, G., Warhol, T. et Hixson, S. 2006. Low-water crossings: Geomorphic, biological and engineering design considerations. United States Department of Agriculture, USA, 366 p.
- Corrugated steel pipe institute (CSPI). 2010. Handbook of steel drainage and highway construction products. 482 p.
- 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.
- Diebel, M., Fedora, M., Cogswell, S. et O'Hanley, J. 2015. Effects of road crossings on habitat connectivity for stream resident fish. *River Research and Applications*, vol. 31, no. 10, p. 1251-1261.
- Douglas, A. R. 2016. Low-volume road engineering. CRC Press. 320 p.
- Dubé, M., Delisle, S., Lachance, S. et Dostie, R. 2006. L'impact de ponceaux aménagés en milieu forestier sur l'habitat de l'omble de fontaine. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement forestier et Direction de la faune de la Mauricie et du Centre-du-Québec, Gouvernement du Québec, Canada, 62 p.
- Ferland, O. 2022. Estimation des coûts et aide à la prise de décisions en lien avec la gestion des traverses de cours d'eau dans un contexte de chemins à faible fréquentation. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, Canada, 146 p. + annexes.
- Fitch, G. M. 1995. Nonanadromous fish passage in highway culverts. Tiré de : Foltz, R. B., Yanosek, K. A. et Brown, T. M. 2008. Sediment concentration and turbidity changes during culvert removals. Dans *Journal of environmental management*, vol. 87, no. 3, p. 329-340.
- Forest Roads and Water Crossings Initiative (FRWCI). 2003. Findings and Recommendations pertaining to Liability Assessment - Determination of Responsibility - Planning Implications. FRWCI, Task Team Report, Octobre 2003, 51 p.
- 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.
- Gauthier, F., Meunier, D. et Althot, J. 2013. Traversées de milieux humides et de cours d'eau : Emprises de lignes de Transport d'électricité d'Hydro-Québec, Suivi des sites. Hydro-Québec et GENIVAR, Québec, Canada, 29 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.

- Gibson, R. J., Haedrich, R. L. et Wernerheim, C. M. 2005. Loss of fish habitat as a consequence of inappropriately constructed stream crossings. Dans *Fisheries*, vol. 30, no. 1, p. 10-17.
- Gilbert, K., Jutras, S. et Plamondon, A. P. 2021. Suspended sediment input from crushed-stone ford construction on the Canadian Shield in Quebec. Dans *Environmental Challenges*, Elsevier, vol. 5 (2021), 9 p.
- Gillies, C. 2007. Erosion and sediment control practices for forest roads and stream crossings – A practical operations guide. FPlnnovations inc., Western Region. Dans *Advantage*, Vol. 9, No. 5, 87 p.
- Goerig, E., Bergeron, N. E. et Castro Santos, T. 2017. Swimming behavior and ascent paths of brook trout in a corrugated culvert. Dans *River Research and Applications*, vol. 33, no. 9, p. 1463-1471.
- Goerig, E., Castro-Santos, T. et Bergeron, N. É. 2016. Brook trout passage performance through culverts. Dans *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 73, no. 1, p. 94-104.
- Goolish, E. M. 1991. Aerobic and anaerobic scaling in fish. Dans *Biol. Rev.*, vol. 66, p. 33-56.
- Henley, W., Patterson, M., Neves, R. et Lemly, A. D. 2000. Effects of sedimentation and turbidity on lotic food webs: a concise review for natural resource managers. Dans *Fisheries Science*, vol. 8, no. 2, p. 125-139.
- 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.
- Jackson, S. D. 2003. Ecological considerations in the design of river and stream crossings. Présenté à the International Conference on Ecology and Transportation, 10 p.
- Januchowski-Hartley, S. R., McIntyre, P. B., Diebel, M., Doran, P. J., Infante, D. M., Joseph, C. et Allan, J. D. 2013. Restoring aquatic ecosystem connectivity requires expanding inventories of both dams and road crossings. Dans *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 11, no. 4, p. 211-217.
- Johnson, K., Wait, L. E., Monk, S. K., Rader, R., Hotchkiss, R. H. et Belk, M. C. 2019. Effects of substrate on movement patterns and behavior of stream fish through culverts: An experimental approach. Dans *Sustainability*, vol. 11, no. 2, p. 470.
- Julien, H. et Bergeron, N. 2006. Effect of fine sediment infiltration during the incubation period on Atlantic salmon (*Salmo salar*) embryo survival. Dans *Hydrobiologia*, vol. 563, no. 1, p. 61.
- Kanno, Y., Letcher, B. H., Rosner, A. L., O'Neil, K. P. et Nislow, K. H. 2015. Environmental factors affecting brook trout occurrence in headwater stream segments. Dans *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 144, no. 2, p. 373-382.
- Keller, G., Sherar, J. 2003. Low-volume roads engineering – Best management practices. US Agency for International Development (USAID), USA, 183 p.
- Keller, G., Ketcheson, G. 2011. Storm damage risk reduction – Storm proofing low-volume roads. Dans *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no. 2203, pp. 211-218.
- Keller, G. et Ketcheson, G. 2015. Storm damage risk reduction Guide for Low-Volume Roads. United States Department of Agriculture (USDA), USA, 230 p.
- Kieffer, J., Arsenault, L. et Litvak, M. 2009. Behaviour and performance of juvenile shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum* at different water velocities. Dans *Journal of Fish Biology*, vol. 74, no. 3, p. 674-682.
- King, C. H. 2017. Predicting failure of culverts and associated impacts in low order streams of Northern Michigan. Thèse de maîtrise, Michigan Technological University, USA, 69 p.
- 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.
- Larinière, M. 2002. Fish passage through culverts, rock weirs and estuarine obstructions. Bulletin Français de la *Peche et de la Pisciculture*, vol. 364, p. 119-134.
- Larocque, V. 2020. Méthodes de conception de traverses à gué aménagées pour des cours d'eau en milieu forestier. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, Canada, 65 p.
- Latrémouille, I. 2012. Guide des saines pratiques d'entretien des chemins forestiers dans les zecs. Zecs Québec et Fondation de la faune du Québec, 76 p.
- Latrémouille et al. 2014. Méthode uniforme d'inventaire des traverses de cours d'eau dans les zecs. Zecs Québec et Fondation de la faune du Québec. 58 p.
- Lilijaniemi, P. et al. 2002. Habitat characteristics and macroinvertebrate assemblages in boreal forest streams: relations to catchment silvicultural activities. Dans *Hydrobiologia*, vol. 474, p. 239-251.
- Lloyd, D. S., Koenings, J. P. et Laperriere, J. D. 1987. Effects of turbidity in fresh waters of Alaska. Dans *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 7, no. 1, p. 18-33.
- Lohnes, R.A. et al. 2001. Low water stream crossings: Design and Construction Recommendations. Department of Civil and Construction Engineering, Iowa State University, 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.
- Lynch, M. et Lande, R. 1998. The critical effective size for a genetically secure population. Dans *Animal Conservation*, vol. 1, no. 1, p. 70-72.
- Mailhot, A., Bolduc, S., Talbot, G. et Vaittinada, P. 2021. Révision des critères de conception des ponceaux pour des bassins de drainage de 25 km² et moins dans un contexte de changements climatiques – Rapport final (CC06.2). Institut national de la recherche scientifique, Centre, eau, terre et environnement, Université du Québec, Québec, Canada 176 p. + annexes.
- Maurin, L. P. et Stubblefield, A. P. 2011. Channel adjustment following culvert removal from roads in northern California, USA. Dans *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). 1986. Guide d'analyse et d'aménagement de cours d'eau à des fins agricoles. Gouvernement du Québec, Canada, 252 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 Ressources naturelles (MRN), Québec. 1997. L'aménagement des ponts et des ponceaux dans le milieu forestier. Gouvernement du Québec, Canada, 146 p.
- Ministry of Natural Resources (MNR), Manitoba. 1996. Manitoba Stream Crossing Guidelines for the Protection of Fish and Fish Habitat. Gouvernement du Manitoba et Ministère Pêches et Océans Canada, Canada, 48 p. + annexes.
- Ministère des Ressources naturelles (MRN), Québec. 2001. Saines pratiques – Voirie forestière et installation de ponceaux. Gouvernement du Québec, Canada, 29 p.
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), Québec. 2007. Guide – Techniques de fermeture de chemins du domaine de l'État. Direction du soutien aux opérations Faune et Forêts (MRNF), Gouvernement du Québec, Canada, 33 p.

- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), Québec. 2009. Normes de cartographie écoforestière, Troisième inventaire écoforestier. Direction des Inventaires Forestiers (MRNF), Gouvernement du Québec, Canada, 54 p. + annexes.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), Québec. 2015. Solutions de mises en œuvre des lignes directrices pour l'aménagement de l'habitat du caribou forestier – Principales orientations. Rapport du Comité de travail sur les solutions (MFFP), Gouvernement du Québec, Canada, 60 p. + annexes.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), Québec. 2020. Guide d'utilisation des produits dérivés du LIDAR. Direction des inventaires forestiers (MFFP). [En ligne]. <https://mffp.gouv.qc.ca/forets/inventaire/pdf/guide-interpretation-lidar.pdf>.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), Québec. 2021a. Guide d'application du règlement sur l'aménagement durable des forêts du domaine de l'État. Gouvernement du Québec, Canada, 410 p.+ annexes.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), Québec. 2021b. Guide de signalisation routière dans les forêts du domaine de l'État. Version 2021, Gouvernement du Québec, Canada, 26 p. + annexes.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), Québec. 2021c. Ressources et industries forestières du Québec – Portrait statistique 2020. 26^e édition, Gouvernement du Québec, Canada, 138 p. + annexes.
- Ministère des Transports du Québec (MTQ). 2019. Manuel d'inspection des ponceaux. Direction de l'encadrement et de l'expertise en exploitation (MTQ), Les Publications du Québec, Édition 2019, Gouvernement du Québec, Canada.
- Ministère des Transports du Québec (MTQ). 2020. Manuel de conception des ponceaux. Direction des structures (MTQ), Les Publications du Québec, Édition 2020, 442 p.
- Ministère Pêches et Océans (MPO), Canada. 2022. Code de conduite provisoire – Traversées temporaires de cours d'eau. Gouvernement du Canada, Canada, [En ligne]. <https://www.dfo-mpo.gc.ca/pnw-ppe/codes/temporary-crossings-traversees-temporaires-fra.html> (consultée le 8 mars 2022).
- 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.
- Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H. et Huebsh, W. W. 2009. Fundamentals of fluid mechanics. 6ième édition, Wiley, 725 p.
- National Cooperative Highway Research Program (NCHRP). 2006. Riprap Design Criteria, Recommended Specifications, and Quality Control – Report 568. Transportation research board of the National Academies, Washington, USA, 226 p.
- Newcombe, C. P. et Jensen, J. O. 1996. Channel suspended sediment and fisheries: a synthesis for quantitative assessment of risk and impact. Dans *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 16, no. 4, p. 693-727.
- 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.
- 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.
- O'Connor, W. et Andrew, T. 1998. The effects of siltation on Atlantic salmon, *Salmo salar L.*, embryos in the River Bush. Dans *Fisheries Management and Ecology*, vol. 5, no. 5, p. 393-401.
- Olivieri, I., Vitalis, R. et Gouyon, P.H. 2016. Biologie évolutive. Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur.
- Ordre des ingénieurs forestiers du Québec (OIFQ). 2009. Manuel de foresterie. Éditions Multimondes. Imprimé au Canada.
- 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, Québec, Canada, 76 p. + annexes.
- Park, D., Sullivan, M., Bayne, E. et Scrimgeour, G. 2008. Landscape-level stream fragmentation caused by hanging culverts along roads in Alberta's boreal forest. Dans *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 38, no. 3, p. 566-575.
- Pêches et Océans Canada. 2016. Lignes directrices pour les traversées de cours d'eau au Québec. Gouvernement du Canada, Canada, 73 p.+ annexes.
- Perreault, N., Lessard, F. et Jutras, S. 2021. Geo-interprétation d'un réseau routier forestier et de ses attributs dans le but d'augmenter la précision des lits d'écoulements potentiels. Rapport final. Université Laval, Québec, Canada, 34 p.
- Peterson, R. et Metcalfe, J. 1981. Emergence of Atlantic salmon fry from gravels of varying composition: a laboratory study. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1020, Pêches et Océans Canada, Gouvernement du Canada, Canada, 15 p.
- Pyles, M. R., Piehl, B. T., & Beschta, R. L. 1988. Ditch-relief Culverts and Low-volume Forest Roads in the Oregon Coast Range.
- Regroupement des associations pour la protection de l'environnement des lacs et des bassins versants (RAPPEL). 2015. Guide pour contrer l'érosion des chemins forestiers. Québec, Canada, 48 p.
- Robertson, M. J., Scruton, D. A. et Clarke, K. D. 2007. Seasonal effects of suspended sediment on the behavior of juvenile Atlantic salmon. Dans *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 136, no. 3, p. 822-828.
- Roni, P. et Beechie, T. 2013. Stream and watershed restoration: A guide to restoring river processes and habitats. Advancing river restoration and management. Publication de *John Wiley and Sons Ltd.*, 289 p. + annexes.
- Roni, P., Quimby, E. et Al. E. 2005. Monitoring stream and watershed restoration. Article édité dans *The Quarterly Review of Biology*, vol. 80, no. 4, p. 493-494.
- Sigler, J. W., Bjornn, T., & Everest, F. H. 1984. Effects of chronic turbidity on density and growth of steelheads and coho salmon. Dans *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 113, no. 2, p. 142-150.
- Smith, C. D. 1995. Hydraulic Structures. 4ième édition, University of Saskatchewan Printing Services and Universal, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, 433 p.
- Switalski, T. A. et al. 2004. Benefits and impacts of road removal. Dans *Frontier, Ecology and Environment*, 2^{ème} édition, vol. 1, The Ecological Society of America, USA, p. 21-28.
- Tappel, P. D. et Bjornn, T. C. 1983. A new method of relating size of spawning gravel to salmonid embryo survival. Dans *North American Journal of Fisheries Management*, vol. 3, no. 2, p. 123-135.
- Torterotot, J.-B., Perrier, C., Bergeron, N. E. et Bernatchez, L. 2014. Influence of forest road culverts and waterfalls on the fine-scale distribution of brook trout genetic diversity in a boreal watershed. Dans *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 143, no. 6, p. 1577-1591.
- Trottier, F. et Charrette, Y. 2011. Impact des chemins forestiers en perte de la libre circulation du poisson du doré jaune et de l'omble de fontaine dans les Laurentides – Projet 2010-2011. Association des pourvoirs des Laurentides, dans le cadre du projet *Le Bourdon*, Québec, Canada.
- 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.

- 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.
- US Army Corps of Engineers, États-Unis d'Amérique. 2021. Hydraulic Reference Manual – Version 6.0. Hydrologic engineering center. Davis, California, USA, 538 p.
- Warren Jr, M. L. et Pardew, M. G. 1998. Road crossings as barriers to small-stream fish movement. Dans *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 127, no. 4, p. 637-644.
- Warren, C. 1998. Water bar placement and construction guide for Siuslaw Forest roads. Siuslaw National Forest, 5 p.
- 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.
- White, Frank M. 2009. Fluid mechanics. 7ième édition, Mcgraw-Hill series in mechanical engineering, 862 p.
- Warren Jr, M. L. et Pardew, M. G. 1998. Road crossings as barriers to small-stream fish movement. Dans *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 127, no. 4, p. 637-644.
- Warren, C. 1998. Water bar placement and construction guide for Siuslaw Forest roads. Siuslaw National Forest, 5 p.
- 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.
- White, Frank M. 2009. Fluid mechanics. 7ième édition, Mcgraw-Hill series in mechanical engineering, 862 p.

Annexe 1

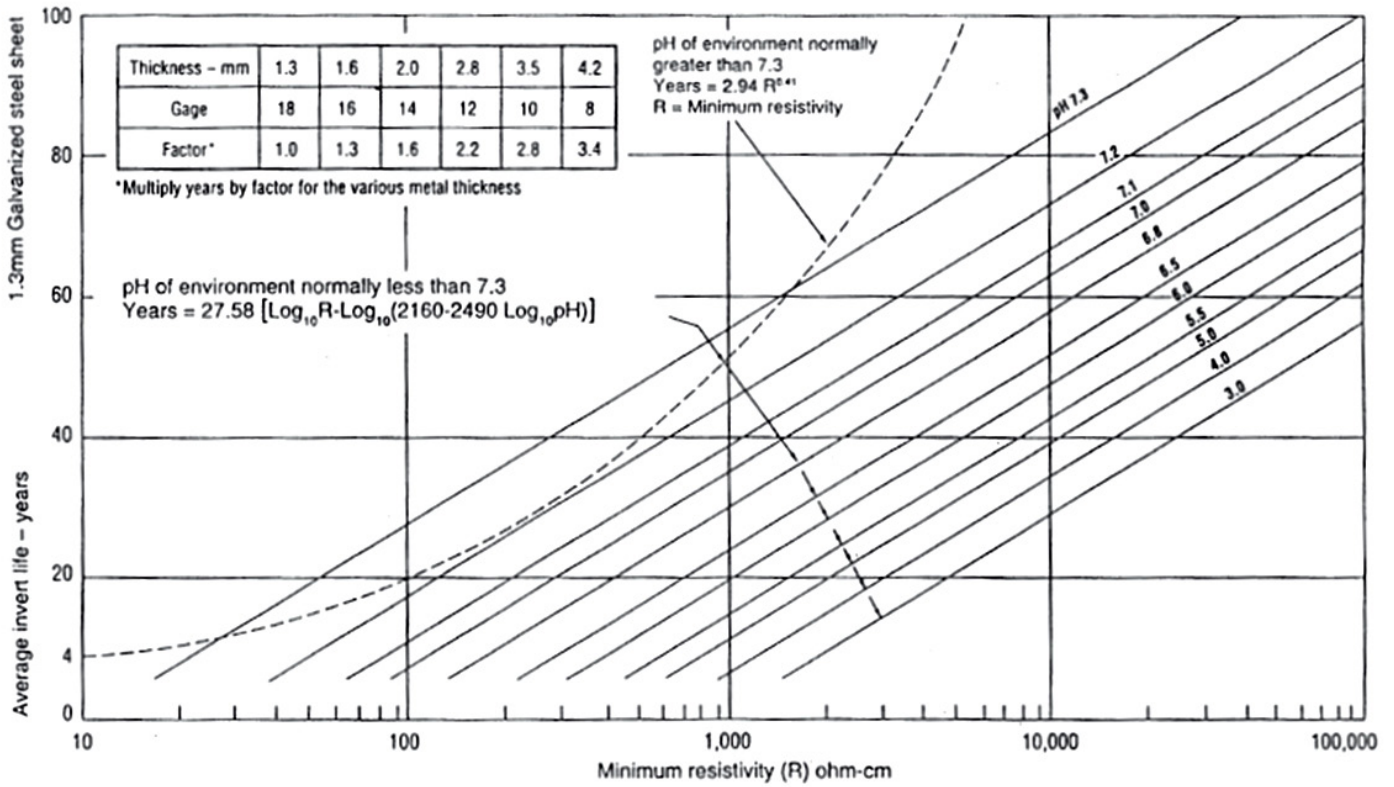
Caractérisation des chemins selon leur classement

	Classes de chemin								
	Hors norme	1	2	3	4	5	Sentier destiné aux véhicules tout-terrain motorisés	Sentier non destiné aux véhicules tout-terrain motorisés	Chemin d'hiver
Critères de conception									
Durée d'utilisation	50 ans	25 ans	25 ans	10-15 ans	3-10 ans	1-3 ans	Variable	Variable	3 mois
Vitesse affichée	70 km/h	70 km/h	60 km/h	50 km/h	40 km/h	20 km/h	-	-	-
Distance minimale de visibilité d'arrêt (conception)	170 m	110 m	85 m	65 m	45 m	30 m	-	-	-
Dimension du chemin									
Emprise	35 m	35 m	30 m	30 m	25 m	20 m	< de 10 m	< de 3 m	20 m
Chaussée	9,1 m et plus	8,5 à < 9,1 m	8 m à < 8,5 m	7,5 m à < 8 m	5,5 m à < 7,5 m	4 m à < 5,5 m	-	-	-
Accotement (chaque côté)	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	0,75 m	0,5 m	-	-	-
Alignement vertical et horizontal									
Courbe horizontale (rayon minimum)	340 m	190 m	130 m	90 m	50 m	50 m	-	-	-
Pente adverse maximale	4%	6%	7%	8%	10%	-	-	-	-
Pente favorable maximale	6%	9%	11%	14%	16%	-	-	-	-
Matériaux utilisés									
Fondation	Gravier naturel	Gravier naturel	Gravier naturel	Sol minéral	Sol minéral, sol organique (couche mince) et débris végétaux	Sol minéral, sol organique (couche mince) et débris végétaux	-	-	Matériel en place (sol minéral, sol organique, ou débris ligneux)
Surface de roulement	Concassé	Concassé ou gravier tamisé	Gravier naturel	Gravier naturel	Sol minéral	Sol minéral	-	-	Neige compactée
Ouvrages permis									
Type	Pont ¹ et ponceau	Pont ¹ et ponceau	Pont ¹ et ponceau	Pont ¹ et ponceau	Pont ¹ et ponceau	Pont ¹ et ponceau	Pont ¹ et ponceau	Ponceau et ouvrage rudimentaire	Ouvrage amovible

¹ Largeur carrossable du pont = 4,3 m

Source: Annexe 4 du *Règlement sur l'aménagement durable des forêts* (chapitre A-18.1, r. 0.01)

Annexe 2 Prévision de la durée de vie des TTOG



Source: CSPI (2010)