

**Mesures d'atténuation des impacts
des chemins forestiers en Gaspésie**

Gauthier L. et Varady-Szabo H.



Consortium en foresterie

Gaspésie-Les-Îles

Affilié à l'  UQAR

2014

Remerciements

Les auteurs du document aimeraient remercier Jérôme Fournier et Yves Briand de la CRÉGÎM, de même que Claude Isabel du Parc National de la Gaspésie pour leur participation à l'étude. Les auteurs tiennent également à remercier Eduardo Bittencourt pour sa révision du document de même que les personnes ressources ayant contribué à l'information contenue dans ce document, soit, Jodi Hall du ministère des Richesses naturelles de l'Ontario (OMNR), Craig Crosson du OMNR, Dan Myles du département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, Patrick Pineault de la Forêt Montmorency, Pat Mackasey du ministère de l'Environnement de la Saskatchewan et Pierre-Luc Desjardins du Groupement forestier coopératif Baie-des-Chaleurs. Finalement, il faut remercier les spécialistes qui ont accepté de répondre au questionnaire relatif aux mesures d'atténuation des chemins forestiers en Gaspésie, soit, Pierre-Luc Desjardins du Groupement forestier coopératif Baie-des-Chaleurs, Martin Leblanc de Produits forestiers Temrex, Robert Belzile du Groupe de scierie G.D.S., Gilles Deslauriers de Rexforêt et Claudel Francoeur des Entreprises agricoles et forestières de Percé inc. Ce projet a pu être réalisé grâce à l'appui financier du programme de développement régional forestier du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, subventionné par la Conférence régionale des élus Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, et du Parc national de la Gaspésie.

Pour nous contacter

Consortium en foresterie Gaspésie–Les-Îles
37, rue Chrétien, bur. Z-3, C.P. 5, Gaspé (Qc) G4X 1E1
Tél. : (418) 368-5166 – Téléc. : (418) 368-0511
consortium@mieuxconnaitrelaforet.ca
www.mieuxconnaitrelaforet.ca

Référence

Gauthier L¹ et Varady-Szabo H. 2014. Mesures d'atténuation des impacts des chemins forestiers en Gaspésie. Gaspé, Québec : Consortium en foresterie Gaspésie–Les-Îles. Rapport de recherche. p. 86.

¹ Ing. f.

ISBN 978-2-923948-42-3 (version imprimée)
ISBN 978-2-923948-43-0 (version électronique PDF)
Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014
Dépôt légal - Bibliothèque et Archives Canada, 2014

Table des matières

Liste des figures.....	iii
Liste des tableaux.....	iv
1. Résumé.....	1
2. Mise en contexte	3
3. Les chemins forestiers	5
3.1 Description.....	5
3.2 Problématiques reliées au réseau routier forestier.....	7
3.3 Atténuation des problématiques liées aux chemins forestiers.....	11
4. Mesures d’atténuation des impacts des chemins forestiers par l’abandon naturel.....	13
4.1 L’abandon naturel.....	13
5. Mesures d’atténuation des impacts des chemins forestiers par le blocage de l’accès au territoire	14
5.1 Blocage du chemin par une barrière avec cadenas	14
5.2 Blocage du chemin par monticules de terre	16
5.3 Blocage du chemin par un panneau interdisant l’accès.....	17
5.4 Blocage du chemin avec des blocs de roche.....	19
6. Mesures d’atténuation des impacts des chemins forestiers par la modification de certaines infrastructures des chemins forestiers.....	21
6.1 Construction de fossés de déviation.....	21
6.2 Construction de digues de déviation	24
6.3 Refaçonnage de la surface des chemins	27
6.4 Le retrait des traverses de cours d’eau.....	29
6.5 Le retrait du chemin par la méthode sans réaménagement de la pente naturelle	33
6.6 Le retrait des chemins forestiers par l’ajout de sol de surface	35
6.7 Le retrait des chemins forestiers par la méthode de mycorestauration	36
6.8 Le retrait des chemins par la méthode du réaménagement partiel de la pente naturelle.....	37
6.9 Le retrait des chemins par la méthode du réaménagement complet de la pente naturelle.....	40
6.10 Le retrait des chemins par la méthode par conversion en sentiers.....	44
7. Comparaison des différentes mesures d’atténuation pour répondre aux problématiques en lien avec les impacts des chemins forestiers	46
8. Choix des mesures d’atténuation à évaluer en priorité pour la Gaspésie	49
9. Conditions de site affectant l’application des mesures d’atténuation sélectionnées	49
10. Principaux facteurs faisant varier les coûts de mise en œuvre	50
11. Évaluation des coûts applicables à la Gaspésie	52
11.1 Méthodologie.....	52
11.2 Résultats et discussion	54
12. Conclusion	58
Annexe I : Techniques de décompaction des chemins forestiers	59
Annexe II : Amendement du sol en matière organique et en fertilisant	62
Annexe III : Techniques de végétalisation	65
Annexe IV : Questionnaire pour l’évaluation des coûts associés à la fermeture de chemins en Gaspésie.....	68
Glossaire	76
Bibliographie.....	81

Liste des figures

Figure 1. Réseau routier de la Gaspésie	3
Figure 2. Schéma théorique d'un réseau routier forestier (André et al. 2010).....	6
Figure 3. Les composantes d'un chemin forestier (adaptée de Bagley 1998).	7
Figure 4. Éléments constituant d'un fossé de déviation permettant la circulation des véhicules à quatre roues motrices (adaptée de Moore 1994).	22
Figure 5. Éléments constituant d'une digue de déviation (adaptée de Moore 1994).....	25
Figure 6. Éléments constituant d'une digue de déviation (adaptée de US Forest Service 2014).	25
Figure 7. Refaçonnage vers l'intérieur (1) et de l'extérieur (2) d'un chemin forestier (adaptée de Moore 1994 et de Weaver et Hagans 1994).	28
Figure 8. Étapes de retrait d'une traverse de cours d'eau (adaptée de Merrill et Casaday 2001).	31
Figure 9. Diagramme schématique de la transformation a) d'un chemin intact par b) la méthode de retrait des chemins sans réaménagement de la pente naturelle (adaptée de Teasley 2002).	34
Figure 10. Diagramme schématique (a) d'un chemin forestier intact, (b) d'un réaménagement partiel de la pente naturelle et (c) d'un réaménagement complet de la pente naturelle (adaptée de Teasley 2002).	38
Figure 11. Utilisation de structures de drainage pour diriger l'eau dans le sens naturel de la pente dans les chemins fermés par réaménagement partiel de la pente naturelle (adaptée de Merrill et Casaday 2001).	39
Figure 12. Illustration d'une méthode de réaménagement complet de la pente naturelle (tirée de Merrill et Casaday 2001).	42
Figure 13. Conversion d'un chemin forestier (image de gauche) en sentier récréotouristique (image de droite; tirée de Merrill et Casaday 2001).	44

Liste des tableaux

Tableau 1. Quantité de chemins forestiers présents en Gaspésie par classe de chemin (tiré de Fournier 2013).	4
Tableau 2. Distance maximale suggérée par Copstead <i>et al.</i> (1998) entre chaque fossé de déviation en fonction du degré de pente et du type de sol* du chemin forestier.	23
Tableau 3. Distance maximale de l'espacement suggérée par Moll (1996) entre chaque digue de déviation en fonction du pourcentage de la pente.	26
Tableau 4. Évaluation des coûts de réaménagement de la pente naturelle.....	43
Tableau 5. Capacité de chaque mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers à répondre aux problématiques en lien avec le réseau routier.	48
Tableau 6. Principaux facteurs affectant les coûts de mise en œuvre des mesures d'atténuation sélectionnées et principales mesures associées.	50
Tableau 7. Temps d'exécution et coûts moyens pour le blocage des chemins forestiers en Gaspésie.....	55
Tableau 8. Temps d'exécution et coûts moyens pour les activités associés au retrait des chemins sans réaménagement de la pente naturelle en Gaspésie.	56
Tableau 9. Temps d'exécution et coûts moyens pour les activités associés au retrait des chemins sans réaménagement de la pente naturelle en Gaspésie.	56
Tableau 10. Temps d'exécution et coûts moyens pour les activités associées au retrait des traverses de cours d'eau en Gaspésie.	57
Tableau 11. Coûts et profondeur de la décompaction de certains équipements évalués pour la décompaction de jetées forestières en Colombie-Britannique (adapté de Sutherland 2000).	60
Tableau 12. Coûts associés à la décompaction de la surface des chemins forestiers selon des sources, des équipements et des localisations géographiques divers.	61

1. Résumé

La Gaspésie possède un réseau routier très étendu. Cette réalité amène certaines problématiques associées au réseau routier forestier tels que l'érosion et la sédimentation des cours d'eau, l'évitement des chemins forestiers par la faune, la perte d'habitats d'intérieur et la fragmentation, la modification de la dynamique prédateur/proie, les collisions avec la faune, l'accès non contrôlé aux ressources, la perte de superficies forestières productives et l'augmentation des coûts d'entretien du réseau. Face à ces problématiques, des mesures pour minimiser les impacts du réseau routier sur le milieu ont été documentées afin d'être possiblement appliquées dans la réalité gaspésienne.

Au total, trois types de mesures d'atténuation des impacts du réseau routier peuvent être adoptés : des mesures par abandon naturel, des mesures par blocage de l'accès au territoire et des mesures par la modification des infrastructures en place. Les avantages et inconvénients de chaque mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers ont été documentés afin de mieux comprendre comment chaque mesure pouvait répondre aux problématiques identifiées préalablement. La mesure par abandon naturel consiste à arrêter l'entretien des chemins forestiers de manière à limiter les coûts d'entretien du réseau. Les mesures par blocage de l'accès au territoire consistent en le blocage physique du chemin pour en empêcher le passage des véhicules. Ils comprennent le blocage de l'accès par une barrière avec cadenas, le blocage de l'accès par un panneau interdisant l'accès, le blocage de l'accès par un monticule de terre et le blocage de l'accès par des blocs de roche.

Quant aux mesures d'atténuation par la modification des infrastructures en place, elles incluent en tout dix méthodes. Les fossés et les digues de déviation sont des infrastructures construites à même le chemin qui visent à limiter l'érosion du chemin et la sédimentation des cours d'eau. Le refaçonnage de la surface du chemin est une mesure qui permet de limiter l'érosion sur la surface des chemins en y prévenant la concentration de l'eau. Le retrait des traverses de cours d'eau est une mesure qui consiste en le retrait des ponts ou des ponceaux et en le réaménagement des berges du cours d'eau. Cette mesure permet de limiter l'apport en sédiments aux cours d'eau tout en assurant la restauration de l'écoulement naturel de ceux-ci. Parmi les mesures d'atténuation par la modification des infrastructures en place, six visent au retrait du chemin en place. Le retrait des chemins sans réaménagement de la pente naturelle vise à décompacter le chemin sans déplacer le remblai du chemin. La méthode par l'ajout de sol de surface vise à retirer le chemin en le recouvrant d'une épaisse couche de sol de surface. La méthode par mycorestauration permet quant à elle le retrait des chemins par l'ajout d'une couche de matière organique inoculée de champignons mycorhiziens. La méthode par réaménagement partiel de la pente naturelle vise au retrait du chemin par la décompaction de la surface du chemin et par le déplacement de la partie instable du remblai du chemin vers le déblai (pour limiter son érosion). La méthode par réaménagement complet de la pente naturelle vise à retirer le chemin en déplaçant complètement le remblai du chemin vers le déblai. Finalement, le retrait des chemins peut être effectué par leur conversion en sentier à vocation récréotouristique.

Le blocage des chemins d'accès avec des monticules de terre et des blocs de roche, le retrait des traverses de cours d'eau et le retrait des chemins avec et sans réaménagement de la pente ont été

choisis comme les mesures d'atténuation les plus susceptibles d'être appliquées en Gaspésie. Suite à une analyse des conditions de site affectant l'utilisation des mesures et à une analyse des facteurs affectant les coûts de mise en œuvre des mesures d'atténuation, un sondage a été effectué auprès de spécialistes en voirie forestière en Gaspésie afin d'estimer les coûts associés aux différentes activités reliées aux mesures d'atténuation des impacts des chemins forestiers en Gaspésie. Les résultats de cette évaluation représentent des estimations qui devront être testées sur le terrain, car certaines méthodes analysées n'ont jamais été appliquées en Gaspésie. Néanmoins, il est important de se baser premièrement sur la capacité d'une méthode à répondre aux problématiques préalablement identifiées, plutôt que sur l'analyse des coûts associés à une mesure d'atténuation à appliquer.

2. Mise en contexte

Le réseau routier forestier de la Gaspésie est très étendu (Figure 1). L'approximation de la quantité de chemin qui sillonne le territoire est de plus de 27 000 km de chemins forestiers (1,7 km de chemin par km²), ce qui fait de la Gaspésie une des régions du Québec dont la densité de chemins forestiers est la plus élevée (Fournier 2013; Tableau 1). Les caractéristiques biophysiques de la région (dont le relief et l'hydrographie), de même que l'historique de l'utilisation du territoire peuvent contribuer à expliquer la grande concentration de chemin sur le territoire.

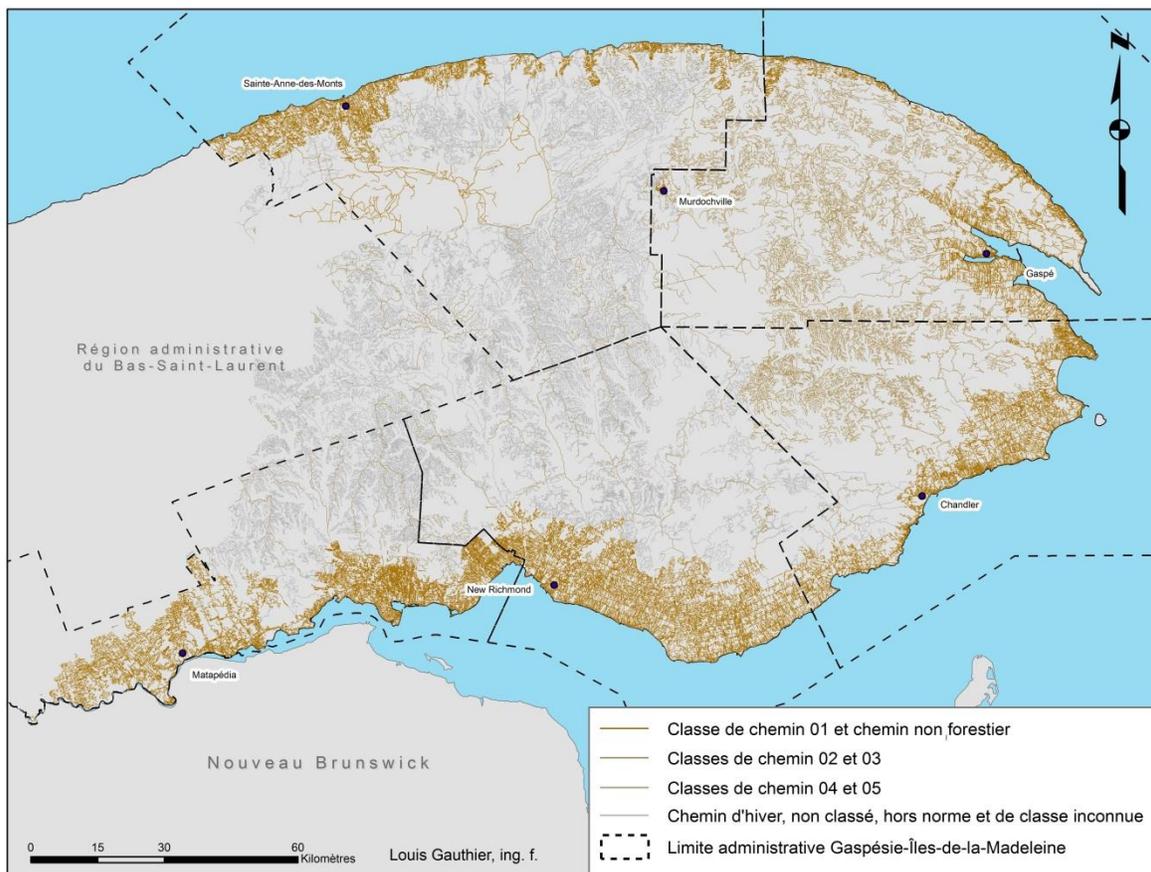


Figure 1. Réseau routier de la Gaspésie.

Tableau 1. Quantité de chemins forestiers présents en Gaspésie par classe de chemin (tiré de Fournier 2013).

Classes¹	Quantité (km)
1	93
2	500
3	1812
4	17 100
Non classé	7 618
Total	27 123

Les divers impacts du réseau routier sur le milieu forestier, de même que les nouvelles orientations en matière d'aménagement durable des forêts, tel qu'appliqué dans le nouveau régime forestier, impliquent la considération de la mise en place de mesures d'atténuation des impacts des chemins forestiers. À cet effet, les intervenants ont adressé des besoins de connaissances spécifiques aux mesures d'atténuation des impacts des chemins forestiers en Gaspésie. Le Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles a ainsi été mandaté pour documenter les différentes techniques utilisées en Amérique du Nord pouvant être mises de l'avant pour atténuer les impacts des chemins forestiers sur le milieu, de même qu'évaluer la faisabilité et les coûts de réalisation des différentes mesures d'atténuation applicables à la Gaspésie. Ce faisant, cette étude devrait permettre de jeter les bases théoriques et opérationnelles permettant la mise en place de projets pilotes visant à atténuer les impacts des chemins forestiers sur le milieu en Gaspésie.

¹ Se référer à l'onglet 3.1 de la section suivante pour la description des classes de chemins.

Volet I. Synthèse de la littérature sur les mesures d'atténuation des impacts des chemins forestiers

3. Les chemins forestiers

3.1 Description

« Le réseau routier forestier est composé d'un ensemble de chemins de différentes catégories, construits pour donner accès au territoire forestier, permettre sa mise en valeur et faciliter les déplacements » (Desautels *et al.* 2009). Le réseau routier forestier peut à la fois se décomposer en chemins de différentes classes ou en chemins de différentes catégories. Les classes de chemins se réfèrent aux caractéristiques et paramètres des chemins tandis que les catégories de chemins se réfèrent avant tout à l'importance stratégique de ceux-ci (Latrémouille 2012). Desautels *et al.* (2009) présentent six classes de chemins mais stipule que la classification des chemins varie d'une entreprise (ou d'un planificateur) à un autre. Les caractéristiques qui peuvent varier d'une classe de chemins à une autre sont entre autres les éléments qui influencent la vitesse de roulement sécuritaire maximale sur le tronçon tels la largeur de la chaussée, le rayon des courbes du chemin, la qualité de la surface de roulement, etc. (Latrémouille 2012). Il faut noter que les chemins classés comme « non-classés » sont généralement des chemins considérés comme non carrossables ou dont la carrossabilité est inconnue (Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs 2014).

On dénombre trois grandes catégories de chemins : les chemins primaires, les chemins secondaires et les chemins tertiaires (Figure 2). Les chemins primaires sont les chemins forestiers principaux qui sont en général directement rattachés au réseau routier public et donnent accès au territoire forestier. Ils sont caractérisés par une durée de vie à long terme de plus de 10 ans. Les chemins secondaires sont utilisés pour rallier les chemins primaires aux grands secteurs de récolte. Ils ont une durée de vie de trois à dix ans. Finalement, les chemins tertiaires sont généralement disposés à même les secteurs d'intervention et sont utilisés sur une courte période. Il faut spécifier que les durées de vie associées à chaque catégorie de chemin peuvent varier considérablement en fonction des conditions de construction et des conditions de terrain (Desautels *et al.* 2009). De plus, bien que les chemins de classe supérieure soient généralement associés à une catégorie de chemin supérieure, il n'y a pas de relation directe entre ces deux éléments (Latrémouille 2012).

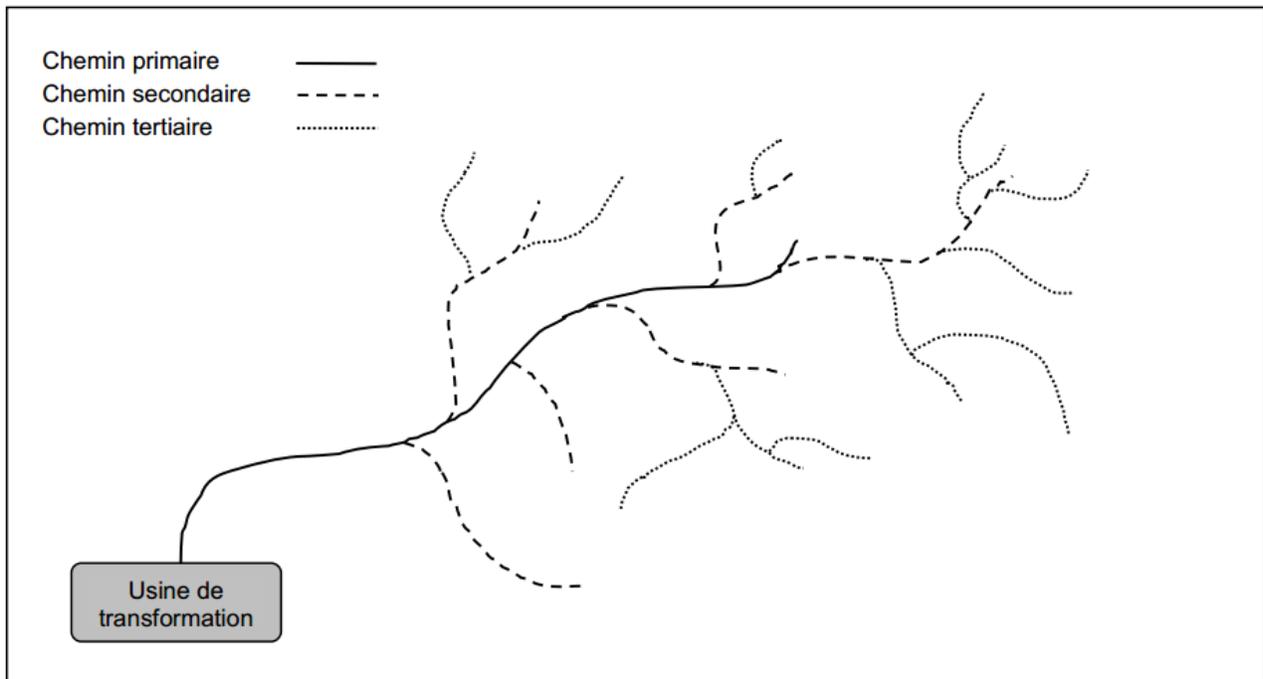


Figure 2. Schéma théorique d'un réseau routier forestier (André et al. 2010).

La construction d'un chemin est composée de diverses étapes qui peuvent être plus ou moins élaborée en fonction de la catégorie de chemin à construire. Dans le cas des chemins de classe III, certaines étapes sont même fréquemment ignorées. La première des étapes de construction d'un chemin est le déboisement de l'emprise du chemin, où tous les arbres qui s'y trouvent sont coupés. Le terrassement du chemin est ensuite effectué. Cette étape comprend l'essouchement, où les souches et la matière organique de l'emprise sont enlevées, de même que le déblai et le remblai (Desautels *et al.* 2009). La construction de chemins forestiers par la méthode de déblai-remblai consiste à l'ensemble des travaux qui visent à donner la forme désirée à la surface du chemin, c'est-à-dire l'excavation du matériel en amont de l'emprise du chemin et le remplissage du côté en aval de l'emprise, de manière à former la chaussée du chemin (Figure 3; Ministry of Forests and Range 2008). Il est parfois nécessaire d'utiliser du matériel provenant d'un banc d'emprunt pour confectionner le chemin et des mesures particulières doivent parfois être prises pour les terrains à faible capacité portante (Desautels *et al.* 2009).

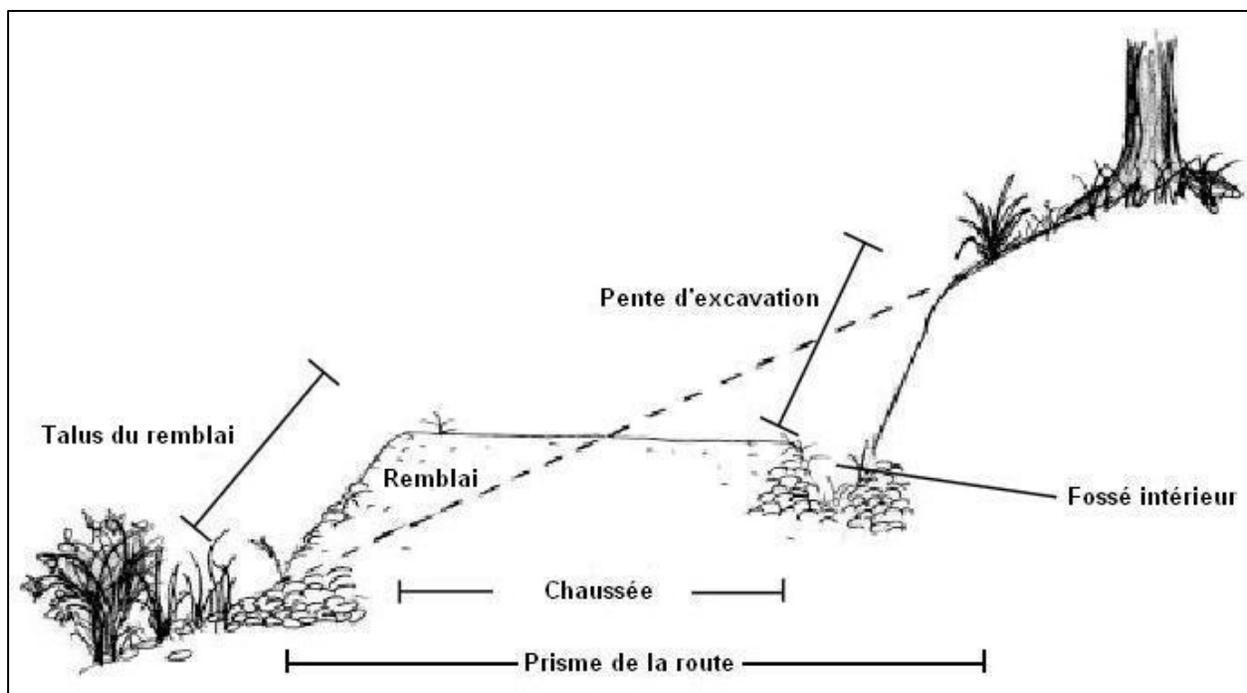


Figure 3. Les composantes d'un chemin forestier (adaptée de Bagley 1998).

Suite au terrassement, le matériel en place est asséché, compacté et nivelé. Ensuite, pour augmenter la capacité portante du chemin, la sous-fondation et la fondation sont réalisées par l'ajout d'une à trois couches de matériel granulaire (de 10 à 30 cm selon la catégorie de chemin). La fondation est construite avec du concassé d'une granulométrie de 80 micromètres à 28 mm tandis que la sous-fondation est construite avec du gravier naturel d'une granulométrie de 0 à 100 mm. Les travaux de régalinge constituent la dernière étape de construction d'un chemin forestier, où la surface de roulement est aplanie afin d'être régulière. Par la suite, l'entretien normal d'un chemin forestier comprend le nivelage de la surface de roulement (pour l'uniformiser, assurer son drainage et prolonger sa durée de vie) de même que le débroussaillage de la bordure du chemin, le curetage des fossés et l'entretien des traverses de cours d'eau (Desautels *et al.* 2009).

3.2 Problématiques liées au réseau routier forestier

Plusieurs problématiques liées aux chemins ont été soulevées. L'augmentation des accidents de la route avec la faune, l'envahissement par certaines espèces exotiques, la dispersion d'agents pathogènes, la dégradation de la qualité de l'eau, la contamination de l'environnement par certains agents chimiques, la dégradation de l'habitat aquatique, l'apparition de conflits d'usage, l'augmentation de certains impacts négatifs de l'être humain sur la nature (braconnage, déchets, etc.), la diminution de la productivité forestière et le déclin de la biodiversité ont été cités comme des problématiques en lien avec le réseau routier en forêt (Gucinski *et al.* 2001).

3.2.1 Érosion et sédimentation des cours d'eau

Les chemins forestiers sont considérés comme des sources considérables de sédimentation dans les cours d'eau (Furniss *et al.* 1991, Wemple 1998, Gucinski *et al.* 2001) et ce, plus particulièrement dans les pentes abruptes où les risques de glissements de terrain sont importants (Dunkley *et al.* 2004). Le régime hydrologique, l'écoulement souterrain de l'eau et le débit des cours d'eau peuvent être altérés par la présence de chemins forestiers (Daigle 2010). Gucinski *et al.* (2001) ont identifié trois impacts négatifs importants des chemins forestiers sur l'érosion et la sédimentation. Les chemins interceptent premièrement l'eau lors de précipitations, ce qui affecte les patrons naturels de drainage. L'eau se concentre par la suite sur la chaussée et dans le fossé. Cette eau est ensuite déviée de son cours naturel par les chemins et aboutie dans des endroits où elle ne devrait pas se concentrer comme des cours d'eau, etc. (Gucinski *et al.* 2001). De gros débris organiques peuvent également être apportés aux cours d'eau, de même que des sédiments et des nutriments divers, ce qui affecte l'intégrité écologique des plans d'eau (Daigle 2010).

L'apport des sédiments aux cours d'eau est associé à une diminution de la qualité de l'habitat aquatique de plusieurs espèces comme certaines espèces de salmonidés (Furniss *et al.* 1991, Gucinski *et al.* 2001). En effet, la présence de chemins forestiers et la sédimentation qui lui est associée peuvent influencer la migration, la reproduction, l'incubation et la croissance des juvéniles des salmonidés (Furniss *et al.* 1991). De plus, Daigle (2010) souligne que les chemins forestiers peuvent augmenter la mortalité chez les poissons, avoir un impact négatif sur la migration des amphibiens et des tortues et fragmenter l'habitat des poissons en limitant le passage de ceux-ci aux traverses de cours d'eau et en réduisant l'accès aux frayères. Il a été documenté que l'accès aux plans d'eau par les chemins forestiers permettait l'introduction d'espèces de poissons exotiques par ensemencement (Daigle 2010).

3.2.2 Évitement des chemins forestiers par la faune

Il est reconnu que certaines espèces animales évitent les chemins forestiers. C'est le cas de certains mammifères d'Amérique du Nord comme le wapiti, le mouflon canadien, le grizzli, le caribou, le lynx et le loup, qui ont des comportements d'évitement des chemins et qui sont affectés négativement par la surabondance de chemins forestiers. Plusieurs espèces éviteraient ainsi les chemins forestiers à des distances variant de 300 à 600 m. De manière générale, la circulation des véhicules sur les chemins a une incidence importante sur l'évitement des chemins par la faune. Ainsi, pour plusieurs espèces, il a été observé que la faune avait tendance à éviter les chemins avec un trafic important. Les chemins avec peu ou pas de trafic ne sont généralement pas évités bien que la simple présence physique d'un chemin puisse affecter certaines espèces. Cette problématique demeure cependant peu documentée (Gucinski *et al.* 2001). De plus, les déplacements, l'aire d'habitat, la masse corporelle et les taux de survie de plusieurs espèces peuvent être modifiés par la présence de chemins forestiers dans leur habitat (Daigle 2010). C'est le cas du caribou, où l'évitement des chemins forestiers peut mener à une sous-alimentation ou à des changements de comportement (St-Laurent *et al.* 2012). Un indice simple permettant d'évaluer la perte de qualité d'habitat pour une de ces espèces est la densité de chemins par kilomètre carré (Gucinski *et al.* 2001). À cet effet (Mladenoff *et al.* 1995) note qu'une densité de chemin supérieure à 0,48 km/km² n'est pas adéquate pour les loups du Wisconsin. Ces informations ne sont pas connues pour

toutes les espèces, et les seuils de densité de route étant intolérables pour le caribou demeurent jusqu'à ce jour inconnus (St-Laurent *et al.* 2012).

3.2.3 Perte d'habitat d'intérieur et fragmentation pour la faune

En augmentant l'effet de lisière, la fragmentation du territoire par la présence de chemins forestiers a tendance à diminuer la quantité d'habitats propice à certaines espèces (Daigle 2010). La fragmentation de l'habitat modifie les comportements de plusieurs espèces. Le caribou des bois modifie par exemple sa stratégie d'utilisation de l'espace en milieu fragmenté, ce qui implique davantage de déplacements et peut avoir une incidence sur les taux de mortalité chez cette espèce (Courtois *et al.* 2002, St-Laurent *et al.* 2012). Les chemins forestiers sont considérés comme un des principaux éléments du paysage responsable de la fragmentation de la forêt d'intérieur. Plus spécifiquement, en Gaspésie, les chemins forestiers ont été identifiés comme des éléments majeurs de fragmentation des régions écologiques 4g et 4h (Perrotte Caron *et al.* 2012).

La profondeur de l'effet de lisière créé par les chemins forestiers serait corrélée à la largeur des chemins forestiers (Reed *et al.* 1996). On considère par exemple que les chemins principaux et secondaires peuvent générer des lisières de 100 m et de 75 m respectivement (Perrotte Caron *et al.* 2012).

3.2.4 Dynamique prédateur/proie en lien avec la présence de chemins forestiers

Il a été démontré que certains prédateurs étaient en mesure de tirer avantage des chemins forestiers au détriment de leurs proies. Cette dynamique prédateur-proie a été entre autres documentée pour le cas du caribou des bois et de ses prédateurs. En effet, il a été démontré que les prédateurs du caribou peuvent utiliser certains corridors linéaires comme voie de déplacement, ce qui les rend plus efficaces lors de la prédation (Bennett 1991 cité de Mosnier 2008) et qui augmente la possibilité de rencontre entre les proies et les prédateurs (James et Stuart-Smith 2000). Plus spécifiquement, les interactions entre l'ours noir, le coyote, l'orignal et le caribou seraient possiblement modifiées par la présence de chemins forestiers (Équipe de rétablissement du caribou forestier au Québec 2013).

3.2.5 Collision avec la faune

On estime qu'un million d'individus vertébrés sont victimes d'accidents de la route annuellement aux États-Unis. Les gros mammifères sont généralement les plus enclins à souffrir de cette problématique (Gucinski *et al.* 2001). Au Québec, plus de 6 000 accidents routiers impliquant la grande faune sont recensés annuellement (Ministère des Transports du Québec 2014). Près des milieux humides, il est probable qu'une proportion des tortues et des amphibiens soit tuée sur les chemins forestiers. En effet, étant plus chaude, la chaussée du chemin a tendance à attirer ces animaux (Daigle 2010). De plus, étant lentes, ces espèces seraient particulièrement vulnérables aux accidents de la route (Gucinski *et al.* 2001). Une étude portant sur les tortues en Outaouais inventorie 73 tortues mortes d'accidents de la route, 93% de celles-ci étant des tortues peintes et des tortues serpentes, des espèces communes (Desroches et Picard 2005). Les routes agiraient également comme barrière physique empêchant les déplacements des amphibiens et la pollution sonore qui leur est associée pourrait nuire à certaines espèces d'oiseaux (Villard *et al.* 2012). Les collisions avec la faune occasionnées par la présence de chemins forestiers ont cependant généralement peu d'impact sur les espèces en péril (Gucinski *et al.* 2001).

3.2.6 Accès non contrôlé aux ressources du milieu forestier

Les chemins forestiers donnent accès au territoire et ainsi, permettent une mise en valeur de ses ressources (Desautels *et al.* 2009). Une utilisation non contrôlée des ressources peut cependant mener à des problématiques comme le braconnage et la cueillette illégale de plantes, l'abattage illégal de bois (souvent de bois de chauffage), l'occupation illégale du territoire et l'incidence des incendies forestiers. Il a été démontré que la présence de chemins forestiers pouvait augmenter la pression sur les populations animales en augmentant le braconnage (Cole *et al.* 1997). Il est également possible que la présence d'un réseau de chemins étendu puisse mener à une augmentation de la cueillette illégale de plantes rares ou menacées (Gucinski *et al.* 2001). De plus, dans certaines régions du Québec, l'abattage illégal de bois de chauffage a été décrit comme problématique pour l'approvisionnement en bois de qualité des usines (comm. pers. Claude Paradis, Coopérative de solidarité forestière de la Rivière aux Saumons, 9 octobre 2013). Finalement, la présence de chemins forestiers a un double impact sur l'importance des incendies de forêt. Le réseau routier forestier joue à la fois le rôle naturel de coupe-feu, tout en permettant un accès plus efficace aux pompiers qui interviennent dans les zones touchées par les feux. D'un autre côté, la présence de nombreux chemins contribue à augmenter la fréquence et l'importance des feux de cause humaine (Gucinski *et al.* 2001).

3.2.7 Diminution de la superficie forestière productive

La présence de chemins forestiers affecte également la productivité forestière et cela de différentes façons. Premièrement, la présence physique des chemins diminue la superficie forestière productive. À cet effet, Kneeshaw et Gauthier (2006) estiment qu'approximativement 3,5 % du territoire québécois serait dédié uniquement au réseau routier forestier. Dans l'est des États-Unis, les pertes en superficies forestières productives dues aux chemins forestiers sont de l'ordre de 4 à 5 % (Gucinski *et al.* 2001). La construction de chemins forestiers implique également l'élimination de la couche arable sur le chemin, une modification du microclimat (pH du sol, température du sol), une altération des propriétés du sol (entre autres par la compaction), une modification de la rétention de l'eau du sol et une augmentation de l'érosion qui modifient la productivité potentielle et la communauté végétale de cet environnement (Gucinski *et al.* 2001, Daigle 2010).

3.2.8 Coûts d'entretien élevés

La quantité de chemins forestiers sur terres publiques est en constante augmentation. Cette situation se traduit à la fois par une forte augmentation de l'accessibilité au territoire, mais aussi par une hausse considérable des coûts de gestion et d'entretien du réseau de chemins forestiers (Blayo et Herault 2008). L'entretien d'un tel réseau permet à la fois d'assurer un accès continu au territoire, de protéger les investissements de l'état dans les infrastructures et de minimiser les impacts négatifs du réseau sur le milieu forestier (Beaudoin 2011). Sur le territoire public du Québec, c'est l'industrie forestière qui prend en charge la construction et l'entretien des chemins forestiers en fonction de ses besoins d'approvisionnement en bois, bien que ce soit les contribuables – par le biais du gouvernement – qui en assume une grande partie des frais (Del Degan Massé et Associés inc. 2010, 2013).

Les coûts associés à l'entretien du réseau de chemins forestiers peuvent être très élevés. Une analyse effectuée dans la Vallée de la Gatineau estime par exemple les coûts d'entretien du réseau à 544 \$/km. Les coûts peuvent cependant être variables en fonction du type de chemin et peuvent fluctuer d'une année à l'autre (Blayo et Herault 2008). Il est néanmoins rapporté que peu de suivis sont effectués sur l'état du réseau routier forestier, ce qui peut mener à sa dégradation (Beaudoin 2011). À titre d'exemple, à l'échelle de la Gaspésie, 44% des ponts sont inadéquats ou non conformes, tandis que c'est le cas de 32 % des ponceaux inventoriés par le Registre des infrastructures majeures de la Gaspésie (Fournier 2013).

3.3 Atténuation des problématiques liées aux chemins forestiers

3.3.1 Terminologie utilisée

Plusieurs mesures d'atténuation peuvent être utilisées afin de répondre aux problématiques reliées aux chemins forestiers. Ces mesures d'atténuation sont généralement regroupées sous l'appellation *fermeture de chemins*. On distingue également la fermeture dite *temporaire* de la fermeture dite *permanente*, en fonction de la période de temps de fermeture du chemin et de la nature et de l'ampleur des travaux de fermeture prévus (B.C. Ministry of Forests 2002). Ces termes semblent cependant inappropriés puisque certaines méthodes dites de *fermeture de chemins* ne visent pas à empêcher la circulation de véhicules routiers (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007). La littérature scientifique est peu éclairante à ce sujet, puisqu'elle réfère indifféremment à des termes très similaires et se chevauchant tels le blocage de l'accès au chemin (*road closure*; Schaffer 2003), la désactivation des chemins (*road deactivation*; Ministry of Forests and Range 2008), le démantèlement partiel (*road decommissioning*; Merrill et Casaday 2003b) et complet (*road obliteration*; Merrill et Casaday 2003b) des chemins, de même que la remise en état des écosystèmes (*road reclamation et road rehabilitation*; Ministry of Forests and Range 2008). Face à cette situation, dans ce rapport, le terme *mesures d'atténuation des impacts des chemins forestiers* est utilisé plutôt que le terme *fermeture de chemins*. Les mesures d'atténuation des impacts des chemins forestiers par l'abandon naturel des chemins forestiers, par le blocage de l'accès au territoire et par la modification de certaines infrastructures seront traitées dans ce rapport.

3.3.2 Bref historique des mesures d'atténuation des chemins forestiers en Amérique du Nord

Au Québec, l'adoption de mesures d'atténuation de l'impact des chemins forestiers demeure pour l'instant utilisée que de manière exceptionnelle (Desmarais 2012). Dans l'Est du Canada, les mesures de mitigation des impacts des chemins sont surtout associées au contrôle de l'accès au territoire en lien avec la pression de chasse, à la remise en production d'une partie du territoire (comm. pers. Dan Myles, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014), au contrôle de l'accès à certaines zones réservées au tourisme en région éloignée ou à la protection de certaines espèces sensibles comme le caribou des bois (comm. pers. Craig Crosson, Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario, 9 avril 2014). En Colombie-Britannique, les mesures de mitigation des chemins forestiers sont utilisées depuis la fin des années 1980 et ce, surtout dans le but de limiter les glissements de terrain et l'érosion qui en résulte (Dunkley *et al.* 2004). Aux États-Unis, ces pratiques sont surtout utilisées dans l'Ouest américain sur des sites caractérisés par de fortes précipitations, des sols facilement érodables et de fortes pentes

(Switalski *et al.* 2004). Plus précisément, l'écosystème côtier du Nord de la Californie, caractérisé par de longues et intenses pluies hivernales sur des dépôts souvent composés d'argile fine et de limon (Maurin et Stubblefield 2011), est un des endroits s'érodant le plus rapidement en Amérique du Nord (Brown et Ritter 1969 dans Weaver *et al.* 1995) et a été le lieu d'expérimentation de plusieurs études.

4. Mesures d'atténuation des impacts des chemins forestiers par l'abandon naturel

4.1 L'abandon naturel

4.1.1 Généralités

Un chemin forestier peut être considéré comme abandonné lorsque l'intervenant chargé de son maintien arrête de l'entretenir et qu'aucune mesure n'est prise afin de réduire ses impacts écologiques et pour décourager les usagers de l'utiliser (Walder et Bagley 1999, Henschel 2003). L'abandon naturel des chemins forestiers qui ne sont plus utiles à l'industrie forestière a longtemps été la prescription adoptée par les gestionnaires du réseau routier forestier (Task Team Report 2003). Cependant, cette mesure d'atténuation est souvent considérée inacceptable étant donné les impacts négatifs qui lui sont associés (Task Team Report 2003, Beaudoin 2011) comme la détérioration de la qualité de l'eau et des habitats aquatiques (Beaudoin 2011).

4.1.2 Spécifications techniques de construction

Il n'y a aucune spécification technique de construction, puisque les chemins sont simplement abandonnés sans autre intervention.

4.1.3 Coûts

Il n'y a aucun coût direct associé à cette mesure d'atténuation.

4.1.4 Avantages et inconvénients

Le principal avantage lié à la mise en place de cette mesure d'atténuation est la diminution des coûts d'entretien du réseau routier forestier.

Un désavantage de cette mesure d'atténuation est que les chemins forestiers continuent à se détériorer suite à leur abandon (Task Team Report 2003). En effet, lorsque la prescription de l'abandon d'un chemin forestier est conduite, on peut considérer que les risques d'érosion du chemin et les autres impacts négatifs du chemin demeurent présents. Par exemple, il a été démontré que les propriétés hydrologiques des chemins forestiers, 30 ans après l'abandon, demeurent dégradées et les perspectives de rétablissement naturel de ces propriétés sont faibles (Lloyd *et al.* 2013). De même, puisque l'accès au territoire n'est pas contrôlé, plusieurs impacts des chemins forestiers sur la faune comme les collisions et l'évitement des chemins forestiers par la faune persistent. Enfin, cette méthode ne permet pas de limiter l'érosion et ses impacts sur les cours d'eau, la perte d'habitat d'intérieur et la diminution de la superficie forestière productive.

5. Mesures d'atténuation des impacts des chemins forestiers par le blocage de l'accès au territoire

Le blocage de l'accès au territoire aux usagers du milieu forestier est une mesure possible lorsque l'arrêt de l'utilisation d'un chemin forestier est envisagé. Cette mesure d'atténuation consiste généralement en un blocage physique de la voie d'accès pour réduire au maximum la circulation des véhicules sur une portion du territoire (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007). Certaines mesures limitant l'accès au territoire sont plutôt temporaires et peuvent être entre autres utilisées pour contrôler le trafic pendant certaines périodes de l'année, de manière à protéger la chaussée du chemin et ainsi réduire à la fois les coûts d'entretien et l'érosion (Weaver et Hagans 1994). D'autres mesures ont au contraire un caractère plus permanent et ne permettent pas facilement la réouverture du chemin à la circulation.

Différentes méthodes permettant le blocage de l'accès au territoire peuvent être utilisées. Les trois méthodes les plus fréquemment utilisées pour limiter l'accès au territoire dans le nord-ouest des États-Unis sont le blocage du chemin avec une barrière avec cadenas, le blocage du chemin avec un monticule de terre et le blocage du chemin à l'aide d'un panneau interdisant l'accès. Néanmoins, le blocage du chemin à l'aide d'un garde-fou, le blocage du chemin avec des blocs de roche, le blocage du chemin avec des résidus de coupe (Havlick 1998), le blocage du chemin à l'aide d'une tranchée et le blocage du chemin par camouflage d'un tronçon du chemin (Walder et Bagley 1999) ont également été décrits comme des méthodes limitant l'accès au territoire. Ces méthodes étant les plus documentées, seules les méthodes de blocage du chemin par une barrière de métal avec cadenas, un monticule de terre, un panneau interdisant l'accès et des blocs de roche seront traitées dans cette section.

5.1 Blocage du chemin par une barrière avec cadenas

5.1.1 Généralités

Cette méthode consiste en l'installation d'une barrière, munie d'une chaîne fermée avec un cadenas, pouvant être débarrée pour permettre l'accès de certains véhicules (Henschel 2003). Cette méthode de blocage des chemins est utilisée afin de bloquer l'accès au territoire de manière temporaire, dans l'optique d'une réouverture. Cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers a entre autres été utilisée pour la protection de l'habitat de grands mammifères (Havlick 1998), pour restreindre l'accès à certaines zones réservées au tourisme en milieu éloigné, pour limiter les collisions entre des véhicules et la faune (Henschel 2003), pour limiter le braconnage (Cole *et al.* 1997) et pour réduire la pression sur l'habitat de certains mammifères (Wielgus *et al.* 2002). Bien que la barrière de métal soit généralement la plus utilisée, des barrières en bois ou d'autres types peuvent également être utilisés (Havlick 1998). Henschel (2003) et Havlick (1998) soulignent que cette mesure d'atténuation est beaucoup plus efficace lorsqu'utilisée conjointement à d'autres méthodes de blocage de l'accès au territoire.

5.1.2 Spécifications techniques de construction

Différents types de barrières peuvent être utilisés à cet effet, telles la barrière pivotante, la barrière double pivotante, la barrière coulissante et la barrière basculante (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007). Les barrières devraient être installées à des endroits stratégiques rendant leur contournement difficile. De même, des obstacles peuvent être érigés autour de la barrière pour en augmenter l'efficacité (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007). Les barrières sont des infrastructures devant probablement être entretenues pour être efficaces. Il faut souligner que l'efficacité des mesures d'atténuation par le blocage de l'accès au territoire est fortement tributaire de sa localisation (Henschel 2003). À cet effet, certains endroits ont été identifiés comme plus propices au succès du blocage, par exemple, près de gros pontons, à flanc de montagne ou près d'une zone très humide (Génivar 2013).

5.1.3 Coûts

Switalski *et al.* (2004) estiment à entre 1000 et 2800 \$ les coûts d'installation d'une barrière.

5.1.4 Avantages et inconvénients

Cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers permet de protéger l'accès aux ressources du territoire (ressources halieutiques, ressources forestières, etc.; Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007) en ne permettant l'aménagement que dans des parties restreintes de celui-ci (Havlick 1998). De plus, elle peut contribuer à diminuer les coûts d'entretien du réseau routier forestier. Il a été démontré que cette mesure augmentait, chez certains mammifères, leur fréquentation des chemins (Wielgus *et al.* 2002) et leurs mouvements sur le territoire, tout en diminuant le braconnage (Cole *et al.* 1997). La méthode de blocage des chemins forestiers par une barrière permet l'arrêt de son utilisation pour une période déterminée tout en permettant que les chemins redeviennent accessibles au besoin. Cette méthode étant temporaire, elle permet par conséquent une réouverture rapide de la voie d'accès (Moll 1996). De même, elle permet de protéger le public si les conditions d'utilisation du chemin sont dangereuses (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007).

Cette mesure d'atténuation ne permet cependant pas de limiter l'érosion et de protéger l'intégrité des cours d'eau (Bagley 1998). De plus, il a été démontré que certaines personnes peuvent détenir la clé ou la combinaison du cadenas utilisé avec la barrière, ce qui peut rendre cette méthode inefficace à limiter l'accès au territoire (Havlick 1998, Henschel 2003). De plus, les probabilités de vandalisme sont élevées avec cette méthode et l'entretien de ces infrastructures est nécessaire (Henschel 2003, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007). Les barrières en métal sont possiblement plus solides que d'autres types de barrières, telle que la barrière en bois, et représentent un risque plus faible de vandalisme. Une étude en Ontario a recensé différentes composantes de barrières ayant été brisées comme le cadenas, la chaîne et la barrière elle-même. De même, des voies de contournement de la barrière ont parfois été observées (Henschel 2003). Par ailleurs, une étude sur l'efficacité de différentes méthodes de blocage des chemins utilisées dans les forêts nationales des états de l'Idaho, du Wyoming, du Montana et de Washington inventoriées en 1994 et 1995 révèle que la méthode du blocage par une barrière en métal avec cadenas a été efficace pour bloquer l'accès à tous véhicules dans 55 % des cas.

Cependant, dans 30 % des cas, les auteurs ont noté le passage de véhicules tout-terrain (VTT) et dans 14 % des cas, de véhicules motorisés standards (Havlick 1998). Cette méthode ne permet pas non plus de limiter la perte d'habitat d'intérieur et d'augmenter la superficie forestière productive.

5.2 Blocage du chemin par monticules de terre

5.2.1 Généralités

Cette méthode de blocage des chemins consiste en la construction de monticules de terre permettant de limiter l'accès au territoire de manière permanente. Les monticules de terre forment des obstacles permettant l'obstruction physique du chemin, ce qui empêche le passage des véhicules motorisés (Henschel 2003). Cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers a entre autres été utilisée pour la protection de l'habitat de grands mammifères (Havlick 1998), pour restreindre l'accès à certaines zones réservées au tourisme en milieu éloigné et pour limiter les collisions entre les véhicules et la faune (Henschel (2003). Henschel (2003) et Havlick (1998) soulignent que cette méthode est beaucoup plus efficace lorsqu'utilisée conjointement à d'autres méthodes de blocage de l'accès au territoire.

5.2.2 Spécifications techniques de construction

La terre utilisée pour la construction des monticules est généralement retirée du fossé du chemin (Henschel 2003). Il faut souligner que l'efficacité des mesures d'atténuation par le blocage de l'accès au territoire est fortement tributaire de sa localisation (Henschel 2003). À cet effet, certains endroits ont été identifiés comme plus propices au succès du blocage, par exemple, près de gros ponceaux, à flanc de montagne ou près d'une zone très humide (Génivar 2013).

5.2.3 Coûts

Switalski *et al.* (2004) estiment à entre 800 et 1000 \$ les coûts associés au blocage d'un chemin avec un monticule ou un obstacle.

5.2.4 Avantages et inconvénients

Cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers permet de protéger l'accès aux ressources du territoire (ressources halieutiques, ressources forestières, etc.; Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007) en ne permettant l'aménagement que dans des parties restreintes de celui-ci (Havlick 1998), tout en diminuant les coûts d'entretien du réseau routier. Il a été démontré que cette mesure augmentait la fréquentation des chemins (Wielgus *et al.* 2002) et les mouvements sur le territoire de certains mammifères tout en diminuant le braconnage (Cole *et al.* 1997). Selon Pierre-Luc Desjardins (comm. pers., Groupement forestier coopératif Baie-des-Chaleurs, 24 avril 2014), un chemin qui n'est plus utilisé par les véhicules motorisés serait également en mesure de se reboiser naturellement. Cette suggestion est partiellement confirmée par les résultats de Lloyd *et al.* (2013) mais n'est pas soutenue par tous les spécialistes (McNabb 2012, comm. pers, Brad Sutherland, FPInnovations, 24 avril 2014;). Une étude confirme cependant que les chemins forestiers dont l'accès a été bloqué depuis plusieurs décennies avaient des niveaux d'érosion plus faibles dû à l'augmentation de la présence de végétation sur le chemin (Foltz *et al.* 2009). La méthode de blocage de l'accès par des monticules de

terre s'est avérée efficace en Ontario quatre ans après son application, où aucune trace de véhicule n'a pu être observée (Sutherland 2011). De plus, cette méthode permet l'arrêt de l'utilisation du chemin de manière permanente, bien que la réouverture de la voie d'accès soit possible.

Cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers ne permet cependant pas de limiter l'érosion et de protéger l'intégrité des cours d'eau (Bagley 1998). Avec cette méthode, il est reconnu que les monticules de terre ont tendance à s'éroder rapidement, ce qui les rend rapidement moins efficaces pour bloquer l'accès au territoire (Henschel 2003). Il a également été rapporté que certains monticules de terre utilisés pour bloquer l'accès ont été aplatis, contournés et que certains véhicules les ont écrasés (Henschel 2003). Il est également peu probable que cette méthode permette de limiter la perte d'habitat d'intérieur et d'augmenter la superficie forestière productive. L'étude sur l'efficacité de différentes méthodes de blocage des chemins menée dans les états de l'Idaho, du Wyoming, du Montana, et de Washington a révélé que cette méthode a été efficace pour bloquer l'accès à tous véhicules dans 57 % des cas. Cependant, dans 23 % des cas, les auteurs ont noté le passage de VTT et dans 19 % des cas, de véhicules motorisés standards (Havlick 1998). La première cause d'échec de cette méthode a été des lacunes dans son emplacement et dans sa confection (Havlick 1998).

5.3 Blocage du chemin par un panneau interdisant l'accès

5.3.1 Généralités

Cette méthode de blocage des chemins forestiers consiste en l'installation d'un panneau qui restreint l'accès au territoire aux véhicules motorisés de manière temporaire. Cette méthode peut être utilisée pour informer l'utilisateur de la fermeture d'un chemin pour une période déterminée, par exemple, en période de gel-dégel, ou lorsque les infrastructures ne sont pas praticables pour une courte période de temps (inondation, réparation, etc.). Le panneau indique généralement la raison ainsi que la durée de la fermeture temporaire (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007). Cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers a entre autres été utilisée pour la protection de l'habitat de grands mammifères (Havlick 1998), pour restreindre l'accès à certaines zones réservées au tourisme en milieu éloigné (Henschel 2003, Hunt et Hosegood 2008), pour limiter les collisions entre les véhicules et la faune (Henschel 2003) et pour réduire la pression sur l'habitat de certains mammifères (Wielgus *et al.* 2002). Henschel (2003) et Havlick (1998) soulignent également que cette méthode est beaucoup plus efficace lorsqu'utilisée conjointement à d'autres méthodes de blocage de l'accès au territoire.

5.3.2 Spécifications techniques de construction

Des panneaux sur tréteaux doivent être apposés sur la surface de roulement du chemin de manière à bloquer le passage des véhicules. « De plus, il est recommandé qu'un endroit pour faire demi-tour soit mis en place près du panneau (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007) ». Il faut souligner que l'efficacité des mesures d'atténuation par le blocage de l'accès au territoire est fortement tributaire de sa localisation (Henschel 2003). À cet effet, certains endroits ont été identifiés comme plus propices au succès du blocage comme près de gros ponceaux, à flanc de montagne ou près d'une zone très humide (Génivar 2013).

5.3.3 Coûts

La littérature consultée n'a pas permis d'estimer les coûts de mise en œuvre.

5.3.4 Avantages et inconvénients

Cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers permet de protéger l'accès aux ressources du territoire (ressources halieutiques, ressources forestières, etc.; Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007) en ne permettant l'aménagement que dans des parties restreintes de celui-ci (Havlick 1998) et ce, tout en pouvant contribuer à diminuer les coûts d'entretien du réseau routier. Il a été démontré que cette mesure augmentait la fréquentation des chemins (Wielgus *et al.* 2002) et les mouvements sur le territoire de certains mammifères tout en diminuant le braconnage (Cole *et al.* 1997). La méthode de blocage des chemins forestiers par un panneau interdisant l'accès permet l'arrêt de l'utilisation des chemins pour une période déterminée tout en permettant que le chemin redevienne accessible au besoin. Cette méthode étant temporaire, elle permet par conséquent une réouverture rapide de la voie d'accès (Moll 1996). De même, elle permet de protéger le public si les conditions d'utilisation du chemin sont dangereuses (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007). En Ontario, la méthode de blocage avec panneau interdisant l'accès est appréciée des utilisateurs du milieu forestier, car elle limite l'accès sans pour autant le restreindre, ce qui réduit le vandalisme (comm. pers. Craig Crosson, Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario, 9 avril 2014). De plus, elle est peu coûteuse à mettre en place et rapide d'installation (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007).

Cette mesure d'atténuation ne permet cependant pas de limiter l'érosion et de protéger l'intégrité des cours d'eau (Bagley 1998). Cette méthode ne permet pas de limiter la perte d'habitat d'intérieur et d'augmenter la superficie forestière productive. De plus, les études sont contradictoires quant à l'efficacité de cette méthode. En fonction du haut degré de violation des mesures contrôlant l'accès au territoire, Henschel (2003) souligne qu'il est peu probable que ce type de blocage permette de limiter l'accès au territoire. Il a noté que les panneaux interdisant l'accès avaient fréquemment été ignorés ou déplacés par les utilisateurs du milieu forestier (Henschel 2003). Cette fois, l'étude sur l'efficacité de différentes méthodes de blocage des chemins forestiers menée dans les états de l'Idaho, du Wyoming, du Montana et de Washington révèle que cette méthode n'a été efficace pour bloquer l'accès à tout véhicule que dans 15 % des cas. Dans 13 % des cas, les auteurs ont noté le passage de VTT et dans 73 % des cas, de véhicules motorisés standards (Havlick 1998). La méthode de blocage des chemins à l'aide d'un panneau interdisant l'accès a ainsi été décrite comme facile à contourner et peu efficace pour limiter l'accès au territoire pour de longues périodes (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007). Une étude en Ontario estime cependant que le taux de non respect des panneaux durant la période de chasse à l'original n'était que de 11,7 % et les auteurs concluent que cette méthode est efficace pour restreindre la circulation des véhicules (Hunt et Hosegood 2008).

5.4 Blocage du chemin avec des blocs de roche

5.4.1 Généralités

Cette méthode de blocage des chemins consiste en la disposition de blocs de roches permettant de limiter l'accès au territoire de manière permanente (Henschel 2003). Les blocs de roches forment des obstacles permettant l'obstruction physique du chemin, ce qui empêche le passage des véhicules motorisés. Cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers a entre autres été utilisée pour la protection de l'habitat de grands mammifères (Havlick 1998; Génivar 2013), pour restreindre l'accès à certaines zones réservées au tourisme en milieu éloigné et pour limiter les collisions entre véhicule et faune Henschel (2003). Henschel (2003) et Havlick (1998) soulignent que cette méthode est beaucoup plus efficace lorsqu'utilisée conjointement à d'autres méthodes de blocage de l'accès au territoire.

5.4.2 Spécifications techniques de construction

Les structures érigées avec des blocs de roches doivent avoir minimalement une hauteur de deux mètres (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007). Il faut souligner que l'efficacité des mesures d'atténuation par le blocage de l'accès au territoire est fortement tributaire de sa localisation (Henschel 2003). À cet effet, certains endroits ont été identifiés comme plus propices au succès du blocage comme près de gros ponceaux, à flanc de montagne ou près d'une zone très humide (Génivar 2013).

5.4.3 Coûts

Une étude de Génivar (2013) a permis d'estimer que le blocage de six chemins forestiers à l'aide de blocs de roches nécessite 2,5 jours de travail pour un fardier et une excavatrice, pour un total de 4420 \$ (740\$ par entrée bloquée). Si des pierres doivent être transportées par un camion pour permettre le blocage des six chemins forestiers, cette même étude estime le coût du blocage des chemins à 7220 \$ (1200 \$ par entrée bloquée). Switalski *et al.* (2004) estiment à entre 800 et 1000 \$ les coûts associés au barrage d'un chemin avec un monticule ou un obstacle tel des blocs de roches.

5.4.4 Avantages et inconvénients

Cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers permet de protéger l'accès aux ressources du territoire (ressources halieutiques, ressources forestières, etc.; Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007) en ne permettant l'aménagement que dans des parties restreintes de celui-ci (Havlick 1998) et ce, tout en diminuant les coûts d'entretien du réseau routier. Il a été démontré que cette mesure augmentait la fréquentation des chemins (Wielgus *et al.* 2002) et les mouvements sur le territoire de certains mammifères tout en diminuant le braconnage (Cole *et al.* 1997). Selon Pierre-Luc Desjardins (comm. pers., groupement forestier coopératif de la Baie-des-Chaleurs, 24 avril 2014), un chemin qui n'est plus utilisé par les véhicules motorisés serait également en mesure de se reboiser naturellement. Cette suggestion est partiellement confirmée par les résultats de Lloyd *et al.* (2013) mais n'est pas soutenue par tous les spécialistes (comm. pers, Brad Sutherland, FPInnovations, 24 avril 2014; McNabb 2012). Une étude confirme cependant que les chemins forestiers dont l'accès a été bloqué depuis plusieurs décennies avaient des niveaux d'érosion plus faibles dus à l'augmentation de la

présence de végétation sur le chemin (Foltz *et al.* 2009). La méthode de blocage des chemins par des blocs de roche permet l'arrêt de l'utilisation des chemins de manière permanente, bien que la réouverture de la voie d'accès soit possible.

Cette mesure d'atténuation ne permet pas de limiter l'érosion et de protéger l'intégrité des cours d'eau (Bagley 1998). En ce qui a trait à la méthode de blocage des chemins avec des blocs de roche, l'étude de Henschel (2003) souligne que les blocs ont parfois été contournés par les véhicules et retirés de la surface de roulement du chemin. Cette méthode peut également devenir très dispendieuse si ces roches doivent être transportées d'un site éloigné pour obstruer une voie d'accès (Génivar 2013). Il est également peu probable que cette méthode permette de limiter la perte d'habitat d'intérieur et d'augmenter la superficie forestière productive. Une étude sur l'efficacité de différentes méthodes de blocage des chemins des forêts nationales des états de l'Idaho, du Wyoming, du Montana, et de Washington inventoriées en 1994 et 1995 révèle que cette méthode, observée pour bloquer quatre chemins forestiers, s'est montrée efficace pour bloquer l'accès à tous véhicules dans 50 % des cas tandis que dans 50 % des cas, les auteurs ont noté le passage de VTT seulement. Le passage de véhicule motorisé standard n'a pas été observé (Havlick 1998).

6. Mesures d'atténuation des impacts des chemins forestiers par la modification de certaines infrastructures des chemins forestiers

La modification de certaines infrastructures peut être envisagée lorsque les problématiques liées au réseau routier forestier ne sont pas uniquement liées à l'accès au territoire par les usagers. En effet, certaines problématiques comme la diminution de la superficie forestière productive, l'érosion et la sédimentation des cours d'eau et la perte d'habitat d'intérieur ne peuvent facilement être répondues par l'abandon des chemins ou par le blocage de l'accès aux usagers.

Les méthodes les plus utilisées et documentées sont 1) la construction de fossés de déviation, 2) la construction de digues de déviation, 3) le refaçonnage de la surface des chemins, 4) le retrait des traverses de cours d'eau, 5) le retrait du chemin par la méthode sans réaménagement de la pente naturelle, 6) le retrait des chemins forestiers par l'ajout de sol de surface, 7) le retrait des chemins forestiers par la méthode de mycorestauration, 8) le retrait du chemin par la technique du réaménagement partiel de la pente naturelle, 9) le retrait du chemin par la technique du réaménagement complet de la pente naturelle, et 10) le retrait par la conversion du chemin forestier en sentier. L'adoption d'une méthode est établie en fonction des objectifs visés par l'opération, des conditions de terrain et du budget disponible pour l'atténuation des impacts des chemins forestiers.

6.1 Construction de fossés de déviation

6.1.1 Généralités

La construction de fossés de déviation est une modification simple de la surface de roulement des chemins forestiers. Ce sont des structures « excavées à travers un chemin forestier à un angle, une profondeur et une armature suffisante pour détourner l'eau de la chaussée et du fossé latéral du chemin » (Ministry of Forests and Range 2008). Cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers est principalement utilisée afin de limiter l'érosion et de limiter les impacts des chemins forestiers sur les cours d'eau. Elle permet plus précisément de capturer et de détourner l'eau de ruissellement présente sur la surface du chemin forestier et dans ses fossés latéraux de manière à y éviter la trop grande concentration d'eau et à y limiter l'érosion (Moore 1994, Atkins *et al.* 2001). L'eau est dirigée en dehors du chemin dans des endroits stables qui ne sont pas propices à l'érosion (Moore 1994). Bien que les fossés de déviation soient décrits par Walder et Bagley (1999) comme trop profonds pour permettre la circulation normale des véhicules, le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (2007) et Moore (1994) reconnaissent que cela demeure possible (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007).

6.1.2 Spécifications techniques de construction

Cette méthode consiste en l'excavation et la construction de fossés de déviation d'un angle minimal de 30 degrés perpendiculaire au fossé latéral (Moore 1994), voire de 45 degrés pour les pentes de plus de 10 % (Weaver et Hagans 1994). Les fossés de déviation doivent être excavés plus profondément que les

fossés latéraux (CulvertBC 2014). Le matériel excavé doit être remblayé et compacté sous forme d'un monticule dans la partie inférieure du fossé de déviation de manière à permettre l'évacuation de l'eau; le matériel fin ne devrait pas être utilisé à cet effet (CulvertBC 2014). Un barrage de correction doit être construit avec du matériel non érodable à la base du fossé latéral, de manière à diriger l'eau dans le fossé de déviation, et certaines mesures de protection contre l'érosion (enrochement, etc.) doivent être prises à la sortie de celui-ci (Figure 4; Moore 1994). Dans l'optique de bloquer l'accès aux véhicules, des fossés de déviation larges et profonds devraient être conçus de manière à rendre la circulation impossible (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007).

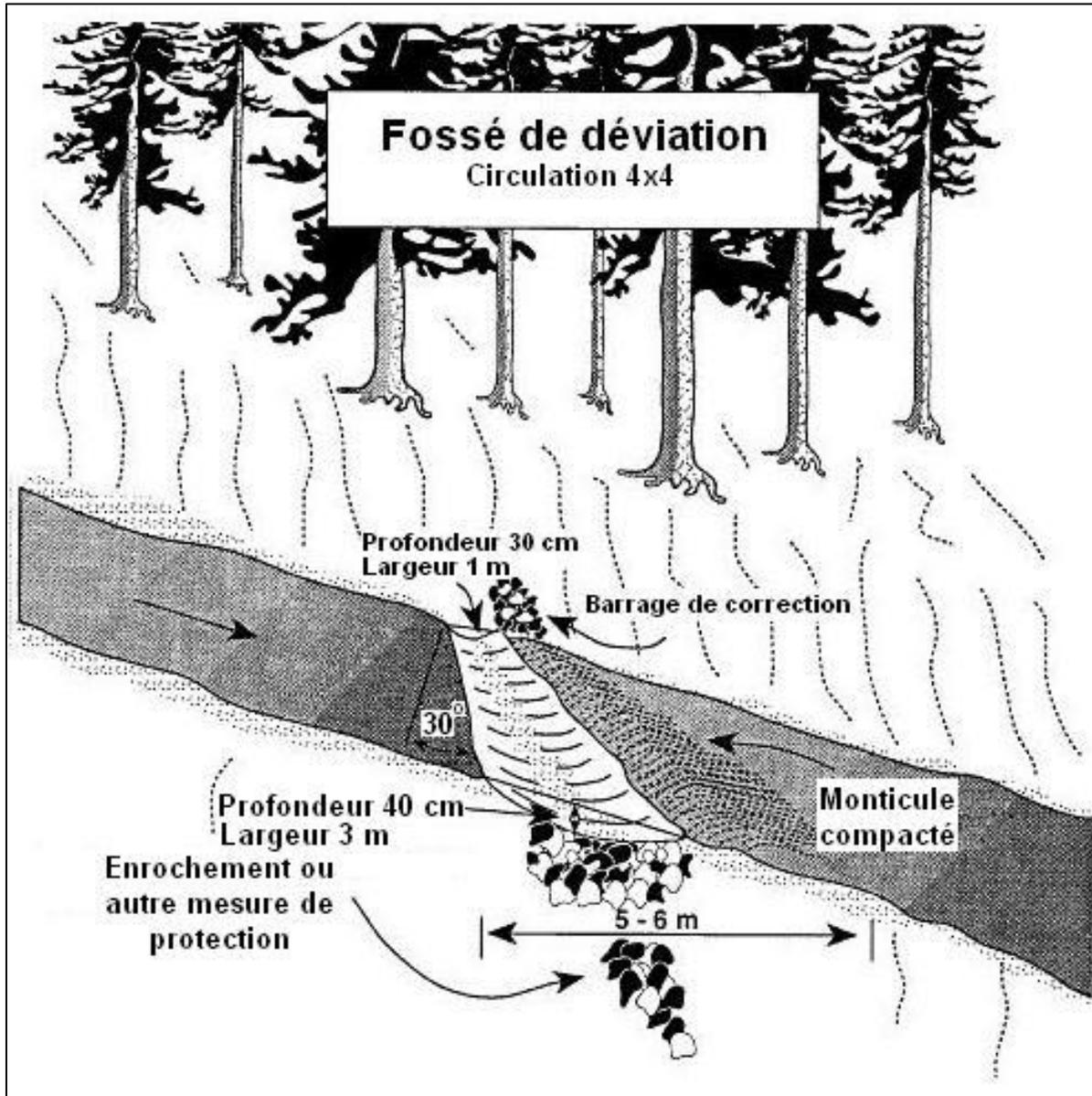


Figure 4. Éléments constituant d'un fossé de déviation permettant la circulation des véhicules à quatre roues motrices (adaptée de Moore 1994).

La localisation des fossés de déviation est fonction du degré de la pente, de la longueur de la pente, de la nature de la surface du chemin et du débit de l'eau de surface et de subsurface (Moore 1994). L'efficacité de cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers sur l'hydrologie est fonction de l'espacement entre les fossés de déviation. Les deux facteurs les plus importants qui conditionnent l'espacement entre les fossés sont la nature de la surface du chemin forestier (en fonction de son niveau d'érodabilité) et le degré de la pente du chemin (Copstead *et al.* 1998; Tableau 2).

Tableau 2. Distance maximale suggérée par Copstead *et al.* (1998) entre chaque fossé de déviation en fonction du degré de pente et du type de sol* du chemin forestier.

Pente du chemin (%)	Distance (m)				
	Sol de type GW et GP	Sol de type GM GC	Sol de type CH et CL	Sol de type MH, SC et SM	Sol de type SW, SP et ML
2	120	97	75	52	29
4	103	84	65	45	26
6	88	71	55	39	23
8	74	60	47	33	20
10	61	50	39	28	17
12	50	41	32	23	14
14	42	34	26	19	11

G : Gravier; S : Sable; M : Limon ; C : Argile

* Pour plus d'informations sur les types de sol, se référer au système américain de classification des sols (Buol *et al.* 2011).

6.1.3 Coûts

Plusieurs facteurs peuvent influencer les coûts de construction des fossés de déviation. Parmi ceux-ci, Atkins *et al.* (2001) notent la présence sur le chemin de ravins (qui demande plus d'effort pour assurer la stabilisation), la profondeur du remblai à la sortie du fossé, la largeur du chemin, l'absence sur le site de pierres (l'importation peut être très dispendieuse), la présence de débris ligneux à la sortie du fossé, la présence excessive de remblai et l'exportation de matériel nécessaire suite à la construction.

Les coûts associés à la construction de fossés de déviation sont évalués par Weaver et Hagans (1990) à 25 à 50 \$ chacun. Ce calcul exclu probablement les coûts associés au déplacement de la machinerie.

6.1.4 Avantages et inconvénients

L'ajout de fossés de déviation sur les chemins forestiers connaissant des problèmes d'érosion contribue à protéger les cours d'eau en limitant le débit de l'eau de ruissellement, ce qui limite l'érosion provenant de la surface des chemins (Moore 1994). Un autre avantage des fossés de déviation est que, selon leurs modalités de construction, ils peuvent ou non rendre le chemin impraticable en fonction des objectifs d'utilisation de cette mesure. De plus, ils ne demandent aucun entretien lorsqu'ils ont été adéquatement

construits, positionnés et espacés (Moore 1994, Atkins *et al.* 2001, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007, CulvertBC 2014). Les fossés de déviation permettent également d'éviter l'utilisation de ponceaux latéraux dans les chemins forestiers, ce qui est économiquement avantageux et requiert moins d'entretien (Moore 1994).

Cependant, puisque dans plusieurs cas la circulation demeure possible sur ces chemins forestiers, les fossés de déviation ne permettent pas, dans ces cas, de contrôler l'accès aux ressources du territoire ou de limiter les impacts des chemins forestiers sur la faune (éviter, collision, etc.). De plus, les fossés ne permettent pas de limiter la perte d'habitat d'intérieur et la diminution de la superficie forestière productive. Bien qu'ils puissent possiblement être réduits, certains coûts d'entretien peuvent également être nécessaires pour permettre aux chemins de demeurer praticables. Finalement, plusieurs fossés doivent être construits dans les zones où les risques d'érosion sont élevés (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007).

6.2 Construction de digues de déviation

6.2.1 Généralités

La construction de digues de déviation est une modification simple de la surface de roulement des chemins forestiers. Les digues de déviation sont des structures « peu profondes excavées à travers un chemin forestier à un angle suffisant pour permettre de détourner l'eau de la chaussée et pour prévenir l'érosion de la surface du chemin » (Ministry of Forests and Range 2008). Cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers est principalement utilisée afin de limiter l'érosion et de limiter les impacts des chemins forestiers sur les cours d'eau. Elle permet plus précisément de prévenir le débit d'eau excessif sur la chaussée et l'érosion de la surface du chemin qui lui est associée (Moore 1994). Les digues de déviation sont des infrastructures peu profondes et les véhicules continuent généralement d'être en mesure de circuler sur les chemins suite à leur construction (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007).

6.2.2 Spécifications techniques de construction

Cette méthode consiste en l'excavation de digues de déviation de l'eau dans le chemin forestier. Cette infrastructure comprend un monticule, un angle d'inclinaison et une protection contre l'érosion (Figure 5). L'angle de la digue de déviation varie entre 20 et 30 degrés perpendiculaires au fossé latéral et dépend généralement de la pente du chemin et du débit d'eau prévu (CulvertBC 2014). Le matériel excavé doit être remblayé et compacté sous forme de monticule dans la partie inférieure de la digue de manière à permettre l'évacuation de l'eau. Certaines mesures de protection contre l'érosion (enrochement, etc.) doivent être prises à la sortie de la digue de déviation (Moore 1994). Les dimensions de la digue dépendent de la profondeur de celle-ci (Figure 6).

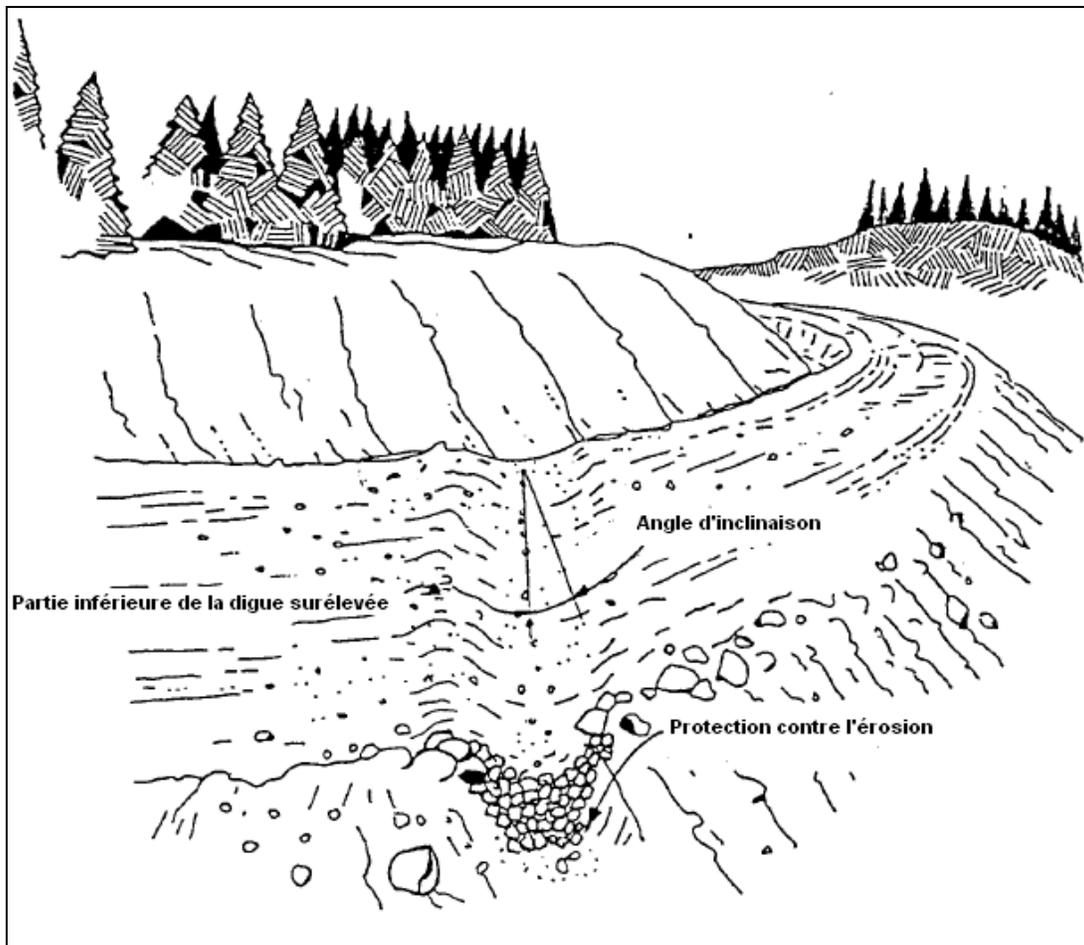


Figure 5. Éléments constituant d'une digue de déviation (adaptée de Moore 1994).

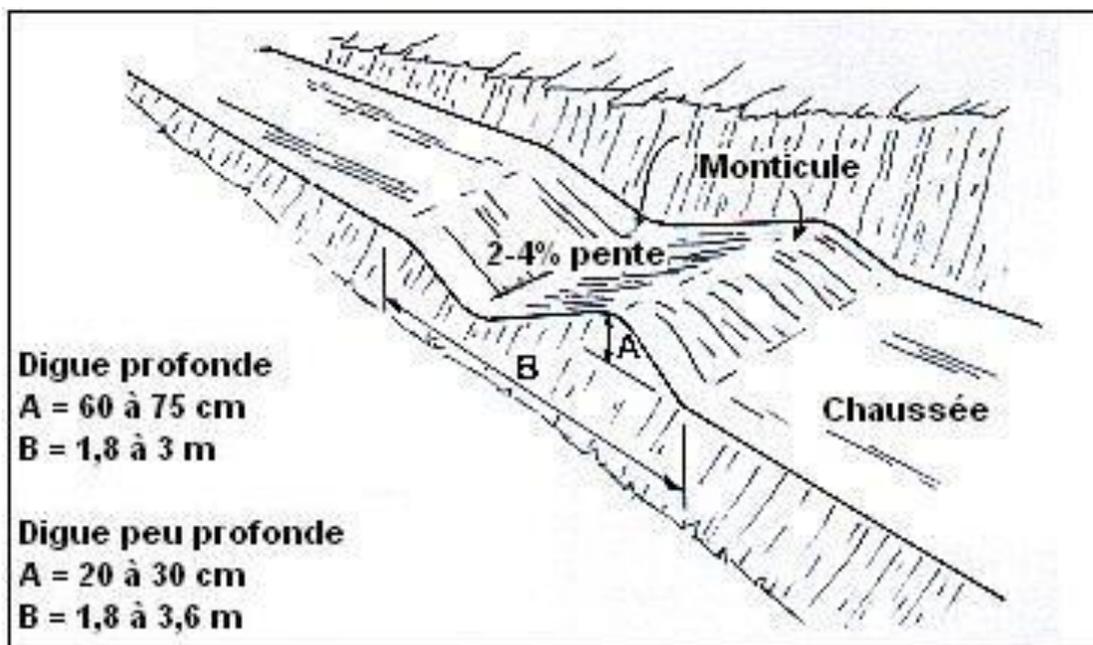


Figure 6. Éléments constituant d'une digue de déviation (adaptée de US Forest Service 2014).

La localisation des digues de déviation est fonction du degré de la pente, de la longueur de la pente, de la nature de la surface du chemin et du débit de l'eau de surface (Moore 1994). L'efficacité de cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers sur l'hydrologie est fonction de l'espacement entre les fossés de déviation (Moore 1994, Moll 1996; Tableau 3). Moore (1994) propose un outil d'aide à la décision qui tient compte de la pente, du type de sol et de la position dans la pente afin de sélectionner l'espacement entre les digues de déviation.

Tableau 3. Distance maximale de l'espacement suggérée par Moll (1996) entre chaque digue de déviation en fonction du pourcentage de la pente.

Pente du chemin (%)	Espacement (m)
1-2	76
3-5	61-41
6-10	30-24
11-15	24-18
16-20	18-14
21+	12

6.2.3 Coûts

Plusieurs facteurs peuvent influencer les coûts de construction des digues de déviation. Parmi ceux-ci, Atkins *et al.* (2001) notent la densité du matériel du chemin, la profondeur du remblai à la sortie de la digue, la présence de gros débris ligneux à la sortie de la digue, la largeur du chemin et la présence de pierres sur le site.

La production horaire de digues de déviation est de quatre et les coûts de construction de 33 \$ chacune en moyenne (US Fish and Wildlife Service 2014b).

6.2.4 Avantages et inconvénients

La construction de digues de déviation sur les chemins forestiers connaissant des problèmes d'érosion contribue à protéger les cours d'eau en limitant le débit de l'eau de ruissellement, ce qui assure une limitation de l'érosion de la surface des chemins (Moore 1994). De plus, ils ne demandent aucun entretien lorsqu'ils ont été adéquatement construits, positionnés et espacés (Moore 1994, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007, CulvertBC 2014).

Les digues de déviation ne permettent pas de contrôler l'érosion au niveau des fossés latéraux du chemin. De plus, puisque la circulation demeure possible sur ces chemins forestiers, les digues de déviation ne permettent pas de protéger l'accès aux ressources du territoire, à limiter l'impact des chemins forestiers sur la faune et à réduire les coûts d'entretien des chemins. Les digues de déviation ne permettent pas non plus de limiter la perte d'habitat d'intérieur et la diminution de la superficie

forestière productive. Finalement, plusieurs digues doivent être construites dans les zones où les risques d'érosion sont élevés (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007).

6.3 Refaçonnage de la surface des chemins

6.3.1 Généralités

Une méthode utilisée pour atténuer les impacts négatifs des chemins forestiers est le refaçonnage des chemins forestiers, qui permet de limiter l'érosion en utilisant peu ou pas de fossés de déviation (Moore 1994, B.C. Ministry of Forests 2002). L'objectif de l'utilisation de cette méthode est de limiter l'érosion sur la surface des chemins en y prévenant la concentration de l'eau et en prévenant l'érosion en rigole et le ravinement du chemin (US Fish and Wildlife Service 2014b).

La surface du chemin peut être refaçonnée de manière à diriger l'eau vers le fossé latéral (refaçonnage vers l'intérieur) ou vers le remblai du chemin (refaçonnage vers l'extérieur) (Ministry of Forests and Range 2008). L'utilisation du refaçonnage vers l'intérieur est appropriée seulement pour certaines portions du chemin dont le remblai est potentiellement instable (Moore 1994, Weaver et Hagans 1994) et qui comporte une pente d'excavation qui est stable. L'utilisation du refaçonnage par l'extérieur est appropriée pour les chemins dont la pente d'excavation est potentiellement instable et le remblai est stable (Moore 1994). Les véhicules continuent généralement d'être en mesure de circuler sur les chemins suite aux opérations de refaçonnage de la surface du chemin.

6.3.2 Spécifications techniques de construction

Pour la modification du chemin par un refaçonnage vers l'extérieur, il est nécessaire de retirer les monticules de matériel ayant pu se former sur le remblai des chemins (pour assurer l'écoulement de l'eau), tandis que pour la modification du chemin par un refaçonnage vers l'intérieur, il est nécessaire de s'assurer qu'un monticule est présent sur le remblai du chemin (pour diriger l'écoulement de l'eau vers le fossé latéral). En ce qui a trait au refaçonnage par l'extérieur, la pente du chemin (donnant sur le remblai) devrait être de 4 % (US Fish and Wildlife Service 2014b) et le fossé latéral devrait être remblayé. Pour le refaçonnage vers l'intérieur, le fossé latéral devrait être ouvert afin de permettre l'écoulement de l'eau (Moore 1994; Figure 7). Ce travail peut être effectué avec un boteur ou une niveleuse, l'utilisation de la pelle excavatrice étant beaucoup plus dispendieuse (Atkins *et al.* 2001). Des digues de déviation ou des dépressions de drainage peuvent être également construites sur le chemin de manière à permettre de rediriger l'eau au bon endroit sur le chemin (Weaver et Hagans 1994).

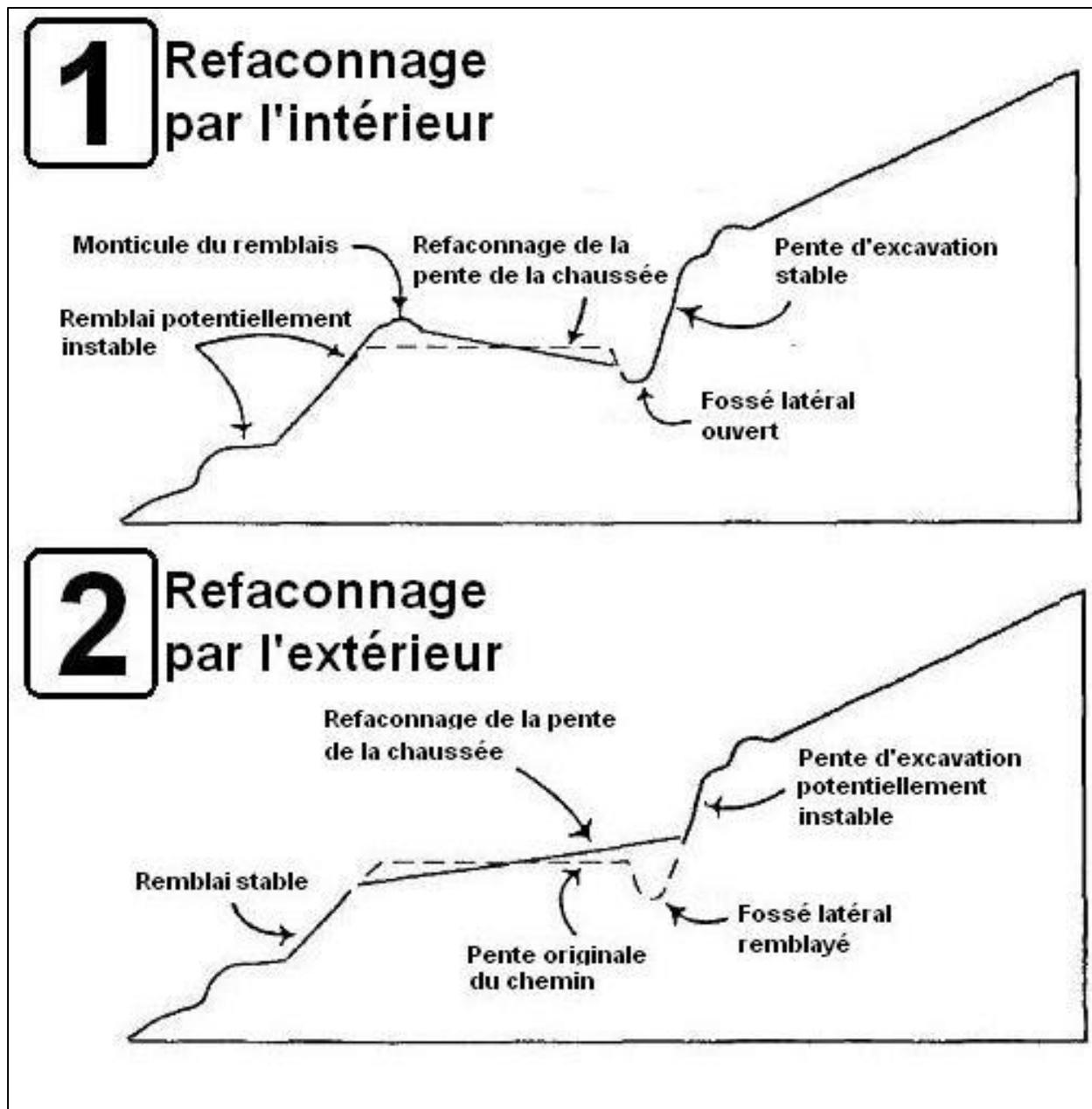


Figure 7. Refaçonnage vers l'intérieur (1) et de l'extérieur (2) d'un chemin forestier (adaptée de Moore 1994 et de Weaver et Hagans 1994).

6.3.3 Coûts

Les coûts associés aux activités de refaçonnage de la surface des chemins peuvent varier en fonction de la largeur du chemin, de l'équipement utilisé, de l'utilisation future du chemin (les chemins qui continuent d'être utilisés peuvent coûter plus cher à traiter), la nécessité d'exporter les surplus de remblai, la densité de la chaussée du chemin et la nécessité d'importation de matériel pour effectuer le refaçonnage de la surface (Atkins *et al.* 2001). Des coûts de 6,5 \$ par mètre linéaire (2 \$ par pied linéaire) ont été cités comme coûts approximatifs pour le refaçonnage par l'extérieur (6500 \$/km; Napper 2006).

Pour le refaçonnage vers l'intérieur, aucune donnée de coût n'a pu être rapportée par la littérature consultée.

6.3.4 Avantages et inconvénients

Les activités de refaçonnage de la surface des chemins contribuent à limiter l'érosion présente sur les chemins forestiers. L'utilisation du refaçonnage offre la possibilité de limiter la quantité de fossés de déviation requis (Moore 1994). Cette même technique est efficace pour les chemins à fossés latéraux peu profonds. Plus spécifiquement, le refaçonnage par l'extérieur demeure plus facile et moins dispendieux à entretenir que le refaçonnage vers l'intérieur (Weaver et Hagans 1994).

Cependant, puisque la circulation demeure possible sur ces chemins forestiers, le refaçonnage ne permet pas de contrôler l'accès aux ressources du territoire ou à limiter l'impact des chemins forestiers sur la faune. De plus, ces méthodes ne permettent pas de limiter la perte d'habitat d'intérieur et la diminution de la superficie forestière productive. Bien qu'ils puissent possiblement être réduits, l'élimination des coûts d'entretien ne peut être envisagée de manière à ce que le chemin demeure praticable. De plus, le refaçonnage par l'intérieur et par l'extérieur n'est pas efficace pour des chemins de plus de 6 à 8 % de pente (Weaver et Hagans 1994, B.C. Ministry of Forests 2002). Ces méthodes ne sont efficaces que pour les chemins qui reçoivent peu de trafic et aucun trafic de véhicules lourds, puisque l'orniérage résultant du passage répété des véhicules a tendance à faire disparaître la pente créée par les activités de refaçonnage (B.C. Ministry of Forests 2002).

6.4 Le retrait des traverses de cours d'eau

6.4.1 Généralités

Le retrait des traverses de cours d'eau est une modification permanente des infrastructures des chemins forestiers qui permet de limiter les risques de défaillance de la traverse de cours d'eau par son obstruction par des débris ou des sédiments, ou par sa trop faible capacité lors des événements météorologiques extrêmes, qui peuvent causer l'érosion du remblai du chemin (Madej 2001). L'objectif principal de cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers est de limiter l'apport de sédiments aux cours d'eau tout en assurant la restauration de l'écoulement naturel (Madej 2001). De même, son utilisation vise à reconnecter des cours d'eau fragmentés, de restaurer les habitats de certaines espèces de poisson, de restaurer le débit naturel du cours d'eau ou d'améliorer la qualité de l'eau (Collins *et al.* 2007). Le blocage de la voie d'accès peut également être considéré comme un objectif lié au retrait des traverses de cours d'eau (Génivar 2013).

Les traverses de cours d'eau sont des sections de chemin construites sur des cours d'eau naturels (Merrill et Casaday 2003a). Merrill et Casaday (2003a) ont identifié les ponts et les ponceaux, de même que les traverses Humboldt et les traverses par remblai, comme principaux types de traverses de cours d'eau. On estime que chaque kilomètre de chemin forestier comporte quatre traverses de cours d'eau en moyenne (Hotte et Quirion 2003). Le retrait des traverses de cours d'eau consiste à retirer les ponceaux, à rétablir la largeur et la pente du cours d'eau (B.C. Ministry of Forests 2002), ainsi que les pentes naturelles de ses rives (Switalski *et al.* 2003). Le retrait d'une traverse de cours d'eau ne suffit pas

à limiter l'érosion, puisque le remblai de la traverse peut continuer à s'éroder dans le cours d'eau (Walder et Bagley 1999).

Le retrait des traverses de cours d'eau est une composante essentielle de l'application de mesures permanentes d'atténuation des impacts des chemins forestiers (Walder et Bagley 1999) et est souvent jumelé à d'autres mesures d'atténuation (Switalski *et al.* 2003). En effet, puisque les traverses de cours d'eau sont des infrastructures qui demandent un entretien et qui peuvent avoir des impacts directs sur les cours d'eau, l'application de mesures permanentes nécessite le retrait des traverses de cours d'eau pour empêcher l'érosion et la dégradation de la qualité des cours d'eau (B.C. Ministry of Forests 2002).

6.4.2 Spécifications techniques de construction

Le retrait d'une traverse préalablement intacte (Figure 8.1) commence par l'élimination de la végétation qui pousse sur les rives adjacentes du cours d'eau (Merrill et Casaday 2003a). Le cours d'eau peut par la suite être dévié pendant la durée des travaux qui doivent être exécutés lors de la période où les cours d'eau ont un faible débit (Merrill et Casaday 2001). Par la suite, la partie du chemin qui fait partie des rives du lit de la rivière devrait être décompactée. Merrill et Casaday (2003a) suggèrent l'utilisation d'un boueur équipé d'une défonceuse, bien que tout autre équipement adéquat puisse être utilisé (Annexe 1). Le matériel organique doit ensuite être retiré et le remblai se trouvant au-dessus de la traverse doit être étendu et repoussé (Figure 8.2; Merrill et Casaday 2001, 2003a). Le ponceau peut par la suite être retiré et le matériel retiré peut être utilisé pour réaménager les rives du cours d'eau (Figure 8.3; Merrill et Casaday 2001, Merrill et Casaday 2003a). Le matériel supplémentaire, s'il y a lieu, doit être déchargé loin du cours d'eau (Merrill et Casaday 2003a).

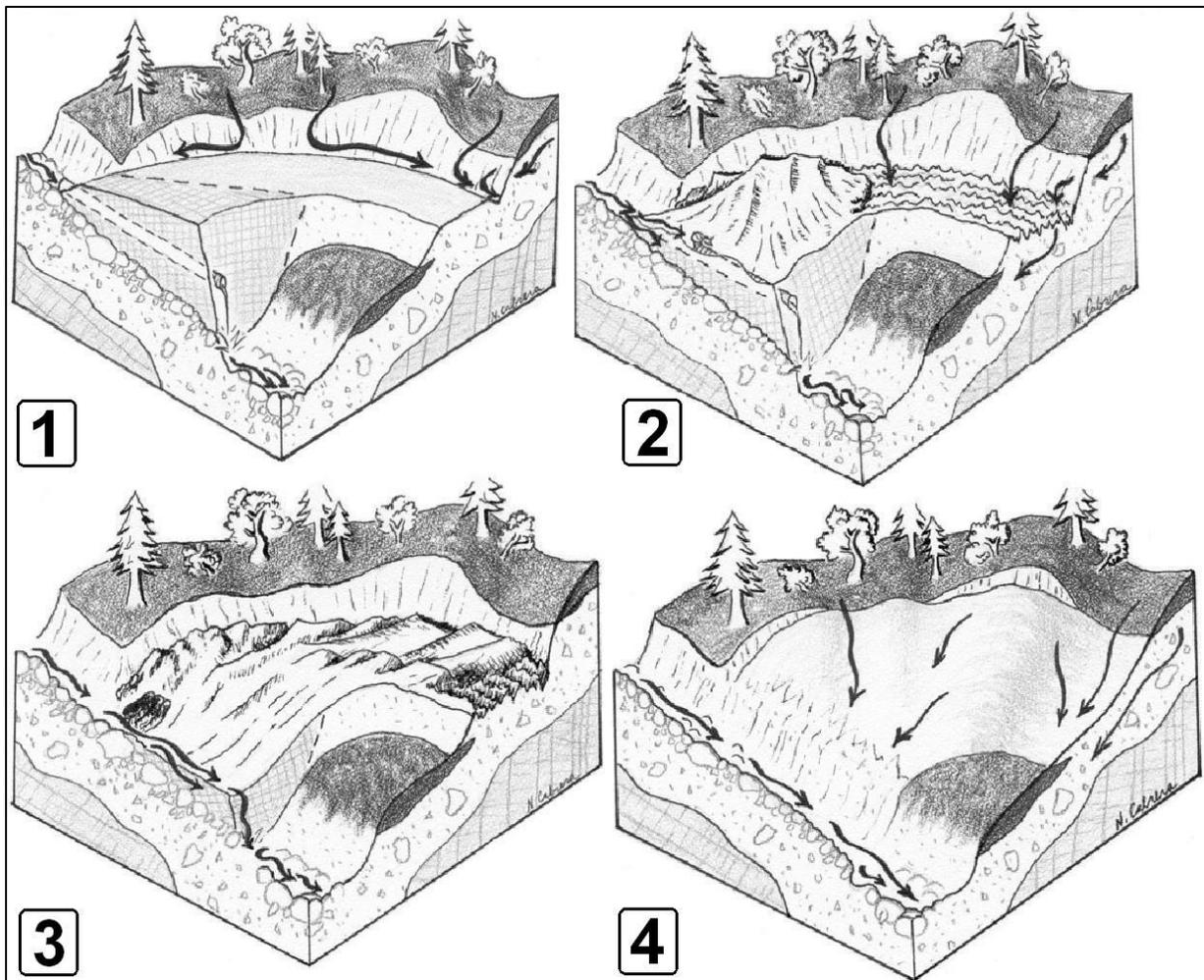


Figure 8. Étapes de retrait d'une traverse de cours d'eau (adaptée de Merrill et Casaday 2001).

Les rives du cours d'eau doivent être réaménagées et les particules fines devraient être retirées du lit du cours d'eau. Par la suite, des pierres ou du gravier devraient préférablement y être apposés suite au retrait de la traverse de cours d'eau (Maurin et Stubblefield 2011). Par la suite, le matériel végétal préalablement retiré peut être redéposé sur les berges pour servir comme paillis, de manière à réduire l'érosion sur les pentes du cours d'eau (Merrill et Casaday 2003a, Maurin et Stubblefield 2011). Le drainage naturel est ainsi rétabli et les risques d'érosion associés à la traverse de cours d'eau sont éliminés (Figure 8.4; Merrill et Casaday 2001). Dans le parc national de Red Woods en Californie, le retrait des traverses de cours d'eau a mené à l'excavation de 1060 m³ de matériel en moyenne (Madej 2001).

La reforestation des berges est jugée non nécessaire sur la Côte Ouest américaine à cause du rythme naturel de recrutement de la végétation (Maurin et Stubblefield 2011). En Ontario, les méthodes de retrait des traverses de cours d'eau utilisées incluent l'ensemencement de pelouse sur les rives pour limiter l'érosion (Sutherland 2012). Dans les conditions typiques de la Gaspésie, l'ensemencement de plantes herbacées ou la reforestation des rives du cours d'eau peuvent être nécessaires à l'atteinte des

objectifs de retrait des traverses de cours d'eau (Annexe III). De plus, lorsque les chemins adjacents ne sont pas retirés, des fossés de déviation devraient être conçus sur le chemin forestier pour limiter l'apport en sédiments dans les cours d'eau (B.C. Ministry of Forests 2002). De même, des monticules de terre devraient être apposés sur le chemin de manière à empêcher le passage à gué des cours d'eau franchissables (comm. pers. Dan Myles, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014), à moins que le cours d'eau soit infranchissable en tout temps.

6.4.3 Coûts

Les coûts du retrait des traverses de cours d'eau peuvent varier énormément en fonction de la quantité de matériel qui doit être déplacée (Switalski *et al.* 2004). De plus, la dimension du ponceau à retirer, la largeur du chemin (et la longueur du ponceau), l'intention de réutiliser le ponceau (qui peut impliquer des coûts de retrait supplémentaires), la présence de poissons dans le cours d'eau (qui implique des mesures plus strictes quant au contrôle de l'érosion), la quantité de remblais qui recouvre le ponceau, la présence de gros débris ligneux près du ponceau et la disponibilité de pierres sur le site peuvent être des éléments qui modifient les coûts associés au retrait des traverses de cours d'eau (Atkins *et al.* 2001).

Ainsi, sur la Côte Ouest américaine, il est estimé que les coûts de retrait des traverses de cours d'eau peuvent varier entre 1 et 3,5 \$ par m³ (Switalski *et al.* 2004) et 3 et 4,5 \$ par m³ de matériel excavé (Weaver et Hagans 1990), ce qui équivaut à entre 500 et 150 000 \$ par traverse de cours d'eau retirée. Teasley (2002) a également effectué des estimations de coûts de retrait des traverses de cours d'eau en Californie. Les coûts estimés pour le retrait des traverses et la stabilisation des rives sont de 1200 à 3600 \$ par traverse. Pour le retrait des traverses incluant le rétablissement complet du canal du cours d'eau et le réaménagement de sa pente naturelle, les coûts estimés sont de 2100 à 5250 \$ par retrait de traverses de cours d'eau.

À Terre-Neuve, les coûts du retrait des ponceaux oscillent entre 400 et 5000 \$ en fonction de la taille du ponceau et de sa situation géographique. Le retrait d'un pont, incluant le réaménagement complet des rives du cours d'eau, oscille généralement entre 10 000 et 12 000 \$. La quantité d'ouvrages à réaliser sur le même territoire a également un impact majeur sur les coûts unitaires de retrait des traverses de cours d'eau (comm. pers. Dan Myles, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014). Sutherland (2012) estime que le retrait d'un ponceau de moins 1500 mm de diamètre prend environ une heure, tandis qu'un ponceau de 1500 à 2000 mm de diamètre requiert deux heures de temps de machinerie. Au Québec, les coûts de retrait des traverses de cours d'eau de 2 m et plus de largeur ont été évalués dans le Plan général de restauration des conditions d'habitat du caribou forestier d'Essipit. Pour le retrait de six traverses de cours d'eau, les auteurs de l'étude estiment les coûts associés à la pelle mécanique, au camion et au fardier à 27 650 \$, pour un coût moyen de 4500 \$ par retrait de traverse (Génivar 2013).

6.4.4 Avantages et inconvénients du retrait des traverses de cours d'eau

Cette technique est très efficace pour limiter l'érosion et protéger les cours d'eau des secteurs qui ne sont plus visés par des activités d'aménagement forestier (Madej 2001, Maurin et Stubblefield 2011). En effet, on estime que l'érosion ayant lieu suite aux travaux de retrait des traverses de cours d'eau est

entre quatre fois (Madej 2001) et six fois (Maurin et Stubblefield 2011) plus faibles que l'érosion sédimentaire des traverses non retirées. Maurin et Stubblefield (2001) suggèrent que cette technique est particulièrement efficace pour les cours d'eau de plus grande dimension, de faible pente et dont les rives sont fortement végétalisées, puisque c'est pour ces cours d'eau que les risques d'érosion post-traitement sont les plus faibles. Cette mesure d'atténuation des impacts négatifs des chemins permet, en améliorant la connectivité des écosystèmes aquatiques, d'augmenter le passage des poissons dans les cours d'eau (Daigle 2010). Si le passage des véhicules n'est pas possible, cette mesure d'atténuation permet également de limiter certaines problématiques liées à la faune. Finalement, cette méthode permet de réduire les coûts d'entretien du réseau routier forestier.

Cette méthode est moins efficace pour prévenir l'érosion lorsque le lit des cours d'eau est composé de particules fines (Maurin et Stubblefield 2011). De même, les chemins comportant plusieurs traverses peuvent être dispendieux à traiter (comm. pers. Dan Myles, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014). À moins de l'ajout de structures bloquant la voie d'accès, cette technique ne permet de limiter l'accès au territoire et le passage des véhicules que sur les chemins comportant des cours d'eau assez importants pour en dissuader le passage (Génivar 2013). Si la circulation demeure possible sur ces chemins forestiers, les fossés de déviation ne permettent pas de contrôler l'accès aux ressources du territoire. De même, cette méthode ne permet pas non plus de limiter la perte d'habitat d'intérieur et la diminution de la superficie forestière productive.

6.5 Le retrait du chemin par la méthode sans réaménagement de la pente naturelle

6.5.1 Généralités

Le retrait des chemins sans réaménagement de la pente est une modification permanente des chemins forestiers utilisée pour atténuer les impacts négatifs de ceux-ci sur le milieu forestier. Cette méthode a été utilisée dans l'Ouest américain avec comme objectif principal de limiter l'apport de sédiments aux cours d'eau tout en assurant la restauration de l'écoulement naturel (Madej 2001, Teasley 2002). De même, cette méthode a déjà été utilisée pour restreindre l'accès à certaines zones réservées au tourisme en milieu éloigné (Sutherland 2011) et pour améliorer l'habitat du caribou des bois (comm. pers. Brad Sutherland, FPIInnovations, 24 avril 2014). Madej (2001) affirme qu'au Parc national de Redwood, environ 25 km de chemins forestiers abandonnés ont été retirés par cette technique entre 1978 et 1996. Malgré tout, cette méthode de retrait est relativement peu documentée.

6.5.2 Spécifications techniques de construction

Cette méthode consiste à décompacter la surface du chemin (Annexe I) et à construire des drains perpendiculaires au chemin de manière à assécher le fossé intérieur de celui-ci (Figure 9). Madej (2001) et Teasley (2002) suggèrent également que le chemin puisse être recouvert de matière organique (paillis de paille ou autres; Annexe II) et ensemencé et replanté (Annexe III; Madej 2001, Teasley 2002). Daigle (2010) affirme que l'ajout d'un paillis de matière organique est une étape importante qui améliore la restauration de l'écosystème. Dans les conditions de la Gaspésie et pour s'assurer d'un retour rapide du couvert forestier, il serait probablement nécessaire d'ajouter de la matière organique (Annexe II) et le

reboisement serait une étape incontournable (Annexe III). Environ 200 à 500 m³ de matériel doivent être déplacés pour chaque kilomètre de chemin traité (Madej 2001).

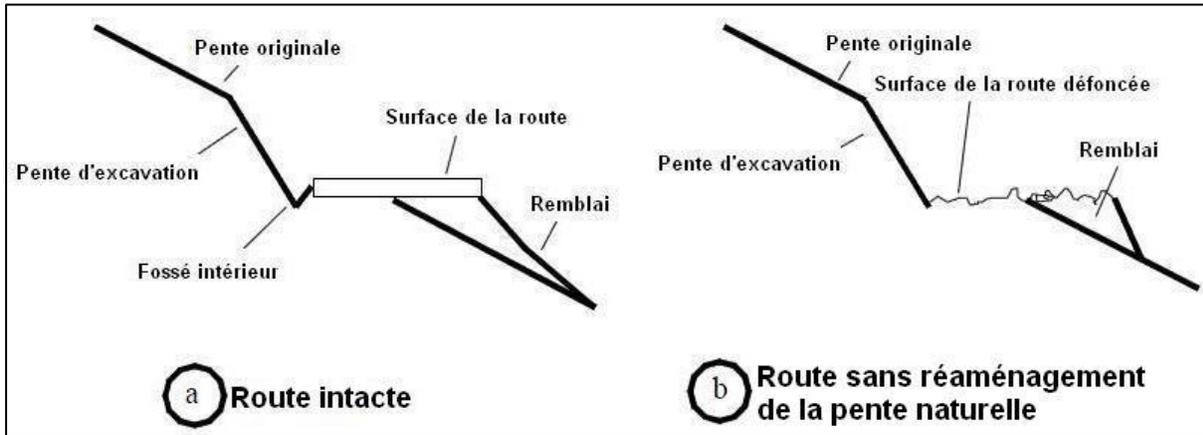


Figure 9. Diagramme schématique de la transformation a) d'un chemin intact par b) la méthode de retrait des chemins sans réaménagement de la pente naturelle (adaptée de Teasley 2002).

Dans certaines provinces de l'Ouest canadien, une variante de cette méthode de retrait des chemins est utilisée. Elle consiste, lors de la construction du chemin, en l'entassement du sol de surface près du chemin. Lors des activités de retrait du chemin, cette matière fertile peut être par la suite réétendue sur le chemin suite aux activités de décompactage de la surface de roulement. Par la suite, le chemin est généralement reboisé (Van Rees et Jackson 2001).

6.5.3 Coûts

L'estimation des coûts de retrait des chemins par la méthode sans réaménagement de la pente naturelle a été effectuée par l'étude de Teasley (2002). Elle chiffre cette opération à 4950 \$ par kilomètre de chemin retiré. Le reboisement n'est cependant pas inclus dans cette estimation des coûts. Au Québec, les coûts d'utilisation de cette méthode de retrait des chemins ont été évalués dans le Plan général de restauration des conditions d'habitat du caribou forestier d'Essipit. Les coûts du décompactage par une pelle excavatrice et d'épandage de matière organique ainsi que les coûts de reboisement sont estimés à 2900 \$/km (Génivar 2013).

6.5.4 Avantages et inconvénients

Cette méthode permet de diminuer l'érosion due à la présence de chemins forestiers. De plus, lorsqu'elle inclut un retrait du matériel instable du remblai, elle permet également de limiter les glissements de terrain (Daigle 2010). De même, lorsque les superficies traitées sont reboisées, cette méthode permet de minimiser les zones où il y a perte de superficie productive et perte d'habitat d'intérieur. C'est également une méthode de retrait des chemins relativement peu coûteuse qui permet de remettre en production un chemin forestier et qui limite les coûts d'entretien du réseau routier forestier. De même, les zones reboisées ne pourront être utilisées par des véhicules motorisés, ce qui peut limiter les problématiques d'évitement par la faune et de collision avec la faune. De plus, le contrôle de l'accès aux ressources du territoire est assuré dans ces zones.

L'érosion liée à la présence de chemins forestiers est surtout problématique pour les chemins situés en bas de pente et l'étude de Madej (2001) a démontré que cette méthode de retrait du chemin était la moins efficace pour contrer l'érosion dans les milieux de pentes. Il faut souligner également que cette méthode ne permet pas la restauration complète de l'hydrologie de surface et de subsurface, ni de prévenir la totalité de l'érosion du remblai, puisque les pentes naturelles ne sont pas réaménagées. De plus, puisque les pentes ne sont pas réaménagées, les zones traitées peuvent possiblement être utilisées par un VTT.

6.6 Le retrait des chemins forestiers par l'ajout de sol de surface

6.6.1 Généralités

La mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers par le retrait des chemins en ajoutant du sol de surface est une méthode non documentée utilisée par le Groupement forestier coopératif Baie-des-Chaleurs pour la remise en production d'aires de stockage et de chemins associés à l'industrie éolienne. Elle consiste en la remise en place du sol de surface préalablement décapé lors de la construction du chemin sans la décompaction du sol (comm. pers. Pierre-Luc Desjardins, Groupement forestier coopératif Baie-des-Chaleurs, 24 avril 2014).

6.6.2 Spécifications techniques de construction

Pour cette méthode, le sol de surface se trouvant dans l'emprise du chemin est redéposé sur la surface du chemin non décompacté à l'aide d'une pelle excavatrice (Annexe II). On cherche à répartir uniformément une trentaine de centimètres de sol de surface de manière à obtenir un environnement intéressant pour la plantation des semis. Ceci suppose l'épandage approximatif de 2100 m³ de sol de surface par hectare. L'apport de sol de surface *ex situ* doit être effectué s'il manque de matériel sur place. Par la suite, la plantation de semis peut être effectuée (Annexe III). Cette opération doit être réalisée tôt au printemps et les plants ne devraient pas être mis en terre plus tard qu'à la fin mai ou au début de juin afin d'assurer le succès de la régénération. De même, il est important de planter rapidement après l'épandage du sol de surface, car celui-ci a tendance à se durcir rapidement. Il est également préférable d'utiliser du sol de surface qui a été récemment excavé car le sol de surface des vieux chemins abandonnés a tendance à être lessivé (comm. pers. Pierre-Luc Desjardins, Groupement forestier coopératif Baie-des-Chaleurs, 24 avril 2014).

6.6.3 Coûts

Le coût de l'utilisation de cette mesure d'atténuation des chemins forestiers est surtout dépendant de la présence ou non de sol de surface sur le site à traiter. Dans les meilleures conditions et avec le sol de surface en place, l'estimation des coûts de retrait est de 1000 \$/km de chemin. Dans les cas où la matière n'est pas présente sur le site, les coûts peuvent s'élever à 10 000 \$/km et plus (comm. pers. Pierre-Luc Desjardins, Groupement forestier coopératif Baie-des-Chaleurs, 24 avril 2014).

6.6.4 Avantages et inconvénients

Cette méthode permet de diminuer l'érosion due à la présence de chemins forestiers. De même, puisque les superficies traitées sont reboisées, cette méthode permet de minimiser les zones où il y a perte de

superficie productive et de forêt d'intérieur. C'est une méthode de retrait du chemin qui peut être peu coûteuse lorsque le sol de surface nécessaire à sa réalisation se trouve sur place. Cette méthode peut également être intéressante et efficace à utiliser pour les chemins forestiers jeunes, ayant été peu utilisés et peu gravelés. De même, les zones reboisées ont un impact minimal sur la qualité visuelle du paysage et ne peuvent être utilisées par des véhicules motorisés. Par conséquent, les dérangements pour la faune en sont grandement réduits et l'accès aux ressources du territoire est contrôlé. De plus, cette méthode de retrait des chemins permet de diminuer les coûts d'entretien du réseau routier forestier.

L'utilisation de cette méthode est peu documentée et son efficacité réelle est inconnue. Cette méthode ne permet probablement pas la restauration complète de l'hydrologie de surface et de subsurface, ni de prévenir l'érosion du remblai. De plus, puisque les pentes ne sont pas réaménagées, les zones traitées peuvent possiblement être utilisées par un VTT.

6.7 Le retrait des chemins forestiers par la méthode de mycorestauration

6.7.1 Généralités

La mycorestauration est une méthode alternative de retrait des chemins forestiers qui permet d'atténuer les impacts des chemins forestiers en assurant la végétalisation de ceux-ci. Cette méthode a été mise au point de manière à réduire les coûts associés au retrait des chemins forestiers, tout en permettant la reprise de la végétation et la stabilisation de la surface des chemins (Stamets et Sumerlin 2003). Cette méthode de retrait des chemins a entre autres été utilisée pour réduire l'érosion et la sédimentation de rivières aux saumons (Stamets et Sumerlin 2003). Elle consiste à l'ajout d'un paillis de matière organique inoculé de champignons mycorhiziens. Cette mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers a cependant été peu étudiée.

6.7.2 Spécifications techniques de construction

La méthode par mycorestauration consiste à épandre sur le chemin forestier un paillis de copeaux de bois inoculé de champignons mycorhiziens qui permet d'accélérer sa décomposition. Des résidus forestiers (branches, écorces, aiguilles) peuvent être utilisés à cet effet (Annexe II). Des spores sont incorporées dans la déchiqueteuse lors du déchiquetage des résidus pour assurer leur inoculation. Le recouvrement d'une couche de 30 cm de paillis de résidus est suggéré. Les champignons inoculés devraient décomposer le paillis, qui se transforme par la suite pour former la couche supérieure fertile du sol (Stamets et Sumerlin 2003). Cette méthode peut également être utilisée conjointement à la décompaction du sol.

6.7.3 Coûts

La littérature consultée n'a pas permis d'estimer les coûts de mise en œuvre.

6.7.4 Avantages et inconvénients

Cette technique permet la réduction de la sédimentation dans les cours d'eau. Puisque la surface de roulement du chemin n'a pas été modifiée, la reconstruction du chemin en cas de besoin s'en retrouve facilitée. Cette technique peut possiblement contribuer à la réduction de la perte d'habitat d'intérieur et à la restauration écologique des anciens chemins forestiers. De même, plusieurs problématiques associées à la faune peuvent être réduites avec cette méthode comme l'évitement par la faune ou le risque de collision avec des véhicules. Cette méthode permet de réduire les coûts d'entretien du réseau routier forestier. C'est une méthode de retrait à relativement faibles coûts lorsqu'il n'y a pas de décompaction du chemin, ce qui la rend attrayante (Stamets et Sumerlin 2003).

Cependant, l'étude de Trudeau (2005), qui documente l'utilisation d'un paillis de 10 cm d'épaisseur de copeaux sur un chemin préalablement décompacté en Arizona remet en cause l'efficacité de cette technique où les parcelles traitées n'ont montré aucun effet sur l'établissement de la végétation. L'année suivante, le taux de survie des champignons était de 0 % et les auteurs concluent que l'espèce inoculée était inadaptée à l'habitat dans lequel elle a été introduite (Trudeau 2005). De plus, en l'absence d'une décompaction du sol, les problématiques liées au ruissellement de surface pourraient persister. Il est également peu probable, si la remise en production de ces superficies n'est pas assurée, que ces zones puissent se reboiser naturellement sur un sol compacté. De plus, puisque les pentes ne sont pas réaménagées, les zones traitées peuvent possiblement être utilisées par un VTT. Par conséquent, l'accès aux ressources du territoire n'est que partiellement contrôlé. L'utilisation de cette méthode étant peu documentée, son efficacité réelle demeure inconnue.

6.8 Le retrait des chemins par la méthode du réaménagement partiel de la pente naturelle

6.8.1 Généralités

Le retrait des chemins par la méthode du réaménagement partiel de la pente naturelle permet d'atténuer les impacts négatifs des chemins forestiers en rétablissant partiellement l'inclinaison de la pente sur le chemin (Figure 10; Merrill et Casaday 2003c). Cette méthode a été utilisée dans l'Ouest américain avec l'objectif principal de limiter l'érosion et l'apport de sédiments aux cours d'eau. Plus précisément, cette méthode cherche à restaurer l'écoulement naturel de l'eau (Madej 2001), à limiter les risques de glissements de terrain (Switalski *et al.* 2004), à rétablir partiellement le drainage naturel sur la pente et à restaurer partiellement l'hydrologie de surface et de subsurface (Merrill et Casaday 2003c). Pour ce faire, cette méthode diminue la quantité de remblais et élimine l'écoulement sur la chaussée du chemin (Walder et Bagley 1999, Merrill et Casaday 2003b). Cette méthode est considérée comme une méthode de retrait des chemins intensive, car en plus de la décompaction de la surface du chemin, elle implique le déplacement d'une bonne partie du remblai.

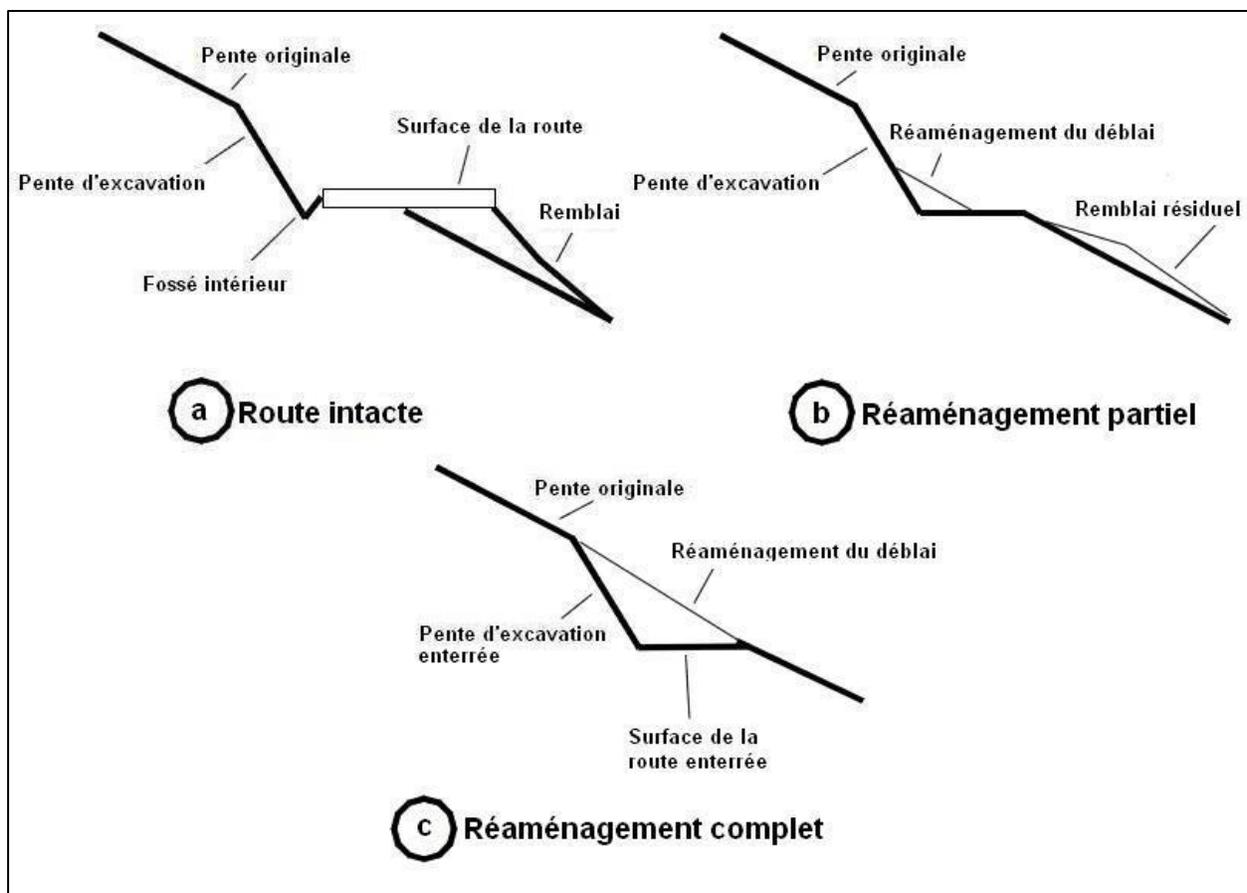


Figure 10. Diagramme schématique (a) d'un chemin forestier intact, (b) d'un réaménagement partiel de la pente naturelle et (c) d'un réaménagement complet de la pente naturelle (adaptée de Teasley 2002).

6.8.2 Spécifications techniques de construction

Les étapes du réaménagement partiel se rapprochent de celles du réaménagement complet de la pente naturelle (voir la section 6.9), mais sans que le remblai ne soit complètement retiré et sans que la pente naturelle ne soit complètement rétablie. Suite au retrait de la végétation sur le remblai, on procède au décompactage du chemin à une profondeur minimale de 30 cm avec un buteur muni d'une défonceuse (ou tout autre équipement adéquat). Par la suite, le buteur peut initier le réaménagement de la pente naturelle en poussant le matériel du remblai vers le déblai. Une pelle excavatrice se charge ensuite de déplacer le monticule du remblai créé par le buteur vers le déblai. Le matériel organique préalablement retiré du remblai peut finalement être réétendu sur la surface de l'ancien chemin pour contribuer à stabiliser le matériel en place (Merrill et Casaday 2003c).

Pour s'assurer que le chemin de la pente partiellement réaménagée ne puisse canaliser le ruissellement de l'eau, certaines structures peuvent être construites. À cet effet, des rigoles de drainage, des dépressions de drainage et des digues de déviation peuvent être utilisées pour diriger l'eau dans le sens naturel de la pente et limiter l'érosion (Figure 11). Le réaménagement partiel implique le déplacement d'entre 1000 et 2000 m³ de matériel par kilomètre de chemin traité (Madej 2001). Dans l'écosystème côtier du Nord de la Californie, où la végétalisation naturelle est rapide, aucun épandage de paillis de

matière organique et aucun reboisement ne sont effectués suite au réaménagement des pentes (Madej 2001). Dans les conditions gaspésiennes et pour s'assurer d'un retour rapide du couvert forestier, il est probablement nécessaire d'ajouter de la matière organique (Annexe II) et le reboisement demeure une étape incontournable (Annexe III).

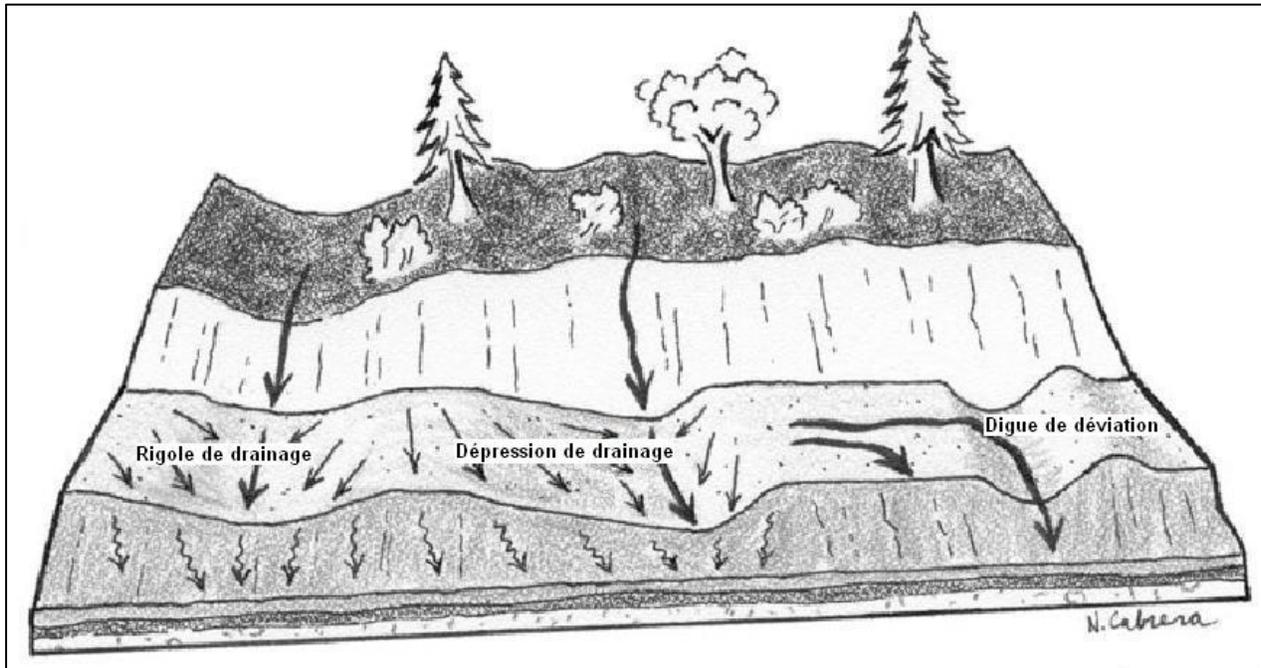


Figure 11. Utilisation de structures de drainage pour diriger l'eau dans le sens naturel de la pente dans les chemins fermés par réaménagement partiel de la pente naturelle (adaptée de Merrill et Casaday 2001).

6.8.3 Coûts

Plusieurs variables influençant les coûts de l'opération ont été identifiées. Ainsi, l'expérience de l'opérateur (Weaver et Hagans 1990, Center for Northern Forest Ecosystem Research 2011), la quantité de matériel devant être déplacé (Switalski *et al.* 2004), la largeur du chemin (Atkins *et al.* 2001), la nature du matériel qui compose le chemin (Atkins *et al.* 2001; comm. pers. Patrick Pineault, Forêt Montmorency, 14 avril 2014), l'accessibilité à la matière organique (comm. pers. Patrick Pineault, Forêt Montmorency, 14 avril 2014), les conditions du site (Center for Northern Forest Ecosystem Research 2011), l'équipement utilisé (Weaver et Hagans 1990, Atkins *et al.* 2001, Center for Northern Forest Ecosystem Research 2011), la dimension de la végétation existante sur ou près du chemin (Atkins *et al.* 2001), la quantité de traverses de cours d'eau à enlever (Center for Northern Forest Ecosystem Research 2011), les activités de suivi (Atkins *et al.* 2001), l'accessibilité du site et la quantité de chemin à traiter influencent les coûts de l'opération (comm. pers. Dan Myles, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014).

En Californie, Weaver et Hagan (1990) évaluent à 1500 à 6000 \$/km les coûts de réaménagement partiel de la pente naturelle.

6.8.4 Avantages et inconvénients

Cette méthode restaure partiellement le système hydrologique, ce qui permet de limiter considérablement les problèmes d'érosion. Lorsqu'elle est jumelée au retrait des traverses de cours d'eau et que la végétalisation est assurée, cette méthode est très efficace pour contrer l'érosion (Daigle 2010). Lorsque les superficies traitées sont reboisées, cette méthode permet également de minimiser les zones où il y a perte de superficie productive et d'habitat d'intérieur. Ces chemins ne pouvant plus être utilisés par des véhicules motorisés, les dérangements pour la faune en sont grandement réduits et l'accès aux ressources du territoire est limité. De plus, cette méthode de retrait des chemins permet de diminuer les coûts d'entretien du réseau routier forestier.

Cependant, puisque le remblai n'est pas complètement excavé et déplacé pour remodeler la pente, les risques d'érosion et de glissements de terrain demeurent partiellement présents. De plus, cette pratique ne permet pas de restaurer le patron naturel de l'écoulement de l'eau sur la pente. De même, cette méthode ne permet pas la restauration complète de l'hydrologie de surface et de subsurface (Merrill et Casaday 2003c) et n'est pas la plus efficace pour prévenir contre l'érosion du remblai (Merrill et Casaday 2001).

6.9 Le retrait des chemins par la méthode du réaménagement complet de la pente naturelle

6.9.1 Généralités

Le retrait des chemins par la méthode du réaménagement complet de la pente naturelle permet d'atténuer les impacts négatifs des chemins forestiers en rétablissant l'inclinaison de la pente sur le chemin (Merrill et Casaday 2003b). Cette méthode a été utilisée dans l'Ouest américain avec l'objectif principal de limiter l'érosion et l'apport de sédiments aux cours d'eau. Plus précisément, cette méthode cherche à restaurer l'écoulement naturel de l'eau (Madej 2001), à limiter les risques de glissements de terrain (Switalski *et al.* 2004), à rétablir le drainage naturel sur la pente et à restaurer partiellement l'hydrologie de surface et de subsurface (Merrill et Casaday 2003c). Pour ce faire, cette méthode diminue la quantité de remblais et élimine l'écoulement sur la chaussée du chemin (Walder et Bagley 1999, Merrill et Casaday 2003b). C'est la méthode utilisée lorsque le réaménagement complet du système hydrologique est nécessaire pour assurer la stabilité du chemin et pour prévenir l'érosion (Merrill et Casaday 2001). Elle a également été utilisée avec l'objectif principal de remettre en production des chemins forestiers (comm. pers. Patrick Pineault, Forêt Montmorency, 14 avril 2014). Cette méthode de retrait des chemins est considérée comme la plus intensive (Moll 1996, Merrill et Casaday 2003b). Plusieurs milliers de kilomètres de chemins forestiers sont traités annuellement par cette méthode de retrait aux États-Unis (Lloyd *et al.* 2013). Elle est surtout pratiquée pour des raisons esthétiques et aux endroits pour lesquels les risques d'érosion sont élevés (Merrill et Casaday 2003b). Cette méthode de retrait des chemins forestiers est généralement combinée au retrait des traverses de cours d'eau (Merrill et Casaday 2001).

6.9.2 Spécifications techniques de construction

Merrill et Casaday (2001) proposent une méthode de réaménagement complet de la pente naturelle des chemins forestiers en plusieurs étapes (Figure 12). Un chemin qui a été construit (Figure 12.1) a été altéré par le passage répété des véhicules (Figure 12.2). Suite au retrait du matériel végétal du remblai (Merrill et Casaday 2003b), la décompaction du chemin est conduite par un bouteur muni d'une défonceuse ou tout autre équipement adéquat (Figure 12.3; Annexe I). Le réaménagement de la pente est ensuite initié par un bouteur qui laisse un monticule de matériel dans le remblai de manière à limiter le déplacement latéral du matériel vers le bas (Figure 12.4). Une pelle excavatrice vient ensuite déplacer le monticule laissé par le bouteur dans le déblai (Figure 12.5). Dans certains environnements où la végétation et la pente le permettent, le bouteur peut opérer sous le remblai et l'usage d'une pelle excavatrice n'est alors pas nécessaire (Merrill et Casaday 2003b). Le réaménagement final de la pente naturelle est complété par le bouteur (Figure 12.6). Le matériel organique préalablement retiré du remblai peut être réétendu sur la surface de l'ancien chemin pour contribuer à stabiliser le matériel en place (Merrill et Casaday 2001). De plus, le matériel excavé en surplus (s'il y a lieu) devrait être exporté dans des endroits stables de manière à limiter l'érosion au maximum (Merrill et Casaday 2003b). Un réaménagement complet de la pente naturelle exige en moyenne le déplacement de 6000 m³ de matériel par kilomètre de chemin traité (Madej 2001).



Figure 12. Illustration d'une méthode de réaménagement complet de la pente naturelle (tirée de Merrill et Casaday 2001).

Dans l'écosystème côtier du Nord de la Californie, où la végétalisation naturelle est rapide, aucun épandage de matière organique et aucun reboisement ne sont effectués suite au réaménagement des pentes (Madej 2001). Dans les conditions gaspésiennes et pour s'assurer d'un retour rapide du couvert forestier, il est probablement nécessaire d'ajouter de la matière organique (Annexe II) et le reboisement demeure une étape incontournable (Annexe III).

6.9.3 Coûts

Plusieurs estimations des coûts liés à l'application de cette méthode ont été suggérées (Tableau 4) et varient en fonction de différentes variables pouvant influencer les coûts de l'opération. Ainsi, l'expérience de l'opérateur (Weaver et Hagans 1990, Center for Northern Forest Ecosystem Research

2011), la quantité de matériel devant être déplacé (Switalski *et al.* 2004), la largeur du chemin (Atkins *et al.* 2001), la nature du matériel qui compose le chemin (Atkins *et al.* 2001; comm. pers. Patrick Pineault, Forêt Montmorency, 14 avril 2014), l'accessibilité à la matière organique (comm. pers. Patrick Pineault, Forêt Montmorency, 14 avril 2014), les conditions du site (Center for Northern Forest Ecosystem Research 2011), l'équipement utilisé (Weaver et Hagans 1990, Atkins *et al.* 2001, Center for Northern Forest Ecosystem Research 2011), la dimension de la végétation existante sur la surface de roulement, le remblai ou le déblai du chemin, la nécessité d'exporter le remblai excédentaire (Atkins *et al.* 2001), la quantité de traverses de cours d'eau à enlever (Center for Northern Forest Ecosystem Research 2011), les activités de suivi (Atkins *et al.* 2001), l'accessibilité du site et la quantité de chemin à traiter influencent les coûts de l'opération (comm. pers. Dan Myles, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014).

Tableau 4. Évaluation des coûts de réaménagement de la pente naturelle.

Localisations	Coûts (\$/km)	Sources
Californie	3125 à 6250	Weaver et Hagans (1990)
Californie	10 000 à 16 500	Teasley (2002)
Ouest américain	3000 à 200 000	Switalski <i>et al.</i> (2004)
Washington	1328 à 6625 (moyenne 3500)	Harr et Nichols (1993)
Idaho	1900 à 12 500	Bradley (1997)
Forêt Montmorency (Québec)	2500 à 3000*	Comm. pers. Patrick Pineault, Forêt Montmorency, 14 avril 2014

*Ces coûts sont estimés à l'hectare (\$/ha). Ils proviennent d'un dispositif où des jetées et des chemins ont été remis en production conjointement. Un chemin d'une emprise de 10 m représente une superficie d'un hectare par kilomètre de long.

6.9.4 Avantages et inconvénients

C'est la méthode de restauration du système hydrologique et de protection contre l'érosion la plus complète, puisque l'hydrologie de surface et de subsurface est complètement rétablie et le remblai complètement retiré (Merrill et Casaday 2003b). Cette méthode est particulièrement efficace pour contrer l'érosion lorsqu'elle est jumelée au retrait des traverses de cours d'eau et que la végétalisation est assurée (Daigle 2010). Lorsque le chemin est reboisé, cette méthode permet de limiter les pertes de superficie productive de même que la perte d'habitat d'intérieur. Ces chemins ne pouvant plus être utilisés par des véhicules motorisés, les dérangements pour la faune en sont grandement réduits et l'accès aux ressources du territoire est limité. De plus, le réaménagement complet de la pente naturelle est une méthode qui permet de mitiger adéquatement les impacts négatifs de la présence d'un chemin forestier d'un point de vue esthétique (Merrill et Casaday 2003b). Enfin, cette méthode de retrait des chemins permet de diminuer les coûts d'entretien du réseau routier forestier.

Néanmoins, cette méthode représente probablement la méthode la plus coûteuse de retrait des chemins forestiers.

6.10 Le retrait des chemins par la méthode par conversion en sentiers

6.10.1 Généralités

Cette méthode permet d'atténuer les impacts des chemins forestiers en permettant leur conversion en sentiers à vocation récréotouristique. Elle consiste en l'excavation du remblai et en la stabilisation du matériel en place tout en effectuant la conversion d'une partie de la chaussée du chemin en sentier (Figure 13). Certains utilisateurs de secteurs à haut potentiel récréotouristique peuvent notamment bénéficier de cette pratique plutôt que d'autres méthodes de retrait des chemins.

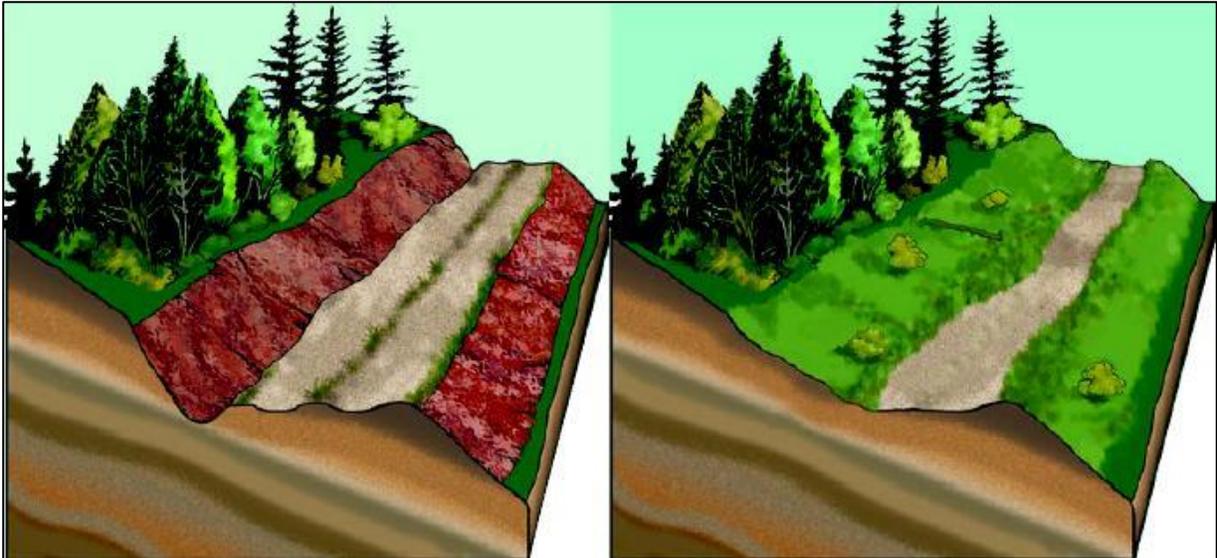


Figure 13. Conversion d'un chemin forestier (image de gauche) en sentier récréotouristique (image de droite; tirée de Merrill et Casaday 2001).

6.10.2 Spécifications techniques de construction

L'élimination de la végétation du remblai est la première étape de conversion. Par la suite, l'identification de la position du sentier sur la chaussée du chemin doit être conduite à l'aide de peinture ou de ruban. Un bouteur munit d'une défonceuse ou toute autre machinerie adéquate doit par la suite décompacter le chemin d'une profondeur minimale de 30 cm du côté du fossé intérieur du chemin forestier (Annexe I). La même opération de décompaction est par la suite effectuée pour la portion du chemin située du côté du remblai. Une fine couche de matériel doit recouvrir le futur sentier de manière à ce qu'il ne soit pas abîmé ou décompacté par le passage répété de la machinerie. De manière similaire au réaménagement des pentes naturelles, le bouteur doit prendre le matériel du remblai et le déplacer sur le déblai. La pelle excavatrice doit par la suite éliminer le monticule de terre formé sur le remblai (Merrill et Casaday 2003d). Un paillis de matière organique peut être déposé sur les bords du sentier (Annexe II; Merrill et Casaday 2001), lesquels devraient préférablement être reboisés (Annexe III). Par la suite, la pelle excavatrice enlève le matériel qui recouvrait le sentier. Les traverses de cours d'eau doivent également être retirées (Merrill et Casaday 2003d), tel qu'expliqué à la section 6.4.

6.10.3 Coûts

La littérature consultée n'a pas permis d'estimer les coûts de mise en œuvre.

6.10.4 Avantages et inconvénients

Cette technique de retrait des chemins permet de limiter l'érosion causée par la présence de chemins forestiers, tout en contribuant à rendre le territoire accessible à certains utilisateurs. Pour les endroits à haut potentiel récréotouristique où des travaux de construction de sentier et des travaux de retrait des chemins sont prévus, cette méthode permet d'optimiser les coûts associés aux deux activités simultanément (Merrill et Casaday 2001). Cette méthode permet également d'améliorer l'aspect esthétique des chemins forestiers dans le paysage (Merrill et Casaday 2003d). Certaines problématiques liées à la faune comme l'évitement, la perte d'habitat d'intérieur, les risques de collision et le contrôle de l'accès aux ressources peuvent être mitigées avec cette méthode, bien que la présence d'un sentier persiste. De même, sans que le reboisement du chemin soit complet, cette méthode permet de limiter la diminution des superficies forestières productives.

Tous les chemins ne sont pas adéquats pour cette conversion. Les chemins forestiers mal conçus ou trop en pente continuent d'être une source d'érosion et de sédimentation des cours d'eau lorsque convertis et devraient plutôt être traités par une autre méthode de retrait des chemins (Merrill et Casaday 2001). De plus, cette technique ne devrait pas être utilisée dans les zones à faible potentiel récréatif. Les coûts d'entretien du réseau routier forestier, bien que plus faibles, demeurent cependant présents et doivent être assurés par le gestionnaire. Enfin, les problématiques d'érosion, bien que moindre, peuvent persister.

7. Comparaison des différentes mesures d'atténuation pour répondre aux problématiques en lien avec les impacts des chemins forestiers

Les différentes mesures d'atténuation des impacts des chemins forestiers répondent de manières différentes aux problématiques reliées au réseau routier forestier. De même, les coûts approximatifs associés à chaque mesure varient considérablement (Tableau 5). Il est donc important, lors de l'évaluation de la méthode d'atténuation à mettre en place, de s'assurer que c'est la plus adaptée aux besoins de l'utilisateur en fonction des problématiques auxquels il tente de répondre. Les conditions de terrain doivent également être prises en compte (Voir volet II).

L'abandon naturel des chemins forestiers est une mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers à coût nul, qui réduit les coûts d'entretien du réseau routier forestier sans cependant répondre à aucune autre problématique. Les mesures d'atténuation par blocage avec une barrière et avec un panneau interdisant l'accès sont également des mesures de mitigation à faibles coûts qui peuvent être mises en place dans l'optique d'une réouverture. Certains coûts d'entretien sont cependant à prévoir pour ces chemins puisqu'il est possible que des travaux d'entretien de base y soient nécessaires à cause de la nature temporaire associée à ce type de fermeture. Ce n'est par contre pas le cas avec les mesures d'atténuation par blocage avec des monticules de terre et des blocs de roche, qui, étant des mesures d'atténuation permanentes, permettent un arrêt complet de l'entretien. Toutes les méthodes de blocage de l'accès au territoire permettent de répondre aux mêmes problématiques, soit de limiter l'évitement par la faune, de limiter les risques de collision des véhicules avec la faune et de limiter l'accès non contrôlé aux ressources du territoire. Ces mesures ne permettent néanmoins pas de répondre aux problématiques reliées à l'érosion, à la perte de superficie forestière et à la perte d'habitat d'intérieur.

Parmi les mesures d'atténuation impliquant une modification des infrastructures, les digues de déviation et le refaçonnage de la surface du chemin permettent sensiblement la même chose, soit de limiter partiellement les problématiques reliées à l'érosion sans avoir d'impacts sur les autres problématiques. Les fossés de déviation et les retraits des traverses de cours d'eau, pour leur part, permettent aussi de répondre aux problématiques reliées à l'érosion et la sédimentation des cours d'eau. Si ces mesures permettent de plus de bloquer l'accès aux véhicules, elles peuvent aussi réduire les collisions avec la faune, l'évitement par la faune et l'accès non contrôlé aux ressources, tout en réduisant les coûts d'entretien du réseau routier forestier. Ces deux méthodes n'ont cependant aucun impact sur les problématiques reliées à la perte de couvert forestier, telles que la perte d'habitat d'intérieur, la dynamique prédateur-proie et la diminution des superficies productives.

Les mesures d'atténuation qui impliquent le retrait des chemins forestiers permettent toutes de répondre, à différents niveaux, à l'ensemble des problématiques. Les méthodes de retrait des chemins sans réaménagement de la pente naturelle, par ajout de sol de surface ou avec réaménagement partiel ou complet de la pente naturelle sont celles qui répondent le plus adéquatement à l'ensemble des problématiques. Cependant, ce sont des méthodes qui peuvent être plus coûteuses. Les méthodes par

mycorestauration et par conversion en sentier, pour leur part, ne sont pas aussi efficaces que les méthodes de retrait des chemins mentionnées ci-dessus pour contrer l'érosion, les problématiques liées à la faune (éviter, perte d'habitat d'intérieur, dynamique prédateur-proie) et la diminution de la superficie productive parce qu'elles ne peuvent en effet assurer efficacement un retour de la strate arborescente sur toute la superficie du chemin. Elles permettent tout de même de réduire les coûts d'entretien du réseau routier forestier, tout en éliminant les risques de collision avec la faune. Les coûts de mise en œuvre de ces mesures d'atténuation demeurent néanmoins inconnus.

Le choix des mesures d'atténuation impliquant le retrait des chemins forestiers est souvent influencé par les conditions de terrain. Par exemple, la méthode de base est suffisante pour les chemins situés dans des paysages sans relief, tandis que la méthode du réaménagement naturel de la pente est plus appropriée aux chemins situés dans des pentes fortes. De même, la méthode par l'ajout de sol de surface peut être conseillée pour les chemins récents ayant été peu utilisés et dont le sol de surface est accessible sur place. Cette méthode devrait néanmoins être déconseillée pour d'anciens chemins forestiers très compactés. Plusieurs autres conditions de terrain doivent être prises en compte lors du choix d'une mesure d'atténuation impliquant le retrait des chemins. Il est donc important, en fonction des problématiques à répondre, de prendre en compte les conditions du site lors de la sélection d'une mesure d'atténuation.

Enfin, il faut souligner que plusieurs mesures d'atténuation des chemins forestiers peuvent être utilisées conjointement de manière à répondre à un maximum d'objectifs. Par exemple, le retrait des chemins forestiers et le blocage permanent de la voie d'accès sont souvent jumelés au retrait des traverses de cours d'eau, qui demandent beaucoup d'entretien et qui peuvent être une source non négligeable de sédiments dans les cours d'eau (comm. pers, Brad Sutherland, FPInnovations, 24 avril 2014). Des infrastructures de drainage limitant l'érosion, telles que les fossés et les digues de déviation, peuvent également être utilisées conjointement à des méthodes de blocage des chemins.

Tableau 5. Capacité de chaque mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers à répondre aux problématiques en lien avec le réseau routier.

Mesure d'atténuation des impacts des chemins forestiers	Érosion et sédimentation des cours d'eau	Évitement par la faune	Perte d'habitat d'intérieur	Dynamique prédateur-proie	Collision avec la faune	Accès non-contrôlé aux ressources	Diminution superficielle forestière productive	Coûts d'entretien du réseau routier	Coûts relatifs de mise en œuvre
Abandon naturel	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	++	0
Barrière avec cadenas	∅	++	∅	∅	++	++	∅	+	\$ à \$\$\$
Monticules de terre	∅	+	∅	∅	++	++	∅	++	\$
Panneau interdisant l'accès	∅	++	∅	∅	++	++	∅	+	n.d.
Blocs de roche	∅	++	∅	∅	++	++	∅	++	\$ à \$\$
Fossés de déviation (avec circulation)	+	∅	∅	∅	∅	∅	∅	+	\$
Fossés de déviation (sans circulation)	+	++	∅	∅	++	++	∅	++	\$
Digue de déviation	+	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	\$
Refaçonnage de la surface	+	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	\$\$\$\$
Retrait des traverses de cours d'eau (avec circulation)	++	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	\$ à \$\$\$\$
Retrait des traverses de cours d'eau (sans circulation)	++	++	∅	∅	++	++	∅	++	\$ à \$\$\$\$
Retrait par la méthode sans réaménagement de la pente naturelle	++	++	++	++	++	++	++	++	\$\$\$
Retrait par l'ajout de sol de surface	++	++	++	++	++	++	++	++	\$\$ à \$\$\$\$
Retrait par la méthode de mycorestauration	++	++	++	++	++	++	++	++	n.d.
Retrait par le réaménagement partiel de la pente naturelle	++	++	++	++	++	++	++	++	\$\$ à \$\$\$\$
Retrait par le réaménagement complet de la pente naturelle	+	++	+	+	++	++	+	++	\$\$ à \$\$\$\$
Retrait par la conversion en sentiers	+	+	+	+	++	+	+	++	n.d.

Légende : ∅ = Aucun impact, + = Impacts positifs, ++ = Impacts très positifs, n.d. = non disponible

\$ = 0 à 1000 \$/km, \$\$ = 1000 à 2500 \$/km, \$\$\$ = 2500 à 5000 \$/km, \$\$\$\$ = 5000 \$/km +.

Volet II : Mise en œuvre des méthodes à favoriser dans le contexte gaspésien

8. Choix des mesures d'atténuation à évaluer en priorité pour la Gaspésie

Certaines mesures d'atténuation sont plus susceptibles d'être appliquées en Gaspésie en raison des problématiques propres au territoire en matière de chemins forestiers. Par conséquent, basées sur ce critère, certaines mesures ont été sélectionnées par des intervenants du milieu (Yves Briand et Jérôme Fournier de la CRÉGÎM, Claude Isabel du Parc national de la Gaspésie et les chercheurs du Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles). Les mesures sélectionnées sont le blocage des chemins avec des blocs de roches ou des monticules de terre, le retrait des traverses de cours d'eau, le retrait des chemins par la méthode sans réaménagement de la pente naturelle et le retrait des chemins par la méthode avec réaménagement de la pente naturelle.

9. Conditions de site affectant l'application des mesures d'atténuation sélectionnées

Les conditions de site peuvent affecter l'utilisation et le choix des mesures d'atténuation à favoriser. Une synthèse de ces conditions provenant des informations contenues dans la revue de littérature du volet I est présentée ici.

Peu de conditions de site affectent la possibilité de mise en œuvre du blocage des chemins forestiers. Le blocage des chemins avec des blocs de roche doit cependant être effectué avec des roches de tailles suffisantes pour qu'elles ne soient pas déplacées par les usagers et elles doivent être présentes sur le site puisque leur importation peut s'avérer une alternative très coûteuse. Par conséquent, d'autres méthodes de blocage comme le blocage des chemins avec des monticules de terre ou autre devraient être favorisées dans ces cas-là.

Le retrait des chemins peut être utilisé dans toutes conditions de site. Cependant, lorsqu'il est utilisé sur des sites où la pente transversale au chemin est importante, le réaménagement de la pente est conseillé. En effet, ceci permet que les infrastructures des chemins, une fois retirés, ne demeurent pas visibles dans le paysage. De même, puisque le remblai du chemin est parfois instable, le retrait par réaménagement de la pente permet de limiter les problématiques d'érosion, et ce, surtout lorsqu'il est situé près d'un cours d'eau. Inversement, il est logique de retirer les chemins situés dans un paysage avec peu de relief en utilisant la méthode sans réaménagement de la pente. Finalement, aucune condition particulière affectant la faisabilité du retrait des traverses de cours d'eau n'a été identifiée.

10. Principaux facteurs faisant varier les coûts de mise en œuvre

La synthèse de la littérature effectuée dans le volet 1 a permis d'identifier, pour chaque mesure d'atténuation sélectionnée, plusieurs facteurs qui affectent leurs coûts de mise en œuvre. Plusieurs de ces facteurs sont communs à l'ensemble des mesures. Par exemple, les coûts associés au déplacement de la machinerie peuvent varier considérablement d'un site à l'autre et influencent les coûts de mise en œuvre de l'ensemble des mesures. De même, la largeur des chemins à traiter peut avoir une influence sur le temps nécessaire à l'opérateur pour compléter les opérations. La quantité d'opérations à effectuer (nombre de blocage, quantité de traverses ou de chemin à retirer dans la même zone) ainsi que le choix d'ajouter une mesure associée peuvent également affecter les coûts de mise en œuvre des différentes mesures d'atténuation (Tableau 6).

Tableau 6. Principaux facteurs affectant les coûts de mise en œuvre des mesures d'atténuation sélectionnées et principales mesures associées.

Mesures d'atténuation	Principaux facteurs qui influencent les coûts de mise en œuvre	Mesures associées
Blocage des chemins	Largeur du chemin	Retrait des traverses de cours d'eau
	Localisation du site (machinerie)	
	Nombre de blocage	
Retrait des traverses	Localisation du site (machinerie)	Fossé ou digue de déviation
	Dimension du ponceau (largeur et longueur)	
	Quantité de remblai	
Retrait des chemins sans réaménagement de la pente naturelle	Largeur du chemin	Retrait des traverses de cours d'eau
	Localisation du site (machinerie)	
	Quantité de chemin à retirer	
	Type de machinerie	
	Quantité de matière organique nécessaire	
Retrait des chemins avec réaménagement de la pente naturelle	Présence de matière organique sur le site	Retrait des traverses de cours d'eau
	Largeur du chemin	
	Localisation du site (machinerie)	
	Quantité de chemin à retirer	
	Type de machinerie	
	Quantité de matière organique nécessaire	
	Présence de matière organique sur le site	
Pente transversale du chemin (associée à la quantité de remblai)		

Certains facteurs faisant varier les coûts de mise en œuvre sont cependant propres à une mesure en particulier. Par exemple, en ce qui a trait au retrait des traverses de cours d'eau, la dimension (longueur et diamètre) des traverses a un impact sur le nombre d'heures de travail à effectuer par l'opérateur, ce qui influence les coûts de retrait. De manière générale, les ponts sont également plus coûteux à retirer

que les ponceaux. Par exemple, une étude de l'Ontario estime que le retrait d'un pont de 12 m requiert 2,5 h de travail, que le retrait d'un ponceau de 1500 à 2000 mm de diamètre requiert 1,5 h de travail et que le retrait d'un ponceau de moins de 1500 mm requiert 1 h de travail. Certaines conditions de terrain peuvent également contribuer à augmenter la quantité de travail requise par l'opérateur. Par exemple, la quantité de remblai à déplacer pour réaménager les berges du cours d'eau peut varier d'un ponceau à l'autre (Tableau 6).

Le retrait des chemins est moins coûteux à réaliser lorsque l'ajout de matière organique au chemin n'est pas nécessaire pour la remise en production. Les chemins à texture plus fine, comme des loams, et les chemins n'ayant pas été gravelés sont moins altérés et ont des besoins moins importants en apport de matière organique pour redevenir productifs. De même, les possibilités d'établissement de la végétation sont supérieures sur les chemins qui ont été moins compactés. La compaction est généralement associée à la fréquence de passage. Par conséquent, des chemins d'exploitation ou des chemins de classe 3 sont généralement moins compactés que les chemins plus fréquentés (Tableau 6).

Lorsque de la matière organique est nécessaire à la remise en production d'un chemin, le sol de surface présent sur le site, représente généralement un substrat de prédilection à utiliser puisqu'il est disponible sur place. Néanmoins, sur les vieux chemins, le sol de surface retiré lors de leur construction et placé en bordure de chemin est fréquemment absent du site, car il a été érodé et lessivé. Ceci implique l'importation *ex-situ* de sol de surface ou de matière organique, opération pouvant être très coûteuse. Par conséquent, les chemins plus jeunes sont généralement plus faciles à fermer que les chemins plus âgés. De même, la planification conjointe des activités de retrait des chemins et d'entretien des chemins peut contribuer à diminuer les coûts reliés à l'apport de matière organique. Lors du curetage des fossés, le sol de surface et la matière organique qui s'y accumulent peuvent être exportés sur le site de retrait de manière à limiter les coûts associés à l'importation de matière organique (Tableau 6).

Le type de machinerie utilisé peut aussi influencer les coûts des travaux, les machines plus grosses étant généralement plus productives. En ce qui a trait au retrait des chemins par réaménagement de la pente naturelle, la quantité de matériel à déplacer du remblai influence également le temps nécessaire à l'opérateur pour effectuer le réaménagement de la pente et, par conséquent, les coûts. Ainsi, de manière générale, plus la pente transversale au chemin est abrupte, plus les coûts associés au réaménagement de la pente sont élevés. La quantité de matériel à déplacer est également dépendante du type de réaménagement de la pente effectué. Un réaménagement partiel de la pente naturelle implique ainsi le déplacement d'une plus faible quantité de matériel que le réaménagement complet de la pente naturelle (voir revue de littérature sections 5.12 et 5.13). Finalement, lorsque le réaménagement de la pente est terminé, il est conseillé d'exporter le remblai restant (s'il y a lieu) dans un endroit stable. Bien qu'il ne soit pas toujours nécessaire d'effectuer cette étape, elle peut représenter des coûts importants (Tableau 6).

11. Évaluation des coûts applicables à la Gaspésie

Cette section vise à évaluer les coûts associés aux mesures d'atténuation des impacts des chemins sélectionnées pour la Gaspésie. L'évaluation des coûts est un élément important puisqu'elle permet d'optimiser la prise de décision et d'orienter les projets vers les meilleurs sites d'un point de vue des coûts.

11.1 Méthodologie

Collecte des données

L'évaluation des coûts associés à la mise en œuvre des différentes mesures d'atténuation des impacts des chemins forestiers en Gaspésie a été réalisée à l'aide d'estimations de spécialistes en voirie forestière œuvrant dans différentes MRC de la péninsule gaspésienne (Avignon, Bonaventure et Rocher-Percé). Pour ce faire, un questionnaire (présenté à l'Annexe 4) sur le temps et les coûts associés aux différentes modalités de blocage ou de retrait des chemins a été distribué aux spécialistes. Cette méthode permet d'apprécier les coûts associés à la mise en œuvre des mesures d'atténuation sélectionnées applicables à la Gaspésie. Sur les sept spécialistes contactés initialement, cinq ont rempli le questionnaire.

Les différents facteurs qui influencent les coûts de mise en œuvre des différentes mesures d'atténuation (Tableau 6) ont été pris en compte dans l'élaboration du questionnaire. En ce qui a trait à la largeur des chemins, conformément aux orientations du *Comité chemin* de la Gaspésie, seuls les chemins de classe 4 ont été considérés pour l'évaluation des coûts (comm. pers. Jérôme Fournier, CRÉGÎM, 25 juillet 2014). La largeur des chemins de classe 4 est considérée comme constante et fixée à 7 m (Desautels *et al.* 2009). Le choix du type de machinerie qui devrait préférentiellement être utilisé pour la réalisation d'une activité donnée a été laissé à la discrétion des spécialistes.

Le questionnaire remis aux spécialistes a permis l'estimation du temps et des coûts associés :

- ✓ Au déplacement de la machinerie de son lieu d'entreposage au lieu de réalisation des interventions;
Le calcul des coûts de déplacement peut être effectué en additionnant les coûts de chargement et de déchargement de la machinerie sur le fardier (lorsque nécessaire) et les coûts associés au déplacement de la machinerie de son site d'entreposage au site d'intervention. Il faut noter que les coûts de déplacement sont estimés en heure (et non en km) et qu'ils sont propres à chaque site d'intervention.

- ✓ Au blocage des chemins avec des monticules de terre ou des blocs de roche;
Les coûts associés au blocage des chemins ont été calculés pour des structures ne permettant pas le passage des véhicules (2 m de haut; Ministère des Ressources naturelles et de la Faune 2007). L'évaluation a été effectuée en prenant pour acquis que le matériel était disponible à proximité du chemin. De même, les coûts associés au blocage à l'aide de blocs de roche sont

évalués en prenant en compte que les blocs sont de fortes dimensions, de manière à être difficilement déplaçables sans machinerie.

✓ À la décompaction des chemins;

Les coûts sont calculés pour la décompaction des chemins à une profondeur suffisante pour permettre la croissance de la végétation (30 cm; Van Rees et Jackson 2001, Merrill et Casaday 2003b, 2003c, 2003a, 2003d).

✓ À l'incorporation du sol de surface présent dans l'emprise des chemins;

Les coûts sont calculés pour l'incorporation d'une couche de sol de surface suffisante pour permettre la croissance de la végétation au-dessus du chemin (15 cm; comm. pers. Patrick Pineault, Forêt Montmorency, 14 avril 2014).

✓ À l'importation de sol de surface d'un autre site;

Les coûts sont calculés pour une distance fixée arbitrairement à 50 km de la zone de réalisation des interventions. De même, de manière à incorporer une quantité de sol de surface suffisante à la croissance de la végétation au-dessus du chemin de classe 4, la quantité de sol de surface à importer est fixée à 1000 m³ par km de chemin.

✓ Au réaménagement de la pente naturelle d'un chemin;

Les facteurs faisant varier les coûts de réaménagement de la pente naturelle sur un site, comme la quantité de remblai à déplacer par la machinerie, ont été laissés à la discrétion des entrepreneurs.

✓ Au retrait des traverses de cours d'eau;

Les activités comprises dans le retrait des traverses de cours d'eau sont le retrait du remblai recouvrant le ponceau, le retrait du ponceau, le réaménagement des berges du cours d'eau et le réaménagement du lit du cours d'eau. La dimension des ponceaux a été déterminée en fonction de la classe de chemin traitée. Pour des chemins de classe 4, les ponceaux sont en grande majorité ronds et d'une dimension de 450 à 900 mm de diamètre (comm. pers. Robert Belzile, 06 août 2014). L'impact de la quantité de remblai à déplacer par la machinerie lors du retrait des traverses de cours d'eau sur les coûts a été laissé à la discrétion des entrepreneurs.

✓ Au reboisement des chemins.

Le reboisement comprend l'achat des plants et l'exécution des travaux. La densité de reboisement a été fixée par les auteurs de l'étude à 3 000 plants d'épinette noire par ha, soit, environ 1950 plants par kilomètre de chemins de classe 4 à reboiser. Cette densité représente une densité de reboisement élevée, qui permet le retour rapide de la végétation sur le site, et l'épinette noire est une essence tolérante aux conditions de site retrouvées sur les anciens chemins forestiers.

Les données fournies par les spécialistes incluent tous les frais associés à la réalisation des opérations (machinerie, main-d'œuvre, supervision, administration, etc.). De plus, les données fournies pour chaque activité ne comprennent pas les coûts associés au déplacement de la machinerie sur un site, mais seulement le temps et les coûts associés à la réalisation des activités sur le site.

11.2 Résultats et discussion

Les coûts associés aux mesures d'atténuation des impacts des chemins forestiers varient grandement d'une activité à l'autre. Par conséquent, il est important de considérer ceci lors de la sélection des sites à traiter. Le coût de déplacement de la machinerie est calculé séparément et n'est pas inclus dans le coût d'exécution des différentes méthodes.

Coût de déplacement de la machinerie

Le coût de déplacement de la machinerie doit être calculé séparément et ajouté au coût de mise en œuvre de chaque mesure d'atténuation. Le coût de déplacement de la machinerie qui doit être transporté par fardier (pelle mécanique, bouteur, TTS) est calculé à partir du tarif horaire du fardier ($127,15 \pm 19,17$ \$/heure en moyenne) et du temps de déplacement du site d'entreposage de la machinerie au site d'exécution des travaux. Les coûts de chargement et de déchargement de la machinerie sur le fardier doivent aussi être ajoutés. Le temps de chargement et de déchargement de la machinerie sur le fardier prend en moyenne $0,7 \pm 0,27$ heure pour les deux activités ensemble, ce qui représente un coût moyen de $100,58 \pm 54,26$ \$. Les coûts de déplacement d'un camion à benne sont calculés à partir de son tarif horaire ($79,10 \pm 4,72$ \$/h en moyenne) * le temps de déplacement du site d'entreposage de la machinerie au site d'exécution des travaux. On estime que lorsqu'une opération prend plus d'une journée de travail (environ 8h) il est plus rentable de ramener le fardier à son lieu d'entreposage que de le laisser sur place en attente. Le coût de ces allers/retours doit ainsi être ajouté aux coûts de déplacement de la machinerie. Différemment, lorsque le fardier est laissé sur place, il faut ajouter le temps d'attente de la machinerie. Ce qui signifie d'ajouter le temps d'exécution des travaux * le tarif horaire du fardier. Il faut noter qu'un des répondants du questionnaire considère un tarif horaire moindre ($75,00$ \$/h) pour le fardier lorsque celui-ci est en attente.

Coûts d'exécution du blocage des chemins avec monticule de terre ou blocs de roche :

Le blocage des chemins avec des monticules de terre ou avec des blocs de roche prend en moyenne 1,50 et 1,90 heure, respectivement (Tableau 7). Le nombre de blocages à effectuer déterminera le temps de réalisation de l'activité qui déterminera à son tour si le retour ou le temps d'attente du fardier doit être ajouté au coût.

Tableau 7. Temps d'exécution et coûts moyens pour le blocage des chemins forestiers en Gaspésie.

Activités	Machineries utilisées	Nombre de répondants*	Temps moyen d'exécution (h) ±écart-type	Coûts moyens (\$) ±écart-type
Blocage d'un chemin par monticule de terre	Pelle mécanique	5	1,50 ± 0,71	218,38 ± 114,81
Blocage d'un chemin par des blocs de roche	Pelle mécanique	5	1,90 ± 0,89	270,38 ± 123,34

Coûts d'exécution du retrait des chemins sans réaménagement de la pente naturelle

Afin de réaliser la décompaction simple ou celle effectuée simultanément avec l'incorporation du sol de surface, la plupart des spécialistes utilisent la pelle mécanique. Néanmoins, un des spécialistes a préféré l'utilisation d'un bouteur et un autre utilise le TTS simultanément avec la pelle mécanique. En ce qui a trait à l'importation de matière organique sur le site, les spécialistes estiment que 4 à 6 camions à benne sont nécessaires pour la réalisation de cette activité. De plus, il faut considérer le fait que seul 4 des cinq spécialistes ayant acceptés de répondre au questionnaire ont répondu à cette question. Il est intéressant de noter que si la distance d'importation de la machinerie avait été différente de celle fixée au départ (50 km), les résultats auraient pu être différents. Aussi on peut noter qu'une grande variation dans les coûts évalués par les spécialistes existe. Il faut noter que pour l'estimation des coûts de reboisement des chemins, plusieurs spécialistes n'ont pas été en mesure de répondre à cette question puisqu'ils ne sont pas des exécutants de travaux sylvicoles (Tableau 8). Les taux utilisés par le Bureau de mise en Marché des bois (2014) pour le reboisement de plants de forte dimension (424,00 \$/Mille plants) donnent une indication du coût à l'hectare du reboisement. Comme le reboisement est évalué ici à 3000 plants à l'hectare, ceci représente 1272,00 \$/ha, ou 827,00 \$/km de chemin reboisé.

Tableau 8. Temps d'exécution et coûts moyens pour les activités associés au retrait des chemins sans réaménagement de la pente naturelle en Gaspésie.

Activités	Machineries utilisées	Nombre de répondants	Temps moyen d'exécution (h)/km \pm écart-type	Coûts moyens (\$)/km \pm écart-type
Décompactation	Pelle mécanique Buteur TTS	4 1 1	16,60 \pm 1,95	2 479,25 \pm 459,35
Décompactation et incorporation du sol de surface de l'emprise	Pelle mécanique Buteur TTS	4 1 1	31,00 \pm 6,56	4 254,50 \pm 1 356,50
Importation de sol de surface d'un site situé à 50 km des opérations	Pelle mécanique Camions à benne	4 4	30,25 \pm 13,67	15 536,06 \pm 5 788,75

Coûts d'exécution du retrait des chemins avec réaménagement de la pente naturelle

L'équipement utilisé par les spécialistes pour la réalisation de cette activité est toujours la pelle mécanique. Il est intéressant de constater qu'il existe une grande variation dans l'évaluation des coûts associés à cette méthode par les entrepreneurs (Tableau 9).

Tableau 9. Temps d'exécution et coûts moyens pour les activités associés au retrait des chemins sans réaménagement de la pente naturelle en Gaspésie.

Activités	Machineries utilisées	Nombre de répondants	Temps moyen d'exécution (h)/km \pm écart-type	Coûts moyens (\$)/km \pm écart-type
Réaménagement de la pente naturelle	Pelle mécanique	5	50,00 \pm 39,37	6 922,50 \pm 5 883,40

Coûts d'exécution du retrait des traverses de cours d'eau

Une grande variation dans le temps d'exécution des travaux et en conséquence dans les coûts évalués existe pour le retrait des traverses de cours d'eau (Tableau 10). Cette variation pourrait être dû au fait que cette opération est rarement exécutée par les répondants au sondage ou au fait que les répondants ont considéré des conditions de sites qui diffèrent. Un des répondants a considéré l'utilisation d'un camion à benne dans le calcul du coût d'exécution des travaux. Le nombre de retraits à effectuer déterminera le temps de réalisation de l'activité qui déterminera à son tour si le retour ou le temps d'attente du fardier doit être ajouté au coût.

Tableau 10. Temps d'exécution et coûts moyens pour les activités associées au retrait des traverses de cours d'eau en Gaspésie.

Activités	Machineries utilisées	Nombre de répondants	Temps moyen d'exécution (h) ±écart-type	Coûts moyens (\$) ±écart-type
Coûts de retrait d'un ponceau de 450 mm	Pelle mécanique Camions à benne	5 1	5,60 ± 4,27	953,60 ± 769,07
Coûts de retrait d'un ponceau de 600 mm	Pelle mécanique Camions à benne	5 1	6,60 ± 4,56	1 110,20 ± 847,36
Coûts de retrait d'un ponceau de 750 mm	Pelle mécanique Camions à benne	5 1	7,80 ± 4,82	1 323,80 ± 926,50
Coûts de retrait d'un ponceau de 900 mm	Pelle mécanique Camions à benne	5 1	8,80 ± 5,40	1 480,40 ± 1 036,91

12. Conclusion

Plusieurs mesures peuvent être utilisées pour atténuer les impacts des chemins forestiers sur le milieu et chacune d'entre elles répond à des problématiques différentes. Par exemple, les mesures par abandon naturel permettent de diminuer les coûts d'entretiens du réseau routier, mais ne répondent à aucune autre problématique. Différemment, les mesures par blocage de l'accès permettent quant à elles de limiter certains impacts des chemins comme l'accès incontrôlé aux ressources et certains impacts sur l'habitat de la faune. Les mesures par modification des infrastructures permettent de répondre à plusieurs autres problématiques, dont l'érosion, la diminution de la superficie productive et améliore considérablement l'habitat de certaines espèces fauniques. Il est donc important d'identifier les problématiques reliées au réseau routier forestier concerné et d'évaluer laquelle des mesures d'atténuation est la plus appropriée pour y répondre.

Comme l'application de chaque mesure d'atténuation dépend du site à traiter, il est important de prendre aussi en compte les caractéristiques du site dans le choix de la méthode. Par exemple, la présence de pente, de ponceau ou la compaction du sol du chemin affecteront la méthode à utiliser. Ces facteurs influenceront aussi le coût d'application de la mesure d'atténuation à utiliser.

Certaines des mesures d'atténuation consultées dans la littérature ont été identifiées comme plus susceptibles d'être appliquées en Gaspésie en raison des problématiques propres au territoire en matière de chemins forestiers. Les coûts de mise en œuvre de ces méthodes (blocage des chemins, le retrait des traverses de cours d'eau et le retrait des chemins avec et sans réaménagement de la pente) ont été évalués à l'aide d'un sondage réalisé auprès de spécialistes en voirie forestière en Gaspésie. Cette évaluation a permis d'explorer quels facteurs influençaient leurs coûts de mise en œuvre et quel pourrait être leur coût d'exécution en Gaspésie. Néanmoins, ces mesures restent nouvelles et ont rarement été appliquées en Gaspésie. Les spécialistes qui ont répondu au sondage, malgré une connaissance fine de la voirie forestière et des conditions de la région, n'ont donc jamais pratiqué là plupart de ces activités et il est possible que les coûts réels de mise en œuvre des mesures d'atténuation doivent être ajustés. Il serait donc pertinent de comparer les coûts estimés aux coûts réels lors d'un suivi des activités de mise en œuvre sur le terrain.

Cette étude a permis de rassembler l'information relative aux mesures d'atténuation des impacts des chemins applicables à la Gaspésie afin d'orienter les gestionnaires du territoire dans le choix de mesures applicables aux problématiques du territoire forestier gaspésien. Cette étude a aussi permis d'acquérir de nouvelles connaissances afin d'évaluer le coût de chaque méthode. Il est maintenant nécessaire d'identifier les chemins forestiers qui sont les plus problématiques et auxquels on souhaite appliquer des mesures d'atténuation. En plus d'être mieux orienté sur le choix des mesures d'atténuation à appliquer, ceci permettra de tester les mesures d'atténuation dans un contexte gaspésien et de raffiner l'évaluation des coûts leur étant associés.

Annexe I: Techniques de décompaction des chemins forestiers

Description

La décompaction du sol est une étape importante dans la restauration écologique des chemins forestiers (Luce 1997). Différents termes peuvent être utilisés pour décrire des actions mécaniques de décompactage de la surface d'anciens chemins forestiers comme le défonçage, le scarifiage et le labourage (Lacey 2008). La compaction du sol limite à la fois la pénétration de l'eau et de l'air, tout en restreignant la croissance racinaire et la dynamique des éléments nutritifs (Switalski *et al.* 2004). Van Rees et Jackson (2001) ont observé que la croissance et la survie des plants forestiers ont été améliorées par la décompaction du sol. La densité apparente et l'infiltration de l'eau sont deux propriétés physiques des sols altérés par la compaction. La densité apparente du sol est la mesure qui permet d'apprécier le niveau de compaction du sol et une densité apparente élevée est indicateur d'un sol compacté (McNabb 2011a). Kolka et Smidt (2004) ont démontré que la décompaction du sol permettait de diminuer considérablement la densité apparente du sol d'anciens chemins forestiers.

La décompaction permet aussi d'augmenter l'infiltration d'eau dans le sol, ce qui diminue le ruissellement, facilite la reprise de la végétation (Luce 1997, Switalski *et al.* 2004) et minimise la colonisation par des espèces végétales invasives (Switalski *et al.* 2004). L'érosion est un phénomène courant avec les sols ne permettant pas ou très peu d'infiltration puisqu'ils permettent l'écoulement de l'eau en surface, amenant des particules de sol aux cours d'eau (Foltz *et al.* 2007). La conductivité hydraulique en milieu saturé permet d'apprécier l'infiltration de l'eau dans un sol, laquelle permet d'estimer les probabilités d'érosion. La conduction hydraulique en milieu saturé des sols compactés comme celui des chemins forestiers est généralement de moins de 4 mm/heure, tandis qu'un sol forestier non compacté a une conductivité hydraulique en milieu saturé de 60 à 80 mm/heure (Luce 1997). Il a été démontré que le décompactage a permis d'augmenter la conductivité hydraulique en milieu saturé du sol d'un ancien chemin forestier à 15 à 30 mm/heure (Luce 1997). Luce (1997) conclut que la décompaction est une méthode qui permet de limiter considérablement l'érosion. Elle ne permet cependant pas une restauration complète des processus hydrologiques (Luce 1997).

La décompaction du sol consiste en la fracture latérale et verticale du sol compacté avec un équipement adapté permettant de restaurer la porosité, la perméabilité et l'infiltration du sol (Lacey 2008). Le décompactage doit être effectué à une profondeur de plus de 30 cm (Van Rees et Jackson 2001, Merrill et Casaday 2003b, 2003c, 2003a, 2003d), 40 cm (Atkins *et al.* 2001), 50 cm (Department of environmental protection 2006, Foltz *et al.* 2007), voire 70 cm afin de permettre le développement adéquat des racines et des arbres (McNabb 2012). Le décompactage est cependant parfois effectué à des plus faibles profondeurs (Bradley 1997; comm. pers. Patrick Pineault, Forêt Montmorency, 14 avril 2014). Puisque la compaction du sol est directement liée à la fréquence de passage du chemin, les chemins ayant été peu utilisés et peu nivelés nécessitent moins de décompaction qu'un chemin ayant été abondamment utilisé et nivelé (Atkins *et al.* 2001; comm. pers. Brad Sutherland, FPIinnovations, 24 avril

2014). Certaines évidences tendent cependant à démontrer que les sols décompactés tendent à se recompacter avec le temps (Luce 1997, Van Rees et Jackson 2001).

Équipements

Plusieurs équipements peuvent être utilisés pour la décompaction des chemins et le choix de la machinerie dépend à la fois de leur disponibilité et des conditions locales. La pelle mécanique, de même que le buteur (munis d'une défonceuse ou d'une soussoleuse) sont les équipements les plus fréquemment utilisés pour le décompactage des chemins forestiers (Harr et Nichols 1993, Luce 1997, Merrill et Casaday 2003b, Sutherland 2011). L'utilisation d'une pelle excavatrice-soussoleuse multiusage a été décrite comme avantageux, car en plus de pouvoir être utilisé pour la décompaction, elle permet l'excavation de matériel, ce qui la rend plus versatile dans les opérations de retrait des chemins forestiers (Monk 2009).

Chaque machinerie permet la décompaction à une profondeur donnée et les coûts associés à l'utilisation d'un équipement ou d'un autre peuvent varier considérablement. Une étude de FÉRIC sur la productivité de différents équipements de décompaction permet d'apprécier les impacts de l'équipement utilisé sur la profondeur du sol décompacté et les coûts de décompaction (Tableau 11). Dan Myles (comm. pers, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014) déconseille l'utilisation du buteur avec défonceuse parce que cet équipement ne mélange pas efficacement la matière organique et la matière minérale. De même, l'utilisation du scarificateur à disques et de la défonceuse à dents devrait être évitée, car ces machineries ne sont pas efficaces pour la décompaction de sols compactés tels que ceux des chemins forestiers (Van Rees et Jackson 2001; comm. pers, Brad Sutherland, FPInnovations, 24 avril 2014). L'utilisation d'une graveleuse munie d'une défonceuse semble être une option à explorer selon Dan Myles (comm. pers, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014), car sa productivité pourrait être supérieure à celle des autres machineries à cause de sa vitesse de passage.

Tableau 11. Coûts et profondeur de la décompaction de certains équipements évalués pour la décompaction de jetées forestières en Colombie-Britannique (adapté de Sutherland 2000).

Équipements	Profondeur de la décompaction (cm)	Coûts (\$/ha)
Soussoleuse sur tracteur à chenilles	40 à 60	460
Défonceuse à dents sur tracteur à chenilles	40 à 60	970
Excavatrice munie d'un râteau à 6 dents	30	2800
Scarificateur à disques	30	440 à 990
Chargeuse à direction à glissement munie d'un râteau	16	200

Coûts

Les coûts associés à la décompaction peuvent fluctuer en fonction de plusieurs variables, dont l'équipement utilisé et la quantité de chemin à traiter sur un même bloc (comm. pers. Dan Myles, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014) (Tableaux 6 et 12). La largeur du chemin, la présence de structures d'aménagement de l'eau (fossés et digues de déviation, etc.), la profondeur de décompaction désirée, la quantité de gros débris ligneux, l'âge du chemin et la quantité de végétation de large dimension présente sur ou près des chemins sont des variables qui peuvent influencer les coûts associés à la décompaction des anciens chemins forestiers (Atkins *et al.* 2001). Les coûts de décompaction avec une pelle excavatrice et avec un buteur sont assez similaires (comm. pers. Dan Myles, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014).

Tableau 12. Coûts associés à la décompaction de la surface des chemins forestiers selon des sources, des équipements et des localisations géographiques divers.

Sources	Équipements	Localisations géographiques	Coûts
Department of environmental protection (2006)	n. d.	Pennsylvanie, É-U	2000-2500\$/ha
Weaver et Hagans (1990)	n. d.	Californie, É-U	300-1000 \$/km
Switalski <i>et al.</i> (2004)	n. d.	Ouest des É-U	400-1200 \$/km
Comm. pers. Dan Myles, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014	Pelle excavatrice	Terre-Neuve	1000 à 4000 (2500\$/km en moyenne)
Génivar (2013)*	Pelle excavatrice	Côte-Nord, Qc	1700 \$/km

n.d. Non déterminé.

*Incluant l'épandage de matière organique.

Annexe II : Amendement du sol en matière organique et en fertilisant

Description

L'amendement du sol en matière organique et en fertilisant peut être bénéfique pour la restauration écologique des chemins forestiers. Il s'agit de traitements qui ont beaucoup été utilisés pour le retrait des chemins dans l'Ouest américain (Luce 1997, Madej 2001, Elseroad *et al.* 2003, Henry et Bergeron 2005, Foltz *et al.* 2007). Les méthodes de retrait des chemins utilisées en contextes boréaux ont cependant eu recours de manière beaucoup moins systématique à ces traitements (comm. pers. Dan Myles, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014, comm. pers. Craig Crosson, Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario, 9 avril 2014). La matière organique peut agir à la fois pour réduire l'érosion et pour améliorer les perspectives de reprise de la végétation. En réduisant la vitesse de l'eau et l'érosion par les éclaboussures, la matière organique permet de diminuer l'érosion (Switalski *et al.* 2004). La matière organique permet également la rétention de l'eau tout en augmentant l'infiltration de l'eau dans le sol (Bagley 1998). De même, elle permet d'empêcher la formation d'un horizon de surface endurci (Center for Northern Forest Ecosystem Research 2011). L'amendement de matière organique contribue grandement à l'établissement de la végétation puisque les chemins forestiers constituent un environnement naturellement très pauvre en nutriments (Switalski *et al.* 2004, Henry et Bergeron 2005). En effet, certains problèmes liés à l'établissement de la végétation sont fréquemment rencontrés suite au retrait d'un chemin, tel que le manque de sol de surface, de matière organique et de nutriments (Bagley 1998). De même, certains engrais peuvent être utilisés pour contribuer au retour de la végétation (Switalski *et al.* 2004).

Lors du retrait des chemins forestiers, l'ajout de sol de surface, l'ajout de fertilisants et l'ajout de paillis de matière organique sont des méthodes utilisées pour amender le sol (Elseroad *et al.* 2003). Le sol de surface contient une grande quantité de nutriments tout en permettant la rétention de l'eau (Bagley 1998). Le sol de surface qui a été retiré du chemin lors de sa construction (se trouvant dans les fossés par exemple) est particulièrement intéressant, car en plus d'être accessible, il est riche en éléments nutritifs et composé de terre noire et de particules fines. Néanmoins, il ne se trouve pas toujours en quantité suffisante sur place et doit parfois être importé (comm. pers. Patrick Pineault, Forêt Montmorency, 14 avril 2014; comm. pers. Pierre-Luc Desjardins, Groupement forestier coopératif Baie-des-Chaleurs, 24 avril 2014). Des essais conduits à la Forêt Montmorency ont été effectués par l'épandage d'une couche de 15 cm minimum de sol de surface de manière à obtenir un mélange de 50 % de matière organique et de matière minérale (comm. pers. Patrick Pineault, Forêt Montmorency, 14 avril 2014).

Bien que l'ajout de fertilisant ait été cité comme bénéfique pour la croissance de semis et la reprise de la végétation (Switalski *et al.* 2004), peu d'études en démontrent son efficacité. Bradley (1997), Cotts *et al.* (1991) et Van Rees et Jackson (2001) rapportent en effet que l'ajout d'engrais inorganique a eu peu d'effet sur la croissance des graminées plantées sur d'anciens chemins forestiers au Montana, la disponibilité de l'eau étant la ressource limitante dans cet environnement (Bradley 1997).

Pour la restauration des sites forestiers dégradés (comme par exemple les anciens chemins forestiers), le compost de déchets de jardin, les biosolides et la matière organique forestière (branches, etc.) ont été identifiés comme substrats pouvant servir d'amendement (Henry et Bergeron 2005). Les bénéfices de la matière organique pour la croissance de la végétation sont surtout dans les 15 premiers centimètres du sol. Lorsqu'incorporée au sol minéral, une application de 5 à 8 cm d'épaisseur (l'équivalent de 250 tonnes sèches par hectare) est généralement suffisante à la végétation, ce qui donne un sol composé à environ 10 % de matière organique (Henry et Bergeron 2005). Le paillis de matière organique peut également être ajouté après la plantation ou l'ensemencement de manière à protéger le sol de l'érosion (Bagley 1998).

L'utilisation de paillis de branches déchiquetées couplés à la scarification du sol a été rapportée comme étant gage de succès pour la remise en production d'anciens chemins forestiers (Bradley 1997). Cotts *et al.* (1991) n'ont cependant pas observé d'impacts sur la croissance des plantes par l'ajout d'une couche de 2,5 cm de paillis de copeaux de bois. De même, Elseroad *et al.* (2003) n'ont observé aucun impact de la matière organique sur la densité et le couvert de la végétation. Finalement, Foltz (2012) a observé peu de différence entre les niveaux d'érosion et la croissance des plantes pour les chemins forestiers traités avec différents paillis. Il faut spécifier que ces sites n'ont pas été reboisés, mais plutôt ensemencés avec des plantes herbacées.

L'utilisation de résidus forestiers comme paillis sans travail du sol préalable peut constituer une alternative pour le retrait des chemins forestiers là où les budgets ne permettent pas les deux opérations (Bradley 1997). De même, Pierre-Luc Desjardins (comm. pers., Groupement forestier coopératif Baie-des-Chaleurs, 24 avril 2014) suggère que l'ajout simple de sol de surface d'une épaisseur de 30 cm soit suffisante au développement des plants forestiers puisque les racines peuvent par la suite contribuer à la décompaction du sol pendant leur développement. Il faut souligner que la technique de mycorestauration des chemins forestiers n'exige pas non plus de décompactage (Stamets et Sumerlin 2003). Néanmoins, la décompaction demeure une pratique conseillée dans plusieurs situations (Annexe I).

De même, l'amendement en matière organique serait surtout bénéfique pour l'établissement et la croissance de la végétation sur les chemins forestiers constitués de matériel à texture grossière ou ayant été gravelés. Par conséquent, il ne semble pas être nécessaire d'ajouter de la matière organique pour que la végétation soit en mesure de croître sur les sites constitués de matériel à texture plus fine (argile, limon) n'ayant pas été gravelés (comm. pers., Brad Sutherland, FPInnovations, 24 avril 2014).

Équipements

Plusieurs équipements peuvent être utilisés pour le transport et l'épandage de la matière organique sur le chemin. L'excavatrice, la soussoleuse, le boteur de même que l'utilisation de camion avec un canon ou un épandeur peuvent permettre la distribution de la matière organique. L'utilisation de la machinerie dépend de la matière à épandre, de même que de l'équipement disponible (Henry et Bergeron 2005). Henry et Bergeron (2005), de même de Dan Myles (comm. pers., département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014) et Patrick Pineault (comm. pers., Forêt Montmorency, 14 avril 2014),

soulignent que la pelle excavatrice est un outil très efficace pour effectuer ce travail, conjointement au travail de décompaction et de réaménagement des pentes d'un ancien chemin forestier.

Coûts

Les coûts associés à l'apport en matière organique varient selon le matériel utilisé, la distance de transport et la méthode d'épandage utilisée (Henry et Bergeron 2005). Puisque la matière organique incorporée se trouve parfois directement sur le site à réaménager, les coûts d'incorporation sont parfois inclus dans les coûts combinés de décompaction et de réaménagement de la pente, ces opérations étant toutes effectuées simultanément par une pelle excavatrice.

Henry et Bergeron (2005) rapportent que le coût des biosolides et du compost de jardin varie de 12 à 20 \$ la tonne. Ils rapportent également que les coûts de l'ajout de 5 cm de compost de biosolides pour le retrait d'un chemin de 2,5 km de long dans la forêt nationale du Mont Baker-Snoqualmie a coûté 2600 \$, pour un coût moyen d'environ 1000 \$/km. Les coûts associés à l'ajout de paillis pour la restauration écologique de sites compactés sont évalués à 2100 à 2500 \$/ha par le Département de la protection de l'environnement de Pennsylvanie (Department of Environmental Protection 2006). Les coûts associés à l'épandage de sol de surface sur d'anciens chemins forestiers peuvent être d'environ 1000 \$/ha dans les conditions de site optimales, pour dépasser 10 000 \$/ha lorsque l'importation du sol de surface doit être effectuée sur une longue distance (comm. pers. Pierre-Luc Desjardins, Groupement forestier coopératif Baie-des-Chaleurs, 24 avril 2014).

Annexe III : Techniques de végétalisation

Description

L'établissement rapide de la végétation est décrit comme un gage de succès d'un projet de retrait des chemins forestiers. En effet, le couvert végétal permet une protection contre l'érosion et le maintien de la capacité d'infiltration du sol (Switalski *et al.* 2004). La végétalisation artificielle peut être effectuée par l'ensemencement de plantes herbacées, par l'utilisation de plantes ligneuses non commerciales, par reboisement ou par un mélange de ces méthodes. Certains projets de retrait des chemins, comme ceux d'Ontario (Center for Northern Forest Ecosystem Research 2011), de Terre-Neuve (comm. pers. Dan Myles, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014) et du Parc national de Redwood en Californie n'incluent cependant aucune plantation ou ensemencement de végétation (Bagley 1998).

Les plantes herbacées (généralement des plantes graminées et légumineuses) sont fréquemment utilisées pour assurer la recolonisation rapide de la végétation sur d'anciens chemins forestiers et ainsi, limiter au maximum l'érosion. Ce serait à la fois la méthode la plus utilisée et la méthode la plus efficace au niveau des coûts pour rétablir un couvert végétal sur d'anciens chemins forestiers (Atkins *et al.* 2001). Foltz *et al.* (2007), Cotts *et al.* (1991), Bradley (1997) et Elseroad *et al.* (2003) documentent tous l'utilisation de différentes plantes herbacées pour la restauration écologique suite au retrait d'un chemin forestier. À cet effet, l'utilisation de mélanges de semences de plantes herbacées indigènes a été décrite comme plus efficace que l'utilisation de mélanges non indigènes commerciaux (Cotts *et al.* 1991). Ces plantes herbacées peuvent être semées à sec à la main ou avec des équipements ou par hydroensemencement au sol ou par voie aérienne. L'ensemencement peut également être accompagné de fertilisant. L'ensemencement de plus de 50 kg/ha de graine est déconseillé, la compétition entre les plants qui en résulte pouvant être néfaste pour leur croissance et leur établissement (Atkins *et al.* 2001). Foltz *et al.* (2007) remettent en cause l'efficacité de la méthode de végétalisation par ensemencement de plantes herbacées. Selon leur étude, le pourcentage de recouvrement varie considérablement entre les sites et il est de moins de 10 % quatre ans après l'ensemencement. De même, Elseroad *et al.* (2003) estiment que certaines méthodes de végétalisation incluant la fertilisation ou l'incorporation de matière à haute teneur en matière organique associées à l'ensemencement devraient être testées puisque dans leur étude, le recouvrement de la végétation observé 14 mois après l'ensemencement n'était que de 2,9 %.

Il faut noter que l'utilisation de plantes ligneuses de début de succession associée, aux milieux peu fertiles, tels que l'aulne, le saule, le cornouiller, le chèvrefeuille et le framboisier, améliore les propriétés du sol et peut contribuer à le protéger de l'érosion avant la colonisation du site par des essences ligneuses commerciales (Atkins *et al.* 2001). Par exemple, en Colombie-Britannique, l'ensemencement de diverses espèces d'aulne (1,5 à 2,5 millions de semences à l'hectare), espèces fixatrices d'azote, a été décrit comme efficace (Atkins *et al.* 2001).

L'établissement des arbres est une condition essentielle à la remise en production d'anciens chemins forestiers. Les chemins forestiers sont des endroits caractérisés par un manque d'eau et de nutriments. Les espèces sélectionnées à cet effet doivent par conséquent être oligotrophiques et xériques. (Atkins *et al.* 2001). En conditions boréales, le reboisement traditionnel peut être effectué avec plusieurs essences. L'épinette noire est utilisée à Terre-Neuve (comm. pers. Dan Myles, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014), l'épinette noire et le pin gris dans le Nord de l'Ontario (Center for Northern Forest Ecosystem Research 2011), le pin tordu (McNabb 2011b) et le peuplier baumier en Alberta (Button 2011), le pin ponderosa en Orégon (McNabb 2011b) et l'épinette noire, l'aulne (comm. pers. Patrick Pineault, Forêt Montmorency, 14 avril 2014) l'épinette blanche, l'épinette de Norvège et les pins rouge et blanc au Québec (comm. pers. Pierre-Luc Desjardins, Groupement forestier coopératif Baie-des-Chaleurs, 24 avril 2014). En Colombie-Britannique, l'utilisation du sapin Douglas, du pin tordu, de l'aulne et du saule est suggérée (B.C. Ministry of Forests 2002). Il faut souligner qu'en Ontario, la technique d'ensemencement par voie aérienne de pin gris a également été utilisée avec succès pour le retrait de chemins forestiers (Center for Northern Forest Ecosystem Research 2011, Sutherland 2011).

Les épinettes reboisées évoluant dans des milieux compactés des anciens chemins de débardage ont une croissance environ deux fois moindre que celles poussant en forêt. Ce constat fait croire à Patrick Pineault que les arbres reboisés dans les anciens chemins forestiers auront une croissance lente et que le succès du reboisement n'est pas assuré (comm. pers., Forêt Montmorency, 14 avril 2014). Cette information n'est pas confirmée par l'étude de Van Rees et Jackson (2001) qui démontre des croissances supérieures pour les plants ensemencés dans d'anciennes jetées forestières compactées en comparaison aux blocs de coupe adjacents reboisés dues à une augmentation de la température du sol et une diminution de la compétition. Il faut noter que différents types de gels (gel radiatif, etc.), de même que des problèmes de dessiccation hivernale, ont été décrits comme des problèmes rencontrés chez les semis plantés dans d'anciens chemins forestiers reboisés suite au manque de protection des semis par la végétation (Van Rees et Jackson 2001, McNabb 2011b). De plus, le déchaussement des carottes des semis replantés est une problématique déjà observée à Terre-Neuve (comm. pers. Dan Myles, département des Ressources naturelles de Terre-Neuve, 9 avril 2014) et dans le reboisement d'anciennes gravières sur la Côte-Nord (Centre d'expérimentation et de développement en forêt boréale 2008). Pour contrer cette problématique, le décompactage du sol et le mélange de la matière organique devraient être effectués l'année précédant le reboisement afin de permettre l'élimination des poches d'air lors du gel-dégel et ainsi limiter le déchaussement des plants forestiers (comm. pers. Patrick Pineault, Forêt Montmorency, 14 avril 2014). Pierre-Luc Desjardins conseille quant à lui de planter les semis la même année, peu de temps après l'ajout de sol de surface, puisque ce dernier a tendance à se durcir avec le temps et à rendre la plantation des arbres plus difficile à exécuter (comm. pers., Groupement forestier coopératif Baie-des-Chaleurs, 24 avril 2014).

Une autre technique pouvant être utilisée est la combinaison de plusieurs méthodes. À cet effet, l'utilisation de plantes herbacées et fixatrices d'azote suivi de la plantation de pin tordu a généralement donné de bons résultats quant à la remise en production d'anciennes jetées en Colombie-Britannique (Plotnikoff *et al.* 2002). La plantation mixte d'épinette noire et d'aulne a également été expérimentée,

où l'aulne permet d'enrichir le sol en fixant l'azote, mais les résultats sont hétérogènes (comm. pers. Patrick Pineault, Forêt Montmorency, 14 avril 2014).

Coûts

La méthode d'application, le taux d'application, le produit utilisé et le niveau d'accessibilité du site sont des facteurs importants à considérer pour l'ensemencement des plantes herbacées. Des coûts de 200 à 400 \$/ha ont été considérés pour l'ensemencement à sec à la main et avec équipement (avec fertilisants). Pour l'hydroensemencement terrestre et aérien, les coûts varient de 1500 à 5000 \$/ha et de 1500 à 3500 \$/ha respectivement (Atkins *et al.* 2001).

Les coûts associés au reboisement des anciens chemins forestiers sont sensiblement les mêmes que ceux associés au reboisement d'aires de coupes mal régénérées. À titre d'exemple, les coûts associés au reboisement de 9 km de chemin dans le Plan général de restauration des conditions d'habitat du caribou forestier d'Essipit sont de 1200 \$/km en moyenne (Génivar 2013).

Annexe IV : Questionnaire pour l'évaluation des coûts associés à la fermeture de chemins en Gaspésie

Mise en contexte de l'étude

La Gaspésie est une des régions du Québec où la densité de chemins forestiers est la plus élevée. Plusieurs problématiques reliées aux chemins forestiers existent et en conséquence la région souhaiterait pouvoir utiliser la fermeture de chemins comme moyen pour répondre à ces problématiques (Comité technique concernant l'accès au territoire 2014). Néanmoins, ces méthodes ont été très peu utilisées régionalement et la connaissance sur leurs méthodes d'application et les coûts leur étant associés sont quasi absents. Avec l'objectif de développer les connaissances afin d'utiliser ces méthodes sur le territoire, le Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles a été mandaté par la CRÉGIM afin de documenter les différentes méthodes de fermeture de chemins applicables à la Gaspésie. L'évaluation des coûts associés à la mise en œuvre de différentes méthodes de fermeture de chemins applicables à la Gaspésie fait partie de cette documentation. Ainsi, en fonction de la réalité régionale (machinerie disponible, coûts applicables, etc.), il est souhaité de mieux comprendre l'impact des différents éléments associés à la fermeture de chemins en Gaspésie sur son coût d'application.

Les méthodes de fermeture de chemins à évaluer sont :

- ✓ Le blocage des chemins avec des monticules de terre
- ✓ Le blocage des chemins avec des monticules de roches
- ✓ Le retrait des traverses de cours d'eau
- ✓ Le retrait des chemins sans réaménagement de la pente
- ✓ Le retrait des chemins avec réaménagement de la pente

L'étude vise l'évaluation des coûts reliés à la fermeture de chemins de classe 4 ou non-classés (comme des chemins d'exploitation).

Coûts des interventions associées aux différentes méthodes de fermeture de chemins

Déplacement de la machinerie au secteur à traiter

La machinerie utilisée pour la réalisation des méthodes de fermeture des chemins identifiées plus haut (blocage des chemins, décompaction/incorporation de sol de surface, importation de sol de surface, réaménagement des pentes, retrait des traverses de cours d'eau, reboisement) est diverse.

Les coûts associés au déplacement de cette machinerie, en fonction de la localisation du site sur le territoire gaspésien peuvent par conséquent varier considérablement.

Travaux à réaliser :

- Déplacement de la machinerie de son lieu d'entreposage au lieu de réalisation des interventions

TABLEAU 1 À REMPLIR

Machineries	Tarif horaire pour le déplacement de la machinerie (\$/heure)*
Pelle mécanique	
Fardier	
Camion à benne	
Autre :	

* Comprend tous les coûts associés à la réalisation des travaux tels le coût de la machinerie, le coût de la main-d'œuvre, les coûts d'administration, etc.

TABLEAU 2 À REMPLIR

Machineries	Temps de chargement ET de déchargement sur le fardier (heure)	Tarif horaire (\$/heure)*
Pelle mécanique		
Fardier		
Autre :		

* Comprend tous les coûts associés à la réalisation des travaux tels le coût de la machinerie, le coût de la main-d'œuvre, les coûts d'administration, etc.

Blocage d'un chemin

Travaux à réaliser :

- Excaver du matériel dans les fossés adjacents ou à proximité du lieu de blocage.
 - Former un monticule sur le chemin de 2 m de haut avec le matériel, de manière à empêcher le passage des véhicules.
- 2 types de blocage sont évalués en fonction du matériel disponible sur le site:
 - Terre (inclus sable, gravier, petites pierres, etc.)
 - Blocs de roches (roches de gros diamètre, difficile à déplacer sans machinerie)

TABLEAU 3 À REMPLIR

Types de blocage	Machineries utilisées	Temps d'exécution des travaux (h) *	Tarif horaire (\$/heure)**
Monticule de terre	Pelle mécanique		
	Fardier***		
	Autre :		
Monticule de roche	Pelle mécanique		
	Fardier***		
	Autre :		

* Ne pas inclure le temps de déplacement de la machinerie sur le site d'intervention; Traiter seulement des travaux effectués directement sur le site.

** Comprend tous les coûts associés à la réalisation des travaux tels le coût d'utilisation de la machinerie, le coût de la main-d'œuvre, les coûts d'administration, etc.

*** Temps associé à l'attente du fardier. Si le temps d'attente n'est pas comptabilisé dans les coûts, mettre 0.

Décompactation de la chaussée et incorporation de matière organique

La fermeture définitive d'un chemin nécessite que la chaussée soit décompactée de manière à pouvoir le reboiser. De même, sur certains chemins forestiers, il est conseillé d'y incorporer de la matière organique pour rendre le sol plus fertile. La matière organique normalement utilisée est le sol de surface (*topsoil*) qui se trouve dans l'emprise du chemin. La machinerie normalement utilisée pour effectuer ce travail est la pelle mécanique.



Travaux à réaliser :

- Décompactation de la surface du chemin à une profondeur minimale de 30 cm avec une pelle mécanique;
 - S'il y a lieu : Incorporation de 15 cm de matière organique ou de sol de surface (ce qui équivaut à environ 1000 m³ par km de chemin) au chemin décompacté (pris dans l'emprise du chemin à traiter).
- 2 types d'intervention sont évalués en fonction du site :
 - Décompactation simple;
 - Décompactation de la surface du chemin avec incorporation de la matière organique.

TABLEAU 4 À REMPLIR

Travaux à réaliser	Machineries utilisées	Nombre d'heures par km de chemin traité*	Tarif horaire (\$/heure)**
Décompactation simple	Pelle mécanique		
	Fardier***		
	Autre :		
Décompactation ET incorporation de la matière organique prisent dans l'emprise du chemin à traiter	Pelle mécanique		
	Fardier***		
	Autre :		

* Ne pas inclure le temps de déplacement de la machinerie sur le site d'intervention; Traiter seulement des travaux effectués directement sur le site;

** Comprend tous les coûts associés à la réalisation des travaux tels le coût d'utilisation de la machinerie, le coût de la main-d'œuvre, les coûts d'administration, etc.

*** Temps associé à l'attente du fardier. Si le temps d'attente n'est pas comptabilité dans les coûts, mettre 0.

Le sol de surface nécessaire au reboisement du chemin n'est pas toujours disponible dans l'emprise du chemin à traiter. Dans ce cas, le sol de surface doit être extrait des fossés d'autres chemins afin de compléter les travaux de fermeture de chemin.

Travaux à réaliser :

- Extraction de 1000 m³ de sol de surface dans le fossé d'un autre chemin avec une pelle mécanique à une **distance approximative de 50 km**.
- Chargement de cette matière dans des camions à benne.

TABLEAU 5 À REMPLIR

Machineries utilisées	Nombre de machines	Nombre d'heures pour l'excavation et le chargement de 1000 m ³ de sol de surface (distance 50 km)*	Tarif horaire (\$/heure)**
Pelle mécanique			
Fardier***			
Camion à benne			
Autre :			
Pelle mécanique			
Fardier***			

* Ne pas inclure le temps de déplacement de la machinerie sur le site d'intervention; Traiter seulement des travaux effectués directement sur le site;

** Comprend tous les coûts associés à la réalisation des travaux tels le coût d'utilisation de la machinerie, le coût de la main-d'œuvre, les coûts d'administration, etc.

*** Temps associé à l'attente du fardier. Si le temps d'attente n'est pas comptabilisé dans les coûts, mettre 0.

Réaménagement de la pente naturelle

Certains chemins se trouvent dans des endroits avec beaucoup de relief. Par conséquent, certaines opérations de fermeture de chemins requièrent un réaménagement de la pente naturelle (rétablir le relief naturel du site). Ceci se fait généralement avec une pelle mécanique et est fait simultanément à la décompaction du sol et précède la réincorporation de la matière organique dans le sol.



Travaux à réaliser :

- Réaménagement du relief naturel

TABLEAU 6 À REMPLIR

Travaux à réaliser	Machinerie utilisée	Nombre d'heures par km de chemin traité*	Tarif horaire (\$/heure)**
Réaménagement d'une pente	Pelle mécanique		
	Fardier***		
	Autre		

* Ne pas inclure le temps de déplacement de la machinerie sur le site d'intervention; Traiter seulement des travaux effectués directement sur le site.

** Comprend tous les coûts associés à la réalisation des travaux tels le coût de la machinerie, le coût de la main-d'œuvre, les coûts d'administration, etc.

*** Temps associé à l'attente du fardier. Si le temps d'attente n'est pas comptabilisé dans les coûts, mettre 0.

Retrait des traverses de cours d'eau

Travaux à réaliser :

- Retrait du remblai recouvrant le ponceau;
- Retrait du ponceau;
- Réaménagement des berges du cours d'eau;
- Réaménagement du lit du cours d'eau (retrait du matériel fin et enrochement);
- Disposer de l'ancien ponceau de manière appropriée.

TABLEAU 7 À REMPLIR

Travaux à réaliser	Machineries utilisées	Temps d'exécution des travaux(h) *	Tarif horaire (\$/heure) **
Retrait d'un ponceau d'une dimension de 450 mm sur un chemin de classe 4	Pelle mécanique		
	Fardier***		
	Autre :		
Retrait d'un ponceau d'une dimension de 600 mm sur un chemin de classe 4	Pelle mécanique		
	Fardier***		
	Autre :		
Retrait d'un ponceau d'une dimension de 750 mm sur un chemin de classe 4	Pelle mécanique		
	Fardier***		
	Autre :		
Retrait d'un ponceau d'une dimension de 900 mm sur un chemin de classe 4	Pelle mécanique		
	Fardier***		
	Autre :		

* Ne pas inclure le temps de déplacement de la machinerie sur le site d'intervention; Traiter seulement des travaux effectués directement sur le site.

** Comprend tous les coûts associés à la réalisation des travaux tels le coût de la machinerie, le coût de la main-d'œuvre, les coûts d'administration, etc.

*** Temps associé à l'attente du fardier. Si le temps d'attente n'est pas comptabilisé dans les coûts, mettre 0.

Reboisement des anciens chemins forestiers

Travaux à réaliser :

- Achat de plants forestiers d'épinette noire
- Reboisement des anciens chemins forestiers

Densité de reboisement: 1950 plants/ km de chemin (l'équivalent de 3000 plants à l'hectare)

TABLEAU 8 À REMPLIR

Travaux à réaliser	Coûts (\$/ha)*
Achat/livraison de plants forestiers	
Exécution des travaux de reboisement	

* Comprend tous les coûts associés à la réalisation des travaux tels le coût d'utilisation de la machinerie, le coût de la main-d'œuvre, les coûts d'administration, etc.

Glossaire

Armature (angl. armouring) : Matériel non érodable (comme un enrochement) placé au-dessus d'un matériel susceptible à l'érosion (Ministry of Forests and Range 2008).

Banc d'emprunt (angl. borrow pit) : Zone située hors de l'emprise d'un chemin où l'on importe des matériaux nécessaires à la construction d'un chemin forestier (Communauté métropolitaine de Québec 2014).

Barrage de correction (angl. ditch block) : Blocage physique d'un fossé latéral sous la surface de la chaussée et directement en dessous du fossé latéral, servant à diriger l'écoulement de l'eau dans le fossé latéral (Ministry of Forests and Range 2008).

Biosolides (angl. biosolids) : Produits organiques dérivés des usines de traitement des eaux (Environmental Protection Agency 2014).

Buteur (angl. dozer, bulldozer) : Machinerie de terrassement constituée d'un tracteur à chenilles et d'une lame servant à pousser de la terre ou d'autres matériaux (Côté et OIFQ 2003).

Chargeuse (angl. loader) : Machinerie équipée d'un grappin et d'une structure de support conçue pour soulever et décharger des arbres et des parties d'arbres pour effectuer des chargements ou des empilements (Côté et OIFQ 2003).

Chaussée (angl. roadbed; road surface) : La surface de la route utilisée pour le passage des véhicules. La chaussée prend place du fossé intérieur (ou de la pente d'excavation) jusqu'au monticule du remblai ou à la pente du remblai (Merrill et Casaday 2003b).

Conductivité hydraulique en milieu saturé (angl. saturated hydraulic conductivity) : Mesure de l'habileté d'un sol à transmettre l'eau lorsque soumis à un gradient hydraulique (Environmental Science Division 2014).

Débit de subsurface (angl. surface and subsurface flow) : Partie des précipitations qui circule horizontalement dans les horizons supérieurs du sol et qui refait surface sur les chemins forestiers par les canaux de drainage (Laboratoire d'écohydrologie Echo 2014).

Débit de surface (angl. surface flow; overland flow) : Écoulement de l'eau provenant des précipitations à la surface du sol dû à un sol ayant une capacité d'infiltration plus faible que l'intensité des précipitations (Laboratoire d'écohydrologie Echo 2014).

Déblai (cut ; cutbench) : Portion du chemin ayant été excavée, contrairement au remblai (Merrill et Casaday 2003b).

Déchaussement par le gel (angl. frost heave) : Mise à nu de la carotte racinaire de jeunes plants suite à leur soulèvement dû au gonflement du sol par le gel (Côté et OIFQ 2003).

Défonceuse (angl. ripper) : Machinerie composée d'un assemblage de dents lourdes fixées à un tracteur ou à un bouteur utilisée pour décompacter les terrains durs, arracher les souches, etc. (Côté et OIFQ 2003).

Défonceuse à dents (angl. shank ripper) : Machinerie composée de dents fixées à un bouteur ou un tracteur utilisée pour la décompaction des sols (Wikia 2014a).

Densité apparente (angl. bulk density) : Masse sèche totale d'une unité de volume d'un dépôt non perturbé (en incluant les pores; James 1996).

Dépression de drainage (angl. rolling dip) : Dépression peu profonde dans le chemin qui permet de diriger l'eau en dehors de la chaussée tout en permettant le passage des véhicules à une vitesse réduite (Merrill et Casaday 2003b).

Dessiccation hivernale (angl. winter browning; winter drying) : Rougissement et chute prématurée des aiguilles des conifères dû à l'assèchement des aiguilles lorsque les racines des arbres ne sont pas dégelées et ne peuvent permettre le mouvement de l'eau dans l'arbre (Gagnon 2014).

Digue de déviation (angl. waterbar) : Fossé peu profond excavé à travers un chemin forestier à un angle suffisant pour permettre de détourner l'eau de la chaussée et pour prévenir l'érosion de la surface du chemin (Ministry of Forests and Range 2008).

Emprise du chemin (angl. roadway) : Portion du chemin qui inclut la pente (ou talus) d'excavation, le fossé intérieur, la chaussée et le remblai (Merrill et Casaday 2003b).

Enrochement (angl. riprap) : Roches ou autre matériel de différentes tailles placées sur les berges d'un cours d'eau ou sur les pentes du remblai ou du déblai d'un chemin de manière à empêcher l'érosion (Ministry of Forests and Range 2008).

Ensemencement à sec (angl. dryseeding) : Technique d'ensemencement consistant à appliquer des semences sèches à la main, par des équipements au sol ou par hélicoptère (Government of British Columbia 1997).

Érosion en rigole (angl. rill erosion) : Phénomène lié à l'érosion similaire au ravin, mais de moins de 0,1 m² (1 pi²) en surface de section (Merrill et Casaday 2003b).

Fossé de déviation (angl. cross-ditch) : Fossé traversant le chemin à un angle, une profondeur et une armature suffisante pour détourner l'eau de la chaussée et du fossé latéral du chemin (Ministry of Forests and Range 2008).

Fossé intérieur (angl. inboard ditch; upslope ditch) : Fossé de drainage creusé sur le côté intérieur de la route pour intercepter l'eau de ruissellement de la pente d'excavation ou de petits cours d'eau. Les fossés intérieurs se drainent généralement par des ponceaux de drainage latéraux se trouvant sous la surface du chemin (Merrill et Casaday 2003b).

Gel radiatif (angl. radiation frost) : Gel caractérisé par des nuits dégagées lorsque la température de la surface du sol et de la végétation descend en irradiant de la chaleur, ce qui réchauffe l'air au-dessus (Tree Terms 2014).

Horizon de surface endurci (angl. hardpan) : Un horizon de surface endurci ou cimenté par de l'oxyde de fer, de la silice, du carbonate de calcium ou toute autre substance (NEsoil 2014).

Hydroensemencement (angl. hydroseeding) : Technique d'ensemencement consistant à appliquer un mélange de fibres de bois, de semences, de fertilisants et d'émulsions stabilisantes avec un équipement au sol ou par hydravion (Michigan State 2014).

Monticule du remblai (angl. berm) : Matériel empêchant le mouvement de l'eau en dehors de la surface de la route (Indiana Department of Natural Resources 2014).

Monticule de terre (angl. earth berm) : Une butte de terre déposée sur un chemin de manière à prévenir le passage des véhicules motorisés (Henschel 2003).

Mycorestauration (angl. mycorestoration) : L'usage des champignons pour prévenir, réduire ou améliorer les impacts négatifs de polluants biologiques et chimiques, de même que pour restaurer des habitats endommagés par des êtres humains ou des désastres naturels (Stamets 2012).

Niveleuse (angl. grader) : Machinerie munie d'une lame orientable placée entre ses deux essieux utilisée pour donner un profil à la surface du sol (Côté et OIFQ 2003).

Pente d'excavation (angl. cutslope; cutbank, backslope) : Talus du déblai excavé de la ligne du fossé intérieur au sommet du déblai (Ministry of Forests and Range 2008).

Perméabilité du sol (angl. soil permeability) : Taux auquel l'eau se déplace dans un sol (James 1996).

Ponceau latéral (angl. cross-drain culvert) : Un tuyau ou une autre structure couvert de matériel situé sous la surface du chemin et utilisé pour diriger l'eau du fossé intérieur de l'autre côté du chemin (Ministry of Forests and Range 2008).

Porosité du sol (angl. soil porosity) : Pourcentage du volume de sol non occupé par des particules solides, incluant les espaces poreux remplis d'air et d'eau (James 1996).

Râteau à dents (angl. rootrake ; rake) : Instrument fixé à l'avant ou à l'arrière d'une machinerie servant normalement à ratisser les souches et les broussailles d'un site (Côté et OIFQ 2003).

Ravinement (angl. gully ; gully erosion) : Canal en pente raide causé par la concentration de l'érosion de surface et dont la surface de la section est supérieure à 0,1 m² (1 pi²; Merrill et Casaday 2003b).

Réaménagement des pentes naturelles (angl. recontouring) : Déplacement d'une partie (ou de la totalité) du remblai sur le déblai de manière à rétablir le drainage naturel. Cette opération peut être partielle ou complète (Merrill et Casaday 2003b).

Refaçonnage vers l'extérieur (angl. outsloping) : Façonnage de la surface de la route de manière à diriger l'eau en dehors du déblai et du fossé latéral du chemin (Ministry of Forests and Range 2008).

Refaçonnage vers l'intérieur (angl. insloping) : Façonnage de la surface de la route de manière à diriger l'eau vers le déblai et le fossé latéral du chemin (Ministry of Forests and Range 2008).

Régalage (angl. grading) : Travail généralement effectué par une niveleuse pour donner la forme désirée à la surface de roulement ou pour restaurer celle-ci (Department of Transportation and Infrastructure Renewal 2013).

Remblai (angl. embankment ; fill) : Matériel excavé du déblai et utilisé pour la construction de la partie extérieure du chemin (Merrill et Casaday 2003b).

Restauration des processus hydrologiques (angl. hydrological recovery) : Processus durant lesquels les caractéristiques hydrologiques du bassin versant ayant été perturbées sont restaurées pour se rapprocher des caractéristiques hydrologiques qui prévalaient avant la perturbation (Strimbu *et al.* 2006).

Retrait du chemin « sans réaménagement de la pente » (angl. "ripped and drain" technique) : Méthode de retrait du chemin qui implique la décompaction de la surface du chemin et la construction de structures de drainage permettant de drainer le fossé intérieur (Teasley 2002).

Rigoles de drainage (angl. swale) : Dépression donnant sur le remblai du chemin qui permet d'en drainer l'eau (Merrill et Casaday 2001).

Scarificateur à disques (angl. disc trencher) : Machinerie permettant la préparation d'un site qui consiste à un ensemble de disques de métal dentés rotatifs attaché sur un tracteur qui creuse des rangées (Ministry of Forests and Range 2008).

Sédimentation (angl. sedimentation) : Processus d'accumulation de sédiments résultant généralement de l'érosion (Côté et OIFQ 2003).

Sol de surface (angl. topsoil) : La couche supérieure d'un sol contenant de la matière organique décomposée, des graines, du sol minéral et des microorganismes (Merrill et Casaday 2003b).

Sousoleuse (angl. subsoiler) : Machinerie constituée d'un outil monté sur un tracteur utilisée pour décompacter le sol à une profondeur de 30 cm et plus (Wikia 2014b).

Talus du remblai (angl. Fillslope) : Pente créée avec le matériel du remblai qui a été excavé dans le déblai ou importé (Ministry of Forests and Range 2008).

Tourisme en milieu éloigné (angl. remote tourism) : Tourisme associé à des régions inaccessibles par la voie terrestre (Henschel 2003).

Traverses Humboldt (angl. Humboldt crossing) : Une traverse de cours d'eau construite avec des troncs d'arbre parallèles au cours d'eau et recouverts de remblai (Merrill et Casaday 2003b).

Traverse par remblai (angl. fill crossing; armored fill crossing; armored ford crossing) : Traverse de cours d'eau construite par le remblai de pierres, de débris ligneux ou autre matériel avec comme objectif de protéger les rives du cours d'eau de l'érosion (US Fish and Wildlife Service 2014a).

Bibliographie

- André C., Beaupré A., Bouliane C. et Langlois J. 2010. Guide d'acquisition des connaissances de base pour l'apprentissage du métier d'opératrice ou d'opérateur de machines utilisées en voirie forestière. Québec, Québec : Comité sectoriel de la main d'œuvre en aménagement forestier. p. 83.
- Atkins R. J., Leslie M. R., Polster D. F., Wise M. P. et Wong R. H. 2001. Best management practices handbook: hillslope restoration in British Columbia. Victoria, Colombie-Britannique : Ministry of forests, Watershed restoration program, Resource tenures and engineering branch. p. 195.
- B.C. Ministry of Forests. 2002. Road deactivation. Dans. Forest road engineering guidebook. Victoria, Colombie-Britannique : Government publications. p. 27.
- Bagley S. 1998. The road-ripper's guide to wildland road removal. Missoula, Montana : Wildlands center for preventing roads. p. 40.
- Beaudoin D. 2011. Entretien du réseau routier forestier. Dans : Séminaire sur la voirie forestière; 14 et 15 avril 2011; Ville Saguenay : OIFQ. p. 40.
- Blayo Y. et Herault P. 2008. Analyse coûts / bénéfiques de la villégiature sur territoire public en Outaouais dans une perspective municipale (ou MRC). Gatineau, Québec: Conférence régionale des élus de l'Outaouais. p. 98.
- Bradley K. 1997. Evaluation of two techniques for the utilization of logging residues - Organic mulch for abandoned road revegetation and accelerated decomposition in small chipped piles. [Missoula, Montana] : Master of science, University of Montana. p. 58.
- Buol S. W., Southard R. J., Graham R. C., et McDaniel P. A. 2011. Soil genesis and classification. n. d. :John Wiley & Sons. 560 p.
- Bureau de mise en Marché des bois. 2014. Valeur des traitements sylvicoles non commerciaux pour l'année financière 2013-2014 [Internet]. Bureau de mise en Marché des bois ; [consulté le 27 oct 2014]. Disponible à : https://bmmb.gouv.qc.ca/media/25506/cadre_application_non_commerciaux_2013-2014.pdf
- Button R. 2011. Regeneration of black (balsam) poplar on forest roads. Dans : Séminaire «Regenerating forests on small industrial sites»; 14 janvier 2011; Edmonton : Institut forestier du Canada. p. 20.
- Centre d'expérimentation et de développement en forêt boréale. 2008. Expérimentation de divers substrats organiques pour la remise en production des sablières et des gravières en milieu forestier. Baie-Comeau, Québec : Centre d'expérimentation et de développement en forêt boréale. p. 26.
- Communauté métropolitaine de Québec. 2014. Définitions spécifiques dans le cadre d'un prélèvement de matière ligneuse [Internet]. Communauté métropolitaine de Québec ; [consulté le 8 mai 2014]. Disponible à : http://www.cmquebec.qc.ca/centre-documentation/documents/ANNEXE8_Definitionsspecifiques.pdf
- Center for Northern Forest Ecosystem Research. 2011. Road decommissioning and reclamation : CNFER case study. Dans : Nwr forestry forum meeting; 7 décembre 2011; Ontario: Centre for northern forest ecosystem research. p. 32.
- Cole E. K., Pope M. D. et Anthony R. G. 1997. Effects of road management on movement and survival of Roosevelt elk. *The Journal of wildlife management* 61(4):12.
- Collins M., Lucey K., Lambert B., Kachmar J., Turek J., Hutchins E., Purinton T. et Neils D. 2007. Stream barrier removal monitoring guide. York, Maine : Gulf of Maine council on the marine environment. p. 67.
- Copstead R. L., Johansen D. K. et Moll J. E. 1998. Water/road interaction : introduction to surface cross drains. San Dimas, California : USDA Forest Service, San Dimas technology and development center. p. 16.

- Côté M. et OIFQ. 2003. Dictionnaire de la foresterie, Éd. spéciale XXII^e Congrès forestier mondial. Sainte-Foy, Québec : Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. p. 744.
- Cotts N. R., Redente E. F. et Schiller R. 1991. Restoration methods for abandoned roads at lower elevations in Grand Teton National Park, Wyoming. *Arid Land Research and Management* 5(4):15.
- Courtois R., Ouellet J.-P., Breton L., Gingras A. et Dussault C. 2002. Effet de la fragmentation du milieu sur l'utilisation de l'espace et la dynamique de population chez le caribou forestier. Québec, Québec : Société de la faune et des parcs du Québec et Université du Québec à Rimouski. p. 44.
- CulvertBC. 2014. Cross-ditches (road intact) [Internet]. CulvertBC ; [consulté le 2 avril 2014]. Disponible à : <http://culvertbc.ca/fieldguide2/09.html>
- Daigle P. 2010. A summary of the environmental impacts of roads, management responses, and research gaps: a literature review. *BC Journal of Ecosystems and Management* 10(3):25.
- Del Degan Massé et Associés inc. 2010. Étude exploratoire de l'application du principe d'utilisateur-payeur sur les terres du somaine public de la Mauricie. Québec, Québec : CRRNT de la Mauricie. p. 19.
- Del Degan Massé et Associés inc. 2013. Hypothèses de financement du réseau des chemins multiusages à l'intention du travail de réflexion des CRRNT. Québec, Québec : Conférence des élus de l'Abitibi-Témiscamingue. p. 56.
- Department of Environmental Protection. 2006. Pennsylvania stormwater best management practices manual. Harrisburg, Pennsylvanie : Department of environmental protection, Bureau of watershed management. p. 642
- Department of Transportation and Infrastructure Renewal. 2013. Highway maintenance standards. Halifax, Nouvelle-Écosse : Department of transportation and infrastructure renewal. p. 106.
- Desautels R., Rochette G., Després R., Dufresne F., Gilbert G., Leblanc S., Méthot L., Provencher Y., Sénécal B. et Warren C. 2009. Voirie forestière. Dans : Éditions Multimonde. Manuel de foresterie. Québec, Québec : Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. p. 54.
- Desmarais M. 2012. Le droit applicable aux chemins forestiers du Québec dans une perspective de protection de la biodiversité. [Ste-Foy, Québec] : Faculté de droit, Université Laval. p. 137.
- Desroches, J-F. et Picard, I. 2005. Mortalité des tortues sur les routes de l'Outaouais. *Le Naturaliste Canadien*, 129(1) :7.
- Dunkley J., Wise M., Leslie M. et Collins D. 2004. Effectiveness evaluation of road deactivation techniques on the West Coast of Vancouver Island. Nanaimo, Colombie-Britannique: British Columbia Ministry of forests. p. 11.
- Elseroad A. C., Fulé P. Z. et Covington W. W. 2003. Forest road revegetation: effects of seeding and soil amendments. *Ecological Restoration* 21(3):6.
- Environmental Science Division. 2014. Hydraulic conductivity [Internet]. Argonne national laboratory, Environmental science division ; [consulté le 6 mai 2014]. Disponible à : <http://web.ead.anl.gov/resrad/datacoll/conuct.htm>
- Environmental Protection Agency. 2014. Glossary [Internet]. ; [consulté le 6 mai 2014]. Disponible à : <http://www.epa.nsw.gov.au/waste/envguidlns/compostingglossary.htm>
- Équipe de rétablissement du caribou forestier au Québec. 2013. Plan de rétablissement du caribou forestier (rangifer tarandus caribou) au Québec - 2013-2023. Québec, Québec : Faune Québec. p. 110.
- Foltz R. B. 2012. A comparison of three erosion control mulches on decommissioned forest road corridors in the northern Rocky Mountains, United States. *Journal of soil and water conservation* 67(6):9.

- Foltz R. B., Copeland N. S. et Elliot W. J. 2009. Reopening abandoned forest roads in northern Idaho, USA: Quantification of runoff, sediment concentration, infiltration, and interrill erosion parameters. *Journal of Environmental Management* 90(8):9.
- Foltz R. B., Rhee H. et Yanosek K. A. 2007. Infiltration, erosion, and vegetation recovery following road obliteration. *American society of agricultural and biological engineers* 50(6):7.
- Fournier J. 2013. Registre des infrastructures majeures et recommandations pour le réseau d'accès prioritaire de chemins multiusages. Gaspé, Québec : Conférence régionale des élus de la Gaspésie-Les-Îles. p. 22.
- Furniss M. J., Roelofs T. D. et Yee C. S. 1991. Road construction and maintenance. Bethesda, Maryland. : Meehan W. R. p. 27.
- Gagnon L. 2014. Dessiccation hivernale [Internet]. Agri-réseau ; [consulté le 8 mai 2014]. Disponible à : <http://www.agrireseau.qc.ca/horticulture-arbresdenoel/documents/DESSI.PDF>
- Génivar. 2013. Plan général de restauration des conditions d'habitat du caribou forestier par l'atténuation des perturbations anthropiques sur le Nitassinan d'Essipit. Baie-Comeau, Québec: Conseil de la Première Nation des Innus Essipit. p. 134.
- Government of British Columbia. 1997. Soil rehabilitation guidebook [Internet]. Government of British Columbia ; [consulté le 8 mai 2014]. Disponible à : <https://www.for.gov.bc.ca/tasb/legsregs/fpc/FPCGUIDE/soilreha/rehabtoc.htm>
- Gucinski H., Brookes M. H., Furniss M. J. et Ziemer R. R. 2001. Forest roads: a synthesis of scientific information. Portland, Oregon: USDA Forest service, Pacific Northwest research station. p. 103.
- Harr R. D. et Nichols R. A. 1993. Stabilizing forest roads to help restore fish habitats: a Northwest Washington example. *Fisheries* 18(4):5.
- Havlick D. G. 1998. Closing forest roads for habitat protection: a Northern Rockies case study. Dans : International conference on wildlife ecology and transportation; 10 au 12 février 1998; Tallahassee, Floride : Wild Rockies field institute. p. 3.
- Henry C. et Bergeron K. 2005. Compost use in forest land restoration. Seattle, Washington : US Environmental protection agency. p. 35.
- Henschel C. 2003. The road less travelled? A report on the effectiveness of controlling motorized access in remote areas of Ontario. Edmonton, Alberta : Global forest watch. p. 39.
- Hotte M. et Quirion M. 2003. Guide technique no 15 : traverses de cours d'eau. Sainte-Foy, Québec : Fondation de la faune du Québec et Fédération des producteurs de bois du Québec. p. 32.
- Hunt L. M. et Hosegood S. 2008. The effectiveness of signs at restricting vehicle traffic: a case of seasonal closures on forest access roads. *Canadian journal of forest research* 38(8):2306.
- Indiana Department of Natural Resources. 2014. Glossary of best management practice terms [Internet]. Indiana department of natural resources ; [consulté le 5 mai 2014]. Disponible à : <http://www.in.gov/dnr/forestry/4703.htm>
- James A. R. C. et Stuart-Smith A. K. 2000. Distribution of caribou and wolves in relation to linear corridors. *The Journal of Wildlife Management* 64(1):6.
- James W. 1996. Hydraulics and hydrology vocabulary [Internet]. University of Guelph ; [consulté le 5 mai 2014]. Disponible à : <http://www.soe.uoguelph.ca/webfiles/wjames/homepage/stillunclassified/wjvocab.html>
- Kneeshaw D. et Gauthier S. 2006. Accessibilité forestière accrue : panacée ou boîte de Pandore? *Théoros* 25(3):5.
- Kolka R. K. et Smidt M. F. 2004. Effects of forest road amelioration techniques on soil bulk density, surface runoff, sediment transport, soil moisture and seedling growth. *Forest ecology and management* 202(1):11.

- Laboratoire d'écohydrologie Echo. 2014. Chapter 6 : Runoff and subsurface flow [Internet]. Laboratoire d'écohydrologie Echo ; [consulté le 5 mai 2014]. Disponible à : http://echo2.epfl.ch/VICAIRE/mod_1a/chapt_6/main.htm
- Lacey J. E. 2008. Deep-ripping and decompaction. Albany, New-York : New York state department of environmental conservation. p. 12.
- Latrémouille I. 2012. Guide des saines pratiques d'entretien des chemins forestiers dans les zecs. Québec, Québec. Zecs Québec. p. 76.
- Lloyd R. A., Lhose K. A. et Ferré T. P. A. 2013. Influence of road reclamation techniques on forest ecosystem recovery. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11(2):7.
- Luce C. H. 1997. Effectiveness of road ripping in restoring infiltration capacity of forest roads. *Restoration ecology* 5(3):6.
- Madej M. A. 2001. Erosion and sediment delivery following removal of forest roads. *Earth Surface Processes and Landforms* 26(2):16.
- Maurin L. P. et Stubblefield A. P. 2011. Channel adjustment following culvert removal from forest roads in Northern California, USA. *Ecological restoration* 29(4):10.
- McNabb D. H. 2011a. Effects of industrial operations on forest soil quality. Dans : Séminaire «Regenerating forests on small industrial sites»; 14 janvier 2011; Edmonton, Alberta : Institut forestier du Canada. p. 21.
- McNabb D. H. 2011b. Reforesting roads and wellsites. Dans : Séminaire «Regenerating forests on small industrial sites»; 14 janvier 2011; Edmonton, Alberta : Institut forestier du Canada. p. 19.
- McNabb D. H. 2012. Restore soil to restore sustainable mixedwood forests on industrial sites. Dans : Colloque «Boreal mixedwoods 2012– Ecology and management for multiple values»; 17-20 juin 2012; Edmonton, Alberta : Université d'Alberta. p. 35.
- Merrill B. R. et Casaday E. 2001. Field techniques for forest and range road removal. Eureka, CA : California state parks, North Coast Redwoods District. p. 44.
- Merrill B. R. et Casaday E. 2003a. Best management practice for road rehabilitation : stream river crossing. Eureka, CA : Roads trails and resources maintenance section, North Coast Redwoods District, California state parks. p. 25.
- Merrill B. R. et Casaday E. 2003b. Best management practices : full road recontouring. Eureka, CA : Roads trails and resources maintenance section, North Coast Redwoods District, California State Parks. p. 19.
- Merrill B. R. et Casaday E. 2003c. Best management practices : Partial road recontouring. Eureka, CA : Roads trails and resources maintenance section, North Coast Redwoods District, California state parks. p. 19.
- Merrill B. R. et Casaday E. 2003d. Best management practices for road rehabilitation : Road-to-trail conversion. Eureka, CA : Roads trails and resources maintenance section, North Coast Redwoods District, California state parks. p. 20.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. 2014. Description des classes [Internet]. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs ; [consulté le 18 novembre 2014]. Disponible à : <http://www.mffp.gouv.qc.ca/forets/inventaire/pdf/couches-chemins-forestiers.xls>
- Michigan State. 2014. Hydroseeding [Internet]. Michigan state ; [consulté le 8 mai 2014]. Disponible à : http://www.michigan.gov/documents/deq/nps-hydroseeding_332128_7.pdf
- Ministry of Forests and Range. 2008. Glossary of forestry terms in British Columbia. Victoria, Colombie-Britannique : Ministry of forests and range. p. 130.
- Mladenoff D. J., Sickley T. A., Haight R. G. et Wydeven A. P. 1995. A regional landscape analysis and prediction of favorable gray wolf habitat in the Northern Great Lakes Region. *Conservation Biology* 9(2):16.

- Moll J. E. 1996. A guide for road closure and obliteration in the Forest Service. San Dimas, Californie : USDA Forest Service. p. 49.
- Monk B. 2009. Multipurpose subsoiling excavator attachments. San Dimas, Californie : USDA Forest Service, National technology and development program, p. 15.
- Moore G. D. 1994. Resource road rehabilitation handbook: planning and implementation guidelines (interim methods). Victoria, Colombie-Britannique : Ministry of environment, lands and parks and Ministry of forests, Watershed restoration program. p. 100.
- Mosnier A. 2008. Utilisation du milieu boréal par l'ours noir et implications pour la conservation du caribou de la Gaspésie [Rimouski , Qc]. Faculté des sciences : Université du Québec à Rimouski. p. 122.
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. 2007. Techniques de fermeture de chemins du domaine de l'état. Québec, Québec : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction du soutien aux opérations Faune et Forêts, Division des suivis et contrôles. p. 33.
- Ministère des Transport du Québec. 2014. Grande faune [Internet]. Ministère des Transport du Québec ; [consulté le 7 mai 2014]. Disponible à : http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/grand_public/vehicules_promenade/secure_routiere/grande_faune
- Napper C. 2006. Burned area emergency response treatments catalog. San Dimas, Californie. USDA Forest Service, San Dimas technology and development center. 254 p.
- NEsoil. 2014. Glossary of soil science terms [Internet]. NEsoil ; [consulté le 5 mai 2014]. Disponible à : <http://nesoil.com/gloss.htm>
- Perrotte Caron O., Varady-Szabo H. et Malenfant A. 2012. Portrait de l'organisation spatiale du territoire forestier gaspésien définie d'après la mesure de l'intensité de la fragmentation et de la connectivité des forêts. Gaspé, Québec: Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles. p. 59.
- Plotnikoff M. R., Bulmer C. E. et Schmidt M. G. 2002. Soil properties and tree growth on rehabilitated forest landings in the interior cedar hemlock biogeoclimatic zone: British Columbia. *Forest ecology and management* 170(1):17.
- Reed R. A., Johnson-Barnard J. et Baker W. L. 1996. Contribution of roads to forest fragmentation in the Rocky Mountains. *Conservation biology* 10(4):9.
- Schaffer R. 2003. National forest service road decommissioning, an attempt to read through the numbers. Tucson, Arizona : Wildlands CPR. p. 20.
- Stamets L. D. C. 2012. Best mycorestoration practices for habitat restoration of small land parcels. [Olympia, Washington] : Master of environnemenal studies, Evergreen state college. p. 155.
- Stamets P. et Sumerlin D. 2003. Mycofiltration: a novel approach for the bio-transformation of abandoned logging roads [Internet]. Fungi perfecti; [consulté le 10 avril 2014]. Disponible à : <http://www.fungi.com/blog/items/mycorestoration-of-abandoned-logging-roads.html>
- St-Laurent M-H, Renaud A-L, Leblond M et Beauchesne D. 2012. Synthèse des connaissances relatives aux impacts des routes sur l'écologie du caribou. *Le naturaliste canadien* 136(2) :6.
- Strimbu B., Alila Y. et Schnorbus M. 2006. Hydrologic recovery of the peak flow regime in a snow dominated upland watershed in the southern interior of British Columbia : an investigation using a distributed physically based hydrologic model. n. d. : Ministry of forests and range, Forest investment account, Forest science program. p. 14. non-publié.
- Sutherland B. 2000. Comparison of five treatments used to rehabilitate compacted landings. *Advantage* 1(16):12.
- Sutherland B. 2011. Road decommissioning and dehabilitation near Jorick Lake, Lac Seul Forest. Sault Ste. Marie, Ontario : FPIInnovations. p. 2.
- Sutherland B. 2012. Removal of water crossing structures on the Wind road, Lac Seul Forest. Sault Ste. Marie, Ontario : FPIInnovations. p. 2.

- Switalski T., Bissonette J., DeLuca T., Luce C. et Madej M. 2004. Benefits and impacts of road removal. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(1):8.
- Switalski T., DeLuca T., Luce C., Madej M. et Bissonette J. 2003. Wildland road removal: Research needs. Dans : Colloque «International conference on ecology and transportation»; 24 au 29 août 2003; Lake Placid, New-York. p. 5.
- Task Team Report. 2003. Findings and recommendations pertaining to liability assessment - determination of responsibility - planning implications. Peterborough, Ontario : Forest roads and water crossings initiative. p. 51.
- Teasley R. L. 2002. Managing forest road removal using dynamic programming: a pilot study. *American journal of undergraduate research* 1(2):8.
- Tree Terms. 2014. radiation frost [Internet]. Tree terms ; [consulté le 5 mai 2014]. Disponible à : <http://www.treeterms.co.uk/definitions/radiation-frost>
- Trudeau J. 2005. Evaluating the use of mycorestoration on decommissioned roads in Arizona [Internet]. Wildearth guardians ; [consulté le 10 avril 2014]. Disponible à : <http://www.wildlandscpr.org/?q=road-riporter/evaluating-use-mycorestoration-decommissioned-roads-arizona>
- US Fish and Wildlife Service. 2014a. Overflow structure implementation [Internet]. US Fish and Wildlife Service ; [consulté. Disponible à : <http://www.fws.gov/fire/ifcc/esr/Treatments/channel-armoringi.htm>
- US Fish and Wildlife Service. 2014b. Outsloping [Internet]. US Fish and Wildlife Service ; [consulté le 1 mai 2014]. Disponible à : <http://www.fws.gov/fire/ifcc/esr/Treatments/outslopingi.htm>
- US Forest Service. 2014. Road construction [Internet]. USDA Forest Service; [consulté le 23 avril 2014]. Disponible à : <http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/stewardship/accessroads/construction.htm>
- Van Rees K. et Jackson D. 2001. Impacts of ripping and rollback of organic matter on landings and roadways in harvested blocks in Central Saskatchewan. Saskatoon, Saskatchewan: Université de la Saskatchewan et The Prince Albert model forest association. p. 36.
- Villard M-A., Mazerolle M-J. et Haché S. (2012). L'impact des routes, au-delà des collisions: le cas des oiseaux forestiers et des amphibiens. *Le Naturaliste canadien* 136(2):5.
- Walder B. et Bagley S. 1999. An explanation and assessment of road removal in varied habitats. Dans : «Third international conference on wildlife ecology and transportation»; Tallahassee, Floride : Florida department of transportation. p. 7.
- Weaver W. et Hagans D. 1990. Techniques and costs for effective road closure. Arcata, CA: Pacific watershed associates. p. 8.
- Weaver W., Hagans D. et Popenoe J. H. 1995. Magnitude and causes of gully erosion in the lower Redwood Creek Basin, Northwestern California. Washington, District of Columbia. US geological survey professional : p. I1-I21.
- Weaver W. E. et Hagans D. K. 1994. Handbook for forest and ranch roads : a guide for planning, designing, constructing, reconstructing, maintaining and closing wildland roads. Ukiah, Californie : The Mendocino County Resource Conservation District. p. 161.
- Wemple B. C. 1998. Investigations of runoff production and sedimentation on forest roads. [Eugene, OR] : Oregon State University. p. 168.
- Wielgus R. B., Vernier P. R. et Schivatcheva T. 2002. Grizzly bear use of open, closed, and restricted forestry roads. *Canadian journal of forest research* 32(9):10.
- Wikia. 2014a. Ripper [Internet]. Wikia ; [consulté le 8 mai 2014]. Disponible à : <http://tractors.wikia.com/wiki/Ripper>
- Wikia. 2014b. Subsoiler [Internet]. Wikia ; [consulté le 5 mai 2014]. Disponible à : <http://tractors.wikia.com/wiki/Subsoiler>

SAVOIR | FAIRE SAVOIR



Consortium en foresterie
Gaspésie—Les-Îles

37, rue Chrétien, bureau Z-3, C. P. 5 Gaspé (Québec) G4X 1E1 Tél.: 418.368-5166 ou 1 866.361.5166 Téléc.: 418.368.0511

mieuxconnaitrelaforet.ca

