

**PLAN DE CONNECTIVITÉ CIBLANT LES AMÉNAGEMENTS
FAUNIQUES OPTIMUMS À PRÉVOIR AFIN
D'AMÉLIORER LA PERMÉABILITÉ FAUNIQUE ET DE
RESTAURER LA CONNECTIVITÉ ÉCOLOGIQUE DE PART
ET D'AUTRE DE L'AUTOROUTE 10 (KM 74 À 121)**



mai
2022

Plan de connectivité - Autoroute 10

Un projet réalisé par :



REMERCIEMENTS

Pour la réalisation de ses activités, Corridor appalachien bénéficie du soutien financier du Gouvernement du Canada (via Environnement et changement climatique Canada) dans le cadre des *Fonds pour la nature du Canada : Lieux prioritaires désignés par les collectivités (LPDC) pour les espèces en péril*, de même que des fonds accordés par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (via le programme Action-Climat), la Fondation de la faune du Québec et la Fondation ECHO.

Corridor appalachien souhaite remercier Jochen Jaeger de l'université Concordia, Marc-André Poulin du ministère des Transports et Brigitte Marchand de la Société des établissements de plein air du Québec pour leur révision du texte. L'équipe souhaite aussi à souligner le support de Vincent Desjardins et Samuel Fortin stagiaires à l'été 2021.

Ce projet a été réalisé avec l'appui financier du gouvernement du Canada.

This project was undertaken with the financial support of the Government of Canada.

Canada 

Ce projet a été réalisé avec l'appui financier de :
This project was undertaken with the financial support of:



Environnement et
Changement climatique Canada

Environment and
Climate Change Canada

Québec 

Fondation **ECHO** Foundation
ECHO

 Fondation
de la faune
du Québec



466, rue Principale, Eastman (Québec) J0E 1P0

www.corridorappalachien.ca

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Rédaction :

Victor Grivegnée-Dumoulin, biologiste et coordonnateur à l'acquisition des connaissances

Tanya Vinet, biologiste

Mélanie Roy, biologiste

Direction

Clément Robidoux, biologiste et directeur – conservation

Révision :

Clément Robidoux, biologiste et directeur – conservation

Mélanie Lelièvre, directrice générale

Martine Ruel, directrice Intendance & Partenariat

Cartographie :

Patrice Pineault, technicien en géomatique

Benoît Talbot, responsable de la géomatique

COMMENT CITER CE DOCUMENT

Grivegnée-Dumoulin, V., Vinet, T. et Roy, M. 2022. Plan de connectivité ciblant les aménagements fauniques optimums à prévoir afin d'améliorer la perméabilité faunique et de restaurer la connectivité écologique de part et d'autre de l'autoroute 10 (km 74 à 121). Corridor appalachien, Eastman, Québec. 127 p.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	VII
LISTE DES TABLEAUX	VIII
LISTE DES ABRÉVIATIONS	IX
LEXIQUE	X
INTRODUCTION	1
1. MISE EN CONTEXTE	2
1.1. POURQUOI SE PREOCCUPER DE LA BIODIVERSITE ET DE LA CONNECTIVITE ECOLOGIQUE ?	2
1.2. OÙ EN SONT RENDUES LES CONNAISSANCES SUR L'ÉCOLOGIE ROUTIÈRE ?	4
1.2.1. <i>Les effets des mesures de mitigation</i>	4
1.2.2. <i>Les préférences des espèces pour des types de structures ou leur emplacement</i>	5
1.3. POURQUOI VISER LES APPALACHES DU SUD DU QUÉBEC ?	6
1.4. SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES SUR L'AUTOROUTE 10 ET SON NIVEAU ACTUEL DE CONNECTIVITE	9
1.4.1. <i>Identification et protection des corridors et passages fauniques</i>	10
1.4.2. <i>Étude des installations en place</i>	11
1.4.3. <i>Caractérisation des corridors écologiques</i>	12
1.4.4. <i>Détection des mouvements fauniques existants</i>	12
2. STRUCTURES PERTINENTES AU CONTEXTE DE LA ZONE D'ÉTUDE	14
2.1. PASSAGES INFÉRIEURS	14
2.1.1. <i>Viaducs</i>	16
2.1.2. <i>Passages inférieurs pour la grande faune</i>	17
2.1.3. <i>Passages inférieurs mixtes</i>	18
2.1.4. <i>Ponceaux modifiés</i>	20
2.1.5. <i>Tuyaux secs ou écoducs</i>	22
2.1.6. <i>Tunnels pour reptiles et amphibiens</i>	23
2.1.7. <i>Aménagement des berges d'un cours d'eau</i>	24
2.2. PASSAGES SUPÉRIEURS	25
2.2.1. <i>Passerelles fauniques</i>	26
2.2.2. <i>Ponts écologiques</i>	27
2.2.3. <i>Passages supérieurs mixtes</i>	28
2.2.4. <i>Chiroptéroducts</i>	29
2.3. COMPLÉMENTS AUX PASSAGES FAUNIQUES	31
2.3.1. <i>Clôtures</i>	31

2.3.2.	<i>Réflecteur et méthode de dissuasion auditive</i>	34
3.	MÉTHODOLOGIE	35
3.1.	METHODE GEOMATIQUE PERMETTANT DE CIBLER LES SECTEURS PRIORITAIRES	35
3.1.1.	<i>Les critères de l'analyse spatiale matricielle</i>	37
3.1.2.	<i>Source des données utilisées</i>	39
3.2.	ANALYSE FINE DES SECTEURS PRIORITAIRES ET DIAGRAMME DE DECISION POUR LE CHOIX DES TYPES DE PASSAGE FAUNIQUE OPTIMUMS.....	40
3.2.1.	<i>Critère 1 : Présence de structures routières</i>	40
3.2.2.	<i>Critère 2 : Contraintes topographiques</i>	40
3.2.3.	<i>Critère 3 : Groupe d'espèces ciblées</i>	42
3.3.	LIMITES METHODOLOGIQUES	44
4.	RÉSULTATS	44
4.1.	SECTEUR BROMONT-SHEFFORD	46
4.2.	SECTEUR BOLTON-QUEST-STUKELY-SUD	48
4.3.	SECTEUR EASTMAN	50
4.4.	SECTEUR AUSTIN-MAGOG	52
5.	RECOMMANDATIONS ET PLAN D'ACTION	53
5.1.	RECOMMANDATIONS.....	53
5.1.1.	<i>Généralités pour les passages fauniques</i>	54
5.1.2.	<i>Passerelles fauniques et ponts écologiques</i>	55
5.1.3.	<i>Viaducs, aménagement des berges et passages inférieurs pour la grande faune</i>	55
5.1.4.	<i>Ponceaux modifiés, aménagement des berges et tuyaux secs</i>	55
5.1.5.	<i>Passages supérieurs et inférieurs mixtes</i>	56
5.1.6.	<i>Tunnels pour reptiles et amphibiens</i>	56
5.1.7.	<i>Installation de clôtures</i>	56
5.2.	PLAN D'ACTION.....	57
	CONCLUSION	62
	RÉFÉRENCES	64
	ANNEXE 1 - EXEMPLES DE PLANS ET ESTIMÉS DES COÛTS	76
	EXEMPLE 1 – PASSAGES FAUNIQUE I-70 EAST VAIL PASS : ÉTUDE DE FAISABILITÉ.....	77
	<i>Passages inférieurs</i>	77
	<i>Passage supérieur</i>	79

<i>Estimation des coûts</i>	80
EXEMPLE 2 – PARC NATIONAL DE BANFF, YOHO ET KOOTENAY	82
<i>Passages supérieurs dans le parc National de Banff</i>	82
<i>Passage supérieur dans le parc national de Yoho</i>	100
<i>Passage inférieur dans le parc national de Kootenay</i>	106
<i>Estimation des coûts</i>	112
EXEMPLE 3 – DEPARTEMENT DES TRANSPORTS DU MAINE (RICHARD BOSTWICK)	113

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Liens écologiques critiques au sein de l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie (tiré de : Staying Connected Northern Appalachians, 2013)	7
Figure 1.2. Territoire d'action de Corridor appalachien et son réseau écologique	7
Figure 1.3. Les Appalaches à la frontière entre le Québec et les États-Unis vues du sommet du Round Top (© Corridor appalachien)	8
Figure 1.4 : Petit blongios (© Benoît Jobin)	8
Figure 1.5 : Grive de Bicknell (© Serge Beaudette)	8
Figure 1.6 : Tortue des bois (© Caroline Daguet)	9
Figure 1.7 : Petite chauve-souris brune (© Caroline Daguet)	9
Figure 1.8. Cartographie de localisation des quatre sites prioritaires (entre les KM 74 et 121), des noyaux de conservation et des corridors écologiques contigus à l'autoroute 10 (Daguet, 2017)	11
Figure 1.9. Les neuf sites concernés par les activités de la phase III (Daguet, 2017)	12
Figure 2.1. Exemple de viaduc en Allemagne (© Störfix)	16
Figure 2.2. Photo de passage inférieur pour les ours aux États-Unis (© <i>United States Department of Transportation</i>)	18
Figure 2.3. Photo d'un passage inférieur mixte avec piste cyclable aux Pays-Bas (© Marcel Huijser).....	19
Figure 2.4. Photo d'un ponceau modifié avec l'ajout de tablettes en porte-à-faux (© CreativeNature).....	21
Figure 2.5. Photo de tuyau sec sous une route (© Tony Clevenger)	23
Figure 2.6. Photo d'un tunnel pour reptiles et amphibiens dans le nord de l'Allemagne (© Christian Fischer)	24
Figure 2.7. Photo de la passerelle faunique de « Réngelbur » au Luxembourg (© GilPe)	26
Figure 2.8. Photo de pont écologique en Allemagne (© JuergenL)	28
Figure 2.9. Passage mixte avec chemin agricole en France (© Ittecope, s.d.).....	28
Figure 2.10. Chiroptéroduct en France (© Gloumouth1).....	29
Figure 2.11. Photos d'un sautoir construit en Beauce. À gauche : vue de la pente douce du côté de l'autoroute Robert-Cliche (A73) ; À droite : vue du mur du côté de la forêt (tirées de : Lavoie et al., 2012)32	
Figure 3.1. Résumé de la méthodologie pour définir les secteurs prioritaires et les types d'aménagement optimums	35
Figure 3.2. Topographie routière de type « déblai » (tiré de : Clevenger et Huijser, 2011).....	41
Figure 3.3. Topographie routière de type « remblai » (tiré de : Clevenger et Huijser, 2011).....	41
Figure 3.4. Topographie routière de type « plat » (tiré de : Clevenger et Huijser, 2011).....	41
Figure 3.5. Topographie routière de type « inégale » (tiré de : Clevenger et Huijser, 2011).....	41
Figure 4.1. Carte localisant les quatre secteurs et les sept zones prioritaires (entre les KM 74 et 121) le long de l'autoroute 10	45
Figure 4.2. Localisation des zones prioritaires dans le secteur Bromont-Sheffield	47
Figure 4.3. Localisation des zones prioritaires dans le secteur Bolton-Ouest-Stukely-Sud	49
Figure 4.4. Localisation de la zone prioritaire dans le secteur Eastman.....	51

Figure 4.5. Localisation de la zone prioritaire dans le secteur Austin-Magog.....	52
Figure 6 : Localisation des passages fauniques proposés	77
Figure 7 : Configuration routière au-dessus des passages inférieurs (© Summit County Safe Passage, 2020).....	77
Figure 8: Passage inférieur - Pont enterré (© Summit County Safe Passage, 2020).....	78
Figure 9 : Passage inférieur - Pont enterré (© Summit County Safe Passage, 2020).....	78
Figure 10 : Passage inférieur – Arche enterrée (© Summit County Safe Passage, 2020).....	79
Figure 11 : Passage inférieur - Arche enterrée (© Summit County Safe Passage, 2020).....	79
Figure 12 : Configuration routière en dessous du passage supérieur (Source : Summit County Safe Passage, 2020)	79
Figure 13 : Passage supérieur en forme de sablier (© Summit County Safe Passage, 2020).....	80
Figure 14 : Passage supérieur en forme de sablier (© Summit County Safe Passage, 2020).....	80

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1. Préférence des espèces pour des dimensions de structures et leur emplacement (inspiré de : Clevenger et Waltho, 2005).....	5
Tableau 1.2. Espèces et leurs mobilités en Estrie et en Montérégie (tiré de : Gratton, 2014)	10
Tableau 1.3 Liste détaillée des espèces victimes d'accident routier sur l'A10 (Jaeger et al., 2021)	13
Tableau 2.1 : Description des passages fauniques inférieurs préférés par les espèces utilisatrices au Vermont (tiré de : Lemieux, 2018).....	16
Tableau 2.2. Résumé de tous les passages fauniques	30
Tableau 3.1 Sommaire des classes et pondérations des critères utilisés pour l'analyse des zones prioritaires à l'aménagement de passages fauniques.....	37
Tableau 3.2 Diagramme décisionnel du choix de type de passage faunique.....	43
Tableau 4.1 Zone prioritaire du secteur Bromont-Shefford.....	47
Tableau 4.2 Zone prioritaire du secteur Bolton-Ouest-Stukely-Sud.....	49
Tableau 4.3 Zone prioritaire du secteur Eastman	51
Tableau 4.4 Zone prioritaire du secteur Austin-Magog	53
Tableau 5.1 Estimés des coûts par type de passage faunique.....	59
Tableau 0.1 : Estimé des coûts (inspiré de : Summit County Safe Passage, 2020).....	81

LISTE DES ABRÉVIATIONS

A10	Autoroute 10
A73	Autoroute Robert-Cliche
ARC	Animal Road Crossing
BDTQ	Base de données topographiques du Québec
CRECQ	Conseil régional de l'environnement du Centre-du-Québec
COSEPAC	Comité sur la situation des espèces en péril au Canada
IENE	Infrastructure & Ecology Network Europe
KM	Borne kilométrique
MAAMA	Ministry of Agriculture, Food and the Environment
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques
MFFP	Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
MTQ	Ministère des Transports du Québec
OQLF	Office québécois de la langue française
Sépaq	Société des établissements de plein air du Québec
Sétra	Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements
SIG	Système d'information géographique

LEXIQUE

Aires de répartition : Zone bien délimitée géographiquement et de façon altitudinale, à l'intérieur de laquelle un organisme existe ; le plus souvent, on s'intéresse à l'aire d'un taxon. (Office québécois de la langue française [OQLF], s. d.)

Connectivité : Le degré de connexion entre les divers milieux naturels présents au sein d'un même paysage tant au niveau de leurs composantes, de leur répartition spatiale et de leurs fonctions écologiques. (Conseil régional de l'environnement du Centre-du-Québec [CRECQ], 2014)

Corridor écologique : Espace reliant des écosystèmes ou des habitats naturels, qui permet le déplacement des espèces ainsi que le brassage génétique de leurs populations. (OQLF, s. d.)

Domaine bioclimatique : Territoire caractérisé par le type de végétation, souvent arborescente, présente en fin de succession sur les sites mésiques (conditions pédologiques, de drainage et d'exposition moyennes). (Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 2003)

Domaine vital : Superficie nécessaire pour qu'un organisme puisse compléter son cycle de vie et ses activités. (Fédération canadienne de la faune, s. d.)

Écorégion : Aire relativement homogène dans ses conditions écologiques (climat, sol, végétation, hydrologie, etc.). (Gouvernement du Canada, 2013)

Effet de lisière : Altérations écologiques liées au développement des lisières des parcelles de forêt. (Didham et al., 1998)

Effet tunnel et **effet couloir** : Obstacles psychologiques de la faune à la traversée de passages inférieurs (effet tunnel) et supérieurs (effet couloir). L'effet tunnel est causé par un ratio élevé des dimensions de longueur par rapport à celles de hauteur et largeur (petite hauteur et largeur pour une grande longueur) tandis que l'effet couloir est causé par un ratio élevé de la longueur par rapport à la largeur (grande longueur et une petite largeur). Ces effets donnent une impression d'enfermement dissuasive pour la faune. (Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements [Sétra], 2008)

Fragmentation : Séparation ou disparition de milieux naturels à cause des activités humaines limitant les déplacements et les activités des espèces natives. (OQLF, s. d.)

Métapopulation : Ensemble de populations d'une même espèce qui sont réparties dans l'espace et dans lesquelles il y a un échange d'individus. (Thomas et al., 2016)

Ponceau : « Ouvrage servant de petit pont, constitué d'au moins un tuyau transversal généralement fait en béton ou en métal qu'on recouvre de gravier ou d'autres matériaux, qui permet à l'eau [...] de s'écouler sous une route, une voie ferrée ou toute autre structure. » (OQLF, s. d.)

Résilience des écosystèmes : Capacité d'un écosystème de subir des perturbations et de revenir à son état original à travers le temps suite à des perturbations. (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, 2010a)

Services écosystémiques : Avantage matériel ou immatériel que l'homme retire des écosystèmes. (OQLF, s. d.)

Viaduc : « Pont routier ou ferroviaire long et haut pouvant comporter plusieurs travées, généralement érigé au-dessus d'une vallée, d'une dépression importante. » (OQLF, s. d.)

INTRODUCTION

La Convention sur la diversité biologique, lors du Sommet de la terre à Rio en 1992, a marqué le début d'un intérêt mondial pour la conservation de la biodiversité. Depuis ce temps, les chiffres sont toujours alarmants. La Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) a fait état du déclin de la biodiversité dans son rapport de 2018. En effet entre 1900 et 2018, l'abondance des espèces a diminué de 20 % en moyenne. Aujourd'hui, 1 million d'espèces animales et végétales sont menacées d'extinction dans le monde. (Díaz et al., 2018) Au Canada, entre 1970 et 2016, les populations d'espèces jugées en péril par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) ont connu un déclin de 59 % en moyenne (Currie et al., 2020).

L'une des menaces principales à la biodiversité est la perte d'habitat et la fragmentation des écosystèmes (Currie et al., 2020 ; Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique, 2010). Cette fragmentation diminue la connectivité écologique. Elle empêche le déplacement des populations entre les habitats favorables notamment à la subsistance et à la reproduction. Dans l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie, neuf liens critiques ont été définis. Dans chacun de ces liens, si la connectivité est perdue, par fragmentation et perte d'habitat, les grands mammifères, par exemple, à vastes domaines vitaux (ours noir, orignal, lynx, cerf de Virginie) ne pourront plus se déplacer entre les habitats qui leurs sont importants. Les Montagnes vertes constituent l'un des liens les plus critiques pour la connectivité de l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie. L'autoroute 10 (A10) est le plus grand obstacle à la connectivité de ce lien. (Staying Connected Northern Appalachians, 2013) Les espèces tentent significativement moins de traverser les autoroutes, mais dans ce cas, la traversée est inévitable (Clevenger et al., 2009). Les traversées tentées peuvent mener à des collisions avec les automobilistes, dont certaines sont mortelles autant pour les automobilistes que pour la faune (Ministère des Transports, 2000 ; Ascensão et al., 2021).

Corridor appalachien est un organisme de conservation à but non lucratif qui œuvre depuis 2002 à la protection des milieux naturels et de la biodiversité de la chaîne des Appalaches dans la région de l'Estrie au sud du Québec. Il vise l'augmentation d'aires protégées dans les régions à fort intérêt biologique et écologique telles que les noyaux d'habitats, les zones tampons et les corridors écologiques. (Corridor appalachien, 2021) Un de ses objectifs principaux est de maintenir la connectivité du réseau écologique (Daguet, 2017). Par l'entremise de ce rapport, Corridor appalachien met en place un plan de connectivité ciblant les aménagements fauniques optimums à prévoir afin d'améliorer la perméabilité faunique et de restaurer la connectivité écologique de part et d'autre de l'A10 (entre les bornes kilométriques [KM] 74 et 121). Les objectifs de ce plan et du projet sont :

- Rassembler, cartographier et synthétiser toutes les données, compilations de données et analyses réalisées depuis 2010 par Corridor appalachien et les partenaires au projet ;
- Consulter des professionnels en écologie routière pour réaliser une revue de littérature sur les structures permettant le passage sécuritaire de la faune ;
- Produire un outil permettant de cibler les secteurs prioritaires pour la réalisation d'aménagements fauniques et d'identifier les types d'aménagement les plus pertinents pour chaque secteur ;

- Produire une série d'exemples de plans et devis et des estimations budgétaires ;
- Promouvoir le projet auprès des décideurs du ministère des Transports du Québec (MTQ), du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (MELCC) et autres parties prenantes intéressées, afin de les inviter à suivre les recommandations du plan de connectivité.

À ce jour, plusieurs travaux entourant l'A10 ont été effectués. En premier lieu, un protocole d'identification et de protection des corridors et passages fauniques à l'aide de la géomatique a été élaboré (Gratton, 2014). À partir d'un travail exhaustif de terrain impliquant une détection des mouvements et des mortalités fauniques, tous les corridors écologiques de la section d'intérêt de l'A10 ont été identifiés. En deuxième lieu, l'analyse des données a permis de mener à la sélection de quatre zones prioritaires où des actions pour restaurer la connectivité seraient nécessaires (Salvant, 2017). Plus récemment, des travaux ont permis de valider et de caractériser les mouvements de la faune à travers les structures routières existantes et d'étudier la mortalité animale le long de l'A10 (Jaeger et al., 2021). Enfin, la mise en œuvre du plan de connectivité de l'A10 sera la prochaine étape de ce grand projet.

1. MISE EN CONTEXTE

Dans un premier temps, cette section met en avant trois grandes questions qui entourent le projet. Y répondre permet de mieux comprendre les concepts théoriques et pratiques sous-jacents à l'objectif de rétablir la connectivité écologique dans les secteurs prioritaires de l'A10. Ensuite, la dernière partie de cette section est une synthèse des connaissances sur l'A10 et son niveau actuel de connectivité.

1.1. Pourquoi se préoccuper de la biodiversité et de la connectivité écologique ?

La biodiversité est une composante extrêmement importante de l'environnement. Elle affecte la composition même des écosystèmes ainsi que leurs fonctions. En effet, les écosystèmes procurent plusieurs services écosystémiques, c'est-à-dire des bénéfices directs ou indirects aux populations humaines. (Díaz et al., 2018) Ils procurent, entre autres, des services de filtration des eaux et des nutriments, de mitigation des crues et des inondations, de contrôle de l'érosion et d'apport en biens matériels (nourriture, médicaments, combustible, etc.). Les humains peuvent dépendre, dans une certaine mesure, de ces services ou simplement en profiter par une qualité de vie accrue, notamment par des services de type culturel (ex. : parcs nationaux). (Berteaux et al., 2014) La biodiversité augmente la stabilité des services écosystémiques ou, en d'autres mots, leur procure une plus grande résilience face aux changements climatiques (Cardinale et al., 2012).

Malheureusement, la biodiversité est en déclin partout dans le monde. Les taux d'extinction sont présentement les plus élevés rencontrés à travers l'histoire. Il a été estimé que 2 espèces de vertébrés sur 10 000 vont s'éteindre tous les 100 ans. Plusieurs scientifiques considèrent que l'on pourrait qualifier l'ère humaine dans laquelle nous sommes de sixième extinction massive. (Ceballos et al., 2015) Dans le monde, 28 % des espèces connues sont menacées (Union internationale pour la conservation de la nature, 2021). Au Québec, en 2005, 69,5 % des espèces menacées ou vulnérables étaient en déclin. Ceci était

particulièrement marqué dans le sud de la province, là où la biodiversité est la plus forte (Tardif et al., 2005). La perte de la biodiversité menace le fonctionnement des écosystèmes ainsi que la pérennité des sociétés humaines. Elle s'explique notamment par l'intensité des pressions qu'exercent les êtres humains sur les écosystèmes terrestres. Habituellement, ces pressions directes sont regroupées en cinq catégories, soit la perte d'habitats, les espèces exotiques et envahissantes, la surexploitation, la pollution et les changements climatiques (Díaz et al., 2018). Ces pressions mènent directement à une perte de connectivité écologique par fragmentation (Krauss et al., 2010).

D'abord, la connectivité écologique est le maintien d'un lien entre plusieurs noyaux d'habitats par l'entremise de corridors écologiques. Ce lien permet d'avoir une continuité entre divers écosystèmes. (CRECQ, 2014) Les espèces fauniques sont très avantagées par une plus grande connectivité. Celle-ci permet aux populations fauniques de :

- ❖ Répondre à leurs besoins essentiels, tels que se nourrir, se reproduire et hiverner ;
- ❖ Avoir une plus grande population moins vulnérable à de nouvelles maladies ou aux variations naturelles de la taille de la population ;
- ❖ Augmenter leur résilience face aux changements des conditions environnementales, tels que des feux de forêt, des sécheresses ou les changements climatiques ;
- ❖ Maintenir la diversité génétique, en étant en contact avec plus d'individus pour la reproduction ;
- ❖ Maintenir des métapopulations à long terme. (Beckman et al., 2010)

La connectivité est donc favorable au soutien de la biodiversité et particulièrement des espèces fauniques. Au contraire, la fragmentation diminue la connectivité. En ajoutant des milieux anthropiques tels que des zones résidentielles, des chemins, des routes ou d'autres infrastructures, les réseaux de milieux naturels et les noyaux d'habitats se trouvent divisés ou isolés. Ceci occasionne, par la même occasion, l'isolement de plusieurs espèces qui autrement bénéficieraient d'avantages essentiels à leur survie à long terme, comme listés plus haut. (Herbouiller, 2009)

L'un des plus grands obstacles à la connectivité est la construction d'infrastructures routières non adaptées au contexte écologique dans lesquelles elles s'insèrent. Elles créent des barrières aux populations fauniques cherchant à accéder à de plus vastes territoires pour, entre autres, se nourrir, se reproduire ou hiverner. (Cerema, 2019) C'est pour remplir ces fonctions vitales que la faune est souvent amenée à traverser les routes, courant ainsi le risque d'entrer en collision avec des véhicules. Les collisions peuvent être particulièrement dangereuses pour les usagers de la route. La grande faune (orignaux, ours, cerfs, lynx), par sa taille significative, peut causer de grands dommages aux véhicules ou encore de graves blessures à leurs occupants, parfois même la mort. La petite et moyenne faune, quoique causant moins de lésions aux occupants des véhicules lors de collisions, peuvent causer des accidents lors de tentatives d'évitement et endommager les véhicules. (MTQ, 2000 ; Ascensão et al., 2021) Le rétablissement de la connectivité est donc avantageux à la fois pour la biodiversité, la faune et les usagers de la route, en renforçant la sécurité routière.

1.2. Où en sont rendues les connaissances sur l'écologie routière ?

L'écologie routière est un domaine de recherche multidisciplinaire regroupant des chercheurs et experts en écologie, géographie, aménagement et génie civil. Se développant en parallèle de l'écologie du paysage, les questions d'écologie routière se sont concentrées progressivement sur la connectivité du paysage et la fragmentation de l'habitat, en particulier sur l'effet des routes sur cette connectivité. (Coffin, 2007) En effet, en plus de fragmenter le paysage et de causer une perte d'habitat pour de nombreuses espèces, les routes sont responsables d'une partie importante de la mortalité animale.

Selon une étude de 2013, la mortalité aviaire attribuable aux collisions sur les routes s'élèverait à une moyenne de 13 810 906 individus par année au Canada, ce qui représente 3 462 oiseaux pour chaque 100 kilomètres de route (Bishop et Brogan, 2013). En outre, les routes auraient un effet de lisière de 55 % à 98 % plus important que les coupes forestières (coupe totale) (Collins et al., 2017). Jaeger et al. (2005) ont démontré l'importance de l'effet de lisière avec une étude sur les comportements d'évitement de la faune engendrés par les routes et la persistance des populations. Selon les résultats de cette étude, les populations les plus vulnérables aux routes étaient celles avec un comportement d'évitement de la chaussée et du bruit, et celles avec un comportement d'évitement du bruit uniquement. Les causes de cette vulnérabilité peuvent être séparées en quatre catégories : la perte d'habitats, la mortalité causée par les collisions routières, l'inaccessibilité aux ressources et la subdivision des populations. La sensibilité à ces effets de la route varie selon les espèces. Le cerf de Virginie, par exemple, peut compenser les pertes causées par la route en augmentant son taux de reproduction, les populations de cette espèce sont donc moins sensibles à la mortalité routière. D'autres taxons, comme les amphibiens, ont besoin de différents habitats pour compléter leur cycle de vie. Ils seront alors très sensibles à toutes modifications affectant l'accessibilité à ces habitats.

1.2.1. Les effets des mesures de mitigation

Une méta-analyse de l'efficacité des mesures de mitigation sur la réduction de la mortalité routière, réalisée par Rytwinski et al. (2016), a combiné les résultats de cinquante études dont 82 % ont été réalisées en Amérique du Nord. La grande majorité de ces études ciblaient l'efficacité des mesures de mitigation sur la mortalité des mammifères et 59 % d'entre elles ciblaient en particulier les grands mammifères. Les résultats de cette méta-analyse ont conclu que :

- ❖ L'utilisation de clôtures, combinées à des passages fauniques ou non, réduit la mortalité routière de 54 %
- ❖ L'effet de la longueur des clôtures sur la mortalité routière des amphibiens, des reptiles et des grands mammifères n'a pas été démontré, bien que Huijser et al. (2016) ont conclu que des barrières dont la longueur est inférieure à 5 km étaient moins efficaces ;
- ❖ L'utilisation de passages fauniques seuls (sans clôture) n'est pas efficace pour réduire la mortalité routière ;

- ❖ L'utilisation de clôtures en combinaison avec des passages fauniques permet de réduire la mortalité routière des grands mammifères de 83% comparativement à une réduction de 57% pour l'utilisation de systèmes de détection d'animaux et 1% pour l'utilisation de réflecteurs;
- ❖ Les mesures de mitigation les plus dispendieuses sont les plus efficaces pour réduire la mortalité routière des grands mammifères;

Les effets des mesures de mitigation en fonction du type de structure sont présentés avec plus de détails dans le chapitre 2.

1.2.2. Les préférences des espèces pour des types de structures ou leur emplacement

Le parc national de Banff a mis en place de nombreuses mesures de mitigation sur le réseau routier qui sillonne son territoire, telles que des passages fauniques supérieurs et des passages fauniques inférieurs. Clevenger et Waltho (2005) y ont trouvé que les structures hautes, larges et courtes influençaient positivement et fortement le passage des ours bruns (*Ursus arctos*), des loups (*Canis lupus*), des wapitis (*Cervus canadensis*) et des différentes espèces de cerfs. Les cougars (*Puma concolor*) et les ours noirs (*Ursus americanus*) avaient quant à eux une préférence pour les passages plus étroits. Une plus grande distance entre la structure de passage et la forêt était favorable pour la traversée des ours bruns, des wapitis et des cerfs. La relation inverse a été observée pour les cougars, pour lesquels une structure éloignée de la forêt n'était pas favorable (Tableau 1.1).

Tableau 1.1. Préférence des espèces pour des dimensions de structures et leur emplacement (inspiré de : Clevenger et Waltho, 2005)

Espèces	Hauteur	Largeur	Longueur	Distance entre la structure et la forêt
Ours brun	Grande	Grande		Élevée
Loup	Grande	Grande	Petite	
Wapiti	Petite	Petite	Grande	Élevée
Cerf sp.	Grande	Grande	Petite	Élevée
Cougar	Petite	Petite	Grande	Faible
Ours noir		Petite	Grande	

Note : Certaines données sont manquantes, car le tableau d'origine n'a pas présenté les valeurs non significatives.

Au Québec, une étude réalisée après l'implantation de structures adaptées aux petits et moyens mammifères a révélé que ces derniers préfèrent que la distance entre la structure et la forêt soit faible (Jaeger et al., 2017). De plus, la plupart des individus suivis avaient davantage utilisé les ponceaux secs en béton et les ponceaux à pied sec avec tablette de bois installée en porte-à-faux plutôt que les ponceaux avec pied sec de type tablette de béton. Cependant, ces structures n'ont pas été utilisées par le lynx du Canada, le pékan, le grand polatouche et la martre d'Amérique, et très peu par le lièvre d'Amérique, la loutre de rivière et le porc-épic d'Amérique. Ceci démontre l'importance de mettre en place un réseau de passages fauniques variés et séparés de quelques centaines de mètres afin que l'ensemble des espèces puissent traverser les routes en sécurité. (Jaeger et al., 2017)

En ce sens, l'emplacement et le nombre de passages fauniques devraient prendre en compte les dimensions des domaines vitaux des espèces ciblées. Selon Bissonette et Adair (2008), une distance entre les passages équivalente à la racine carrée du domaine vital d'une espèce devrait être visée en milieu naturel pour assurer la perméabilité du réseau routier. Par exemple, pour le cerf de Virginie, ceci correspond à une distance d'environ 1,4 km. D'ordre général, dans les habitats naturels, une distance maximale entre les passages fauniques de 1 km pour la grande faune et 500 m pour la petite et moyenne faune est recommandée (Ministry of Agriculture, Food and the Environment [MAAMA], 2016). Cependant, dans les habitats plus anthropiques (ex : agricole, plantation) et fortement fragmentés, où les déplacements sont déjà restreints, ces distances peuvent être augmentées à 3 km pour la grande faune et à 1 km pour la petite et moyenne faune (Beaulieu, 2018; MAAMA, 2016).

1.3. Pourquoi viser les Appalaches du sud du Québec ?

Dans un contexte de changements climatiques, les espèces seront contraintes de se déplacer vers le nord pour s'adapter aux températures en augmentation (Berteaux et al., 2014). Afin d'assurer la survie de la faune et de la flore à long terme, il ne suffit donc plus de préserver des milieux naturels isolés (Le Roux et al., 2014). Il est nécessaire d'assurer des liens entre ces différents habitats : des corridors écologiques qui permettent l'ajustement graduel des aires de répartition des espèces vers le nord (Berteaux et al., 2014 ; Gratton et Levine, 2019).

Les Appalaches nordiques et l'Acadie établissent une connexion essentielle entre les forêts tempérées de l'est des États-Unis et les forêts boréales du Canada, au climat plus frais (Staying Connected Northern Appalachians, 2013) (Figure 1.1). Cette écorégion est ainsi reconnue comme un lien critique essentiel à préserver pour assurer la résilience des écosystèmes face aux changements climatiques. (Anderson et al., 2016 ; Gratton et Levine, 2019; Grivegnée-Dumoulin, 2020) La portion québécoise de cette écorégion s'insère exactement au sein du territoire d'action de Corridor appalachien (Figure 1.2).

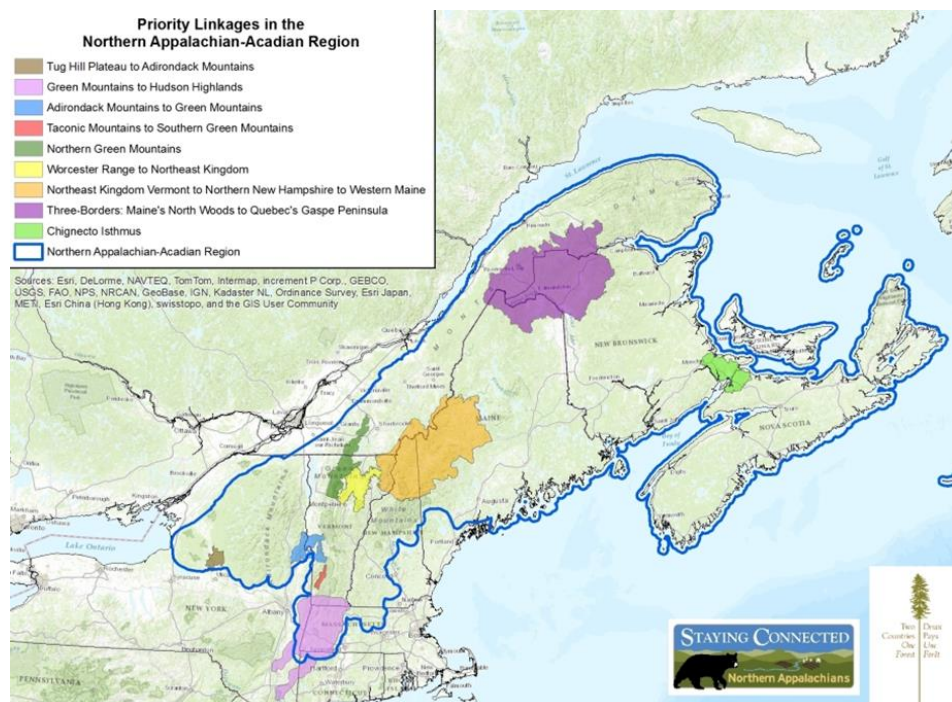


Figure 1.1 : Liens écologiques critiques au sein de l'écorégion des Appalaches nordiques et de l'Acadie (tiré de : Staying Connected Northern Appalachians, 2013)

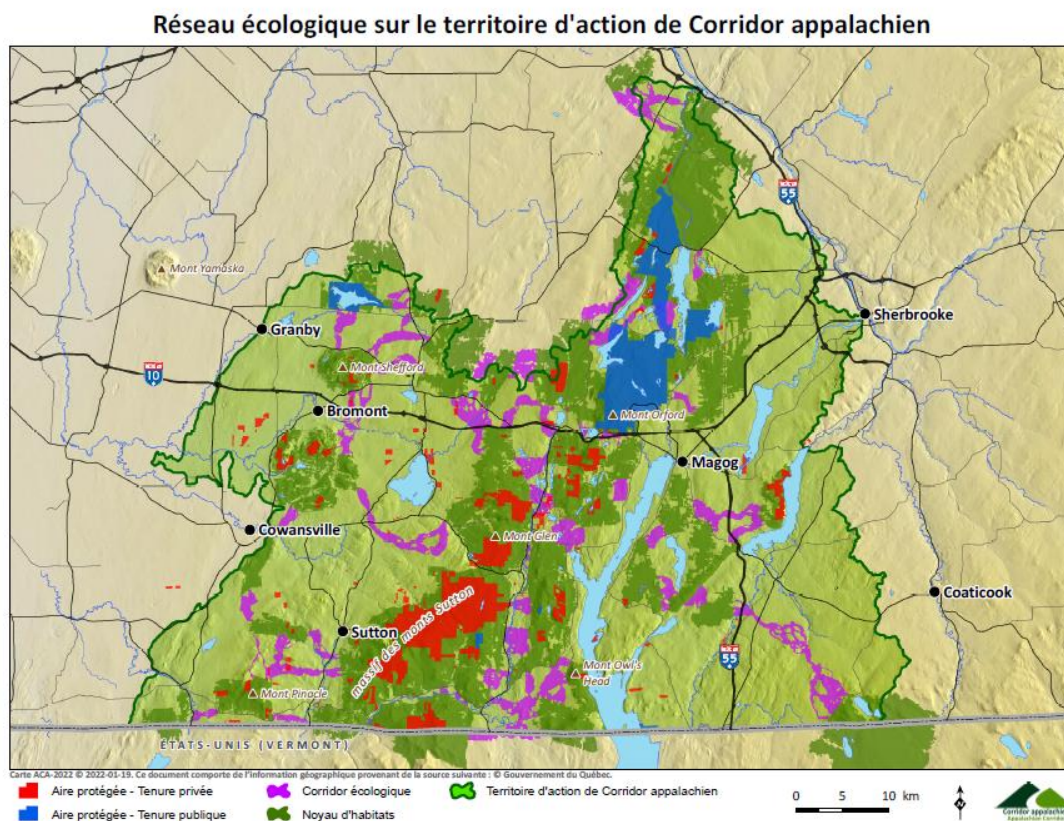


Figure 1.2. Territoire d'action de Corridor appalachien et son réseau écologique

Son importance ne se limite pas à son emplacement stratégique pour la connectivité écologique. En effet, cette écorégion est unique au monde, car elle comprend une étendue de forêt considérable avec un couvert forestier très bien conservé (Figure 1.3) (Grivegnée-Dumoulin, 2020). Ces écosystèmes encore peu perturbés par l'humain se font de plus en plus rares dans un monde où plus des trois quarts des milieux terrestres sont affectés par les activités anthropiques (Purvis et al., 2019).



Figure 1.3. Les Appalaches à la frontière entre le Québec et les États-Unis vues du sommet du Round Top
(© Corridor appalachien)

La topographie montagneuse et les trois zones bioclimatiques (domaine de l'érablière à tilleul, de l'érablière à bouleau jaune et de l'érablière à caryer cordiforme) de ce secteur sud du Québec permettent d'accueillir une grande richesse biologique (Anderson et al., 2016; Gratton et Levine, 2019; Grivegnée-Dumoulin, 2020). Ces écosystèmes sont des refuges pour de nombreuses espèces menacées ou vulnérables comme le petit blongios (*Ixobrychus exilis*), la grive de Bicknell (*Catharus bicknelli*), la tortue des bois (*Glyptemys insculpta*), la petite chauve-souris brune (*Myotis lucifugus*), etc. (Corridor appalachien, s. d.; Grivegnée-Dumoulin, 2020) (Figure 1.4, Figure 1.5, Figure 1.6 et Figure 1.7).



Figure 1.4 : Petit blongios (© Benoît Jobin)



Figure 1.5 : Grive de Bicknell (© Serge Beaudette)



Figure 1.6 : Tortue des bois (© Caroline Daguet)



Figure 1.7 : Petite chauve-souris brune (© Caroline Daguet)

Malheureusement, ces espèces et écosystèmes emblématiques pour le Canada sont menacés par la fragmentation du paysage. Les principales causes sont le développement résidentiel, l'étalement urbain et le réseau routier extensif qui empêche la libre circulation de la faune (Anderson et al., 2016; Gratton et Levine, 2019; Grivegnée-Dumoulin, 2020; Nazarnia et al., 2016). Restaurer la connectivité de ce territoire serait non seulement bénéfique pour la biodiversité, mais aussi pour l'humain. Les conséquences sociales et économiques de la fragmentation par les routes peuvent notamment être observées autour de l'A10 qui traverse les Appalaches dans un axe est/ouest. Selon les données du MTQ datant de 2015, chaque année, on y recense en moyenne environ 90 collisions avec un cerf, 8 collisions avec un orignal, 2 collisions avec un ours et plusieurs centaines avec la moyenne faune, et ce, uniquement sur le tronçon situé entre les kilomètres 68 et 143 (Grivegnée-Dumoulin, 2020). Plus précisément, les coûts annuels engendrés par ces collisions ont été estimés dans quatre sites prioritaires à l'étude (voir le chapitre 1.4.2). Le calcul a été effectué en 2017, mais les coûts ont été actualisés en 2021. Ils s'élèvent, pour les zones 1 à 4, à 36 298 \$, 122 794 \$, 60 030 \$ et 192 464 \$ respectivement par année. (Diarra et al., 2018) En plus des coûts en dommages matériels, ces collisions peuvent engendrer une perte de temps et une cause de stress notable pour les usagers de la route et même parfois leur coûter la vie. À cela s'ajoute la population croissante de la région des Cantons-de-l'Est qui entraîne une utilisation de plus en plus fréquente de l'A10, augmentant ainsi les risques de collision d'année en année. (Diarra et al., 2018)

Ceci justifie l'urgence d'agir dans ce secteur du sud du Québec, autant pour diminuer le coût sociétal de ces collisions avec la faune que pour en préserver le patrimoine naturel unique.

1.4. Synthèse des connaissances sur l'autoroute 10 et son niveau actuel de connectivité

Cette section est une synthèse des travaux déjà réalisés pour mieux comprendre le niveau de connectivité actuelle autour du secteur de l'A10 à l'étude. En effet, Corridor appalachien a fait de multiples études et plusieurs travaux annexés dans ce secteur. L'A10 fragmente le paysage. Elle constitue un obstacle pour les déplacements des espèces à l'intérieur des corridors écologiques. Après avoir identifié les noyaux d'habitats puis les corridors écologiques sur son territoire d'action (Figure 1.8), l'objectif de Corridor appalachien a été de mesurer la connectivité des habitats des espèces les plus communes afin de proposer

des aménagements facilitant leur dispersion de part et d'autre de l'A10 (Daguet, 2017; Gratton, 2014; Salvant, 2017).

1.4.1. Identification et protection des corridors et passages fauniques

En juin 2014, la première grande étude consistait en l'élaboration d'un « protocole d'identification et de protection des corridors et passages fauniques » (Gratton, 2014). Ce protocole a été élaboré par Corridor appalachien en partenariat avec le MTQ, le MFFP, le MELCC et l'Université de Sherbrooke. L'identification des corridors et des passages fauniques visait trois objectifs principaux : 1) « faciliter le déplacement de la faune entre les habitats et les populations fauniques », 2) « réduire la mortalité routière de la faune » et 3) « diminuer les collisions des véhicules avec la grande faune ». (Gratton, 2014)

De plus, ce travail a permis d'identifier des espèces cibles, en Estrie et en Montérégie, dans le but de faciliter leurs déplacements et de réduire le risque d'accidents routiers (Tableau 1.2).

Tableau 1.2. Espèces et leurs mobilités en Estrie et en Montérégie (tiré de : Gratton, 2014)

Guide de mobilité	Espèces
Espèces de petite taille à mobilité réduite	Crapaud d'Amérique, grenouilles, salamandres, couleuvres
Espèces de petite taille à moyenne taille à mobilité modérée	<u>Espèces terrestres</u> : renard roux, lièvre d'Amérique, lapin à queue blanche, moufette rayée, belettes, hermine, marmotte commune, tamia rayé, campagnols, souris, musaraignes, taupes <u>Espèces semi-aquatiques</u> : loutre de rivière, vison d'Amérique, castor du Canada, rat musqué, tortues <u>Espèces semi-arboricoles</u> : raton laveur, porc-épic d'Amérique, martre d'Amérique, opossum de Virginie, dindon sauvage, gélinotte huppée
Espèces ubiquistes à mobilité élevée	Ours noir, lynx roux, coyote, pékan
Grands carnivores à mobilité élevée	Cougar
Ongulés à mobilité élevée	Cerf de Virginie, orignal
Espèces arboricoles	Écureuil roux, écureuil gris, grand polatouche, petit polatouche
Espèces aviaires et mammifères volants	Passereaux, rapaces, chauve-souris

1.4.2. Étude des installations en place

Cette étude, réalisée entre 2014 et 2015, consistait à analyser les installations déjà en place. Elle a débuté par la caractérisation des structures autoroutières via la visite de l'ensemble des structures sur la portion de l'A10 située entre les KM 68 et 143. L'objectif était d'évaluer si la faune pouvait les utiliser et quelles espèces les fréquentaient. Ensuite, des aires d'hivernage du cerf de Virginie et de l'orignal ont été identifiées à la suite d'inventaires aériens réalisés par le MFFP. (Daguet, 2017) Finalement, les mortalités routières et le niveau de pérennité des milieux naturels de chaque côté de l'A10 ont été analysés. (Daguet, 2017)

Des sections de l'A10 ont été reconnues comme « importantes pour la connectivité naturelle » par le biais d'analyses géomatiques. Le partenariat avec l'Université de Sherbrooke a permis d'identifier des secteurs clés, c'est-à-dire 4 grands sites prioritaires pour des actions assurant la connectivité. (Daguet, 2017) En effet, Salvant (2017) a rédigé un essai intitulé : « Identification des zones d'intervention prioritaires pour les mouvements fauniques sur une portion de l'autoroute 10 ». L'analyse a permis de cibler quatre sites prioritaires entre les KM 74 et 121 : Bromont/Shefford (1), Lac-Brome/Bolton-Ouest/Stukely-Sud (2), Eastman (3) et Austin/Magog (4) (Figure 1.8). (Salvant, 2017)

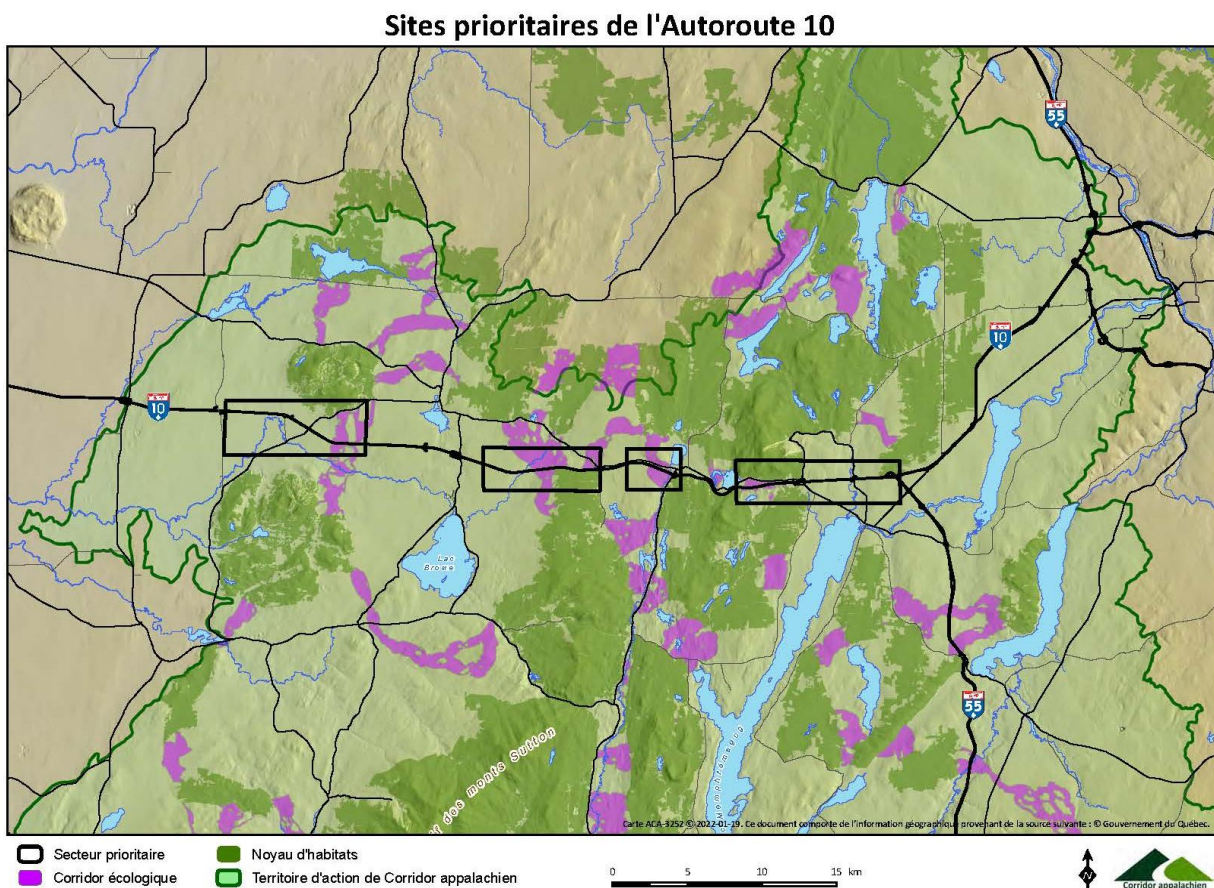


Figure 1.8. Cartographie de localisation des quatre sites prioritaires (entre les KM 74 et 121), des noyaux de conservation et des corridors écologiques contigus à l'autoroute 10 (Daguet, 2017)

1.4.3. Caractérisation des corridors écologiques

En parallèle, Corridor appalachien a mené plusieurs études le long de l'A10 afin de valider et de caractériser les corridors écologiques identifiés initialement par une analyse géomatique. L'examen sur le terrain a permis de cibler les facteurs limitant les déplacements fauniques, comme la présence de hautes clôtures ou de parois rocheuses infranchissables pour la majorité des espèces fauniques. Ces études ont permis de collecter des connaissances très précises sur les corridors écologiques reliant les noyaux d'habitats situés de part et d'autre de l'A10. Elles ont permis de remodeler les corridors afin de les aménager à la réalité terrain. (Robidoux, 2015, 2019, 2021)

1.4.4. Détection des mouvements fauniques existants

Plus récemment, de nouvelles études avaient pour but d'étudier les mouvements fauniques existants dans les 4 secteurs prioritaires identifiés plus tôt. Entre septembre 2016 et novembre 2018, Corridor appalachien et l'Université Concordia ont identifié les mouvements fauniques détectés par des caméras à déclenchement automatique sur neuf sites jugés adéquats pour le passage de la grande faune (Figure 1.9). Cette étude a permis de distinguer les grandes structures routières inférieures utilisées ou non par la faune. Plusieurs espèces ont été identifiées, comme le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*), le raton laveur (*Procyon lotor*), le castor du Canada (*Castor canadensis*), la loutre de rivière (*Lontra canadensis*), le lynx roux (*Lynx rufus*) ou encore la marmotte commune (*Marmota monax*). Les recommandations découlant des résultats obtenus lors de cette phase III du projet sont principalement : d'installer des clôtures sur des secteurs déterminés, d'installer des passages secs permanents (pour la faune terrestre et semi-aquatique), de diriger les eaux de surface afin de ne pas obstruer certains passages en hiver (gel, glace) et de modifier les chemins de véhicule tout-terrain et de motoneige. (Daguet, 2017)

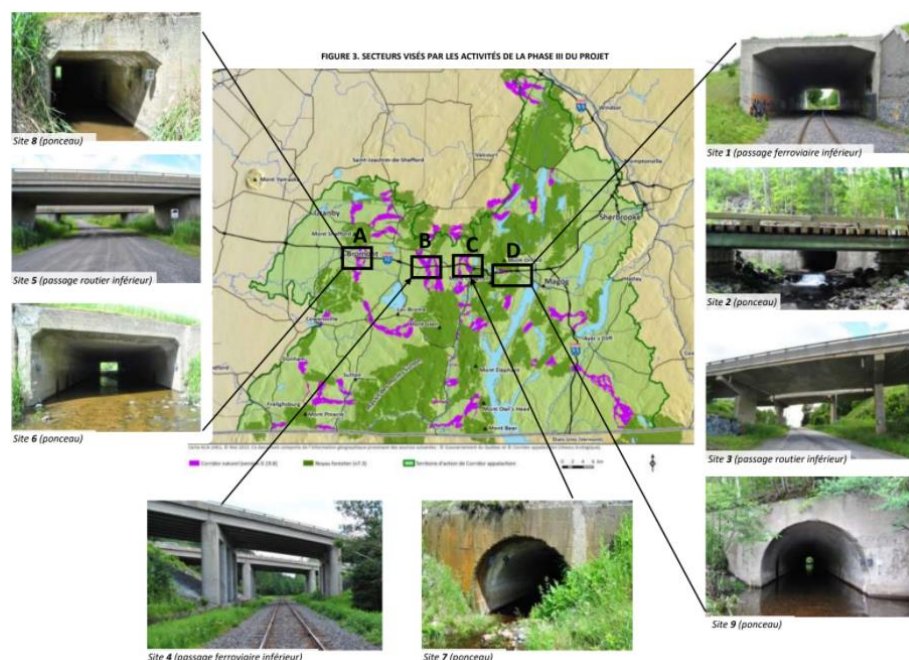


Figure 1.9. Les neuf sites concernés par les activités de la phase III (Daguet, 2017)

Finalement en 2019, 2020 et 2021, l'Université Concordia, en collaboration avec le MTQ, a travaillé sur l'identification des tronçons de l'A10 sur lesquels la mortalité faunique est la plus élevée. Ces recherches ont également permis d'identifier les espèces affectées directement par des accidents sur l'A10 (Tableau 1.3). (Jaeger et al., 2021)

Tableau 1.3 Liste détaillée des espèces victimes d'accident routier sur l'A10 (Jaeger et al., 2021)

Nom français	Nom scientifique	Nom français	Nom scientifique
Castor du Canada	<i>Castor canadensis</i>	Moufette rayée	<i>Mephitis mephitis</i>
Cerf de Virginie	<i>Odocoileus virginianus</i>	Opossum de Virginie	<i>Didelphis virginiana</i>
Chauve-souris cendrée	<i>Lasiurus cinereus</i>	Orignal	<i>Alces alces</i>
Coyote	<i>Canis latrans</i>	Ours noir	<i>Ursus americanus</i>
Écureuil gris	<i>Sciurus carolinensis</i>	Pékan	<i>Pekania pennanti</i>
Écureuil roux	<i>Sciurus vulgaris</i>	Porc-épic d'Amérique	<i>Erethizon dorsata</i>
Hermine	<i>Mustela erminea</i>	Rat musqué	<i>Ondatra zibethicus</i>
Lièvre d'Amérique	<i>Lepus americanus</i>	Raton laveur	<i>Procyon lotor</i>
Loutre de rivière	<i>Lontra canadensis</i>	Renard roux	<i>Vulpes vulpes</i>
Lynx sp.	<i>Lynx sp.</i>	Tamia rayé	<i>Tamias striatus</i>
Marmotte commune	<i>Marmota monax</i>	Vison d'Amérique	<i>Neovison vison</i>
Martre d'Amérique	<i>Martes americana</i>		
Balbusard pêcheur	<i>Pandion haliaetus</i>	Merlebleu de l'Est	<i>Sialia sialis</i>
Bernache du Canada	<i>Branta canadensis</i>	Mésange à tête noire	<i>Parus atricapillus</i>
Bruant à gorge blanche	<i>Zonotrichia albicollis</i>	Moqueur chat	<i>Dumetella carolinensis</i>
Bruant chanteur	<i>Melospiza melodia</i>	Moucherolle phébi	<i>Sayornis phoebe</i>
Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>	Paruline à croupion jaune	<i>Setophaga coronata</i>
Cardinal rouge	<i>Cardinalis cardinalis</i>	Paruline à flancs marron	<i>Setophaga pensylvanica</i>
Carouge à épauettes	<i>Agelaius phoeniceus</i>	Paruline couronnée	<i>Seiurus aurocapilla</i>
Chardonneret jaune	<i>Spinus tristis</i>	Paruline flamboyante	<i>Setophaga ruticilla</i>
Corneille d'Amérique	<i>Corvus brachyrhynchos</i>	Paruline masquée	<i>Geothlypis trichas</i>
Dindon sauvage	<i>Meleagris gallopavo</i>	Paruline tigrée	<i>Setophaga tigrina</i>
Étourneau sansonnet	<i>Sturnus vulgaris</i>	Passerin indigo	<i>Passerina cyanea</i>
Faucon pèlerin	<i>Falco peregrinus</i>	Petite Buse	<i>Buteo platypterus</i>
Geai bleu	<i>Cyanocitta cristata</i>	Pic flamboyant	<i>Colaptes auratus</i>
Gélinotte huppée	<i>Bonasa umbellus</i>	Pic maculé	<i>Sphyrapicus varius</i>
Grand corbeau	<i>Corvus corax</i>	Pie-grièche boréale	<i>Lanius borealis</i>
Grive fauve	<i>Catharus fuscescens</i>	Pigeon biset	<i>Columba livia</i>
Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	Tarin des pins	<i>Spinus pinus</i>
Jaseur d'Amérique	<i>Bombocilla cedrorum</i>	Tyrann tritri	<i>Tyrannus tyrannus</i>
Junco ardoisé	<i>Junco hyemalis</i>	Viréo à tête bleue	<i>Vireo solitarius</i>
Merle d'Amérique	<i>Turdus migratorius</i>		
Couleuvre à ventre rouge	<i>Storeria occipitomaculata</i>	Rainette crucifère	<i>Pseudacris crucifer</i>

Nom français	Nom scientifique	Nom français	Nom scientifique
Couleuvre rayée	<i>Thamnophis sirtalis</i>	Rainette versicolore	<i>Dryophytes versicolor</i>
Crapaud d'Amérique	<i>Anaxyrus americanus</i>	Salamandre maculée	<i>Ambystoma maculatum</i>
Grenouille des bois	<i>Lithobates sylvaticus</i>	Salamandre sombre du Nord	<i>Desmognathus fuscus</i>
Grenouille du nord	<i>Lithobates septentrionalis</i>	Tortue des bois	<i>Glyptemys insculpta</i>
Grenouille léopard	<i>Lithobates pipiens</i>	Tortue peinte	<i>Chrysemys picta</i>
Grenouille verte	<i>Lithobates clamitans</i>	Tortue serpentine	<i>Chelydra serpentina</i>
Ouaouaron	<i>Lithobates catesbeianus</i>	Triton vert	<i>Notophthalmus viridescens</i>

L'étude réalisée par l'Université Concordia a permis d'identifier des points chauds (*hotspots*) et points froids (*coldspots*) de mortalité selon certains critères. Les points chauds sont situés là où il y a un regroupement de mortalité faunique routière qui a peu de chances d'être dû au hasard. Les points froids sont, quant à eux, situés là où il y a une faible fréquence de mortalité faunique routière avec beaucoup moins d'événements routiers qu'anticipés. (Jaeger et al., 2021) Ces résultats sont très pertinents pour appuyer la mise en place de mesures d'atténuation. Ils permettent d'identifier des secteurs à privilégier pour les aménagements dans les *hotspots*. Les *coldspots* et *hotspots* sont utiles pour guider les décideurs dans la stratégie d'adaptation des structures autoroutières existantes et d'aménagement de nouveaux passages fauniques et structures associées (ex. : clôtures). (Spanowicz et al., 2020)

2. STRUCTURES PERTINENTES AU CONTEXTE DE LA ZONE D'ÉTUDE

Cette section analyse les différents types de passages qui seraient adéquats en fonction des caractéristiques de la zone d'étude de l'A10. Tous les types de passages fauniques sont d'abord présentés selon deux grandes catégories : les passages inférieurs et les passages supérieurs. Ils peuvent différer dans leur forme, leurs dimensions, leurs matériaux et, dans certains cas, leurs composantes. Différentes espèces fauniques peuvent ainsi être accommodées ou ciblées et certains matériaux peuvent être privilégiés selon divers enjeux (coûts, pérennité, etc.). Cette section se termine en présentant d'autres types de mesures de mitigation à la mortalité routière faunique comme les clôtures d'exclusion. Le Tableau 2.2 résume les points marquants de chaque type de passage.

2.1. Passages inférieurs

Les passages inférieurs sont des structures routières retrouvées sous les voies de circulation. Lorsque l'amélioration de la connectivité de plusieurs espèces est souhaitée, il n'existe pas un seul type de passage inférieur universel et probant pour toutes les espèces et toutes les situations. Selon ces prémisses, il est essentiel d'opter pour une variété de structures qui répondent aux besoins de plusieurs groupes fonctionnels. De plus, il est démontré que si l'aménagement d'une structure ressemble davantage à l'habitat naturel d'une espèce, cette structure aura plus de chance d'être utilisée. (Denneboom et al., 2021) Généralement, il est donc préférable de prévoir la continuité des milieux de part et d'autre en ajoutant un substrat similaire à celui présent naturellement dans les milieux avoisinants. Toute discontinuité doit être

évitée, tout en assurant l'absence de barrières aux entrées du passage, que ce soit des débris ou une structure ne faisant pas une connexion complète avec le milieu naturel. (Herbouiller, 2009; Jaeger et al., 2017) Le maintien d'un environnement naturel dans un passage inférieur et à l'entrée du passage augmente alors le succès des traversées, entre autres chez le lynx roux, l'ours noir, le coyote et les ongulés (Denneboom et al., 2021; Kintsch et Cramer, 2011). Également, la présence d'un couvert végétal offre des abris pour éviter la prédation et un maintien de l'humidité, ce qui est bénéfique à la petite faune (Ostiguy, 2006). Il importe tout de même que le couvert végétal à l'entrée de la structure ne soit pas trop dense, car cela pourrait diminuer la découverte du passage par la faune (Craveiro et al., 2019; Kintsch et Cramer, 2011).

En plus du couvert végétal, la présence d'autres sources de cachettes, telles que des roches ou des débris ligneux, favorise l'utilisation d'un passage par la petite faune. La traversée d'un passage par ce groupe est également favorisée par la présence d'un couvert artificiel. (Kintsch et Cramer, 2011) Par exemple, Tissier et al. (2016) ont démontré que des tubes anti-prédation pouvaient être utilisés comme élément permettant de favoriser le passage du hamster d'Europe (*Cricetus cricetus*), et possiblement d'autres espèces de la petite faune de taille similaire, dans des structures telles des ponceaux et passages inférieurs aménagés pour la grande faune. De tels tubes peuvent également être installés sur des tablettes à l'intérieur de ponceaux (Kintsch et Cramer, 2011).

Globalement, les petites et grandes espèces démontrent une préférence pour les passages fabriqués de matériaux naturels comparativement à l'acier ou au béton (Denneboom et al., 2021). De plus, les structures en polyéthylène seraient encore plus répulsives que des structures en acier ou en béton (Brunen et al., 2020). La forme du passage inférieur influence aussi l'utilisation de ce dernier. Pour la plupart des groupes, les passages plus ouverts de forme arquée sont davantage utilisés. Cependant, les petits mammifères démontrent une préférence distincte pour les passages de forme ronde ou rectangulaire moins ouverts. De plus, la préférence de ce groupe se distingue en ce qui a trait à la longueur des structures. En effet, alors qu'une augmentation de la longueur de la structure est associée à un effet de tunnel, négatif pour la majorité des groupes, les petits mammifères démontrent une préférence inverse. (Denneboom et al., 2021) Les passages plus étroits sont également préférés par ce groupe, offrant une diminution des risques de prédation (Ascensão et Mira, 2007). Le Tableau 2.1 présente de façon plus détaillée les préférences de forme, de dimensions et de types de structure de plusieurs espèces.

Lors de l'évaluation de l'efficacité des passages inférieurs, il importe également de prendre en considération l'effet d'habituation qui leur est associé. En effet, contrairement aux passages supérieurs utilisés rapidement par la faune, plusieurs études rapportent une augmentation de l'utilisation des passages inférieurs avec le temps. (Cramer et Hamlin, 2019; Healy, 2019; Kintsch et al., 2019; Schmidt et al., 2021)

Les différentes catégories de passages fauniques inférieurs qui sont présentées dans cette section sont les viaducs, les passages inférieurs pour la grande faune, les passages inférieurs mixtes (partagés par les humains et la faune), les ponceaux modifiés, les tuyaux secs ou écoducs et les tunnels pour reptiles et

amphibiens. Divers types d'aménagements généraux applicables à plusieurs types de passages sont également présentés.

Tableau 2.1 : Description des passages fauniques inférieurs préférés par les espèces utilisatrices au Vermont
(tiré de : Lemieux, 2018)

Taille des passages fauniques inférieurs	Caractéristiques	Espèces utilisatrices	Espèces potentiellement utilisatrices
Petite	Ponceaux circulaires, rectangulaires et arqués d'environ 1 à 2 m de largeur et de moins de 2,5 m de hauteur	Belette Renard Loutre Martre Lynx	Ours Lynx
Moyenne	Large ponceaux d'environ 1,5 à 2,5 m de largeur et de plus de 2,5 m de hauteur	Belette Renard Loutre Martre Lynx Cerf	Ours Lynx Orignal
Grande	Viaducs et larges ponceaux de plus de 3 m de largeur et de plus de 2,5 m de hauteur	Belette Renard Loutre Martre Lynx Cerf Coyote	Ours Lynx Orignal Cougar Loup

2.1.1. Viaducs

Ce sont des passages très larges, comportant des sections sèches, qui ne restreignent pas la traversée des animaux de toutes tailles. Ils mesurent généralement au moins 3 m de hauteur et 25 m de largeur. Ils sont très lumineux, car très ouverts, et offrent la possibilité de maintenir la continuité avec les milieux naturels (Figure 2.1). Sans égard au passage de la faune, ce type de structure est parfois mis en place sous une route, afin que celle-ci surmonte un obstacle quelconque (ex. :



Figure 2.1. Exemple de viaduc en Allemagne (© Störfix)

voie ferrée). Ils sont cependant très bruyants, particulièrement sous une route avec une ouverture entre les deux voies. (Lemieux, 2018) Malgré son niveau sonore plus élevé, cette ouverture ne semble toutefois pas être un obstacle majeur pour l'utilisation par la faune. Au contraire, elle favorise même le passage des grands mammifères. (Denneboom et al., 2021)

Les viaducs constituent les passages les plus efficaces et les plus utilisés par la grande faune, en comparaison aux passages supérieurs et autres passages inférieurs (Denneboom et al., 2021). Par exemple, en Australie dans l'État de Victoria, le viaduc de Slaty Creek est situé sous deux ponts d'une autoroute à 4 voies. L'utilisation de ce passage a été confirmée pour le 2/3 des espèces répertoriées dans le secteur, ce qui est nettement plus élevé que d'autres types de passages situés près du viaduc. Ce passage inférieur mesure environ 70 m de largeur, 12 m de hauteur et 100 m de longueur. (Abson, 2004; Abson et Lawrence, 2003) Le plus grand avantage de cette structure est le maintien de la végétation au sein même du passage. Un équilibre a été respecté entre les espaces ouverts et les espaces avec une plus grande densité de végétation ou d'obstacles (ex. : troncs, roches).

De manière plus spécifique, certaines caractéristiques associées aux viaducs vont influencer l'utilisation de ce type de passage par certaines espèces ou certains groupes d'espèces fauniques. D'abord, les dimensions supérieures des viaducs bénéficient à l'avifaune et aux chauves-souris habituées à la proximité de l'homme et aux espèces adaptées aux bordures. En effet, cette structure plus haute et large est préférée aux ponceaux et permet à cette faune d'utiliser le passage créé par le viaduc plutôt que de voler à proximité de la route. (Bhardwaj et al., 2017; Kintsch et Cramer, 2011) Également, certains carnivores, tel le lynx roux, utilisent peu les passages fauniques, mais cette réticence diminue si le passage a de très grandes dimensions (Kintsch et Cramer, 2011). L'orignal est un autre exemple d'espèce qui requiert des dimensions suffisamment grandes pour utiliser un passage faunique, soit une hauteur minimale de 4,6 m (Cramer, 2014). D'autres espèces de grande taille, tel le cerf mulet, sont moins sélectives et utilisent efficacement des passages ayant une hauteur minimale de 3 m (Kintsch et Cramer, 2011). Cependant, la longueur du passage influence aussi son utilisation. Ainsi, un succès de 80 % des traversées est associé avec une longueur de passage inférieure à 37 m. (Cramer, 2014)

2.1.2. Passages inférieurs pour la grande faune

Les passages inférieurs pour la grande faune sont similaires aux viaducs, mais sont spécialement aménagés pour une utilisation par la grande faune et ont souvent des dimensions légèrement moins grandes (Figure 2.2). Plusieurs passages sous la route Transcanadienne à Banff, dans l'Ouest canadien, ont une taille variant de 2,4 à 4 m de hauteur et de 4 à 15 m de largeur. (Clevenger et Waltho, 2000) De plus, ces passages offrent une forte continuité entre les milieux naturels en ayant un substrat naturel similaire aux milieux de part et d'autre de la route (Lemieux, 2018).



Figure 2.2. Photo de passage inférieur pour les ours aux États-Unis (© *United States Department of Transportation*)

La préférence de ce type de passage en opposition aux passages supérieurs a été démontrée chez certaines espèces. Par exemple, dans leur étude au Colorado, Kintsch et al. (2019) ont rapporté que l'orignal et l'ours noir avaient une préférence pour les passages inférieurs, tandis que le coyote et le renard roux utilisaient les deux types de passage sans préférence. Bien qu'aménagés pour la grande faune, la petite et moyenne faune peuvent aussi utiliser ces passages inférieurs.

Malgré tout, le principal inconvénient de ce passage est que, tout comme pour les viaducs, l'aménagement d'un nouveau passage de cette envergure est facilité lorsque réalisé lors de la construction de la route et par conséquent plus coûteux si réalisé à posteriori (Gratton, 2014).

2.1.3. Passages inférieurs mixtes

Dans bien des cas, des passages inférieurs à un axe routier principal peuvent avoir été construits à des fins anthropiques. Par exemple, un passage inférieur peut avoir été construit pour un axe routier secondaire, une piste cyclable, un sentier pédestre, un chemin agricole, etc. (Figure 2.3). Bien qu'aménagés pour l'homme, ces passages peuvent aussi être fréquentés par la faune. (Clevenger et Waltho, 2000; Herbouiller, 2009) Dans certains cas, une section spécifique au passage de la faune peut être prévue avec ce type de passage. Cela implique alors que la largeur de ce passage soit grande. De plus, il est important que l'accès par les humains à la section réservée à la faune soit empêché ou limité pour diminuer les perturbations potentielles. Cette section doit également être aménagée afin d'être attrayante pour les animaux. L'ajout de souches, de grosses pierres et la présence de végétaux abondants, disposés en permettant le déplacement de la faune, de même qu'un couvert végétal protecteur, favorisent le passage de la faune tout en étant peu invitant au déplacement des humains. (Herbouiller, 2009; Ostiguy, 2006)



Figure 2.3. Photo d'un passage inférieur mixte avec piste cyclable aux Pays-Bas (© Marcel Huijser)

Malheureusement, ces passages inférieurs mixtes ne sont pas fortement utilisés par la faune, essentiellement à cause du dérangement anthropique. Par exemple, à Banff, un passage inférieur utilisé par l'homme, sans division de sections, est utilisé par une plus faible diversité d'espèces que les autres passages exclusifs de taille similaire (passages inférieurs pour la grande faune). (Clevenger et Waltho, 2000) En conséquence, ce type de passage n'est pas adapté pour les espèces plus sensibles à la présence humaine, tels les grands carnivores, qui vont préférer l'utilisation des ponceaux plutôt que les passages inférieurs mixtes (Clevenger et Waltho, 2000; Denneboom et al., 2021).

Selon une étude réalisée dans le secteur de l'A10 visé, les rats laveurs et, dans une moindre mesure, les coyotes et les marmottes, utilisent des passages inférieurs existants qui sont également fréquentés par l'homme (Warnock-Juteau et al., 2022). Selon une autre étude réalisée au parc national de Banff, ce sont plutôt les ongulés qui semblent être moins incommodés par l'utilisation de ce type de passage (Clevenger et Waltho, 2000). Ceci pourrait potentiellement s'expliquer par la familiarité qu'ont les ongulés de cette région avec les humains (Clevenger et Leblond, 2012). Malgré tout, même ces espèces plus tolérantes à la présence de l'homme démontrent une diminution de l'utilisation des passages mixtes (Cramer, 2014). L'étude de Bhardwaj et al. (2020), en Suède, qui s'est aussi intéressée à l'utilisation de routes secondaires comme passages inférieurs par les ongulés (orignal et chevreuil européen), démontre une diminution de l'utilisation de ce type de passage lorsqu'il y avait une augmentation de l'utilisation de la route par des véhicules.

Il a été conclu par Clevenger et Waltho (2000) que le principal facteur dissuadant la faune d'emprunter des passages était les pressions anthropiques. Cela peut se traduire par la proximité de certaines activités ou de développements urbains. Ainsi, plusieurs études démontrent que l'utilisation des passages par les

humains diminue aussi leur utilisation par la faune. (Clevenger et Leblond, 2012; Cramer, 2014; Denneboom et al., 2021) Par exemple, l'étude de Warnock-Juteau et al., (2022) rapporte que pour certaines espèces d'intérêt observé près de l'A10 comme le cerf de Virginie, le lynx roux, le renard roux et le porc-épic, il est possible d'observer une diminution des traversées lorsque les activités humaines augmentent.

Les passages inférieurs mixtes sont toutefois avantageux pour leurs coûts plus faibles en considération de leur utilisation mixte. Ils peuvent permettre d'atteindre un équilibre entre l'attrait économique et l'apport écologique et ils sont plus susceptibles d'être financés, en plus d'avoir un plus grand appui du public. (Herbouiller, 2009; van der Ree et van der Grift, 2015) Ils sont, en effet, plus attrayants pour les communautés avoisinantes qui bénéficient d'une traversée de la route plus aisée (Bouffard, 2008).

Somme toute, les avantages de ce type de passage sont non négligeables. Ainsi, lorsque les espèces visées par un passage faunique sont plus tolérantes à l'homme, l'option d'un passage inférieur mixte peut être considérée, en privilégiant les structures ayant deux zones distinctes. De plus, il est recommandé de prévoir l'interdiction d'utilisation du passage par l'homme les premières années suivant la construction, ce qui permettrait à la faune de s'acclimater et à la végétation de croître. La fréquentation du passage par l'homme devrait être faible et préférentiellement restreinte aux périodes où la faune visée est la moins active. Également, il est recommandé d'éviter l'utilisation de lumières artificielles près de ces passages. (van der Ree et van der Grift, 2015)

2.1.4. Ponceaux modifiés

Pour assurer la continuité de l'écoulement des cours d'eau, plusieurs ponceaux de drainage sont installés sous les routes. Ainsi, ces structures routières peuvent servir de passage sécuritaire à la faune sans qu'elles aient initialement été conçues pour cette fonction. Leur taille dépend généralement de la largeur du cours d'eau qui les traverse et peut atteindre une hauteur maximale de 3 m, parfois plus, selon les réglementations régionales en vigueur. Somme toute, les ponceaux sont plus petits que les viaducs et s'en distinguent également par la présence de remblais qui les recouvrent. (Kintsch et Cramer, 2011)

L'utilisation par la faune de ponceaux existants, sans modification, a été documentée dans plusieurs études. De façon plus spécifique, les préférences d'utilisation de ce passage varient selon les espèces. Ainsi, les ponceaux de plus grande dimension peuvent être utilisés par certaines espèces de la grande faune (Dodd et al., 2004). Par exemple, il a été démontré que les ours préfèrent utiliser les ponceaux plus étroits (Kintsch et al., 2019; Starr et McAllister, 2014), de même que les ponts (Kintsch et Cramer, 2011). Puisque cette espèce a une bonne capacité d'adaptation, du moment où la taille de la structure est suffisante et que l'animal se sent en sécurité, elle semble encline à utiliser la structure (Kintsch et Cramer, 2011). Par ailleurs, les dimensions plus petites des ponceaux font en sorte qu'ils sont davantage utilisés par la petite et moyenne faune (Kintsch et Cramer, 2011; Manteca-Rodríguez et al., 2021). Par exemple, les ponceaux de petite taille, allant jusqu'à 1,5 m de diamètre, peuvent être utilisés par les rongeurs, les reptiles, les amphibiens, les renards et le lynx roux. Pour la plupart de ces espèces, la présence de sections sèches à l'intérieur du ponceau est essentielle. (Kintsch et al., 2019; Kintsch et Cramer, 2011)



Figure 2.4. Photo d'un ponceau modifié avec l'ajout de tablettes en porte-à-faux (© CreativeNature)

Conséquemment, pour augmenter l'utilisation de ces structures comme passage faunique inférieur, il est recommandé d'y apporter des modifications. Les ponceaux peuvent être modifiés par l'ajout de pieds secs sous forme de murets, de tablettes en porte-à-faux, de quais flottants, de bandes terrestres, d'enrochement ou de marches qui surélèvent le passage de la faune au-dessus de la ligne naturelle des hautes eaux (Figure 2.4). (Jaeger et al., 2017 ; Bédard et al., 2012; Kintsch et Cramer, 2011) Aussi, plusieurs espèces peuvent bénéficier de l'ajout de déflecteurs pour retenir les sédiments dans le ponceau lors des crues, permettant de recouvrir le sol artificiel du ponceau (Kintsch et Cramer, 2011). Il importe toutefois que ces accumulations ne soient pas trop importantes, de sorte à éviter un rétrécissement de l'ouverture (Dodd et al., 2004).

La modification d'un ponceau existant est peu coûteuse et offre d'excellents résultats pour diminuer les collisions avec la faune (Luell et al., 2003; Yanes et al., 1995). Il peut toutefois y avoir des coûts inattendus pour respecter les contraintes techniques de ces types de passages. Bédard et al. (2012) ont noté que si les ponceaux étaient déjà assez larges, l'ajout d'un pied sec de 50 cm n'était pas coûteux. Si les ponceaux étaient toutefois trop étroits pour l'ajout d'un pied sec de 50 cm sans affecter l'hydrographie du cours d'eau, les ponceaux en question devaient être agrandis. Ce surdimensionnement des ponceaux augmente les coûts, mais permet aussi à une faune plus grande de les utiliser.

Par exemple, une étude réalisée en Utah a évalué la traversée réussie des cerfs mulets à l'intérieur de 3 ponceaux existants. Il s'est avéré que malgré une abondance la plus élevée de cerfs mulet à proximité d'un de ces ponceaux, sa hauteur et sa largeur plus faibles, ainsi que sa longueur supérieure aux 2 autres ponceaux auraient contribué à diminuer le succès des traversées par ce passage. (Cramer et Hamlin, 2019) Au Wyoming, une diminution de 81 % des collisions des véhicules avec la faune, particulièrement le cerf mulet, fut associée à l'installation de ponceaux combinée avec des clôtures (Bonds et al., 2020).

Les ponceaux modifiés sont donc très efficaces pour limiter les mortalités fauniques routières. Pour augmenter leur utilisation, il faut toutefois s'assurer d'une continuité entre l'intérieur et l'extérieur du ponceau. Tout obstacle aux entrées du passage, telles que des marches ou des coupures soudaines dans les pieds secs, doit être évité. Si les entrées sont en pente, un enrochement peut y être aménagé afin d'éviter toute discontinuité. (Jaeger et al., 2017)

Quelques contraintes sont toutefois associées à ce type de passage. Ils offrent beaucoup moins de luminosité et peuvent limiter, par leur taille, les espèces pouvant les utiliser (Lemieux, 2018). D'autres facteurs peuvent aussi venir influencer leur utilisation. Au Portugal, il a été déterminé que la présence de végétation à proximité des entrées encourageait leur utilisation par la petite et moyenne faune. Ce n'est toutefois pas le cas pour les renards qui préféreraient quant à eux des aires dégagées. De plus, propres à l'effet de tunnel de certains passages, les plus longs ponceaux étaient plutôt évités par la petite et moyenne faune. (Ascensão et Mira, 2007) Cet effet peut être minimisé en présence d'une route avec un terreplein, où il est préférable d'installer deux ponceaux avec une ouverture clôturée entre les deux, au niveau du terreplein, plutôt qu'un seul long ponceau. Il importe toutefois de s'assurer que cette ouverture n'augmente pas la pollution auditive ni ne puisse être bloquée par la neige et la glace en période hivernale. (Kintsch et Cramer, 2011)

2.1.5. Tuyaux secs ou écoducs

Les tuyaux secs, aussi appelés écoducs, consistent en des passages similaires à des ponceaux, mais ne servant pas à l'écoulement de l'eau (Figure 2.5), ou seulement temporairement. Ils peuvent parfois être installés à proximité de ponceaux. (Lemieux, 2018) Leur taille est évidemment plus petite que les viaducs et les passages inférieurs pour la grande faune et sont habituellement optimaux pour la petite et moyenne faune.

Ce type de passage peut donner lieu à un effet de tunnel. Pour éviter ce dernier, un couvert végétal doit être présent aux extrémités pour favoriser son utilisation. (Bouffard, 2008) De plus, en présence d'une route avec un terreplein central, une ouverture médiane clôturée est à favoriser pour diminuer l'effet de tunnel (Healy, 2019). Une pente douce est nécessaire aux ouvertures du passage pour permettre l'entrée aisée des animaux, sans obstacle. L'ouverture comporte aussi une tête en forme d'entonnoir permettant de guider doucement la faune vers le passage. (Fagart et al., 2016)



Figure 2.5. Photo de tuyau sec sous une route (© Tony Clevenger)

L'avantage de ce type de passage est que, même avec plusieurs ajouts techniques pour s'assurer de leur efficacité pour rétablir la connectivité, les tuyaux secs demeurent de moindres coûts par rapport à de plus grands passages inférieurs (Beaulieu, 2018). De plus, les ponceaux secs sont plus efficaces et sont utilisés par un plus grand nombre d'espèces que les ponceaux avec tablettes (Jaeger et al., 2017). Ainsi, l'ajout d'un ponceau sec, un peu surélevé, au côté d'un ponceau de drainage, est recommandé pour maximiser le nombre d'espèces utilisant efficacement ces passages (Smith et al., 2015).

En France, plusieurs tuyaux secs aménagés ont un diamètre d'environ 1,2 m et le fond de chaque passage y est recouvert de 10 à 15 cm de terre similaire au substrat des milieux adjacents (Fagart et al., 2016). En Espagne, plusieurs tuyaux secs comportent aussi un fond recouvert d'un substrat adéquat, apporté par les crues. Cela procure un environnement perçu comme moins hostile par les animaux. La majorité des traversées des passages de ce type sont réalisées par les petits mammifères, puis par les reptiles. Après une grande pluie, l'humidité encourage l'utilisation par les amphibiens. (Yanes et al., 1995) D'ailleurs, les ponceaux secs peuvent être améliorés pour permettre le passage des amphibiens en ajoutant un substrat naturel ainsi que des éléments de cachettes telles des troncs, des pierres ou de la végétation (Kintsch et Cramer, 2011).

2.1.6. Tunnels pour reptiles et amphibiens

Les tunnels pour reptiles et amphibiens, généralement de plus petites tailles que les passages précédents, répondent spécifiquement aux besoins de l'herpétofaune (Figure 2.6). Bien que ce groupe puisse emprunter des passages non spécialisés, tels qu'un viaduc ou un ponceau, ces derniers demeurent moins optimaux pour l'herpétofaune. En effet, ces espèces ont besoin notamment d'un niveau d'humidité et de luminosité beaucoup plus élevé pour plusieurs fonctions essentielles. Les tunnels spécialisés sont donc avantageux pour elles. La petite faune peut aussi utiliser ce type de passage, malgré la spécialisation aux reptiles et aux amphibiens. (Helldin et Petrovan, 2019; Ostiguy, 2006)



Figure 2.6. Photo d'un tunnel pour reptiles et amphibiens dans le nord de l'Allemagne (© Christian Fischer)

Afin d'assurer des conditions d'humidité et de lumière optimales, les tunnels pour reptiles et amphibiens sont souvent équipés de grillages sur le dessus. Ces ouvertures permettent à l'eau de pluie d'humidifier la structure, à plus de lumière de pénétrer dans les tunnels et procurent ainsi de meilleures conditions d'humidité ambiante et de luminosité. (Gunson et al., 2016; Lemieux, 2018; Puky et al., 2007) Cependant, l'inconvénient avec ces ouvertures est qu'elles permettent l'entrée de polluants et débris routiers dans la structure ainsi qu'une augmentation de la pollution sonore (Gunson et al., 2016). Pour contourner ce problème, l'installation de lumières artificielles dans un passage sombre a été démontrée comme efficace pour augmenter le succès de l'utilisation des tunnels chez la tortue peinte (Sievert et Yorks, 2015).

De façon plus spécifique, ces passages sont très efficaces pour diminuer la mortalité des amphibiens, particulièrement là où ces espèces doivent se déplacer pour rejoindre des sites de pontes spécifiques ou des sites hivernaux qui peuvent avoir été isolés par des routes (Herbouiller, 2009). De plus, ce type de passage a été démontré comme particulièrement efficace chez ce groupe lorsqu'il connecte deux habitats utilisés pour la reproduction, en opposition à la connexion entre un habitat terrestre et un habitat aquatique (Jarvis et al., 2019). En Suède, l'installation de barrières et de tunnels pour reptiles et amphibiens a permis de réduire de 85 % à 100 % les amphibiens tués ou à risque d'être tués par des automobiles. Conséquemment, une augmentation du succès des traversées des amphibiens de 25 % à 340 % a été observée comparativement à la situation antérieure à la construction du passage et des barrières. (Helldin et Petrovan, 2019)

Un des inconvénients associés à ce type de structure est que, en plus d'être spécifique à la petite faune, la fréquence et les coûts d'entretien peuvent être plus élevés que pour les plus grandes structures en raison de leur petite taille (Gunson et al., 2016). Une négligence de l'entretien de ces passages vient grandement diminuer leur efficacité (Gagné, 2019; Hamer et al., 2015).

2.1.7. Aménagement des berges d'un cours d'eau

Lorsqu'un cours d'eau passe sous la route et que la structure supportant cette route (viaduc ou ponceau) est suffisamment large, il est possible d'effectuer l'aménagement du cours d'eau et de ses berges pour favoriser le passage de la faune. Il importe alors que l'aménagement des berges comprenne leur

végétalisation, de sorte à maintenir une continuité dans le couvert végétal lorsque possible (Denneboom et al., 2021). De plus, les berges peuvent être composées de divers substrats, préférablement naturels, en continuité avec la rive de part et d'autre de la route (Bouffard, 2008; Smith et al., 2015). L'aménagement de berges naturelles sous la route 175 dans les Laurentides peut être cité en exemple, avec un sentier en empierrement sur la rive (Bédard et al., 2012).

En aménageant une bande riveraine, la faune peut l'utiliser pour traverser la route. La bande riveraine construite doit être d'au moins 50 cm de large de part et d'autre du cours d'eau. (Beaulieu, 2018) D'ailleurs, selon les prédictions du modèle de Craveiro et al. (2019), un élargissement de la bande riveraine augmente la probabilité de réussite des traversées pour les carnivores de moyenne taille. Par exemple, une bande riveraine de 1 m augmenterait de 11 % le succès des traversées en comparaison à une bande riveraine de 50 cm. Somme toute, selon les dimensions finales (hauteur et largeur des berges aménagées), les petites, moyennes et grandes faunes peuvent se déplacer sur les berges. Les amphibiens et les mammifères semi-aquatiques et semi-arboricoles sont particulièrement avantagés étant donné la nature plus humide du passage. (Bouffard, 2008; Lemieux, 2018)

De façon plus spécifique, plusieurs études ont démontré que la présence d'un cours d'eau et de berges influençait la traversée de la faune. Ainsi, dans certains cas, la présence d'un cours d'eau combiné avec une bande sèche était favorable au passage de carnivores de taille moyenne (Craveiro et al., 2019). Par exemple, Kintsch et al. (2019) ont rapporté que le passage inférieur qui était le plus utilisé par les espèces carnivores dans leur étude au Colorado était associé à un cours d'eau intermittent et une plus grande diversité et complexité de végétation. Toutefois, dans d'autres cas, l'effet bénéfique de la présence d'un cours d'eau dans le passage diminue chez les mésocarnivores ou les lynx roux en absence d'une bande sèche permanente (Schmidt et al., 2021; Serronha et al., 2013). De plus, la présence d'un cours d'eau peut réduire l'utilisation du passage chez certains groupes de mammifères, tels les ongulés, en comparaison aux passages secs (Brunen et al., 2020; Denneboom et al., 2021).

2.2. Passages supérieurs

Les passages supérieurs consistent en des plateformes permettant le passage sécuritaire de la faune au-dessus de la route (Beaulieu, 2018). Ces infrastructures ont l'avantage de correspondre aux besoins de la grande faune, mais aussi à ceux de la plus petite faune, en fonction de leur aménagement. Leur ouverture complète convient notamment aux espèces préférant la lumière naturelle. Leur coût de construction est relativement élevé, mais on confirme que leur utilisation par les mammifères est plus fréquente comparativement aux passages inférieurs. (Mysłajek et al., 2020)

Bien que les passages supérieurs n'aient pas de modèles standardisés, on peut distinguer 5 types de passages dans cette catégorie : les passerelles fauniques, les ponts écologiques, les passages mixtes avec chemins agricoles et forestiers et les chiroptéroducts.

De nouveaux types de conceptions sont actuellement à l'étude afin d'alléger ces ouvrages et d'y intégrer plus de matériaux écologiques et d'y réduire les coûts. Notamment, le concours international sur les

passages fauniques organisé par Animal Road Crossing (ARC) (« the International Wildlife Crossing Infrastructure Design Competition ») vise à encourager l'innovation en la matière. L'utilisation de matériaux tel que le bois s'est notamment révélée plus légère et moins polluante que le béton. (ARC, 2010)

2.2.1. Passerelles fauniques

Les passerelles fauniques (Figure 2.7) peuvent également porter les noms de passage supérieur à grande faune, d'écopont, de pont vert et de pont végétalisé. Elles peuvent être plus ou moins recouvertes de végétation, mais leur largeur, variant de 40 m à 70 m, et leur épaisseur relativement fine limitent l'aménagement d'habitats naturels complexes sur ceux-ci (plantation d'arbres). (Clevenger et Huijser, 2011) Étant principalement destiné au déplacement, il est plus judicieux d'établir ce type de passage dans un axe de migration connu des espèces cibles. Leur coût approximatif peut être estimé à environ 5 millions de dollars canadiens, mais varie selon les dimensions, les matériaux et les aménagements de surface. (Huijser et al., 2009)



Figure 2.7. Photo de la passerelle faunique de « Réngelbur » au Luxembourg (© GilPe)

Afin d'optimiser le rapport coût-efficacité pour la construction et l'utilisation par la faune, il est recommandé d'ouvrir le plus possible les abords du passage, en forme de trapèze par exemple. Cela permet de créer un effet d'entonnoir des extrémités vers le centre, réduisant ainsi la largeur du passage au-dessus de la route et diminuant par conséquent les coûts associés à la construction du pont. Cette forme de « sablier » permet une meilleure insertion dans le milieu naturel, dirige plus aisément la faune et évite l'effet couloir, dissuasif pour la faune. (Carsignol, 2011; Techno-Science.net, s.d.; VINCI Autoroutes, 2016) La conception des entonnoirs ne doit pas nécessairement être symétrique, mais doit s'adapter au milieu existant (VINCI Autoroutes, 2016). Le fait de voir l'autre extrémité du passage est aussi un élément invitant au passage de la faune (Simpson et al., 2016). Pour ce faire, l'idéal est de construire la passerelle dans un endroit à fort dénivelé ou au sein d'une vallée. Les animaux perçoivent ainsi plus difficilement le changement d'environnement. (Clevenger et Huijser, 2011)

Concernant les dimensions, il est préférable d'opter pour des passages courts et larges (Office fédéral des routes, 2014). La largeur optimale minimisant le coût et maximisant la connectivité écologique semble ainsi être atteinte entre 50 m et 70 m (Carsignol, 2011). Une architecture simple est également à privilégier pour limiter les dépenses, puisque c'est l'aménagement de la passerelle (végétation, sol, etc.) qui influence principalement son efficacité (VINCI Autoroutes, 2016). Il est toutefois primordial que la structure puisse

supporter le poids additionnel du sol et de la végétation, ainsi que les accumulations de neige et les fortes précipitations (Healy, 2019).

En ce sens, une végétation indigène composée principalement d'herbacées et d'arbustes résistants aux conditions difficiles est à prioriser. Il est également pertinent de sélectionner des essences favorisant la présence d'espèces cibles. Par exemple, le passage de certains oiseaux est privilégié lorsque des bandes arbustives de 3 à 5 mètres de largeur sont incorporées de part et d'autre du pont, longeant et camouflant ainsi les clôtures d'exclusion latérales (Pell et Jones, 2015). Cela semble aussi être le cas des chauves-souris, qui, lors d'une étude en Australie, traversaient davantage la route au sein de passerelles fauniques munies d'une végétation dense et mature que dans d'autres types d'habitats (McGregor et al., 2017). Le centre du passage peut quant à lui être exempt de couvert forestier afin de favoriser le passage d'ongulés, qui préfèrent les espaces ouverts afin de percevoir les prédateurs au loin (Denneboom et al., 2021). L'ajout de rochers peut également encourager la traversée de certains micromammifères, amphibiens et reptiles (van der Ree et al., 2015).

Finalement, le prototype théorique du « Smart Green Bridge » semble être un nouveau type de passerelle faunique intéressant au point de vue de son efficacité économique et d'écoresponsabilité. Ayant les mêmes objectifs que les passerelles déjà implantées, il se différencie principalement par sa technologie efficace de gestion de l'eau et de sa légèreté. Ne nécessitant que de 50 à 200 millimètres de substrat minéral pour la végétation au lieu d'un mètre, une base structurale en arche de bois suffit à supporter son poids, diminuant ainsi les coûts liés au béton. Des murs végétaux sont aussi incorporés sur les barrières externes et les besoins hydriques sont comblés de manière plus constante. En effet, lors de périodes sèches, l'eau de pluie préalablement récoltée via des réservoirs de chaque côté du pont est redistribuée dans le sol et les murs verticaux par un système de pompe alimenté par des panneaux solaires photovoltaïques, et ce, suite à un signal émis par des capteurs d'humidité installés au niveau du sol. (Žák et al., 2020)

2.2.2. Ponts écologiques

Les ponts écologiques (ou faux tunnels, écoducs et tranchées couvertes) sont des types d'aménagement similaires aux passerelles fauniques (Figure 2.8). En effet, tous les éléments concernant les aménagements liés aux besoins fauniques sont minimalement les mêmes. (van der Ree et al., 2015) Ils se différencient toutefois principalement par leur importante largeur, possible grâce à leur structure en forme de tunnel foré ou de tranchée couverte. La largeur minimum est théoriquement de 50 mètres, mais son efficacité serait augmentée à partir de 80 mètres. Cette largeur permet des aménagements plus complexes et augmente ainsi l'éventail d'espèces ciblées. (Beaulieu, 2018) Ce type de pont supérieur est celui offrant la meilleure continuité écologique pour la faune et la flore, tout en limitant la dégradation du milieu (Infrastructure & Ecology Network Europe [IENE], 2003; Nehaoua, 2015). Il est aussi idéal pour desservir de vastes territoires naturels dont la protection est assurée à perpétuité. En effet, la possibilité de support d'habitats hétérogènes qu'offre ce type de pont permet d'accueillir la majorité des espèces fauniques, qu'il s'agisse d'amphibiens, de reptiles, de mammifères terrestres, semi-aquatiques ou semi-arboricoles ou bien encore d'oiseaux et de

chiroptères. Des milieux ouverts, des boisés stratifiés et même des mares peuvent y être installés. (Clevenger et Huijser, 2011) La possibilité d'offrir une topographie et un type de substrat variés favorise ainsi un maximum de richesse spécifique. La végétation, en comparaison avec la passerelle faunique, doit être très similaire aux boisés environnants, puisque le rôle du pont n'est plus seulement lié au déplacement, mais tend aussi à offrir un agrandissement de la niche écologique des espèces cibles. (Beaulieu, 2018)



Figure 2.8. Photo de pont écologique en Allemagne (© JuergenL)

Ce type d'infrastructure est toutefois très coûteux à construire et est particulièrement recommandé pour les milieux à haute valeur écologique (Beaulieu, 2018; IENE, 2003). Ce type de structure ne nécessite néanmoins que très peu d'entretien une fois l'aménagement complété et l'implantation des végétaux bien amorcée. Il suffit de s'assurer que les humains restent loin et de contrôler minimalement la végétation dans l'optique de conserver son rôle de connexion écologique à large spectre. (Beaulieu, 2018)

2.2.3. Passages supérieurs mixtes



Figure 2.9. Passage mixte avec chemin agricole en France (© Ittecope, s.d.)

Les passages mixtes (Figure 2.9) n'ont généralement pas de vocation écologique lors de leur construction, mais sont, par la suite, aménagés pour convenir au passage de la faune, mais aussi des humains. Ils sont composés d'un chemin non revêtu et d'une bande végétalisée de part et d'autre. (Carsignol, 2011; Nehaoua, 2015) Ils sont généralement plus étroits que les passages fauniques supérieurs, et varient de 10 à 25 mètres de largeur (Beaulieu, 2018).

Ciblant une utilisation partagée avec l'humain, le pont possède deux voies devant être séparées et isolées. Néanmoins, plusieurs contraintes occasionnées par l'homme sont néfastes à la traversée d'animaux

sauvages et persistent suite à ce partage. En effet, la taille du passage, les odeurs, l'anthropisation du paysage, le bruit, l'importance du trafic et la luminosité artificielle sont des facteurs à prendre en considération. (Beaulieu, 2018)

Ainsi, afin d'atténuer ces effets, il est d'abord nécessaire que la largeur du passage animalier soit suffisamment grande. Comme point de repère, la largeur minimale devrait être équivalente ou supérieure à la largeur du passage dédié à l'humain (van der Ree et al., 2015). Ce faisant, le segment anthropique devrait toujours être le passage le plus étroit. Ensuite, afin de séparer ces deux zones tout en évitant un effet rectiligne, une clôture de bois brut peut être installée en suivant une hauteur variable le long du passage. (Pradines, 2019)

Plusieurs facteurs qui affectent l'efficacité de ce type de passage recourent le contenu vu plus haut avec les passages inférieurs mixtes. La section 2.1.3 est donc pertinente à consulter pour les impacts de la lumière artificielle et des activités anthropiques sur la faune.

D'ailleurs, il est important de connaître et de cibler des espèces pour ce type d'aménagement. Par exemple, un type de culture aux abords du passage attirera certaines espèces et en repoussera d'autres. De plus, plusieurs espèces sauvages ne tolèrent pas la présence de l'humain et ne traverseront pas dans un passage mixte. Ce type d'infrastructure correspond donc davantage aux espèces ubiquistes, urbaines et tolérantes à la présence de l'homme, comme le raton laveur, le renard roux, les petits mammifères, le cerf de Virginie ou le coyote. (Beaulieu, 2018) Il est d'ailleurs suggéré que ce type de structure soit plus efficace pour les mammifères de moyenne taille (Asari et al., 2020). C'est pourquoi les ouvrages mixtes seraient moins performants et variés en espèces que les ouvrages dédiés uniquement à la faune (Denneboom et al., 2021). Il s'agit toutefois d'une alternative intéressante et peu coûteuse dans l'éventualité où l'implantation d'un passage faunique dédié est impossible (Barrueto et al., 2014; Carsignol, 2011; NORPAC, s.d.).

2.2.4. Chiroptéroduct

Le chiroptéroduct (Figure 2.10) permet de guider spécifiquement la traversée des chauves-souris à une hauteur sécuritaire. Cette passerelle présente des aspérités ou reliefs qui permettent un meilleur rebond du cri des chiroptères (Pichard et al., 2018). Parmi les types de structures jusqu'ici utilisés, les plus souvent évoqués dans la littérature sont métalliques et en forme de « U », soit ouverts vers le haut, et sont munis de



Figure 2.10. Chiroptéroduct en France (© Gloumouth1)

grillages verticaux au bas des extrémités afin d'orienter les chauves-souris vers le haut du chiroptéroduct. Un autre type comporte deux fils de fer tendus munis de sphères de polystyrène ayant une surface optimisant la réfraction des ondes émises par les chauves-souris. Un simple support à panneaux de circulation (sans panneau) au-dessus de la route peut également servir de chiroptéroduct de base. Dans

tous les cas, il est préférable, voire nécessaire, d'avoir une canopée abondante aux abords de ces structures, toujours afin de conserver l'aspect naturel et d'assurer une continuité entre les deux côtés de la route. (Claireau et al., 2019)

La littérature est présentement mitigée quant à l'efficacité de ces structures (Claireau et al., 2019). Elles semblent toutefois plus efficaces lorsque les abords de la route sont bordés de milieux forestiers au lieu de milieux ouverts, comme des terres cultivables. De plus, bien que ces structures surélevées puissent être utilisées par plusieurs espèces de chiroptères, certaines ont un patron de vol plus près du sol et préfèrent les passages inférieurs pour traverser les routes, d'où l'importance d'identifier préalablement les espèces cibles du projet. (Claireau et al., 2019)

Tableau 2.2. Résumé de tous les passages fauniques

Type	Nom	Faune ciblée	Présence de cours d'eau	Avantages	Désavantages
Inférieur	Viaducs	Toute	Possible	❖ Utilisé par la majorité de la faune ❖ Grande efficacité de restauration de connectivité ❖ Offre le plus d'ouverture/luminosité ❖ Plus grande continuité entre les milieux adjacents	❖ Couteux comme nouvelle installation
	Passages inférieurs pour la grande faune	Toute	Non	❖ Utilisé par une grande proportion de la faune ❖ Efficace dans la restauration de la connectivité ❖ Grande ouverture/luminosité ❖ Grande continuité entre les milieux adjacents	❖ Couteux comme nouvelle installation
	Passages inférieurs mixtes	Espèces tolérantes à la présence humaine	Possible	❖ Optimisation des coûts de l'aménagement ❖ Meilleure acceptabilité sociale ❖ Bénéfique aux humains	❖ Diminution significative de leur utilisation par la faune
	Ponceaux modifiés	Modulable	Oui	❖ Coûts faibles ❖ Taille et forme du passage pouvant être adaptées aux espèces ciblées ❖ Plus efficace que ponceaux simples ❖ Efficace dans la restauration de la connectivité	❖ Effet de tunnel ❖ Taille peut être limitante pour la grande faune
	Tuyaux secs	Petite et Moyenne	Non	❖ Coûts faibles ❖ Efficacité supérieure aux ponceaux modifiés avec tablettes	❖ Effet de tunnel ❖ Limitant pour la grande faune
	Tunnels pour reptiles et amphibiens	Petite	Possible	❖ Utilisé par toute la petite faune ❖ Grande efficacité pour les espèces ciblées ❖ Coûts faibles	❖ Utilisé seulement par la petite faune ❖ Fréquence et coûts d'entretien supérieurs
	Aménagements des berges d'un cours d'eau	Toute	Oui	❖ Augmente la diversité d'espèces pouvant utiliser la structure	❖ Besoins techniques pour continuation des berges sous et autour des structures

Type	Nom	Faune ciblée	Présence de cours d'eau	Avantages	Désavantages
Supérieur	Passerelles fauniques	Toute	Non	❖ Ouverture complète ❖ Utilisé par la majorité de la faune selon les aménagements ❖ Grande efficacité de restauration de connectivité	❖ Couteux ❖ Couverture végétale limitée par les capacités de la structure
	Ponts écologiques	Toute	Non	❖ Ouverture complète ❖ Plus grande continuité entre les milieux adjacents ❖ Utilisé par la majorité de la faune ❖ Plus grande efficacité de restauration de connectivité ❖ Peu d'entretien requis	❖ Plus couteux que la passerelle
	Passages supérieurs mixtes	Espèces tolérantes à la présence humaine	Non	❖ Optimisation des coûts de l'aménagement ❖ Bénéfique aux humains	❖ Diminution significative de leur utilisation par la faune
	Chiropteroduc	Chauves-souris	Non	❖ Favorise le passage sécuritaire de certaines espèces de chauves-souris	❖ Très spécifique

2.3. Compléments aux passages fauniques

Cette section présente les options complémentaires aux passages fauniques présentés plus haut. Une première partie aborde les clôtures d'exclusion comme technique pour guider la faune vers les passages fauniques. Par la suite, une seconde partie présente sommairement les dispositifs de dissuasion auditive et les réflecteurs visuels.

2.3.1. Clôtures

Les clôtures d'exclusion, ou barrières, permettent de guider la faune vers les passages fauniques afin d'assurer leur traversée. Sans cette mesure, beaucoup d'animaux n'utiliseront pas les passages fauniques afin de traverser la route. (Rytwinski et al., 2016) Soit ils ne trouveront pas les passages, soit ils n'y seront pas encore habitués et les éviteront. À Banff, à la suite de l'installation de clôtures, 80 % moins d'accidents avec la faune ont été répertoriés. Les clôtures sont donc des mesures très efficaces afin d'éviter que les animaux accèdent à l'emprise routière et de diminuer les collisions. Cependant, les aires non clôturées ont parfois plus de mortalités qu'avant l'installation des clôtures à proximité. (Clevenger et al., 2001) On nomme ce phénomène l'effet de fin de barrière (Huijser et al., 2016).

L'effet de fin de barrière est le phénomène suivant : les mortalités fauniques routières diminuent aux endroits clôturés, mais augmentent drastiquement à l'extrémité de ces clôtures. Les animaux tentant de traverser la route sont stoppés par une clôture. Ils suivent donc celle-ci, mais si elle ne mène pas à un passage faunique, elle mène éventuellement à la route. Beaucoup d'animaux se retrouvent donc à tenter de traverser la route à la première occasion, à la fin de la clôture. L'effet de fin de barrière est beaucoup plus commun avec les clôtures plus courtes (< 5 km). Les collisions avec la faune y sont réduites d'environ 53 %, comparé à une réduction de 80 % des clôtures plus longues (> 5 km). (Huijser et al., 2016)

De plus, les animaux traversant à la fin d'une clôture peuvent se retrouver pris de l'autre côté de la clôture (c.-à-d. sur la route), s'il n'y a pas de structure permettant le retour vers le milieu naturel (échappatoire). Les risques de collision augmentent alors drastiquement. (Lavoie et al., 2012 ; Clevenger et al., 2001 ; Huijser et al., 2016) En effet, les barrières peuvent empêcher la faune d'accéder à la route, mais elles ne doivent pas empêcher le retour aux milieux naturels. En Beauce, des clôtures et des passages fauniques ont été aménagés le long de l'autoroute Robert-Cliche (A73). Des sautoirs ont aussi été aménagés pour permettre aux cerfs de Virginie qui se retrouveraient du mauvais côté des clôtures de regagner le milieu naturel (Figure 2.11). Les sautoirs permettent l'accès à la forêt, mais pas à la route. Une forte diminution de collisions avec la faune a pu être observée sur ce tronçon de l'A73 à la suite de l'installation des clôtures d'exclusion. Les cerfs ont emprunté les passages fauniques aménagés durant leur période d'hivernage et lors des migrations. (Lavoie et al., 2012) Il existe d'autres systèmes permettant à la faune de sortir de l'emprise de la route tout en empêchant son entrée. Les portes à sens unique en sont un exemple. Ce type de portail est muni de tiges d'acier entrecroisées qui pointent vers l'intérieur du secteur clôturé et qui se replient sur les côtés lorsqu'une pression leur est appliquée. Le système permet aux gros mammifères de se faufiler à l'intérieur tout en évitant qu'ils puissent revenir sur leur pas. Ce type de porte unidirectionnelle a été beaucoup utilisé aux États-Unis, mais leur efficacité a été grandement questionnée récemment. Des défauts de conception et des problèmes d'ouverture ont poussé la plupart des manuels d'écologie routière à ne pas recommander ce type d'installation (van der Ree et al., 2015).



Figure 2.11. Photos d'un sautoir construit en Beauce. À gauche : vue de la pente douce du côté de l'autoroute Robert-Cliche (A73) ; À droite : vue du mur du côté de la forêt (tirées de : Lavoie et al., 2012)

Afin de diminuer l'effet de fin de barrière, certaines solutions peuvent être mises en place. Les fins de barrières peuvent être aménagées de façon à dissuader la faune de traverser les barrières à cet endroit. Ceci peut être effectué en dirigeant la fin d'une barrière loin de la route ou terminer la barrière à un pont ou vers une pente. (Huijser et al., 2016)

L'efficacité des barrières est intrinsèquement liée aux espèces ciblées par l'aménagement. Il faut tenir compte de divers traits anatomiques et comportementaux des espèces ciblées pour parvenir à une clôture optimale. La petite et la grande faune ont des proportions différentes qui impliquent que des barrières cherchant à les contenir doivent aussi être de proportions différentes. D'ailleurs, l'efficacité des clôtures

d'exclusion est augmentée lorsque le pourcentage d'aire ouverte est faible (Béga et al., 2021). Les clôtures avec mailles ou faites de matériaux fibreux sont donc à éviter pour la petite faune (Béga et al., 2021; Conan et al., 2022). En effet, lorsque les perforations sont absentes ou de petites tailles, cela réduit leurs comportements d'escalade, d'enchevêtrement et d'allers-retours en longeant la clôture. Par ailleurs, la faune s'éloigne ou longe plus rapidement les clôtures d'exclusion rigides lorsque le pourcentage d'aire ouverte est faible. (Béga et al., 2021) Les clôtures doivent aussi être enfouies dans le sol pour empêcher que des animaux fouisseurs puissent creuser en dessous pour les traverser. Certains auteurs ont suggéré une profondeur entre 20 cm et 30 cm (Béga et al., 2021; Herbouiller, 2009). Cependant, les clôtures doivent être beaucoup plus hautes pour que la faune ne puisse pas sauter par-dessus. Les cerfs de Virginie étant d'excellents sauteurs, les clôtures doivent être d'au moins 2 mètres de hauteur. La grande faune inclut aussi des espèces qui sont massives et fortes comme les ours ou les orignaux. Celles-ci sont capables d'abimer les clôtures pour traverser la route. Les barrières doivent alors être renforcées afin de dissuader les individus (van der Ree et al., 2015). Puisque la petite et la grande faune sont souvent ciblées par des barrières, une combinaison des deux types de clôtures doit être prévue (Bédard et al., 2012 ; Herbouiller, 2009).

Il est aussi important d'éviter les fils barbelés, car les animaux volants ou planants pourraient s'y empaler. Toutes les caractéristiques des barrières peuvent affecter la faune et l'impact est souvent de nature complexe et difficile à prévoir, c'est pourquoi il est important de se fier à des études préliminaires avant leur installation. Par exemple, la couleur et l'opacité des clôtures peuvent avoir un impact sur les comportements de l'herpétofaune (van der Ree et al., 2015). Les tortues et certains amphibiens ont tendance à se déplacer plus rapidement le long d'une clôture opaque (Béga et al., 2021; Sievert et Yorks, 2015). Il peut alors être avantageux d'utiliser une barrière opaque pour diriger les animaux vers le passage faunique et d'utiliser une barrière transparente pour les dissuader d'aller plus loin que l'aire clôturée.

L'efficacité des barrières fauniques peut aussi être maximisée en considérant l'aspect temporel des aménagements. Il est reconnu que l'installation simultanée des clôtures et d'un passage faunique augmente l'utilisation des aménagements et évite les débordements fauniques (plus forte circulation de la faune à l'extrémité des clôtures) (van der Ree et al., 2015). Ce type de pratique est plus rentable puisqu'il maximise l'utilisation de la machinerie lourde qui est sur place pour les deux types d'installation. L'installation simultanée permet aussi d'améliorer la logistique des travaux parce que les tâches non prévues dans le plan d'origine peuvent être accomplies lorsque la zone est délimitée par un chantier routier.

Les différents types de clôtures peuvent aussi être modifiés dans leurs composantes selon le contexte climatique et géologique. Le MTQ a déjà développé des fiches techniques permettant de planifier les choix de poteaux, de grillage, de matériaux, etc. Il est possible de s'y référer, car elles sont adaptées au contexte québécois. Le choix de poteaux est, entre autres, lié aux types de milieux dans lesquels la barrière est aménagée. Par exemple, des poteaux de bois traité sous pression sont utilisés dans les milieux sensibles comme les milieux humides afin d'éviter de contaminer l'écosystème avec des métaux galvanisés. La mise

en place de raidisseur pour conserver la tension dans le grillage des clôtures va dépendre des conditions d'accumulation de neige durant l'hiver. Lorsque la quantité de neige est élevée, il est nécessaire de réduire l'intervalle entre les raidisseurs pour avoir une tension supérieure dans la clôture. L'installation du grillage présente aussi plusieurs particularités. Par exemple, le treillis de métal doit toujours toucher le sol pour éviter que les cerfs ou d'autres animaux puissent passer sous la clôture. (MTQ, 2017)

La mise en place de clôtures n'est pas la seule option pour guider la faune vers les passages fauniques ; il existe plusieurs alternatives. Des barrières de bétons et des talus de sol sont fréquemment utilisés dans les bordures routières afin de respectivement séparer les voies de circulation et réduire le bruit ainsi que la lumière. Avec de légères modifications, ces structures peuvent remplir la fonction de barrière faunique. Par exemple, certaines barrières routières de bétons possèdent des trous de drainage qui permettent le passage de la faune de petite taille. Ces trous peuvent être bouchés afin d'empêcher la traversée et ainsi forcer les animaux vers les passages sécuritaires. (Clevenger et Kociolek, 2013) Cependant, il est important de conserver les trous dans les barrières situées dans les terrepleins afin d'éviter que les animaux qui parviennent sur la route y restent piégés. Ce type d'aménagement est habituellement bien moins coûteux que l'installation de clôtures et l'efficacité peut être améliorée en utilisant diverses stratégies. Des arbres et d'autres types de végétation peuvent être plantés près des passages fauniques afin de fournir de la nourriture et des abris aux différentes espèces. Cela permet d'inciter la fréquentation des zones près des passages et de réduire ainsi les débordements fauniques. (van der Ree et al., 2015)

Dans tous les cas, il est essentiel d'entretenir régulièrement les barrières fauniques afin de maximiser leur efficacité sur le long terme (Béga et al., 2021; van der Ree et al., 2015). Les structures devraient être positionnées dans des endroits qui facilitent l'accès pour permettre de faire des réparations et le contrôle de la végétation. La prolifération de la végétation près des clôtures peut faciliter l'escalade et l'accès à la route pour les petits mammifères, les reptiles et les amphibiens (Béga et al., 2021; van der Ree et al., 2015). Finalement, les barrières sont sensibles aux conditions environnementales, une inspection régulière est alors nécessaire pour conserver l'intégrité du projet. Il est avantageux de faire des vérifications avant la période de migration de l'espèce ciblée puisque cela permet de protéger la faune lors de la période où elle est la plus abondante à se déplacer. (van der Ree et al., 2015)

2.3.2. Réflecteur et méthode de dissuasion auditive

Les réflecteurs et la dissuasion sonore ont comme objectif de modifier le comportement de la faune pour la décourager de tenter de traverser les routes. Les réflecteurs sont montés sur des poteaux disposés en bordure de la route, ils sont constitués d'un miroir à l'intérieur d'un boîtier qui réfléchit la lumière à travers une lentille rouge. Cette lumière se transmet entre les différents réflecteurs de part et d'autre de la route et cela permet d'illuminer les plats de bandes et la bordure routière. (van der Ree et al., 2015) Cependant, en raison de l'habituation qui survient chez la faune avec le temps, cette mesure de mitigation a été démontrée comme peu efficace, réduisant les mortalités de seulement 1% (Rytwinski et al., 2016). Au niveau sonore, les sifflets d'avertissement faunique sont habituellement montés sur des véhicules et ils émettent un son

lorsque le véhicule est en mouvement. Certains modèles possèdent une certaine autonomie grâce à des batteries et ils peuvent émettre un son lorsque le véhicule est à l'arrêt. (van der Ree et al., 2015) D'autres méthodes existent, mais l'efficacité de ces méthodes ne semble toutefois pas démontrée scientifiquement.

3. MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre présente les différentes bases de données et la méthode utilisée pour définir les secteurs prioritaires pour la réalisation d'aménagements fauniques optimaux, ainsi que l'analyse permettant de cibler le type de structure approprié pour chaque secteur de la zone d'étude (KM 74 à 121 de l'A10). Dans un premier temps, la méthodologie utilisée s'appuie sur une analyse géomatique permettant de cibler les secteurs à prioriser. Les critères utilisés y sont détaillés et justifiés à la section 3.1.1. Dans un second temps, cette méthodologie se base également sur une analyse plus fine de ces secteurs permettant l'utilisation d'un diagramme de décision afin de cibler les types de structures optimales pour chaque emplacement. La Figure 3.1 résume la méthodologie utilisée.

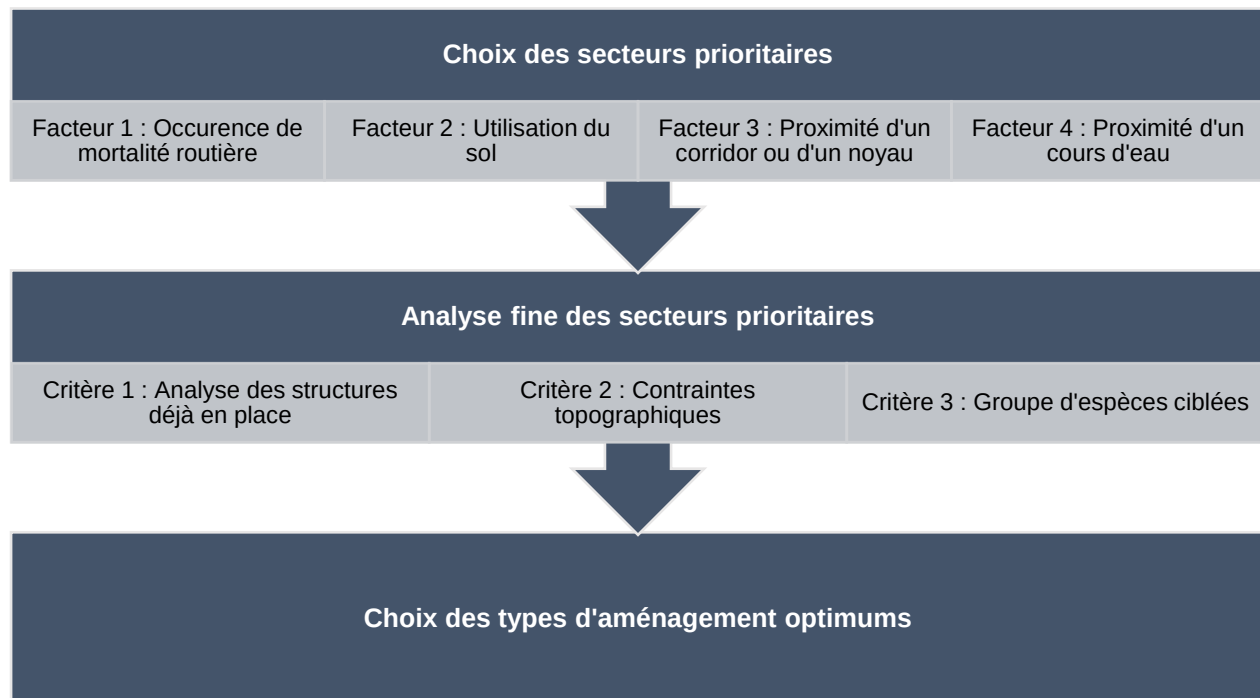


Figure 3.1. Résumé de la méthodologie pour définir les secteurs prioritaires et les types d'aménagement optimaux

3.1. Méthode géomatique permettant de cibler les secteurs prioritaires

La méthode géomatique retenue pour l'analyse des secteurs prioritaires s'appuie sur une démarche d'analyse spatiale matricielle (analyse multicritère). L'analyse matricielle permet de gérer de grandes quantités de données avec aisance et rapidité. Par ailleurs, les possibilités de calculs et d'opérations mathématiques sont très vastes avec ce type d'analyse. Le logiciel ArcGIS a été utilisé pour effectuer toutes les étapes.

La démarche d'analyse utilisée est constituée de cinq étapes :

- 1- Choix et pondération des critères utilisés pour l'analyse;
- 2- Préparation et extraction de données cartographiques sous forme vectorielle;
- 3- Conversion des données vectorielles en couches de données matricielles;
- 4- Multiplication de chaque couche matricielle (critère) par un poids (facteur multiplicatif) prédéfini (voir le Tableau 3.1);
- 5- Addition du poids de chaque couche matricielle, afin de former une matrice d'accumulation de poids.

Étape 1

Le choix des critères et leur pondération constituent la base de l'analyse. La section 3.1.1 permet de décrire le tout en détail.

Étape 2

La majorité des données géographiques pour les thématiques retenues dans le cadre du présent projet proviennent de couches vectorielles (points, lignes, polygones). Dans un premier temps, une extraction des données concernant l'ensemble de la zone d'étude a été réalisée. Par la suite, un second tri a été effectué, afin de ne retenir que les données associées aux critères et aux classes retenues pour l'analyse (voir Tableau 3.1). Pour plusieurs données, une couche de données additionnelle, associée aux zones tampons entourant ces éléments, a été créée (ex : point de mortalité routière ou cours d'eau). Une fois que toutes les données nécessaires ont été rassemblées, une pondération a été assignée à chaque entité, conformément au Tableau 3.1.

Étape 3

Les couches de données vectorielles créées à l'étape 2 ont été converties au format matriciel à l'aide d'outils spécialisés du logiciel ArcGIS. Cette conversion a pour effet de transformer les vecteurs en une image constituée de pixels (matrice). Cette image forme en fait une grille de valeurs qui sera utilisée pour l'analyse. La taille retenue pour chaque pixel est de 20 m par 20 m. Un pixel représente donc 400 m² sur le terrain. La valeur de chaque pixel est tirée de la couche vectorielle de laquelle il est issu, à l'endroit où le pixel se superpose sur la couche vectorielle. Les couches matricielles produites pour chacun des critères sont générées de façon à se superposer parfaitement.

Étape 4

À cette étape, la calculatrice matricielle du logiciel de géomatique ArcGIS a été utilisée pour multiplier chaque couche matricielle par un poids (facteur multiplicatif) prédéfini, conformément au Tableau 3.1. Lors de cette opération, la valeur attribuée à chaque pixel est multipliée par le poids. Une nouvelle couche matricielle pondérée est générée par cette opération.

Étape 5

L'analyse se termine par l'addition de chaque couche matricielle pondérée, à l'aide de la calculatrice matricielle. C'est ainsi qu'est générée une nouvelle matrice, qui est la matrice d'accumulation de poids (matrice synthèse). Celle-ci présente, pour chaque pixel, le cumul de tous les pointages et poids.

3.1.1. Les critères de l'analyse spatiale matricielle

Afin de procéder à l'analyse spatiale matricielle des différents secteurs de la zone d'étude, des critères essentiels à l'analyse de la valeur de ce secteur pour la connectivité ont été identifiés et définis. Pour chaque critère, des classes sont attribuées et une pondération différente est allouée à chacune de ces classes, selon leur niveau d'importance pour la connectivité. Une classe jugée prioritaire pour l'évaluation de la valeur de la zone d'étude reçoit une pondération plus élevée. Dans le même ordre d'idée, un poids (facteur multiplicatif) a été attribué à chaque critère. Ainsi, un critère jugé plus prioritaire pour la mise en place et l'efficacité des passages fauniques reçoit un poids plus élevé.

Les quatre critères qui ont été sélectionnés sont la présence d'indices de mortalité routière, l'utilisation du sol de part et d'autre de l'autoroute, la proximité d'un corridor écologique ou d'un noyau d'habitats et la présence de cours d'eau qui passe sous l'autoroute (voir Tableau 3.1).

Tableau 3.1 Sommaire des classes et pondérations des critères utilisés pour l'analyse des zones prioritaires à l'aménagement de passages fauniques

Facteur multiplicatif (poids)	Critère	Classe	Pondération
30	Indice de mortalité routière	Grande faune	3
		Moyenne faune	2
		Petite faune	1
25	Utilisation du sol de part et d'autre de l'autoroute	Milieu forestier naturel	3
		Milieu forestier avec activité et milieu humide	2
		Milieu agricole	1
30	Proximité d'un corridor écologique ou d'un noyau	Contiguë à l'autoroute	3
		Situé à une distance de 50 à 250 mètres de l'autoroute	2
		Situé à une distance de plus de 250 à 1 000 mètres de l'autoroute	1
15	Proximité de cours d'eau et de la bande riveraine de 20 mètres	Situé à une distance de 0 à 100 mètres de l'autoroute	3
		Situé à une distance de plus de 100 à 200 mètres de l'autoroute	2

Facteur multiplicatif (poids)	Critère	Classe	Pondération
30	Indice de mortalité routière	Grande faune	3
		Moyenne faune	2
		Petite faune	1
		Situé à une distance de plus de 200 à 300 mètres de l'autoroute	1

Critère 1 : Indice de mortalité routière

Les indices de mortalité proviennent des données de mortalités récoltées par l'équipe de l'Université Concordia supervisée par le professeur Jochen Jaeger entre 2019 et 2021 (Jaeger et al., 2021), ainsi que des données récoltées par les patrouilleurs du MTQ de 2009 à 2020 (MTQ, 2020). Ces données de mortalités renseignent grandement sur la présence avérée de certaines espèces sur l'A10 et sur les emplacements où une grande concentration d'accidents de la route a eu lieu. Comme le danger pour les automobilistes est beaucoup plus grand lorsque l'animal est de grande taille, une pondération de 1 à 3 a été attribuée en fonction de celle-ci, où la pondération la plus élevée a été attribuée à la grande faune.

Critère 2 : Utilisation du sol de part et d'autre de l'autoroute

Afin de s'assurer de l'efficacité des structures aménagées, il est essentiel d'avoir de part et d'autre de celles-ci des milieux naturels qui permettent de combler les besoins des espèces. Le milieu forestier est évidemment à favoriser, mais le milieu agricole, particulièrement les cultures pérennes et les friches, peut aussi combler ce besoin. Puisque ces milieux sont moins favorables que les milieux forestiers, une pondération de 1 leur a été attribuée contrairement à une pondération de 2 ou 3 s'il s'agissait d'un milieu forestier ou humide. Cela s'explique par le fait que la majorité des espèces de la zone d'étude préfère se déplacer sous couvert forestier et que les coûts de la restauration des milieux ouverts peuvent être élevés.

Critère 3 : Proximité d'un corridor écologique ou d'un noyau d'habitats

Les grands principes de la conservation se basent sur le design d'aires protégées qui comprend l'établissement de noyaux d'habitats suffisamment grands pour assurer la survie des espèces et écosystèmes représentatifs de la région naturelle et des corridors écologiques reliant les noyaux d'habitats entre eux. Ces différents éléments forment ce qu'on appelle le réseau écologique. Sachant que ces différents éléments ont été bien étudiés sur le territoire de Corridor appalachien, notamment par des travaux de validation sur le terrain, et que la présence de nombreuses espèces est confirmée au sein de ceux-ci, il est pertinent de cibler l'aménagement des passages fauniques au sein de ce réseau. Plus le secteur est près du réseau écologique, plus la pondération attribuée est élevée.

Critère 4 : Proximité de cours d'eau et de la bande riveraine de 20 mètres

Les milieux hydriques renferment des habitats abritant une faune et une flore particulières qui dépendent de ces milieux. De plus, de nombreuses espèces utilisent les cours d'eau et leurs bandes riveraines pour guider leurs déplacements, leur migration et avoir accès aux ressources nécessaires à leur survie. Il est donc pertinent de viser ces milieux pour favoriser l'aménagement de structure où, théoriquement, la science nous indique que les espèces circulent.

3.1.2. Source des données utilisées

Les bases de données suivantes ont été utilisées pour l'analyse des zones prioritaires à l'aménagement de passages fauniques :

- Base de données topographiques du Québec (BDTQ) produite par la Direction générale adjointe de l'information géographique - Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (1998).
 - *Éléments hydrographiques linéaires et surfaciques*
 - *Topographie (Courbes de niveau/élévation)*
- Cartes écoforestières du 4^e inventaire forestier (FORGEN-TERGEN) (format shapefile pour ArcGIS) produit par le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRNF) (2012).
 - *Fragments forestiers*
 - *Peuplements forestiers*
 - *Sommets*
 - *Milieux humides*
 - *Utilisation du sol*
- Base de données du réseau routier d'Adresses Québec (AQRéseau) (format shapefile pour ArcGIS) produite par la Direction générale adjointe de l'information géographique - Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (2015).
 - *Couverture (lignes) des segments du réseau routier du Québec (pour la validation des fragments forestiers)*
 - *Réseau routier*
- Une analyse géomatique réalisée par Corridor appalachien a également permis d'identifier les corridors naturels sur son territoire d'action. Le logiciel « Linkage Mapper » a été utilisé pour cette analyse. Les corridors naturels identifiés ont fait l'objet d'une validation sur le terrain, en plus d'une validation via les images aériennes et satellitaires.
 - *Corridors naturels*
- La couche d'informations *Utilisation du territoire* produite en 2020 par le Comité géomatique des producteurs du MELCC. Gouvernement du Québec.
 - *Utilisation des sols*

3.2. Analyse fine des secteurs prioritaires et diagramme de décision pour le choix des types de passage faunique optimums

Une analyse des résultats obtenus à la suite de la méthode géomatique permet de déterminer les zones prioritaires qui sont à conserver. En effet, cette méthode géomatique cible parfois certaines zones peu propices à l'installation des structures pour la faune comme des sorties d'autoroute par exemple.

Ensuite, les types de passages optimums sont sélectionnés à la suite de l'identification des secteurs prioritaires. Pour guider la prise de décision et identifier le type de passage le plus approprié pour chaque secteur, un diagramme de décision a été développé (Tableau 3.2). Ce dernier a été inspiré du rapport "Technical prescriptions for wildlife crossing and fence design" réalisé par le MAAMA (2016).

Ce diagramme décisionnel s'appuie sur trois critères :

- Présence de structures routières non adaptées pour la faune;
- Contraintes topographiques;
- Groupes d'espèces ciblées.

L'analyse de ces trois critères permet d'arriver à une conclusion sur les types de passage les plus recommandés pour l'aménagement des secteurs prioritaires. Une analyse fine de chacun des secteurs en s'appuyant sur les critères mentionnés précédemment a donc été nécessaire.

3.2.1. Critère 1 : Présence de structures routières

Ce premier critère prend en compte la présence de structures routières existantes sur la zone d'étude, telles que les ponceaux et les viaducs. Ces structures, généralement non adaptées pour la faune, pourraient faire l'objet de modifications permettant une utilisation par la faune, et ce, à moindres coûts que la construction de nouveaux passages fauniques. Ainsi, ce critère tient compte de l'absence de structure, de la présence de viaducs au-dessus de milieux naturels, de la présence de structures à usages anthropiques et de la présence de ponceaux. Plus précisément, la présence de structures à usages anthropiques est généralement associée à un viaduc permettant à la route principale de passer par-dessus la structure (ex : route secondaire, voie ferrée, piste cyclable, etc.) ou bien en dessous de la structure. Ces structures à usages anthropiques doivent être peu fréquentées pour être considérées dans l'analyse. L'absence de structure et le type de structure routière présente viennent donc orienter le choix des types de passages fauniques optimums.

3.2.2. Critère 2 : Contraintes topographiques

Le deuxième critère à prendre en compte est associé aux contraintes topographiques. En effet, la topographie du site influence fortement le type de passage qui pourra y être aménagé (Clevenger et Huijser, 2011).

La topographie routière peut être regroupée en 5 catégories (Clevenger et Huijser, 2011).

La « **présence d'un cours d'eau** » vient influencer le type de passage à cibler. En effet, un cours d'eau ne peut être facilement scindé ou redirigé. Lorsqu'une route rencontre un cours d'eau, un passage doit

obligatoirement être aménagé afin de l'intégrer et s'y adapter, principalement en largeur pour conserver les caractéristiques hydriques du cours d'eau. La largeur du cours d'eau influencera également le type de passage à prioriser et la structure routière déjà en place, le cas échéant. Ainsi, une distinction est faite entre les rivières, les ruisseaux et les milieux humides. Un passage adapté à un cours d'eau sera nécessairement inférieur. Les passages adaptés à cette réalité seront donc mis en évidence dans le diagramme décisionnel.

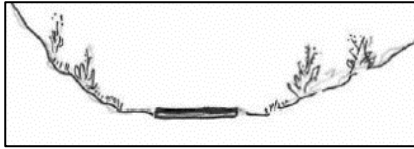


Figure 3.2. Topographie routière de type « déblai » (tiré de : Clevenger et Huijser, 2011)

« **Déblai** » désigne une route dont les talus sont en pente montante de part et d'autre (Figure 3.2). Ce type de topographie convient le mieux pour la construction d'un passage supérieur.

« **Remblai** » signifie que la route est surélevée (Figure 3.3). Ce type de topographie facilite la construction de passages inférieurs (Clevenger et Huijser, 2011). La taille du passage est cependant contrainte par la hauteur de la route.

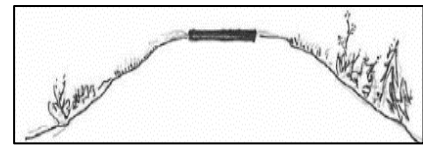


Figure 3.3. Topographie routière de type « remblai » (tiré de : Clevenger et Huijser, 2011)

« **Plat** » ou « **à niveau** » correspond aux emplacements où la route est au même niveau que les accotements (Figure 3.4). Cette topographie permet principalement l'aménagement de passages supérieurs ou nécessite une surélévation de la route pour la création d'un passage inférieur (MAAMA, 2016). Cependant, dans le cas d'un passage supérieur, une topographie routière plate nécessite une pente d'accès au passage relativement forte. Or, il a été démontré qu'un fort dénivelé à l'entrée d'un pont dissuade la faune de l'emprunter, car cela ne leur permet pas de voir de l'autre côté du pont (Chisholm et al., 2012).

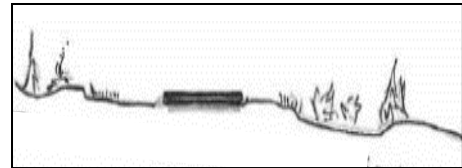


Figure 3.4. Topographie routière de type « plat » (tiré de : Clevenger et Huijser, 2011)

« **Inégale** » signifie que la topographie n'est pas la même de part et d'autre de la route (Figure 3.5). L'accotement est montant d'un côté et descendant de l'autre. Ce type de topographie ne convient à aucun type de structure, bien qu'en cas exceptionnel, la structure d'un pont écologique peut être adaptée à la topographie du milieu (MAAMA, 2016).

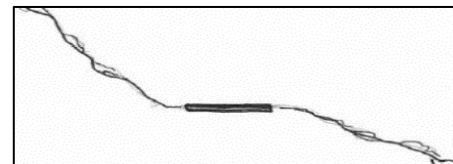


Figure 3.5. Topographie routière de type « inégale » (tiré de : Clevenger et Huijser, 2011)

La topographie de chaque site a été estimée à l'aide de l'outil QGIS, ainsi qu'avec les données topographiques dérivées du LiDAR.

3.2.3. Critère 3 : Groupe d'espèces ciblées

Le groupe d'espèces ciblé est le dernier critère du diagramme de décision. En effet, pour assurer son efficacité, un passage doit être adapté aux espèces pour lesquelles il est destiné (Clevenger et Waltho, 2000; Mysłajek et al., 2020). Les aires de concentration de cerfs et d'orignaux, les données des espèces qui utilisent les structures existantes et la synthèse des données de mortalités permettent de cibler les groupes d'espèces à cibler. Dans le cadre de ce rapport, trois groupes sont associés à ce critère :

« **Grande faune** » désigne les espèces suivantes : l'orignal, le cerf de Virginie, l'ours noir, le lynx roux et le coyote.

« **Petite et moyenne faune** » : le renard roux, le pékan, la martre d'Amérique, la loutre de rivière, le vison d'Amérique, le castor du Canada, le tamia rayé, l'hermine, l'écureuil gris, la marmotte, les rongeurs, le rat musqué, les mustélidés, le porc-épic d'Amérique, le raton laveur, le lièvre d'Amérique et la moufette rayée. L'ensemble des reptiles et des amphibiens entrent également dans cette catégorie.

« **Toutes** » regroupe l'ensemble des espèces de la petite à la grande faune, identifiées par Gratton (2014).

À la suite de l'identification des secteurs prioritaires, le diagramme de décision (Tableau 3.2) est utilisé pour identifier les types de passages optimaux à aménager pour chacun d'eux.

Tableau 3.2 Diagramme décisionnel du choix de type de passage faunique

Critère 1 Présence de structures routières	Critère 2 Contraintes topographiques	Critère 3 Groupes d'espèces ciblées	Types de passages fauniques les plus pertinents
Absence	Déblai	Grande faune	Pont écologique
			Passerelle faunique
		Petite et moyenne faune	Chiropteroduc
	Remblai	Grande faune	Viaduc
			Passage inférieur pour la grande faune
		Petite et moyenne faune	Ponceau modifié
			Tuyau sec
		Tunnels pour reptiles et amphibiens	
	Plat	Grande faune	Pont écologique
			Passerelle faunique
		Petite et moyenne faune	Passage inférieur pour la grande faune
			Ponceau modifié
	Tuyau sec		
Inégale	Toutes	Pont écologique	
Présence de viaduc(s) au-dessus de milieux naturels	Rivière	Toutes	Aménagement des berges d'un cours d'eau
	Ruisseau et milieux humides		
	Déblai ou plat	Toutes	Optimiser la structure existante
Présence de structures à usages anthropiques	Déblai	Toutes	Passage supérieur mixte
	Remblai	Toutes	Passage inférieur mixte
	Plat ou inégale	Toutes	Passage supérieur mixte
			Passage inférieur mixte
Présence de ponceau(x)	Rivière	Toutes	Viaduc
			Aménagement des berges d'un cours d'eau
	Ruisseau et milieux humides	Grande faune	Viaduc
			Ponceau modifié
		Petite et moyenne faune	Aménagement des berges d'un cours d'eau
			Ponceau modifié
		Tuyau sec	
		Aménagement des berges d'un cours d'eau	
	Tunnels pour reptiles et amphibiens		

3.3. Limites méthodologiques

L'analyse multicritère réalisée à l'aide de la géomatique permet d'identifier efficacement les secteurs prioritaires. Afin d'accorder une priorité aux différentes parcelles de territoire, il a été nécessaire de pondérer les quatre critères utilisés dans l'analyse. Bien que cette pondération ait été établie au mieux des connaissances des différents membres de l'équipe de travail, elle demeure tout de même arbitraire. Toutefois, la même approche a été employée pour chacun des critères. Il y a donc eu une constance dans l'application des pondérations.

Il faut également prendre en considération que les données de base soumises à l'analyse écologique du territoire proviennent de multiples sources, et ont été produites à différents moments (années de production variées). Les résultats de l'analyse constituent donc une image des zones prioritaires à l'aménagement de passages fauniques à un moment précis, en fonction des jeux de données disponibles lors de l'analyse. Il est à noter qu'aucun inventaire ni aucune validation sur le terrain n'ont été réalisés lors du présent projet. En fait, ces bases de données sont construites de façon à rassembler l'information d'observations ponctuelles. En ce sens, l'analyse multicritère est un outil qui mérite d'être mis à jour dans le temps, suivant l'évolution des données et des résultats d'inventaires.

4. RÉSULTATS

La méthode géomatique pour la sélection des secteurs prioritaires a permis de cibler sept zones (Figure 4.1). Celles-ci ont été divisées selon leur position géographique en fonction de leur proximité avec le corridor écologique le plus près. Deux sont dans le secteur Bromont-Shefford, trois dans le secteur Bolton-Ouest-Stukely-Sud, une dans le secteur Eastman et une dans le secteur Austin-Magog. Pour chaque zone, les avantages de celle-ci, les infrastructures déjà présentes, la topographie et les espèces fréquentant le secteur sont présentés.

Résultat de l'analyse et localisation des sept zones prioritaires ajustées le long de l'autoroute 10

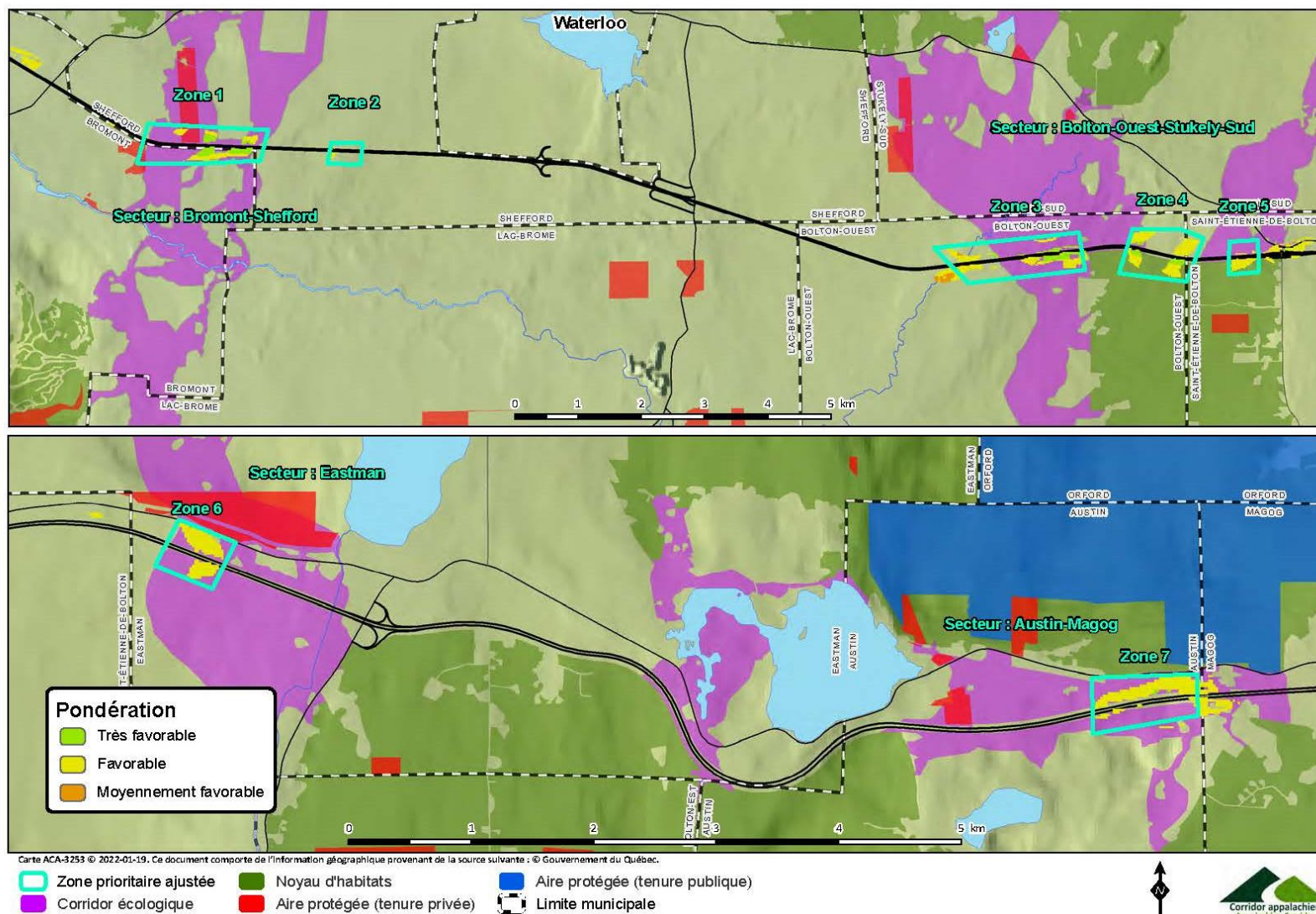


Figure 4.1. Carte localisant les quatre secteurs et les sept zones prioritaires (entre les KM 74 et 121) le long de l'autoroute 10

Afin de valoriser les données acquises lors d'études antérieures, les données de l'Université Concordia sur l'utilisation des structures et de mortalités fauniques, ainsi que les données de mortalités routières du MTQ, ont été utilisées. Dans les tableaux qui suivront, lorsqu'une espèce est soulignée à l'aide d'un trait plein, c'est qu'elle a été confirmée comme utilisant les structures existantes, en plus d'avoir été recensée parmi les espèces victimes de la route dans cette zone. Dans le cas d'un trait pointillé, c'est que l'espèce a été confirmée pour utiliser les structures existantes, mais aucune mortalité associée à celle-ci n'a été enregistrée. Une espèce sans trait a été recensée lors de l'étude sur la mortalité, mais aucune confirmation de son utilisation des structures existantes n'a été enregistrée.

Le résultat issu de l'outil décisionnel permet de cibler les structures pertinentes pour chaque secteur prioritaire identifié. La section « Plan d'action et recommandations » traitera des structures et des agencements que Corridor appalachien suggère de prioriser.

4.1. Secteur Bromont-Shefford

La Figure 4.2 et le

Tableau 4.1 présentent les deux zones prioritaires dans le secteur de Bromont et Shefford. Les municipalités de ce secteur travaillent déjà à une meilleure prise en compte de la connectivité écologique en collaboration avec Corridor appalachien. En plus de Corridor appalachien, deux organismes de conservation locaux sont actifs dans le secteur, soit Conservation Espace Nature Shefford et la Société de conservation du Mont-Brome. C'est le secteur le plus à l'ouest de la zone d'étude et où on retrouve le plus de terres agricoles en culture.

Localisation des zones prioritaires dans le secteur Bromont-Shefford

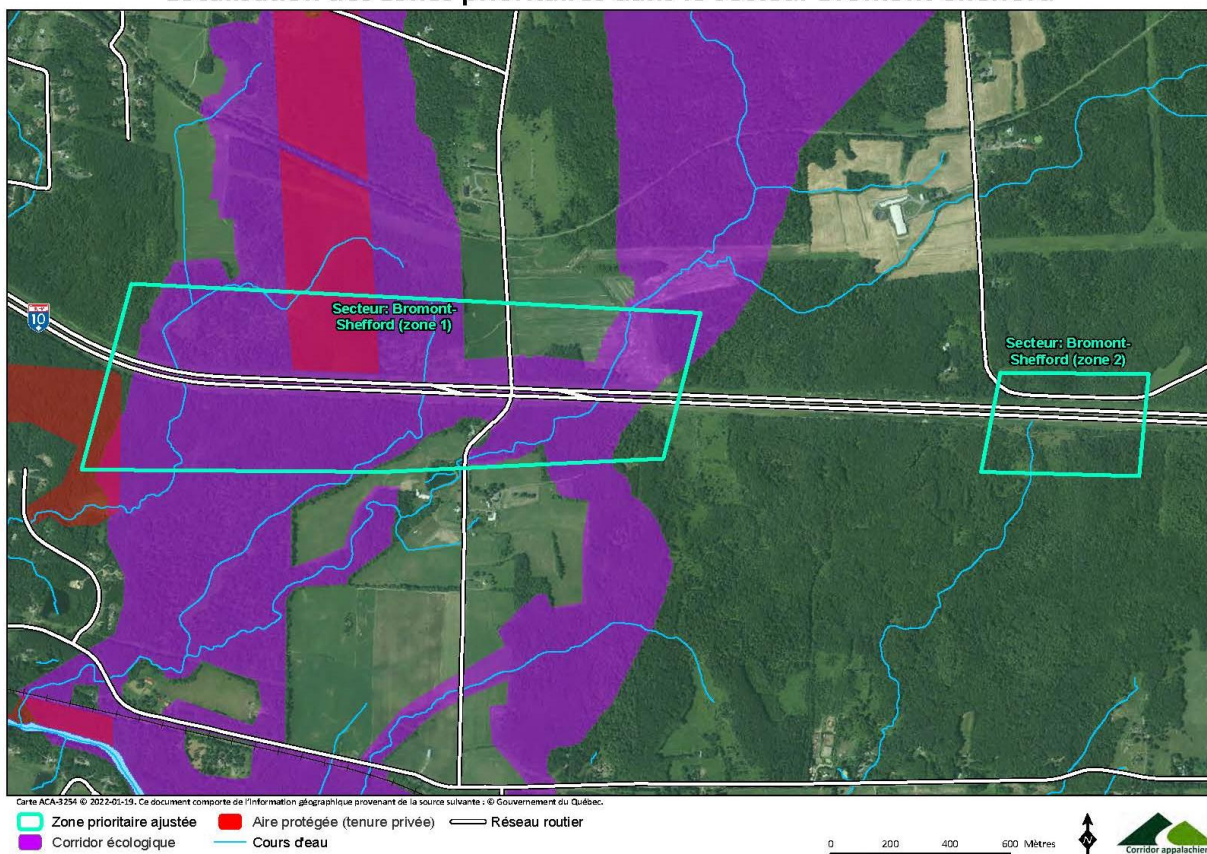


Figure 4.2. Localisation des zones prioritaires dans le secteur Bromont-Shefford

Tableau 4.1 Zone prioritaire du secteur Bromont-Shefford

Zone	Avantage de la zone	Infrastructures existantes	Topographie	Grande faune	Petite et moyenne faune
1	Dans un corridor écologique Présence d'aires protégées de part et d'autre	Viaduc #P-9863N du chemin Lamoureux où le passage de la faune a été étudié et confirmé Ponceau #56642 de 1,2 m de diamètre où le passage de la faune a été étudié Ponceau #61163 de 1,5 m Ponceau #P-9892 rectangulaire en béton armé du ruisseau Chevalier	Plat	<u>Cerf de Virginie</u> <u>Coyote</u> <u>Lynx roux</u> <u>Orignal</u>	Castor du Canada Couleuvre sp. Dinde sauvage Grenouille sp. Hermine <u>Lièvre d'Amérique</u> <u>Marmotte commune</u> Moufette rayée Passereaux sp. Porc-épic d'Amérique Rat musqué <u>Raton laveur</u> <u>Renard roux</u> Tortue des bois Tortue serpentine <u>Vison d'Amérique</u>

Zone	Avantage de la zone	Infrastructures existantes	Topographie	Grande faune	Petite et moyenne faune
2	Projet d'aire protégée en cours (au nord)	Ponceau #59632 de 1 m de diamètre	Plat	Cerf de Virginie Coyote Ours noir	Écureuil gris Grenouille sp. Moufette rayée Opossum de Virginie Passereaux sp. Porc-Épic d'Amérique Raton laveur Renard roux

Suivant l'outil décisionnel, les structures les plus pertinentes pour le secteur seraient l'aménagement d'un passage inférieur mixte au niveau du chemin Lamoureux passant sous l'A10 dans la zone 1 et l'installation de viaducs, de ponceaux modifiés, de tuyaux secs ou d'aménagements des berges des cours d'eau passant sous l'A10. Il serait aussi possible d'aménager les secteurs sans structure et de viser l'installation de ponts écologiques, de passerelles fauniques ou de passages inférieurs pour la grande faune.

En fonction de ces résultats, l'idéal serait de modifier le viaduc du chemin Lamoureux et d'en faire un passage mixte inférieur en élargissant l'espace disponible de part et d'autre de la route. Tous les ponceaux présents devraient être modifiés afin de favoriser le passage de la petite et moyenne faune. Ce secteur est à prioriser par rapport aux autres en raison d'une portion de territoire située en zone non agricole (zone blanche), et donc plus susceptible au changement d'usage. Le développement immobilier dans ce secteur constitue donc une menace réelle à la pérennité du corridor écologique.

4.2. Secteur Bolton-Ouest-Stukely-Sud

La Figure 4.3 et le Tableau 4.2 présentent les trois zones prioritaires identifiées dans le secteur de Bolton-Ouest et Stukely-Sud. Les municipalités de ce secteur ont amorcé de façon préliminaire la prise en compte de la connectivité écologique en collaboration avec Corridor appalachien. De plus un organisme de conservation local est actif dans le secteur, soit l'Association de conservation de la nature de Stukely-Sud.

Localisation des zones prioritaires dans le secteur Bolton-Ouest-Stukely-Sud

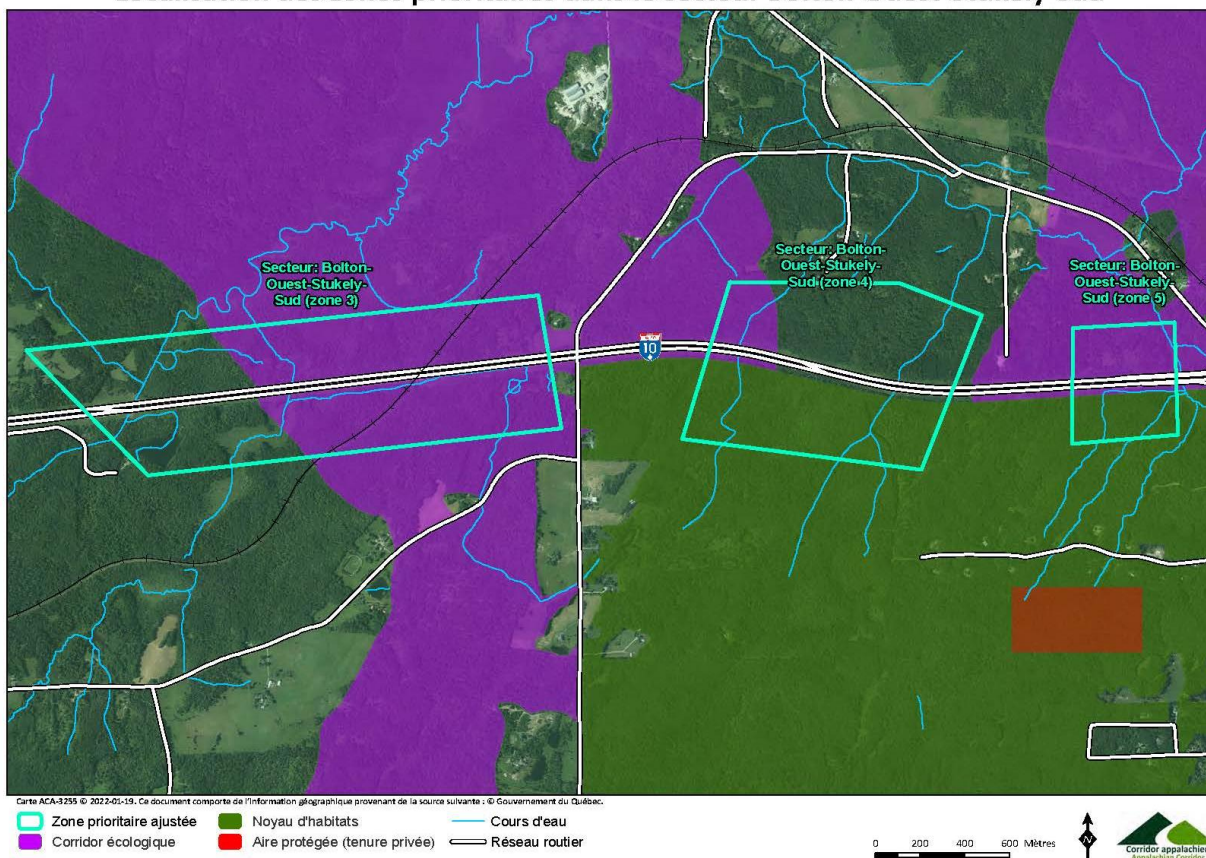


Figure 4.3. Localisation des zones prioritaires dans le secteur Bolton-Ouest-Stukely-Sud

Tableau 4.2 Zone prioritaire du secteur Bolton-Ouest-Stukely-Sud

Zone	Avantage de la zone	Infrastructures existantes	Topographie	Grande faune	Petite et moyenne faune
3	Dans un corridor écologique	Viaduc #P-9869 du chemin de fer où le passage de la faune a été étudié et confirmé Deux petits ponceaux de 1,05 m #170842 et 1,8 m #170879 de diamètre Grand ponceau elliptique #P-9893 en acier au niveau du ruisseau Quilliams	Variable	<u>Cerf de Virginie</u> <u>Coyote</u> <u>Lynx sp.</u> Orignal	Castor du Canada Couleuvre sp. Écureuil gris Gélinotte huppée Grenouille sp. <u>Hermine</u> Lièvre d'Amérique Loutre de rivière <u>Marmotte commune</u> Moufette rayée Passereaux sp. <u>Pékan</u> Porc-épic d'Amérique Rat musqué <u>Raton laveur</u> <u>Renard roux</u> Tortue peinte Tortue serpentine

Zone	Avantage de la zone	Infrastructures existantes	Topographie	Grande faune	Petite et moyenne faune
4	Dans un corridor écologique et un noyau d'habitats	Le ponceau #237988 de 1,07 m de diamètre Le ponceau #237987 de 1,2 m de diamètre	Plat	Cerf de Virginie Orignal Ours noir	Castor du Canada Couleuvre sp. Dinde sauvage Écureuil gris Grenouille sp. Hermine Loutre de rivière Marmotte commune Moufette rayée Passereaux sp. Porc-épic d'Amérique Raton laveur Renard roux Tamia rayé
5	Dans un corridor écologique et un noyau d'habitats	Le ponceau #0076-0 de 0,9 m de diamètre	Déblai	Cerf de Virginie	Couleuvre sp. Gélinotte huppée Grenouille sp. Moufette rayée Passereaux sp. Raton laveur Renard roux

Suivant l'outil décisionnel, il serait possible d'optimiser la structure au niveau du chemin de fer passant sous l'A10 dans la zone 3 en aménageant un passage inférieur mixte. L'installation de viaducs, de ponceaux modifiés, de tuyaux secs ou d'aménagements des berges des cours d'eau passant sous l'A10 est à envisager compte tenu de leur omniprésence. Il serait aussi possible d'aménager les zones sans structure et de viser l'installation de ponts écologiques, de passerelles fauniques ou de passages inférieurs pour la grande faune pour les zones avec une topographie plate. Pour celle en remblai, des viaducs et des passages inférieurs pour la grande faune sont les meilleures options.

Concrètement, les actions prioritaires devraient viser l'amélioration du viaduc ferroviaire afin de favoriser le passage de la faune de part et d'autre de la voie ferrée. Le ponceau du ruisseau Quilliams devrait être transformé en ponceau surdimensionné avec un aménagement des berges afin de favoriser le passage de la grande faune. Tous les autres ponceaux devraient être modifiés afin d'aménager des tablettes pour le passage de la faune.

4.3. Secteur Eastman

La Figure 4.4 et le Tableau 4.3 présentent la zone prioritaire identifiée dans le secteur d'Eastman. La municipalité de ce secteur débute une réflexion pour une meilleure prise en compte de la connectivité, notamment dans le but d'apporter des modifications à son plan d'urbanisme. Pour ce faire, elle se fait accompagner par Corridor appalachien. De plus un organisme de conservation local est actif dans le secteur, soit Conservation des vallons de la Serpentine. Cet organisme possède d'ailleurs une propriété tout juste au nord de la zone prioritaire identifiée et la municipalité est propriétaire des terrains situés à son extrémité sud.

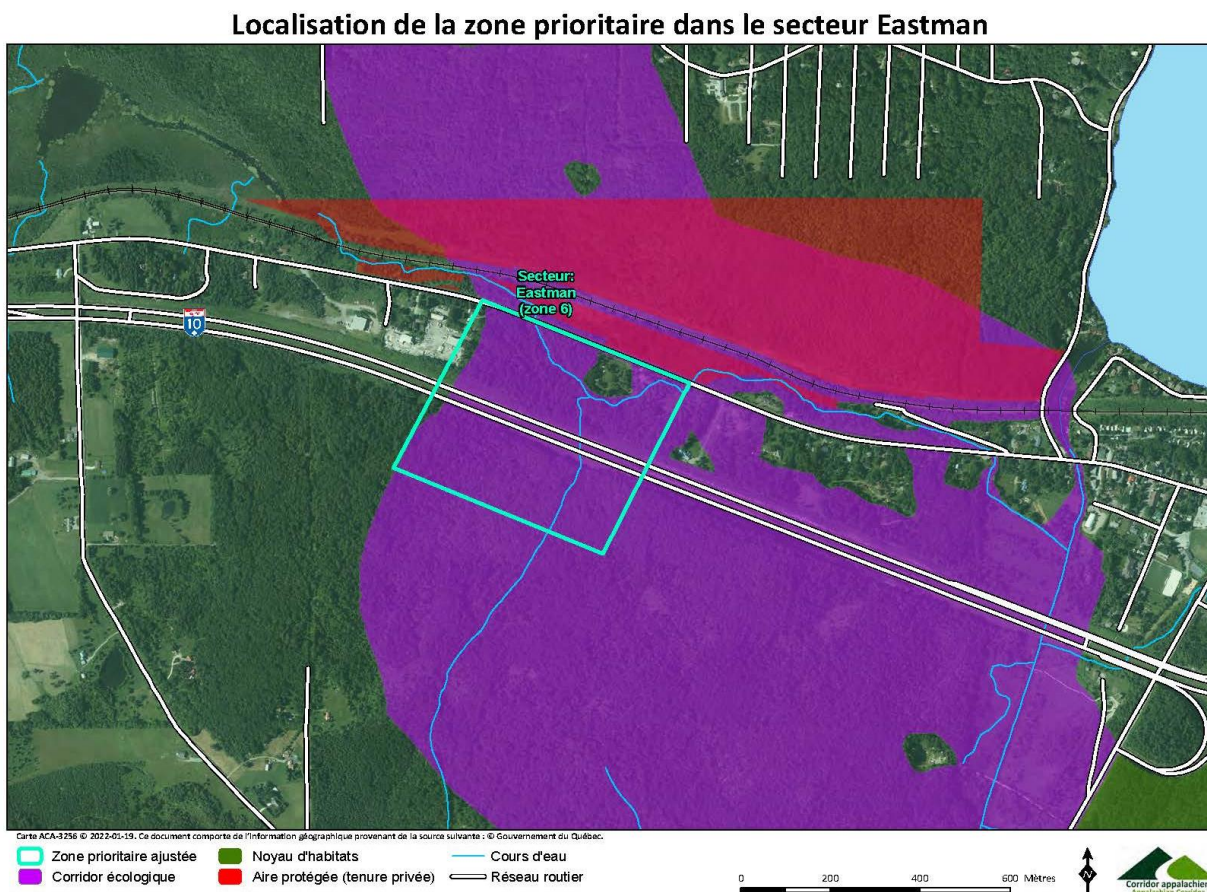


Figure 4.4. Localisation de la zone prioritaire dans le secteur Eastman

Tableau 4.3 Zone prioritaire du secteur Eastman

Zone	Avantage de la zone	Infrastructures existantes	Topographie	Grande faune	Petite et moyenne faune
6	Dans un corridor écologique Présence d'aires protégées de part et d'autre	Le ponceau #0083-0 de 0,75 m de diamètre Le ponceau #0084-0 de 0,9 m de diamètre	Plat et déblai	Cerf de Virginie Orignal Ours noir	Couleuvre sp. Dinde sauvage Grenouille sp. Hermine Moufette rayée Passereaux sp. Porc-épic d'Amérique Raton laveur Renard roux

Suivant l'outil décisionnel, l'installation de viaducs, de ponceaux modifiés, de tuyaux secs ou d'aménagements des berges des cours d'eau passant sous l'A10 est à envisager compte tenu de la présence de deux ponceaux. Il serait aussi possible d'aménager les zones sans structure et de viser l'installation de ponts écologiques, de passerelles fauniques ou de passages inférieurs pour la grande faune pour les zones avec une topographie plate ou en déblai.

Considérant que cette zone abrite des aires protégées de part et d'autre (propriété de Conservation des vallons de la Serpentine au Nord et parc public appartenant à la ville au sud), il serait fort intéressant de viser l'installation d'un pont écologique ou d'une passerelle faunique. En combinaison avec des améliorations fauniques apportées aux ponceaux, il serait possible d'obtenir un aménagement global très intéressant pour la faune. Bien qu'en dehors de la zone, il serait pertinent de voir à l'amélioration du ponceau de la rivière Missisquoi Nord. Un réaménagement important pourrait certainement être bénéfique à la faune terrestre, aquatique et à une meilleure gestion de l'eau de cette rivière.

4.4. Secteur Austin-Magog

La Figure 4.5 et le Tableau 4.4 présentent la zone dans le secteur d'Austin et Magog. Les municipalités de ce secteur travaillent déjà à une meilleure prise en compte de la connectivité en collaboration avec Corridor appalachien. Le zonage municipal prend maintenant en compte les corridors écologiques. Ce secteur est situé très près du parc national du Mont-Orford appartenant au gouvernement québécois et géré par la Société des établissements de plein air du Québec (Sépaq).

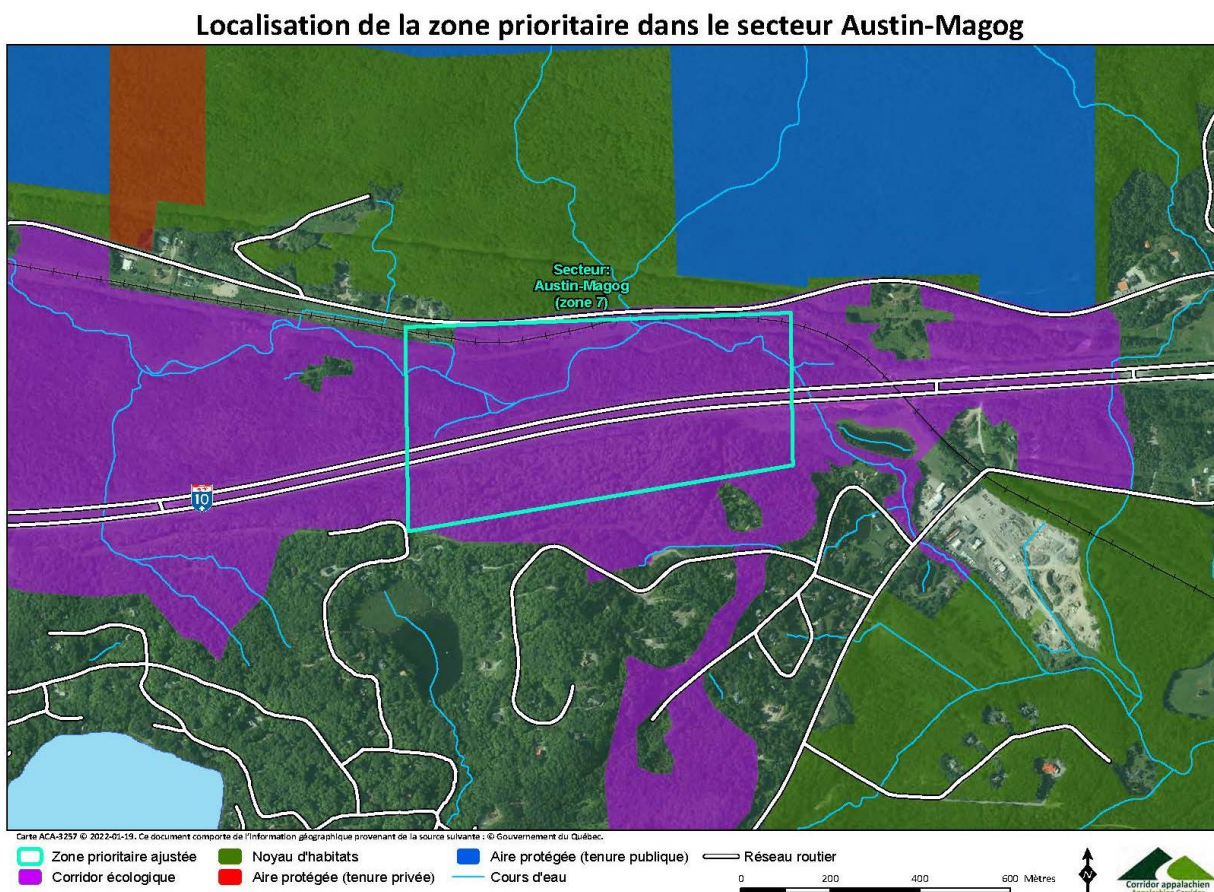


Figure 4.5. Localisation de la zone prioritaire dans le secteur Austin-Magog

Tableau 4.4 Zone prioritaire du secteur Austin-Magog

Zone	Avantage de la zone	Infrastructures déjà présentes	Topographie	Grande faune	Petite et moyenne faune
7	Dans un corridor écologique	Le ponceau #0100-0 de 1,2 m de diamètre où le passage de la faune a été étudié.	Remblai	Cerf de Virginie Coyote Orignal Ours noir	Couleuvre sp. Grenouille sp. Hermine Lapin sp. Loutre de rivière Marmotte commune Moufette rayée Passereaux sp. Porc-épic d'Amérique Raton laveur Renard roux Tortue serpentine

Suivant l'outil décisionnel, l'installation d'un viaduc, d'un ponceau modifié, d'un tuyau sec ou d'un aménagement des berges du cours d'eau passant sous l'A10 pourrait être envisagée. Il serait aussi possible d'aménager les secteurs sans structure et de viser l'installation de viaducs ou de passages inférieurs pour la grande faune en raison de la topographie en remblai.

Étant donné que la connectivité écologique dans ce secteur est primordiale pour assurer le maintien de la biodiversité dans le parc national du Mont-Orford, il est prioritaire d'y consacrer des efforts, d'autant plus que le parc a été agrandi récemment grâce à l'ajout d'une grande portion de territoire. L'aménagement d'un viaduc serait à préconiser pour réduire la très forte mortalité routière relevée dans ce secteur. De plus, en réaménageant adéquatement les ponceaux existants, il serait possible de restaurer la connectivité écologique du secteur. Il est à noter que la zone est ressortie des analyses surtout en raison de la forte mortalité routière. Avec l'installation de clôtures dans les sept zones présentées, elles permettraient de rediriger la faune vers les passages fauniques. Pour la zone 7, il serait possible de faire déplacer la faune vers des passages qui pourraient être aménagés plus à l'ouest. Une zone protégée est déjà présente et la topographie pourrait être intéressante pour une passerelle faunique.

5. RECOMMANDATIONS ET PLAN D'ACTION

Cette section présente le plan d'action proposé par Corridor appalachien, un estimé des coûts ainsi que l'ensemble des recommandations proposées pour s'assurer de maximiser les effets positifs des mesures mises en place.

5.1. Recommandations

En premier lieu, l'analyse des secteurs et des zones prioritaires de la zone d'étude permet de constater que les secteurs d'Austin-Magog et de Bromont-Shefford bénéficieraient le plus de travaux d'aménagement réalisés à court terme, dans le premier cas, en raison du lien essentiel pour le maintien des espèces dans le parc national du Mont-Orford et, dans les deux cas, en raison des plus fortes pressions de développement immobilier pesant sur ces secteurs. Les secteurs de Bolton-Ouest-Stukely-Sud et d'Eastman sont tout aussi

importants, mais les pressions actuelles pesant sur ces secteurs et la confirmation de l'utilisation par la faune des structures existantes permettent de justifier la priorité accordée aux deux autres secteurs.

Au niveau des recommandations concernant les aménagements, celles-ci ont été classées en fonction du type de passage à mettre en place. Celles pouvant être applicables à tous les types de projets sont présentées ensemble.

5.1.1. Généralités pour les passages fauniques

- Prioriser l'emplacement d'un passage faunique à un endroit qui comprend des milieux naturels protégés ou en voie d'être protégés de part et d'autre afin assurer à perpétuité le maintien du milieu naturel limitrophe au passage faunique (Ostiguy, 2006).
- Collaborer avec les organismes de conservation locaux pour mettre en œuvre des démarches de protection des habitats adjacents à l'emplacement actuel ou prévu d'un passage faunique (McGuire et al., 2020).
- Intégrer la construction des passages fauniques à la planification des travaux de réfection prévus de l'A10 afin de minimiser les coûts (Huijser et al., 2009).
- Planifier le choix d'un passage faunique en fonction des données préliminaires récoltées faisant état des espèces présentes dans le milieu et donc visées par le passage. La sélection du type de passage, ses dimensions, sa forme, de même que ses matériaux vont varier selon les espèces ciblées. Les préférences des différentes espèces pour les différents types de passages inférieurs, tirées de Lemieux (2018), sont résumées dans le tableau 2.1.
- Minimiser la longueur du passage faunique pour la moyenne et la grande faune (Denneboom et al., 2021). En présence d'un terreplein central, il est préférable de laisser une ouverture clôturée au centre, afin de réduire l'effet de tunnel (Kintsch et Cramer, 2011).
- Maintenir la continuité du milieu naturel au sein du passage faunique. Pour cela, il faut idéalement conserver le même substrat, maintenir le couvert végétal et limiter les barrières pouvant faire obstacle au déplacement de la faune ou à la découverte du passage. (Herbouiller, 2009; Jaeger et al., 2017; Kintsch et Cramer, 2011; Ostiguy, 2006) Limiter le déboisement à l'entrée des passages fauniques lorsque la petite et moyenne faune est visée (Jaeger et al., 2017).
- Ajouter des débris ligneux et des roches au sein des passages visant la grande faune. Cela servira de cachette pour la petite faune qui utilisera davantage la structure. (Kintsch et Cramer, 2011)
- Augmenter l'efficacité des aménagements réalisés en variant les types de passages fauniques utilisés. Une plus grande diversité de passages rejoindra une plus grande diversité d'espèces. (Denneboom et al., 2021).
- Minimiser la distance entre les passages fauniques lorsque cela est possible. Un territoire avec peu d'habitats naturels peut présenter un nombre plus restreint de passages. Toutefois, dans les secteurs avec des habitats naturels et dans les zones prioritaires, la distance entre les passages devrait s'accorder avec le domaine vital des espèces ciblées. (Bissonette et Adair, 2008; Jaeger et al., 2017) Globalement, une distance maximale entre les passages fauniques de 1 km pour la grande faune et 500 m pour la petite et moyenne faune est recommandée dans les habitats naturels (MAAMA, 2016). Dans les habitats plus anthropiques, une distance de 3 km pour la grande faune et 1 km pour la petite faune est recommandée (MAAMA, 2016).
- Tenter de limiter au maximum l'utilisation illicite des passages fauniques par l'homme (Vallée et al., 2019).
- Planifier l'inspection et l'entretien des passages fauniques et des clôtures pour assurer leur efficacité et leur pérennité. Les passages de plus petite dimension, comme les tunnels pour amphibiens et reptiles et les ponceaux secs, nécessitent un entretien plus fréquent. (van der Ree et Tonjes, 2015)

- Adapter les travaux d'entretien aux besoins de la faune visée. Par exemple, il est souhaitable de laisser en place une partie des sédiments qui recouvrent le fond d'un ponceau désigné comme passage faunique. (van der Ree et Tonjes, 2015)
- Planifier le suivi de l'utilisation des passages fauniques pour déterminer leur efficacité. Prévoir un suivi à long terme, car un temps d'adaptation est nécessaire avant que la faune utilise avec succès un passage faunique. Celui-ci est variable, mais peut prendre d'un an à cinq ans. (Ford et Clevenger, 2019; Schmidt et al., 2021).

5.1.2. Passerelles fauniques et ponts écologiques

- Opter pour des passerelles courtes et larges (Office fédéral des routes, 2014). Une largeur minimale de 50 m est recommandée (Carsignol, 2011).
- Favoriser la conception d'une passerelle faunique en forme de sablier. Cela diminue l'effet de couloir et dirige la faune vers le passage, en plus d'allier coûts et efficacité. (Carsignol, 2011; VINCI Autoroutes, 2016)
- Limiter les pentes. Une meilleure visibilité sur la sortie de la passerelle augmente l'utilisation de la structure. (Clevenger et Huijser, 2011; Simpson et al., 2016)
- Aménager la passerelle faunique en intégrant une végétation indigène composée d'herbacées et d'arbustes. Planter les arbustes surtout près des bords de la passerelle, en laissant un espace ouvert au centre pour favoriser le passage des ongulés. (Denneboom et al., 2021; Pell et Jones, 2015)

5.1.3. Viaducs, aménagement des berges et passages inférieurs pour la grande faune

- Prioriser la construction de viaducs dans les zones prioritaires avec une topographie de type remblai. Leurs grandes dimensions conviennent à un plus grand nombre d'espèces, particulièrement chez la grande faune. (Denneboom et al., 2021) Ainsi, lorsque les conditions le permettent, le remplacement d'un ponceau par un pont est bénéfique pour la faune.
- Considérer que plus la largeur et la hauteur du viaduc seront grandes, plus le milieu aura une apparence naturelle et sera invitant pour une plus grande diversité d'espèces (Kintsch et Cramer, 2011).
- Chercher, en présence d'un cours d'eau, à conserver une bande terrestre suffisante sur les rives. Une largeur minimale de 1 m est recommandée. (Beaulieu, 2018)
- Aménager des passages inférieurs pour la grande faune dans les zones prioritaires où il n'y a pas de structure et où la topographie le permet.

5.1.4. Ponceaux modifiés, aménagement des berges et tuyaux secs

- Coordonner le remplacement des ponceaux de drainage par des ponceaux modifiés adaptés à la faune (Jaeger et al., 2017).
- Prioriser le surdimensionnement des ponceaux. Une augmentation de la largeur et de la hauteur du ponceau pourra attirer un plus grand nombre d'espèces. À titre d'exemple, plusieurs études ont confirmé l'utilisation de ponceaux d'au moins 3 m de hauteur et 6 m de largeur par les cerf mulets (Bonds et al., 2020; Cramer et Hamlin, 2019; Kintsch et Cramer, 2011).
- Lorsque les dimensions du ponceau le permettent, ajouter un passage sec surélevé à l'intérieur du ponceau, comme une tablette en porte-à-faux, d'une largeur minimale de 50 cm et avec un dégagement entre 0,4 m (petite faune) et 1,5m (moyenne faune) (Jaeger et al., 2017).
- Prioriser l'utilisation du bois comme matériel pour les tablettes ou un substrat naturel plutôt que le béton (Craveiro et al., 2019; Jaeger et al., 2017).
- Garder un accès aux tablettes avec une inclinaison inférieure à 30 degrés (Gratton, 2014).
- Chercher à conserver une bande terrestre suffisante sur les rives. Une largeur de plus de 50 cm est recommandée. (Beaulieu, 2018)

- Augmenter l'efficacité des passages en combinant différents types de passages fauniques. Par exemple, l'ajout d'un tuyau sec en complémentarité à un ponceau surdimensionné assurera le passage d'un plus grand nombre d'espèces. (Denneboom et al., 2021; Jaeger et al., 2017)

5.1.5. Passages supérieurs et inférieurs mixtes

- Transformer en passages fauniques des passages inférieurs ou supérieurs existants, de grandes dimensions et peu fréquentés par l'homme (Bhardwaj et al., 2017; Ostiguy, 2006).
- Prévoir une section spécifique au passage de la faune d'une largeur égale ou supérieure à la section à usage anthropique (van der Ree et van der Grift, 2015).
- La section dédiée à la faune devrait être végétalisée, inclure des abris pour la petite faune et comporter des obstacles limitant l'accès à l'homme (van der Ree et van der Grift, 2015).
- Si possible, interdire l'utilisation de l'ensemble du passage les premières années suivant la construction, puis restreindre son utilisation aux périodes où la faune visée est peu active (van der Ree et van der Grift, 2015).
- Limiter toutes sources de lumière artificielle près du passage (van der Ree et van der Grift, 2015).
- Éviter de sélectionner un passage mixte lorsque la connectivité vise des espèces peu tolérantes à l'homme (ex : lynx, coyote) (Beaulieu, 2018; Denneboom et al., 2021; Warnock-Juteau et al., 2022).

5.1.6. Tunnels pour reptiles et amphibiens

- Optimiser le passage de l'herpétofaune avec ce type de passage spécialisé lorsque des reptiles ou des amphibiens sont présents et ciblés dans une zone prioritaire.
- Lorsque les amphibiens sont concernés, le choix de l'emplacement devrait prendre en compte la connectivité entre des habitats utilisés pour la reproduction ou l'hivernation de part et d'autre de l'A10 pour optimiser l'efficacité de ce passage (Herbouiller, 2009; Jarvis et al., 2019).
- Lorsque les reptiles sont concernés, il importe que le tunnel ait une luminosité suffisante pour favoriser la traversée des tortues et des couleuvres (Gunson et al., 2016; Sievert et Yorks, 2015).
- Prévoir un entretien régulier de ce type de passage (Hamer et al., 2015).
- Consulter Gunson et al. (2016), une référence de l'Ontario qui présente une revue de littérature complète avec des recommandations appliquées selon les espèces ciblées et leurs besoins.

5.1.7. Installation de clôtures

- Clôturer l'ensemble de l'A10 entre les kilomètres 74 et 121 et laisser des ouvertures stratégiques aux entrées des passages fauniques et des ponceaux de drainage (Ford et Clevenger, 2019). Des clôtures ne seraient pas non plus nécessaires là où la topographie ne permet pas le passage de la faune (parois rocheuses, par exemple) (Rogeeon et Girardet, 2011).
 - Minimale, débiter les travaux par l'installation de clôtures sur plus de 5 km, de part et d'autre des passages fauniques existants. Il existe une différence significative entre clôturer moins de 5 km et plus 5 km de long. De plus, les clôtures doivent être installées de manière à éviter l'effet de barrière. (Huijser et al., 2016)
 - Poursuivre l'installation de clôtures à grande faune dans les secteurs combinant des taux élevés d'activités animales de part et d'autre de l'A10 et des fréquences élevées de collisions entre les véhicules et la faune (Spanowicz et al., 2020).
 - Terminer l'installation de clôtures sur l'ensemble de l'A10. Cette recommandation permet d'anticiper des constats qui ont été faits sur d'autres autoroutes. Par exemple, en Californie, le *North Harbor Boulevard* a été témoin de résultats insatisfaisants en raison du manque de clôtures appuyant les passages fauniques. Le département des sciences en biologie de l'Université California State recommande maintenant aux entrepreneurs de projets similaires de clôturer le plus possible les autoroutes. (Elliott et Stapp, 2007)

- S'assurer que chaque secteur clôturé est relié à un ou plusieurs passages fauniques adaptés à tous les taxons fauniques présents, afin d'éviter de créer l'effet inverse de ce qui est souhaité en augmentant les contraintes au déplacement sur le territoire d'une espèce.
- Prévoir des sautoirs et des échappatoires pour permettre à la grande faune piégée sur l'A10 de retourner vers le milieu naturel (Lavoie et al., 2012).
- Enfouir les clôtures dans le sol à une profondeur minimale de 20 cm (Béga et al., 2021; Herbouiller, 2009).
- Installer des clôtures renforcées et d'une hauteur minimale de 2,4 m pour éviter que des espèces comme l'ours noir puissent l'endommager ou que des espèces comme le cerf de Virginie puissent sauter par-dessus la clôture (MTQ, 2017; van der Ree et al., 2015).
- Combiner des clôtures d'exclusion pour la grande faune et la petite faune (Bédard et al., 2012). Des mailles plus grosses sont présentes dans la partie supérieure de la clôture, tandis que la partie inférieure est constituée d'une barrière préférablement opaque. De petites perforations peuvent être intégrées à la barrière opaque, mais il est préférable d'éviter l'utilisation de mailles pour la petite faune. En effet, en réduisant l'aire ouverte de la clôture, la petite faune s'y éloigne plus rapidement. (Béga et al., 2021)
- Coordonner l'installation de clôtures avec la construction de passages fauniques (van der Ree et al., 2015). Cette coordination permet de minimiser l'impact des chantiers de construction sur la faune en optimisant les travaux qui sont réalisés dans une même période de temps.
- Dégager un certain périmètre autour des clôtures pour éviter l'accumulation de la végétation qui pourrait être utilisée par la petite et moyenne faune pour traverser la clôture. Des bris pourraient également être plus fréquents si la végétation se trouve trop près des clôtures. (Béga et al., 2021; van der Ree et al., 2015)
- Inspecter régulièrement l'intégrité des clôtures. Il est avantageux de coordonner ces inspections avant la période de migration d'espèces cibles. (van der Ree et al., 2015)
- Consulter la fiche technique « Les clôtures métalliques d'exclusion pour la grande faune » afin de suivre les recommandations sur les choix de matériaux et l'installation des clôtures (MTQ, 2017).

5.2. Plan d'action

Ce plan d'action permet d'offrir une vision optimale et à long terme afin d'accroître la connectivité écologique de la zone d'étude et réduire les accidents routiers sur ce tronçon de l'A10. Il se veut une énumération d'une série d'objectifs qui nécessiteront pour leur atteinte l'intervention de plusieurs acteurs du milieu et des gouvernements ;

Dans un horizon d'un à cinq ans :

- Obtenir un engagement clair du Ministère des Transports du Québec de son intention de s'impliquer et de travailler activement à la restauration de la connectivité écologique au niveau de l'autoroute 10 entre les kilomètres 74 et 121.
- Mettre en place un partenariat entre les ministères, les instances municipales, les organismes de conservation et les autres partenaires locaux afin de planifier une vision commune du territoire et une sélection des structures à mettre en place, ainsi que leur emplacement;
- Étudier les options mises à la disposition des différents partenaires pour limiter le développement le long de l'autoroute 10 dans les secteurs visés et ainsi préserver l'intégrité des milieux naturels;
- Aménager un premier passage pour la grande faune dans l'une des sept zones;
- Planifier le réaménagement à long terme de toutes les structures de la zone d'étude en mettant en œuvre les recommandations émises afin d'accroître la connectivité écologique;
- Mettre en place un plan de suivi et d'entretien à long terme de ces nouvelles structures avec les partenaires.

Dans un horizon de cinq à dix ans :

- Aménager un passage pour la grande faune dans un second secteur;
- S'assurer que les quatre secteurs aient au moins un passage faunique pour la petite et moyenne faune;
- Débuter l'installation de clôtures d'exclusion là où les passages fauniques sont suffisants, et selon les recommandations émises, soit sur des distances de plus de 5 km;
- Effectuer un suivi à long terme de ces nouvelles structures.

Dans un horizon de dix à vingt ans :

- Aménager un passage faunique pour la grande faune dans les secteurs encore dépourvus;
- S'assurer qu'au moins un passage faunique pour la petite et la moyenne faune est présent dans chacune des zones prioritaires et étudier les possibilités de faire l'installation de structures complémentaires;
- Clôturer les secteurs qui ne le sont pas encore afin de maximiser la sécurité routière et l'utilisation des passages fauniques.

Au final, il est donc proposé de viser l'instauration de quatre structures à grande faune et d'au moins sept structures pour la petite et la moyenne faune, ce qui respecterait les critères minimums recommandés en matière de distance entre les différents passages au sein d'une zone utilisée par l'homme (MAAMA, 2016). Il est très difficile d'estimer les coûts globaux de ce projet en raison de la grande variabilité au niveau du terrain, des types de structures, des matériaux utilisés, etc. Des plans et des estimations de coûts pour la construction de passages fauniques supérieurs et inférieurs sont toutefois donnés en exemple à l'annexe 1. Le Tableau 5.1 présente également une estimation des coûts de construction par type de passage faunique, déterminés à partir de la littérature et de communications personnelles. En général, ces coûts excluent les frais liés à la conception (T. Kinley, communication personnelle, 23 novembre 2021).

Tableau 5.1 Estimés des coûts par type de passage faunique

Structure	Étape de réalisation	Dimension	Emplacement	Caractéristiques particulières	Estimé des coûts (\$ CAN)*	Source
Passerelle faunique	En conception en 2020	Autoroute à 2 voies, possibilité de 3 avec zones tampons Largeur centrale de 26 m, ouverture pour la route de 24,4 m Pente de 3 :1	Colorado, États-Unis	Forme de sablier	9 654 000 \$	Summit County Safe Passages, 2020
	Construit en 2011	Autoroute à 4 voies Largeur de 60 m Pente 3 :1	Parc national de Banff, Alberta	2 arches	6 500 000 \$ En 2021 : 7 787 000\$	T. Kinley, communication personnelle, 23 novembre 2021
	Construit en 2017	Autoroute à 6 voies Largeur de 60 m Pente 3 :1	Parc national de Yoho, Colombie-Britannique	Une arche	6 500 000 \$ En 2021 : 7 155 000\$	T. Kinley, communication personnelle, 23 novembre 2021
Pont écologique	En conception en 2019	Autoroute à 10 voies Largeur de 61 m	Californie, États-Unis	Inclus aussi la traversée au-dessus d'une route secondaire	110 000 000 \$	Weber, 2019
Viaduc	En conception en 2020	Autoroute à 2 voies 4,6 m de hauteur, 25,9 m de largeur et 13,7 m de longueur	Colorado, États-Unis	Pont enterré	3 231 000 \$	Summit County Safe Passage, 2020
	Construit en 1999	Deux ponts avec 2 voies chacun 12 m de hauteur, 70 m de largeur et 100 m de long	Australie	Non disponible	2 750 000 \$ En 2021 : 4 226 254 \$	Abson, 2004

Structure	Étape de réalisation	Dimension	Emplacement	Caractéristiques particulières	Estimé des coûts (\$ CAN)*	Source
Passage inférieur pour la grande faune	En conception en 2020	Autoroute à 2 voies 4 m de hauteur, 13,4 m de largeur et 13,7 m de longueur	Colorado, États-Unis	Arche enterrée	4 431 000 \$	Summit County Safe Passage, 2020
	Construit à partir de 2013	Autoroute à 2 voies 4 m de hauteur et 7 m de largeur	Parc national de Kootenay, Colombie-Britannique	Ponceau de forme elliptique en acier ondulé	900 000 \$ En 2021 : 1 056 000 \$	T. Kinley, communication personnelle, 23 novembre 2021
Ponceaux modifiés	Remplacements et constructions de ponceaux surdimensionnés depuis les dernières années	Exemple : Remplacer un ponceau de 0,9 m de diamètre par un ponceau de 1,2 m	Maine, États-Unis	Ponceau surdimensionné	Différence de prix entre un ponceau de taille non surdimensionnée et un ponceau de taille supérieure.	R. Bostwick, communication personnelle, 19 novembre 2021
	Construit en 2014	Autoroute à 4 voies 2 x (3,3 m x 2,8 m x 24 m) avec séparation médiane de 15,3 m	Ontario	Installation d'un nouveau ponceau rectangulaire en béton, grandes dimensions	Plus de 700 000 \$ En 2021 : 809 000 \$	Gunson et al., 2016
Aménagement des berges d'un cours d'eau	Construit à partir de 2006	Route à 4 voies Berge d'une largeur minimale de 0,5 m	Laurentides, Québec	Aménagement de sentiers en empierrement avec surface plane	Peu coûteux	Bédard et al., 2012
Tuyaux secs	Construit à partir de 2006	Route à 4 voies Ouverture de 0,6 à 0,9 m	Laurentides, Québec	Lorsqu'installé au même moment qu'un ponceau principal Tuyau de béton armé	Peu coûteux	Bédard et al., 2012

Structure	Étape de réalisation	Dimension	Emplacement	Caractéristiques particulières	Estimé des coûts (\$ CAN)*	Source
Tunnels pour reptiles et amphibiens	Construit en 2014	Route à 2 voies 0,50 m x 0,48 m x 16,2 m	Ontario	Ponceau terrestre avec ouverture sur le dessus	24 000 \$ En 2021 : 27 759 \$	Gunson et al., 2016
Passage supérieur mixte	En conception en 2014	Route à 4 voies Largeur de 16 m, dont 13 m dédiés à la faune et longueur de 55 m	Val d'Oise, France	Réaménagement d'un passage supérieur existant	1 027 300 \$ En 2021 : 1 188 200 \$	Sciences-Po Lille, 2014

* Conversion vers \$CAN effectuée en décembre 2021 à partir du site web de la Banque du Canada (s. d.)

À la lecture de ce tableau, on peut constater que les prix varient grandement selon les caractéristiques de la structure. Il est toutefois possible d'estimer entre 3 000 000 \$ et 10 000 000 \$ la construction d'un passage permettant la circulation de la grande faune et entre 500 000 \$ et 1 000 000 \$ la construction d'un passage pour la petite et la moyenne faune. Il faut ajouter à cela l'installation de clôtures tout au long des 47 km de ce segment de l'autoroute, dont les coûts sont estimés à 1 000 000 \$ par kilomètre. À noter que les deux côtés de l'autoroute seront à clôturer. En estimant grossièrement les distances à clôturer, sans prendre en compte la topographie et d'autres éléments du terrain, un total de 94 000 000 \$ serait nécessaire pour ce volet. Afin d'atteindre les objectifs fixés, il serait judicieux de prévoir un budget entre 110 000 000 \$ et 141 000 000 \$ pour la réalisation de l'ensemble du projet. Il est essentiel de souligner que plusieurs de ces structures serviront également à répondre aux objectifs de base des structures existantes, soit le libre passage de l'eau, la circulation des véhicules ou des transports alternatifs, etc. De plus, si les travaux sont couplés avec le réaménagement de structures existantes et la réfection planifiée d'autres structures vieillissantes, des économies substantielles pourraient être réalisées.

CONCLUSION

Dans un contexte de changements climatiques, il est primordial de prendre en compte l'impact des routes sur le déplacement des populations fauniques et de mettre en œuvre des mesures de mitigation. L'A10 fragmente un des liens critiques de l'écorégion des Appalaches et de l'Acadie nordique : les Montagnes Vertes, qui s'étendent du sud du Vermont au mont Orford, au Québec. La migration des espèces vers le nord est donc déjà débutée. Il faut agir maintenant pour la protection de la biodiversité et la sécurité des usagers de la route.

Depuis 2010, Corridor appalachien et ses partenaires ont étudié le réseau écologique entourant l'A10, l'utilisation par la faune des structures déjà existantes, la précision terrain des corridors écologiques à l'étude et la mortalité routière. Le portrait de la situation est donc assez complet et il est maintenant clair que des mesures doivent être mises en place pour assurer la sécurité des utilisateurs de l'A10 et protéger la biodiversité.

Une recherche exhaustive a permis de présenter les différents types de passages fauniques. Les avantages et inconvénients de chaque type ont été rapportés et une recherche sur les aménagements complémentaires a été réalisée. La méthodologie utilisée a permis de déterminer sept zones où il serait le plus pertinent de cibler des aménagements pour favoriser la connectivité. En considérant ces résultats, des discussions doivent être entamées afin de travailler de pair dans la mise en place du plan d'action. La prise en compte des recommandations proposées par Corridor appalachien est essentielle lors de la planification des travaux futurs le long de l'A10. Le secteur de Bromont-Shefford et le secteur Austin-Magog sont considérés comme étant les priorités en raison des plus forts risques de développement de part et d'autre de l'autoroute. La première étape de ce plan d'action, qui s'étale sur 20 ans, est la confirmation d'un engagement du Ministère des Transports du Québec à agir. Un budget entre 110 000 000 \$ et 141 000 000 \$ est à prévoir afin d'arriver à respecter les objectifs du plan. Ensuite, un partenariat devra

être mis en place entre les ministères, les instances gouvernementales, les organismes de conservation et les autres partenaires locaux, afin de planifier une vision commune du territoire, d'aménager un premier passage pour la grande faune dans l'une des sept zones, de planifier le réaménagement de toutes les structures qui doivent l'être (en prenant en compte les recommandations pour qu'elles favorisent la connectivité) et de mettre en place un suivi scientifique et un plan d'entretien à long terme de ces nouvelles structures.

Il faut donc se pencher dès maintenant sur la question et rassembler les acteurs nécessaires à la réalisation de ce grand plan.

RÉFÉRENCES

- Abson, R. (2004). *The use by vertebrate fauna of the Slaty Creek Wildlife Underpass, Calder Freeway, Black Forest, Macedon, Victoria* [essai de maîtrise]. University of Tasmania.
- Abson, R. N. et Lawrence, R. E. (2003). Monitoring the use of the Slaty Creek wildlife underpass, Calder Freeway, Black Forest, Macedon, Victoria, Australia. <https://escholarship.org/uc/item/6s9970wb>
- Agence Parcs Canada. (2019, 22 mars). *Recherche et surveillance - Parc national Banff*. <https://www.pc.gc.ca/fr/pn-np/ab/banff/info/gestion-management/enviro/transport/tch-rtc/passages-crossings/recherche-research>
- Anderson, M. G., Barnett, A., Clark, M., Sheldon, A., Prince, J. et Vickery, B. (2016). *Resilient and Connected Landscapes for Terrestrial Conservation*. The Nature Conservancy.
- Animal Road Crossing (ARC). (2010). *ARC International Wildlife Crossing Infrastructure Design Competition : Finalists*. <http://competition.arc-solutions.org/finalists.php>
- Asari, Y., Noro, M., Yamada, Y. et Maruyama, R. (2020). Overpasses intended for human use can be crossed by middle and large-size mammals. *Landscape and Ecological Engineering*, 16(1), 63-68. <https://doi.org/10.1007/s11355-019-00396-5>
- Ascensão, F. et Mira, A. (2007). Factors affecting culvert use by vertebrates along two stretches of road in southern Portugal. *Ecological Research*, 22(1), 57-66. <https://doi.org/10.1007/s11284-006-0004-1>
- Ascensão, F., Yogui, D. R., Alves, M. H., Alves, A. C., Abra, F. et Desbiez, A. L. J. (2021). Preventing wildlife roadkill can offset mitigation investments in short-medium term. *Biological Conservation*, 253, 108902. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108902>
- Banque du Canada. (s. d.). *Feuille de calcul de l'inflation*. <https://www.banqueducanada.ca/taux/renseignements-complementaires/feuille-de-calcul-de-linflation/>
- Barrueto, M., Ford, A. T. et Clevenger, A. P. (2014). Anthropogenic effects on activity patterns of wildlife at crossing structures. *Ecosphere*, 5(3), 1-19. <https://doi.org/10.1890/ES13-00382.1>
- Beaulieu, F. A. (2018, septembre). *Passages fauniques au Québec: Enjeux et facteurs de réussite* [Sherbrooke]. <https://core.ac.uk/download/pdf/199228737.pdf>
- Beckman, J. P., Clevenger, A. P., Huijser, M. P. et Hiffy, J. A. (2010). *Safe passages: highways, wildlife and habitat connectivity*. Island Press.
- Bédard, Y., Alain, É., Leblanc, Y., Poulin, M.-A. et Morin, M. (2012). Conception et suivi des passages à petite faune sous la route 175 dans la réserve faunique des Laurentides. *Le Naturaliste canadien*, 136(2), 66-71. <https://doi.org/10.7202/1009109ar>
- Béga, S., Harris, T. et Swensson, D. (2021). *The Wildlife Fencing Guide: Amphibians, Reptiles & Small Mammals* (Version 1.0). <https://wildlifefencing.com/version1>

Berteaux, D., Casajus, N. et de Blois, S. (2014). *Changements climatiques et biodiversité du Québec: vers un nouveau patrimoine naturel*. Les Presses de l'Université du Québec.

Bhardwaj, M., Soanes, K., Straka, T. M., Lahoz-Monfort, J. J., Lumsden, L. F. et van der Ree, R. (2017). Differential use of highway underpasses by bats. *Biological Conservation*, 212, 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.05.022>

Bhardwaj, Manisha, Olsson, M. et Seiler, A. (2020). Ungulate use of non-wildlife underpasses. *Journal of Environmental Management*, 273, 111095. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111095>

Bishop, C. A. et Brogan, J. M. (2013). Estimates of Avian Mortality Attributed to Vehicle Collisions in Canada. *Avian Conservation and Ecology*, 8(2). <https://doi.org/10.5751/ACE-00604-080202>

Bissonette, J. A. et Adair, W. (2008). Restoring habitat permeability to roaded landscapes with isometrically-scaled wildlife crossings. *Biological Conservation*, 141(2), 482-488. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.10.019>

Bonds, B., Gamo, S. et Hart, T. (2020). Improving Safety for Travelers and Wildlife, 84(3). <https://highways.dot.gov/public-roads/autumn-2020/improving-safety-travelers-and-wildlife>

Bouffard, M. (2008). *Les corridors biologiques et leur prise en compte dans les projets routiers* [essai de maîtrise, Université de Sherbrooke]. https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/7068/cufe_Bouffard_essai35.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Brunen, B., Daguet, C. et Jaeger, J. A. G. (2020). What attributes are relevant for drainage culverts to serve as efficient road crossing structures for mammals? *Journal of Environmental Management*, 268, 110423. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110423>

Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G. M., Tilman, D., Wardle, D. A., Kinzig, A. P., Daily, G. C., Loreau, M., Grace, J. B., Larigauderie, A., Srivastava, D. S. et Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>

Carsignol, J. (2011). *Fragmentation et Aménagements spécifiques pour la Trame Verte et Bleue* [power point]. http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/Journee_echange/passages_a_faune_j.carsignol.pdf

Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., García, A., Pringle, R. M. et Palmer, T. M. (2015). Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, 1(5), e1400253. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400253>

Cerema. (2019). Permettre à la faune de franchir les infrastructures linéaires de transport. Collection : Expériences et pratiques.

- Chisholm, M., Bates, A., Vriend, D. et Cooper, D. (2012). Wildlife Passage Engineering Design Guidelines.
- Claireau, F., Bas, Y., Julien, J.-F., Machon, N., Allegrini, B., Puechmaille, S. et Kerbiriou, C. (2019). Bat overpasses as an alternative solution to restore habitat connectivity in the context of road requalification. *Ecological Engineering*, 131, 34-38. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.02.011>
- Claireau, F., Bas, Y., Puechmaille, S., Julien, J.-F., Allegrini, B., Keribiriou, C. et Struebig, M. (2019). Bat overpasses: An insufficient solution to restore habitat connectivity across roads. *Journal of Applied Ecology*, 56(3), 573-584. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13288>
- Clevenger, A. P., Chruszcz, B. et Gunson, K. E. (2001). Highway Mitigation Fencing Reduces Wildlife-Vehicle Collisions. *Wildlife Society Bulletin*, 29(2), 646-653.
- Clevenger, A. P., Ford, A. T. et Sawaya, M. A. (2009). *Banff Wildlife Crossings Project: Integrating Science and Education in Restoring Population Connectivity Across Transportation Corridors*. Parks Canada Agency, Radium Hot Springs,.
- Clevenger, A. P. et Huijser, M. P. (2011). *Wildlife crossing structure handbook design and evaluation in North America* (n° Publication No. FHWA-CFL/TD-11-003). Central Federal Highway Division, U.S. Department of Transportation.
- Clevenger, A. P. et Kociolek, A. V. (2013). Potential Impacts of Highway Median Barriers on Wildlife: State of the Practice and Gap Analysis. *Environmental Management*, 52(5), 1299-1312.
- Clevenger, A. P. et Leblond, M. (2012). Leçons tirées de l'étude des passages fauniques enjambant une autoroute dans le parc national de Banff. *Le Naturaliste canadien*, 136(2), 35-41. <https://doi.org/10.7202/1009104ar>
- Clevenger, A. P. et Waltho, N. (2000). Factors Influencing the Effectiveness of Wildlife Underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology*, 14(1), 47-56.
- Clevenger, A. P. et Waltho, N. (2005). Performance indices to identify attributes of highway crossing structures facilitating movement of large mammals. *Biological Conservation*, 121(3), 453-464. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.04.025>
- Coffin, A. W. (2007). From roadkill to road ecology: A review of the ecological effects of roads. *Journal of Transport Geography*, 15(5), 396-406. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2006.11.006>
- Collins, M., Maxwell, L. et Williams, S. (2017). *Rethinking Roadways- A New Standard of Ecological Excellence in Road Network Planning*. Bozeman.
- Conan, A., Fleitz, J., Garnier, L., Le Brishoual, M., Handrich, Y. et Jumeau, J. (2022). Effectiveness of wire netting fences to prevent animal access to road infrastructures: an experimental study on small mammals and amphibians. *Nature Conservation*, 47, 271-281. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.47.71472>

Conseil régional de l'environnement du Centre-du-Québec (CRECQ). (2014). *Principe d'élaboration des corridors naturels au Centre-du-Québec*.

Corridor appalachien. (2021). Notre organisme. <https://www.corridorappalachien.ca/notre-organisme/>

Corridor appalachien. (s. d.). Biodiversité. https://www.google.com/search?q=BIODIVERSIT%C3%89&rlz=1C1GCEU_frCA849CA849&oq=BIODIVERSIT%C3%89&aqs=chrome..69i57j69i61l3&sourceid=chrome&ie=UTF-8

Cramer, P. (2014). Culvert, Bridge, and Fencing Recommendations for Big Game 2 Wildlife Crossings in Western United States Based on Utah Data, 11.

Cramer, P. et Hamlin, R. (2019). *US Hwy 89 Kanab Paunsaugunt Wildlife Crossing and Existing Structures* ([Rapport technique] n° UT-19.19).

Craveiro, J., Bernardino, J., Mira, A. et Vaz, P. G. (2019). Impact of culvert flooding on carnivore crossings. *Journal of Environmental Management*, 231, 878-885. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.108>

Currie, J., Snider, J., et Giles, E. (2020). *Rapport planète vivante Canada 2020 • Espèces en péril*. WWF-Canada.

Daguet. (2017). *Rapport sur l'identification des corridors fauniques de part et d'autre de l'autoroute 10 – Phase III*. Corridor Appalachien.

Denneboom, D., Bar-Massada, A. et Schwartz, A. (2021). Factors affecting usage of crossing structures by wildlife – A systematic review and meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 777, 146061. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146061>

Diarra, B., Séguin, C. et Dumais, G. (2018). Le coût économique des collisions avec la grande faune au Québec: le cas de l'autoroute 10. Université de Sherbrooke.

Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E., Ngo, H. T., Guèze, M., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K., Watson, R. T., Baste, I. A., Larigauderie, A., Leadley, P., Pascual, U., Baptiste, B., Demissew, S., Dziba, L., Erpul, G., Fazel, A., ... Vilá, B. (2018). Résumé à l'intention des décideurs du rapport sur l'évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques, 53.

Didham, R. K., Hammond, P. M., Lawton, J. H., Eggleton, P. et Stork, N. E. (1998). Beetle Species Responses to Tropical Forest Fragmentation. *Ecological Monographs*, 68(3), 295-323. [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(1998\)068\[0295:BSRTTF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(1998)068[0295:BSRTTF]2.0.CO;2)

Dodd Jr., C. K., Barichivich, W. J. et Smith, L. L. (2004). Effectiveness of a barrier wall and culverts in reducing wildlife mortality on a heavily traveled highway in Florida. *Biological Conservation*, 118(5), 619-631. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.10.011>

Elliott, D. et Stapp, P. (2007). Effects of a Purpose-Built Underpass on Wildlife Activity and Traffic-Related Mortality in Southern California: The Harbor Boulevard Wildlife Underpass, 595.

Fagart, S., Heurtebise, C., Quaintenne, G., Jourde, P. et Micol, T. (2016). Fréquentation de buses dédiées aux passages de la petite et moyenne faune sous deux autoroutes de l'ouest de la France. Bilan des deux premières années de suivis par pièges photographiques. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 71(1), 82-98.

Fagart, S., Quaintenne, G., Heurtebise, C. et Chavaren, P. (2016). *Restauration des continuités écologiques sur autoroutes* (n° rapport : Retour d'expérience des aménagements et des suivis faunistiques sur le réseau VINCI Autoroutes). VINCI autoroutes.
http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/rapport_rex_fr-vinci_web.pdf

Fédération canadienne de la faune. (s. d.). *Faune et flore du pays - domaine vital*.
<https://www.hww.ca/fr/glossaire/domaine-vital.html>

Ford, A. T. et Clevenger, A. P. (2019). Factors affecting the permeability of road mitigation measures to the movement of small mammals. *Canadian Journal of Zoology*, 97(4), 379-384. <https://doi.org/10.1139/cjz-2018-0165>

Gagné, P. (2019, 23 novembre). Protéger la faune sur nos routes. Dans *Semaine verte*. Radio-Canada.
<https://ici.radio-canada.ca/tele/la-semaine-verte/site/segments/reportage/142925/ecologie-routiere-faune-routes>

Gouvernement du Canada. (2013, 13 décembre). *Écozones, écorégions et Écodistricts*.
<https://sis.agr.gc.ca/siscan/nsdb/ecostrat/hierarchy.html>

Gratton, L. (2014a). *Protocole d'identification des corridors et passages fauniques - Étude de cas: l'autoroute 10 entre les km 68 et 143*. Corridor appalachien. https://www.corridorappalachien.ca/wp-content/uploads/2016/09/protocole_corridors_fauniques_aut10.pdf

Gratton, L. (2014b). *Protocole d'identification des corridors et passages fauniques - Étude de cas: l'autoroute 10 entre les km 68 et 143*. Corridor appalachien.

Gratton, L. et Levine, J. (2019). L'initiative Staying Connected : pour reconnecter la nature et les humains par-delà les frontières. *Le Naturaliste canadien*, 143(1), 12. <https://doi.org/10.7202/1054112ar>

Grivegnée-Dumoulin, V. (2020). *Intégration de la connectivité écologique dans les outils d'aménagement du territoire des instances municipales présentes sur le territoire d'action de Corridor appalachien*. Université de Sherbrooke.

Gunson, W. K., Seburn, D., Kintsch, J. et Crowley, J. (2016). Best Management Practices for Mitigating the Effects of Roads on Amphibian and Reptile Species at Risk in Ontario, 112.

Hamer, A. J., Langton, T. E. S. et Lesbarrères, D. (2015). Making a Safe Leap Forward : Mitigating Road Impacts on Amphibians. Dans *Handbook of Road Ecology* (p. 261-270). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch31>

Healy, A. (2019). Élargissement de l'autoroute 69 : la route sous le premier écopont de l'Ontario. *Le Naturaliste canadien*, 143(1), 62. <https://doi.org/10.7202/1054119ar>

Helldin, J. O. et Petrovan, S. O. (2019). Effectiveness of small road tunnels and fences in reducing amphibian roadkill and barrier effects at retrofitted roads in Sweden. *PeerJ*, 7, e7518. <https://doi.org/10.7717/peerj.7518>

Herbouiller, A. (2009). *Étude sur l'efficacité des passages inférieurs pour la petite faune* ([Rapport d'observation]). ALTHIS.

Huijser, M. P., Duffield, J. W., Clevenger, A. P., Ament, R. J. et McGowen, P. T. (2009). Cost-Benefit Analyses of Mitigation Measures Aimed at Reducing Collisions with Large Ungulates in the United States and Canada: a Decision Support Tool. *Ecology and Society*, 14(2), :15. <https://doi.org/10.5751/ES-03000-140215>

Huijser, M. P., Fairbank, E. R., Camel-Means, W., Graham, J., Watson, V., Basting, P. et Becker, D. (2016a). Effectiveness of short sections of wildlife fencing and crossing structures along highways in reducing wildlife–vehicle collisions and providing safe crossing opportunities for large mammals. *Biological Conservation*, 197, 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.02.002>

Huijser, M. P., Fairbank, E. R., Camel-Means, W., Graham, J., Watson, V., Basting, P. et Becker, D. (2016b). Effectiveness of short sections of wildlife fencing and crossing structures along highways in reducing wildlife–vehicle collisions and providing safe crossing opportunities for large mammals. *Biological Conservation*, 197, 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.02.002>

Infrastructure & Ecology Network Europe (IENE). (2003). *6 Integration of Infrastructure into Landscape*. Infrastructure & Ecology Network Europe. <https://handbookwildlifetraffic.info/ch-6-integration-of-infrastructure-into-landscape/6-4-design-solutions/>

luell, Bekker, H. G. . J., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., Hlavac, V., Keller, V., Rosell, C., Sangwine, T., Torslov, N. et Wandall, B. le M. (2003). *Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions*. KNNV publishers. <https://www.ail.ca/wp-content/uploads/2017/07/European-Wildlife-Crossing-Guideline.pdf>

Jaeger, J. A. G., Bélanger-Smith, K., Gaitan, J., Plante, J., Bowman, J. et Clevenger, A. P. (2017). *Suivi de l'utilisation et de l'efficacité des passages à faune le long de la route 175 pour les petits et moyens mammifères* ([Rapport de projet] n° R709.1).

Jaeger, J. A. G., Bowman, J., Brennan, J., Fahrig, L., Bert, D., Bouchard, J., Charbonneau, N., Frank, K., Gruber, B. et von Toschanowitz, K. T. (2005). Predicting when animal populations are at risk from roads:

an interactive model of road avoidance behavior. *Ecological Modelling*, 185(2-4), 329-348. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.12.015>

Jaeger, J. A. G., Velosa, S., Rolheiser, M., Deku, J., Menezes Rorigues, J., Réaume, S., Bolduc, V. et Donnini, J. (2021). *Recherche sur la mortalité animale le long de l'autoroute 10 en Estrie avant l'implantation de mesures d'atténuation d'impacts*. Université Concordia, Faculté des arts et des sciences, Département de géographie, urbanisme et environnement.

Jarvis, L. E., Hartup, M. et Petrovan, S. O. (2019). Road mitigation using tunnels and fences promotes site connectivity and population expansion for a protected amphibian. *European Journal of Wildlife Research*, 65(2), 27. <https://doi.org/10.1007/s10344-019-1263-9>

Kinley, T. (2021, 23 novembre). Information request about wildlife crossing.

Kintsch, J. et Cramer, P. C. (2011). Permeability of existing structures for terrestrial wildlife: A passage assessment system. Research Report No. WA-RD 777.1. Washington State Department of Transportation, Olympia, WA. 11-31.

Kintsch, Julia, Cramer, P., Singer, P., Cowardin, M. et Phelan, J. (2019). *State highway 9 wildlife crossings monitoring - year 3 progress report* ([Rapport de projet] n° 115.01).

Krauss, J., Bommarco, R., Guardiola, M., Heikkinen, R. K., Helm, A., Kuussaari, M., Lindborg, R., Öckinger, E., Pärtel, M., Pino, J., Pöyry, J., Raatikainen, K. M., Sang, A., Stefanescu, C., Teder, T., Zobel, M. et Steffan-Dewenter, I. (2010). Habitat fragmentation causes immediate and time-delayed biodiversity loss at different trophic levels: Immediate and time-delayed biodiversity loss. *Ecology Letters*, 13(5), 597-605. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01457.x>

Lavoie, M., Desjardins, S., Langevin, B., Couturier, S., Bélanger, J., Hudon, F., Daigle, C., St-Onge, S. et Fortin, J. (2012). Réponses comportementales de cerfs de Virginie à la suite de la construction d'une autoroute traversant leur aire d'hivernage au Québec. *Le Naturaliste canadien*, 136(2), 54-60. <https://doi.org/10.7202/1009107ar>

Le Roux, M., Luque, S., Vincent, S. et Planckaert, O. (2014). Intégration de la connectivité dans la gestion et la conservation des habitats. *Sciences Eaux & Territoires*, Numéro 14(2), 20. <https://doi.org/10.3917/set.014.0020>

Lemieux, K. (2018, juillet). *Interventions à privilégier pour aménager des écorridors entre le parc national du Mont-Tremblant et le parc national d'Oka au profit de la biodiversité* [essai de maîtrise]. Université de Sherbrooke.

Manteca-Rodríguez, M., Félix-Burrue, R. E., Aguilar-Morales, C., Bravo, J. C., Traphagen, M. et Larios, E. (2021). Wildlife Use of Drainage Structures Under 2 Sections of Federal Highway 2 in the Sky Island Region of Northeastern Sonora, Mexico. *Air, Soil and Water Research*, 14, 117862212098872. <https://doi.org/10.1177/1178622120988721>

McGregor, M., Matthews, K. et Jones, D. (2017). Vegetated Fauna Overpass Disguises Road Presence and Facilitates Permeability for Forest Microbats in Brisbane, Australia. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5, 153. <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00153>

McGuire, T. M., Clevenger, A. P., Ament, R., Callahan, R. et Jacobson, S. (2020). Innovative Strategies to Reduce the Costs of Effective Wildlife Overpasses. *United States Department of Agriculture*, 44.

McNutt, J. (2020). *Yoho Wildlife Overpass - NOVEMBER 2020 - Project of the Month - Canadian Precast Prestressed Concrete Institute*. http://www.cpci.ca/en/about_us/project_month/november_2020/

Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. (2003). Zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec, 2.

Ministère des Transports du Québec. (2000). *Les collisions avec la grande faune dans un contexte de sécurité routière et d'impact environnemental Fiche de promotion environnementale FPE-02*. Gouvernement du Québec, Direction de l'Estrie.

Ministère des transports du Québec. (2020). *Base de données mortalité routière animale* ([Base de données]). Gouvernement du Québec.

Ministère des Transports du Québec (MTQ). (2017). Fiche technique no 1 : les clôtures métalliques d'exclusion pour la grande faune. Ministère des Transports du Québec (MTQ).

Ministry of Agriculture, Food and the Environment (MAAMA). (2016). *Technical prescriptions for wildlife crossing and fence design : Documents for the mitigation of habitat fragmentation caused by transport infrastructure*.

http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/technical_prescriptions_wildlife_crossing_tcm7-437077.pdf

Mysłajek, R. W., Olkowska, E., Olkowska, M. et Nowak, S. (2020). Mammal use of wildlife crossing structures along a new motorway in an area recently recolonized by wolves. *European Journal of Wildlife Research*, 66(5).

https://www.researchgate.net/publication/344015860_Mammal_use_of_wildlife_crossing_structures_along_a_new_motorway_in_an_area_recently_recolonized_by_wolves

Nazarnia, N., Schwick, C. et Jaeger, J. A. G. (2016). Accelerated urban sprawl in Montreal, Quebec City, and Zurich: Investigating the differences using time series 1951–2011. *Ecological Indicators*, 60, 1229-1251. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.020>

Nehaoua, A. (2015). *Passage à faune*. <https://fr.slideshare.net/ademLoup/passages-faune>

NORPAC. (s.d.). *Passage à faune* [power point]. https://www.pasapascourbevoie.com/app/download/13106877127/Passages_%25C3%25A0_faune.pdf%3Ft%3D1486410661+%&cd=1&hl=fr&ct=clnk&gl=fr

Office fédérale des routes. (2014). *Ouvrages de franchissement pour la faune*. [Document interne].

Office québécois de la langue française (OQLF). (s. d.). *Office québécois de la langue française*. Le grand dictionnaire terminologique (GDT). <http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/index.aspx>

Ostiguy, T. (2006). États des connaissances actuelles et réalisations récentes en gestion de la faune le long des routes au Québec : Étude de cas de deux chantiers majeurs sur le territoire de la Direction de la Capitale-Nationale du Ministère des Transports du Québec.

Pell, S. et Jones, D. (2015). Are wildlife overpasses of conservation value for birds? A study in Australian sub-tropical forest, with wider implications. *Biological Conservation*, 184, 300-309. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.02.005>

Pichard, O., Sanchez-De Launay, A., De Rouck, A.-C. et Gilleron, M. (2018). *Critères éco-éthologiques à prendre en compte pour la restauration des continuités écologiques au droit des ouvrages de franchissement d'infrastructures de transport*. https://www.cerema.fr/system/files/documents/2019/12/2019-28-c17nb0103-criteres_eco-etho_livable_1_1.pdf

Pradines, I. (2019, septembre). *Evaluer et améliorer la perméabilité écologique des ouvrages d'art non dédiés à la faune sauvage* [Toulouse]. <http://dante.univ-tlse2.fr/8925/>

Puky, M., Farkas, J. et Tóth, M. (2007). Use of Existing Mitigation Measures by Amphibians, Reptiles, and Small to Medium-Size Mammals in Hungary: Crossing Structures Can Function as Multiple Species-Oriented Measures. *Wildlife and Terrestrial Ecosystems*, 521-530.

Purvis, A., Molnár, Z., Obura, D., Ichii, K., Willis, K., Chettri, Nakul, Dulloo, Mohammad, Hendry, Andrew, Gabrielyan, Bardukh, Gutt, Julian, Jacob, Ute, Keskin, Emre, Niamir, Aidin, Öztürk, Bayram, Salimov, Rashad, et Jaureguiberry, Pedro. (2019). *Chapter 2.2 Status and Trends –Nature*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3832005>

Robidoux, C. (2015). *Identification des corridors d'importance en Montérégie et validation du corridor naturel entre les monts Brome et Shefford*. Corridor appalachien.

Robidoux, C. (2019). Validation et caractérisation des corridors naturels sur le territoire de Corridor appalachien - Corridor naturel du secteur de Stukely-Sud et de Bolton-Ouest. Corridor appalachien.

Robidoux, C. (2021). *Caractérisation détaillée des corridors écologiques identifiés sur le territoire de la municipalité d'Eastman* ([Final]). Corridor appalachien.

Rogeeon, G. et Girardet, X. (2011). Identification des points de conflits entre la faune sauvage et les véhicules :, 24.

Rytwinski, T., Soanes, K., Jaeger, J. A. G., Fahrig, L., Findlay, C. S., Houlahan, J., van der Ree, R. et van der Grift, E. A. (2016). How Effective Is Road Mitigation at Reducing Road-Kill? A Meta-Analysis. *PLOS ONE*, 11(11), e0166941. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166941>

Salvant, F. (2017). Identification des zones d'intervention prioritaires pour les mouvements fauniques sur une portion de l'autoroute 10 (Québec, Canada). Essai présenté pour l'obtention du grade de Maître ès sciences géographiques (M.Sc.), cheminement de type cours en géodéveloppement durable. Université de Sherbrooke, Département de géomatique appliquée, Faculté des lettres et sciences humaines. 87p.

Schmidt, G. M., Lewison, R. L. et Swarts, H. M. (2021). Pairing long-term population monitoring and wildlife crossing structure interaction data to evaluate road mitigation effectiveness. *Biological Conservation*, 257, 109085. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109085>

Sciences-Po Lille. (2014). *Rétablissement des continuités écologiques sur les infrastructures de transport existantes*. http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/cotita_livret.pdf

Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique. (2010a). La BIODIVERSITÉ est ESSENTIELLE aux INVESTISSEMENTS dans les FORÊTS et le CARBONE. <https://www.cbd.int/forest/doc/ts41/ts41mainmsgs-fr.pdf>

Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique. (2010b). *Perspectives mondiales de la diversité biologique 3*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity.

Serronha, A. M., Mateus, A. R. A., Eaton, F., Santos-Reis, M. et Grilo, C. (2013). Towards effective culvert design: monitoring seasonal use and behavior by Mediterranean mesocarnivores. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(8), 6235-6246. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-3020-3>

Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements [Sétra]. (2008). 4e rencontre « Routes et faune sauvage » Infrastructures de transport et petite faune. http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/actescolloquepetitefaune.pdf

Sievert, P. R. et Yorks, D. T. (2015). *Tunnel and Fencing Options for Reducing Road Mortalities of Freshwater Turtles*. University of Massachusetts Amherst.

Simpson, N. O., Stewart, K. M., Schroeder, C., Cox, M., Huebner, K. et Wasley, T. (2016). Overpasses and underpasses: Effectiveness of crossing structures for migratory ungulates: Crossing Structures and Migratory Ungulates. *The Journal of Wildlife Management*, 80(8), 1370-1378. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21132>

Smith, D. J., van der Ree, R. et Rosell, C. (2015). Wildlife Crossing Structures : An Effective Strategy to Restore or Maintain Wildlife Connectivity Across Roads. Dans *Handbook of Road Ecology* (p. 172-183). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch21>

- Spanowicz, A. G., Teixeira, F. Z. et Jaeger, J. A. G. (2020). An adaptive plan for prioritizing road sections for fencing to reduce animal mortality. *Conservation Biology*, 34(5), 1210-1220. <https://doi.org/10.1111/cobi.13502>
- Starr, H. et McAllister, K. (2014). Wildlife Use of Highway Underpass Structures in Washington State, 18. Staying Connected Northern Appalachians. (2013). Staying Connected in the Northern Appalachians: Mitigating Fragmentation & Climate Change Impacts on Wildlife Through Functional Habitat Linkages. <http://stayingconnectedinitiative.org/assets/SCI-CSWG-Final-Report-Summary-5-17-13.pdf>
- Summit County Safe Passages. (2020). *I-70 East Vail Pass Wildlife Crossing Feasibility Study Final Report*. <https://storymaps.arcgis.com/stories/e2a83823ba354939ae20b855f1966453>
- Tardif, B., Lavoie, G. et Lachance, Y. (2005). *Atlas de la biodiversité du Québec. Les espèces menacées ou vulnérables*. (Gouvernement du Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du développement durable, du patrimoine écologique et des parcs).
- Techno-Science.net. (s.d.). *Écoduc - Définition et Explications*. Techno-Science.net. <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Ecoduc-page-2.html>
- Thomas, F., Lefèvre, T. et Raymond, M. (2016). *Biologie évolutive* (deuxième). de boeck supérieur.
- Tissier, M. L., Jumeau, J., Croguennec, C., Petit, O., Habold, C. et Handrich, Y. (2016). An anti-predation device to facilitate and secure the crossing of small mammals in motorway wildlife underpasses. (I) Lab tests of basic design features. *Ecological Engineering*, 95, 738-742. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.012>
- Union internationale pour la conservation de la nature. (2021). The IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/>
- Vallée, P.-M., Bélanger, J. et Fortin, J. (2019). Conception et construction des aménagements relatifs aux cerfs de Virginie le long de l'autoroute Robert-Cliche (A-73) au Québec. *Le Naturaliste canadien*, 143(1), 55. <https://doi.org/10.7202/1054118ar>
- van der Ree, R., Smith, D. J. et Grilo, C. (dir.). (2015). *Handbook of road ecology* (John Wiley&Sons, Incorporated). Wiley-Blackwell.
- van der Ree, R. et Tonjes, S. (2015). Chapter 17: How to Maintain Safe and Effective Mitigation Measures. Dans *Handbook of Road Ecology* (John Wiley&Sons, Incorporated, p. 138-142). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch17>
- van der Ree, R. et van der Grift, E. A. (2015). Chapter 22: Recreational Co-Use of Wildlife Crossing Structures. Dans *Handbook of Road Ecology* (p. 184-189). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch22>

VINCI Autoroutes. (2016). *Restauration des continuités écologiques sur autoroutes*. http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/rapport_rex_fr-vinci_web.pdf

Warnock-Juteau, K., Bolduc, V., LoScerbo, D., Anderson, M., Daguet, C. et Jaeger, J. A. G. (2022). Co-use of existing crossing structures along roads by wildlife and humans: Wishful thinking? *Nature Conservation*, 47, 235-270. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.47.73060>

Weber, C. (2019). California to build largest wildlife crossing in world. *The Durango Herald*. <https://durangoherald.com/articles/298764#slide=1>

Yanes, M., Velasco, J. M. et Suárez, F. (1995). Permeability of roads and railways to vertebrates: The importance of culverts. *Biological Conservation*, 71(3), 217-222. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(94\)00028-O](https://doi.org/10.1016/0006-3207(94)00028-O)

Žák, J., Kraus, M., Machová, P. et Plachý, J. (2020). Smart Green Bridge - Wildlife Crossing Bridges of New Generation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 728, 012010. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/728/1/012010>

ANNEXE 1 - EXEMPLES DE PLANS ET ESTIMÉS DES COÛTS

Exemple 1 – Passages fauniques I-70 East Vail Pass : Étude de faisabilité

Dans l'état du Colorado, aux États-Unis, une étude de faisabilité est en cours pour développer des passages fauniques traversant l'autoroute I-70 (Figure 6). Des études préliminaires avaient eu lieu, permettant de soulever, entre autres, la fragmentation du territoire du lynx du Canada et du wapiti dans le secteur à l'étude. Dans cette étude, trois types de passages sont présentés, soit deux passages inférieurs et un passage supérieur.



Figure 6 : Localisation des passages fauniques proposés

Passages inférieurs

Les passages inférieurs ont été conçus pour assurer la circulation de véhicules dans deux voies, tout en gardant une largeur suffisante pour permettre l'ajout d'une troisième voie de circulation en cas de besoin (Figure 7).

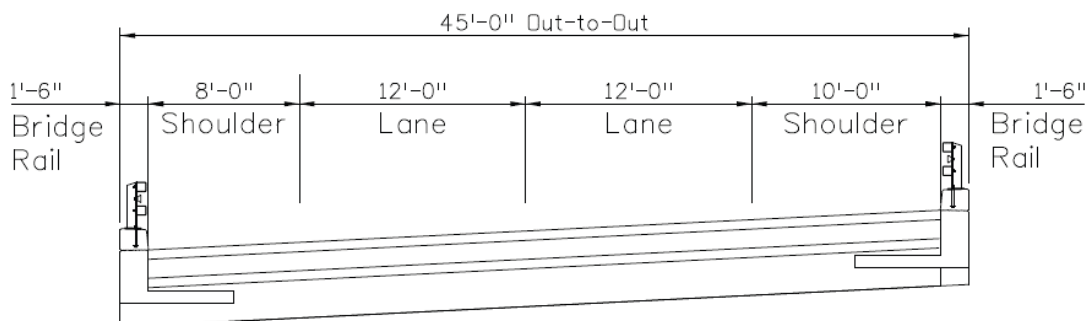


Figure 7 : Configuration routière au-dessus des passages inférieurs (© Summit County Safe Passage, 2020)

Pont enterré

Le premier passage inférieur, un pont enterré, correspond à la construction d'un pont traditionnel, mais recouvert de terre (Figure 8 et Figure 9). Cela permet d'isoler la structure et d'éviter que la route sur le pont gèle plus rapidement que le reste de la route. Bien que la hauteur de ce passage soit réduite par rapport à un pont traditionnel, elle demeure adéquate pour la grande faune visée dans cette étude, comme le wapiti.



Figure 8: Passage inférieur - Pont enterré (© Summit County Safe Passage, 2020)

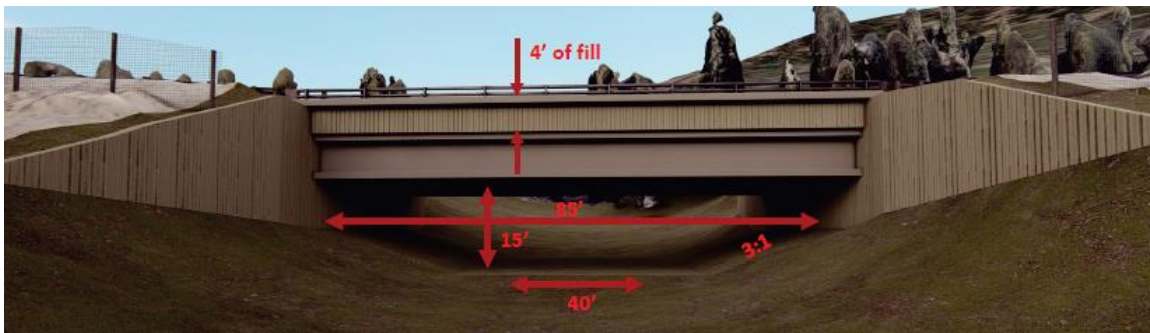


Figure 9 : Passage inférieur - Pont enterré (© Summit County Safe Passage, 2020)

Arche enterrée

Le deuxième passage inférieur, une arche enterrée, est construit à partir d'une arche préfabriquée en béton (Figure 10). La hauteur de ce passage est inférieure à celle du pont enterré, mais demeure adéquate pour les espèces visées dans l'étude (Figure 11).



Figure 10 : Passage inférieur – Arche enterrée (© Summit County Safe Passage, 2020)

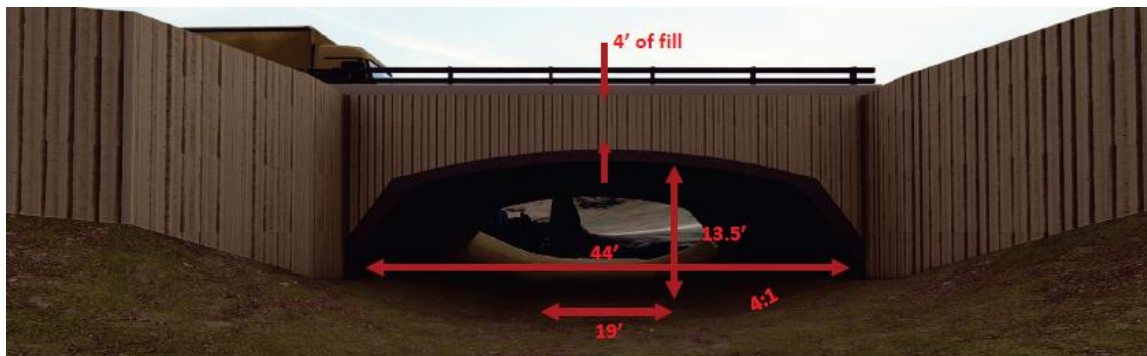


Figure 11 : Passage inférieur - Arche enterrée (© Summit County Safe Passage, 2020)

Passage supérieur

Le passage supérieur a été conçu pour passer au-dessus de trois voies de circulation, même si seulement deux voies devraient être en fonction suite à la construction du passage. Des accotements et une zone tampon où la neige pourra être entreposée ont été prévus des deux côtés des voies de circulation (Figure 12).

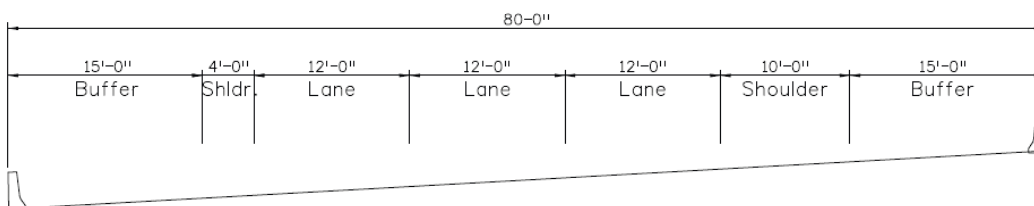


Figure 12 : Configuration routière en dessous du passage supérieur (Source : Summit County Safe Passage, 2020)

Le passage supérieur retenu est en forme de sablier (Figure 13 et Figure 14). Des poutres et un tablier de pont en béton seront utilisés pour former les courbes de la structure. La forme de cette structure est

innovatrice et des études seront menées pour documenter son utilisation en comparaison à des passages supérieurs de forme plus traditionnelle. Il faut donc noter que le centre du passage est plus étroit, mais la largeur à l'approche demeure la même que pour un passage traditionnel, avec une pente plus douce et régulière, offrant une meilleure visibilité à la faune. Un mur antibruit et atténuant la lumière artificielle d'une hauteur de 4 pieds est prévu sur le passage supérieur. Au-dessus de ce mur, une clôture perméable de 4 pieds permettant la circulation des rafales de neiges est également prévue.



Figure 13 : Passage supérieur en forme de sablier (© Summit County Safe Passage, 2020)



Figure 14 : Passage supérieur en forme de sablier (© Summit County Safe Passage, 2020)

Estimation des coûts

L'estimation des coûts de ces passages et de l'installation de clôtures entre ceux-ci est résumée dans le tableau suivant :

Tableau 0.1 : Estimé des coûts (inspiré de : Summit County Safe Passage, 2020)

Structure	Coûts de construction (\$ CAN)*	Coûts de conception et d'administration (20 %) (\$ CAN)*	Coûts totaux (\$ CAN)*
Pont enterré	3 231 000	646 000	3 877 000
Arche enterrée	4 431 000	886 000	5 317 000
Passage supérieur en forme de sablier	9 654 000	1 931 000	11 585 000
Clôtures	5 108 000	1 022 000	6 130 000

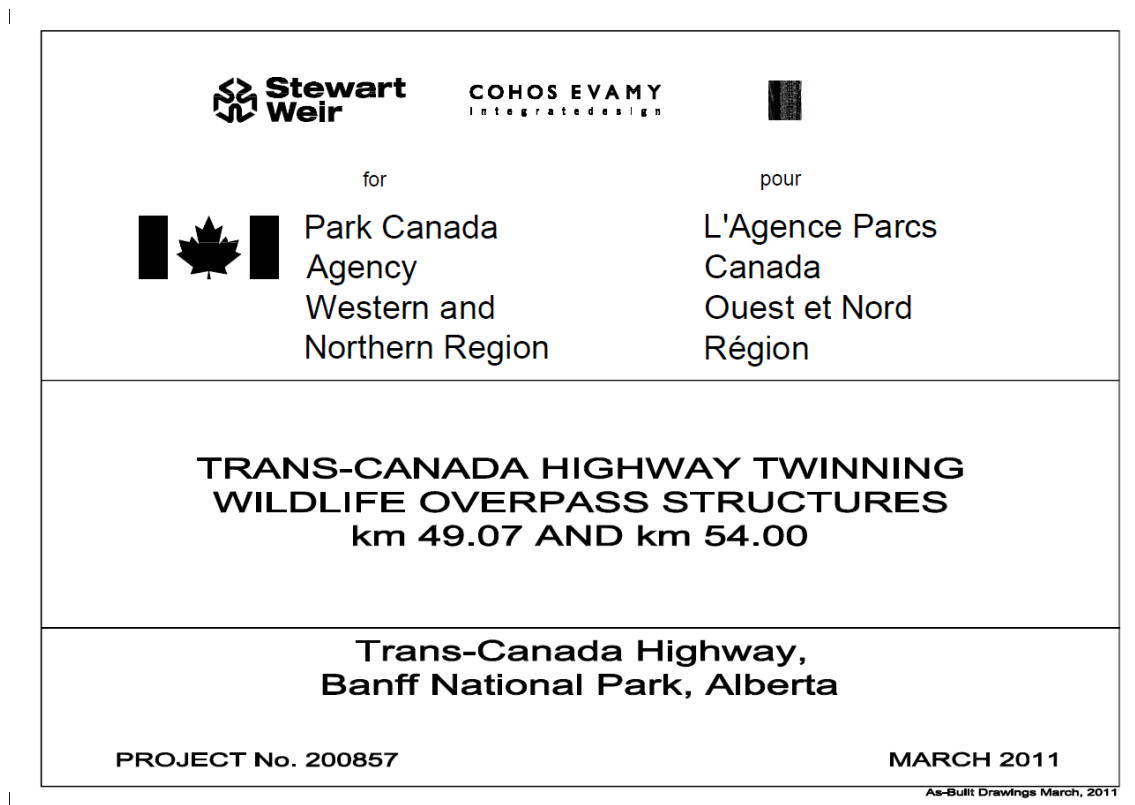
* Conversion vers \$CAN effectuée en décembre 2021 à partir du site web de la Banque du Canada, (s. d.)

Exemple 2 – Parc national de Banff, Yoho et Kootenay

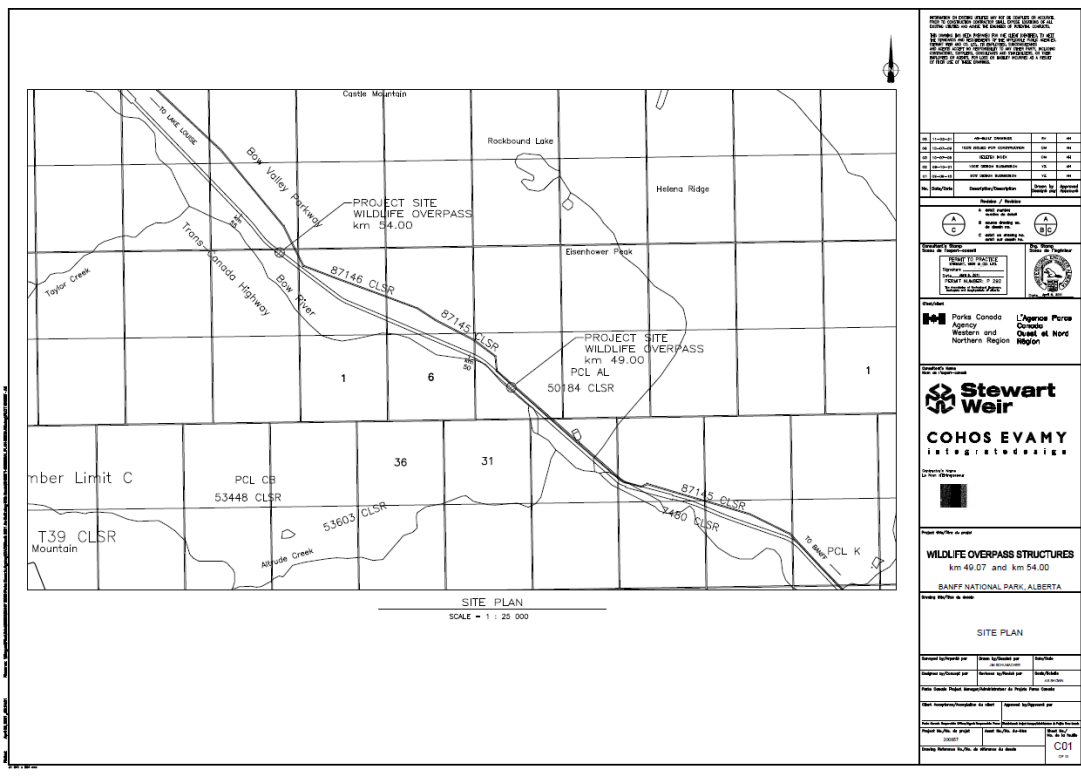
En Alberta et en Colombie-Britannique (Canada), on retrouve plusieurs passages fauniques dans les parcs nationaux, dont certains sont en place depuis plusieurs décennies. C'est d'ailleurs à Banff, comptant 44 passages fauniques inférieurs et supérieurs, qu'on retrouve la plus grande concentration de passages fauniques. (Agence Parcs Canada, 2019)

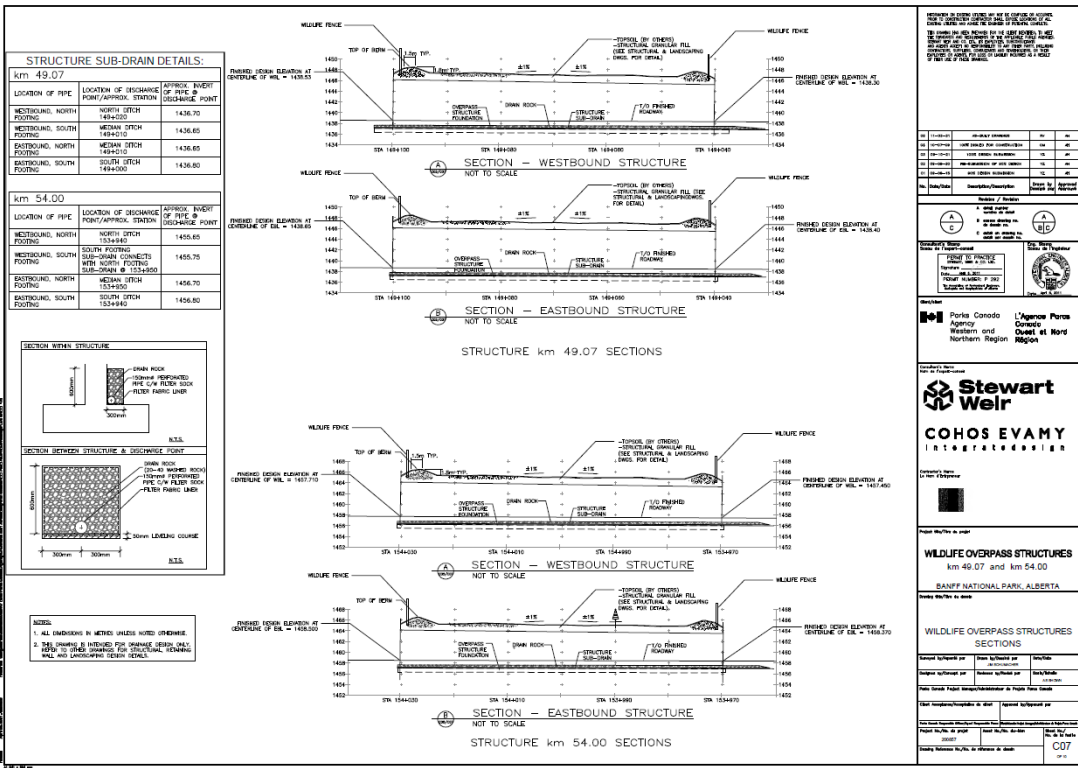
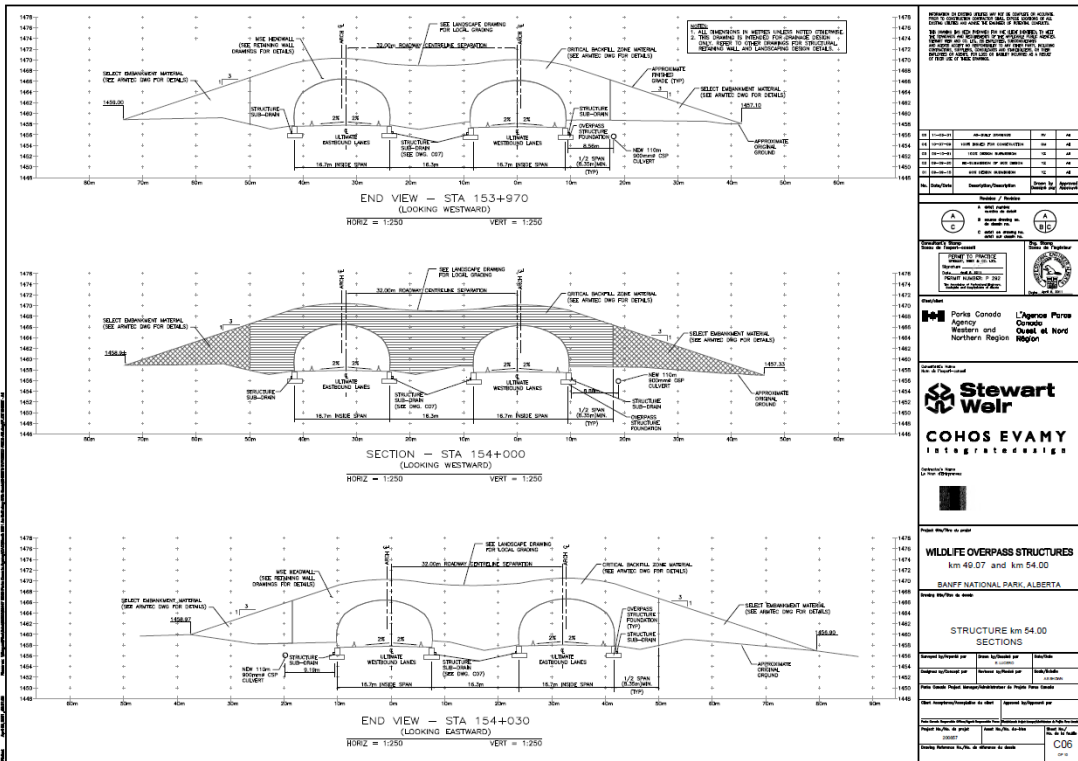
Passages supérieurs dans le parc National de Banff

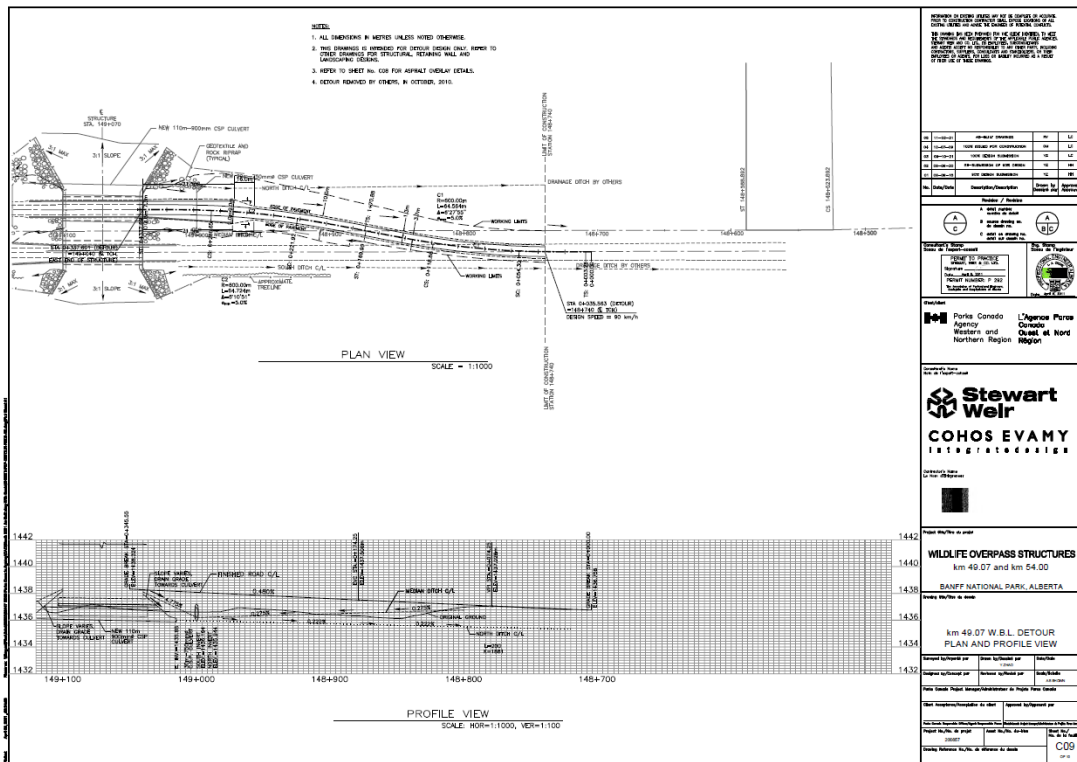
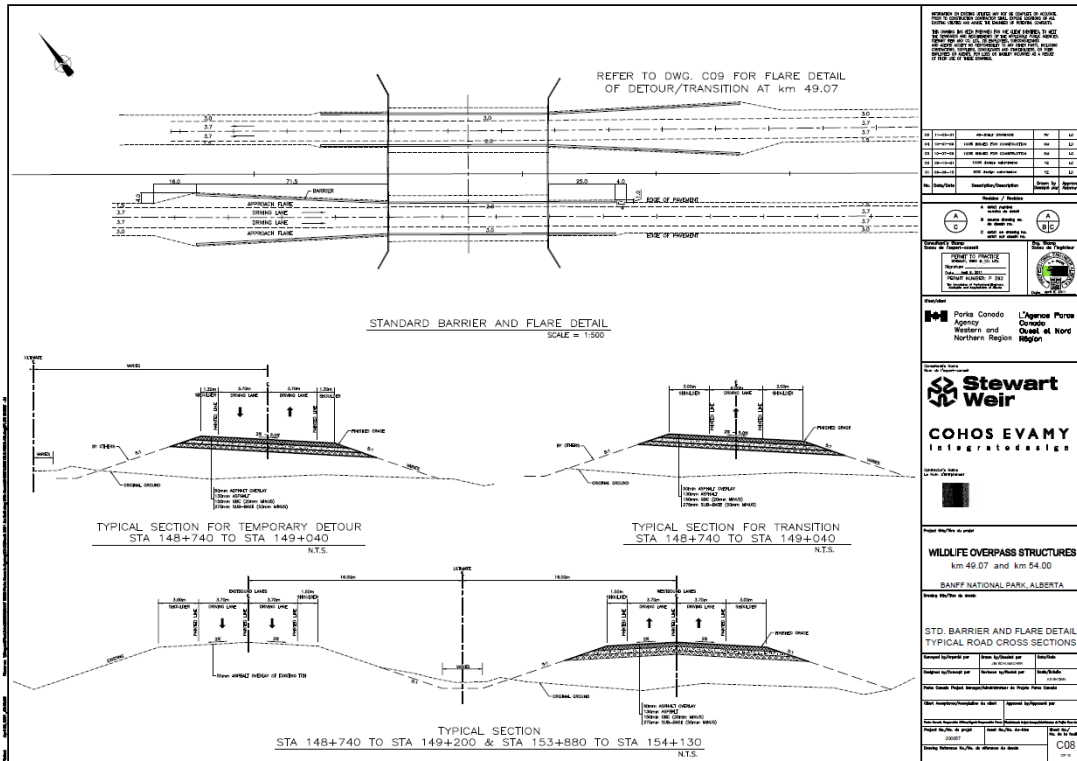
La construction de la majorité des passages de Banff fut coordonnée avec l'élargissement de l'autoroute transcanadienne qui s'est déroulée en plusieurs phases de 1979 à 2014 (Clevenger et Leblond, 2012; Ford et Clevenger, 2019). En 2011, deux passages fauniques supérieurs furent construits au 49^e km et 54^e km de l'autoroute Transcanadienne, permettant la traversée de 4 voies sous 2 arches (T. Kinley, communication personnelle, 23 novembre 2021). Les plans de ces passages d'une largeur de 60 m sont présentés ici :



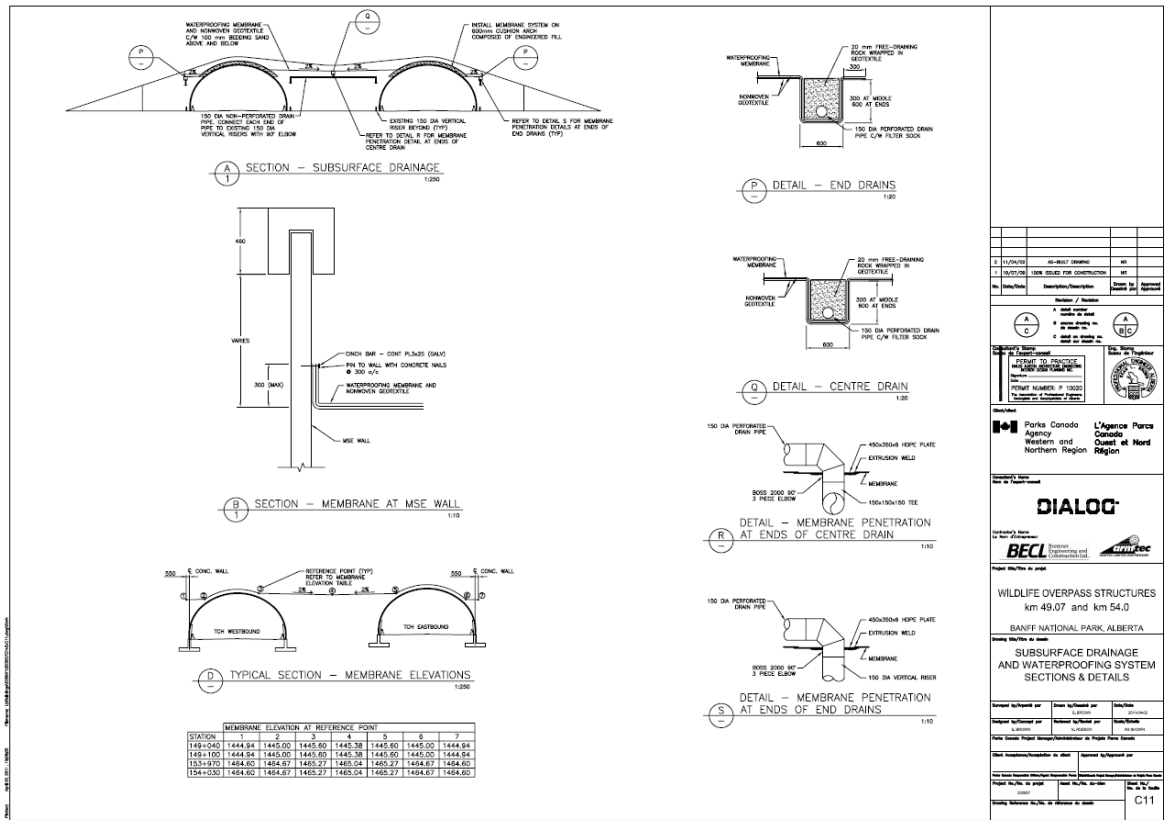
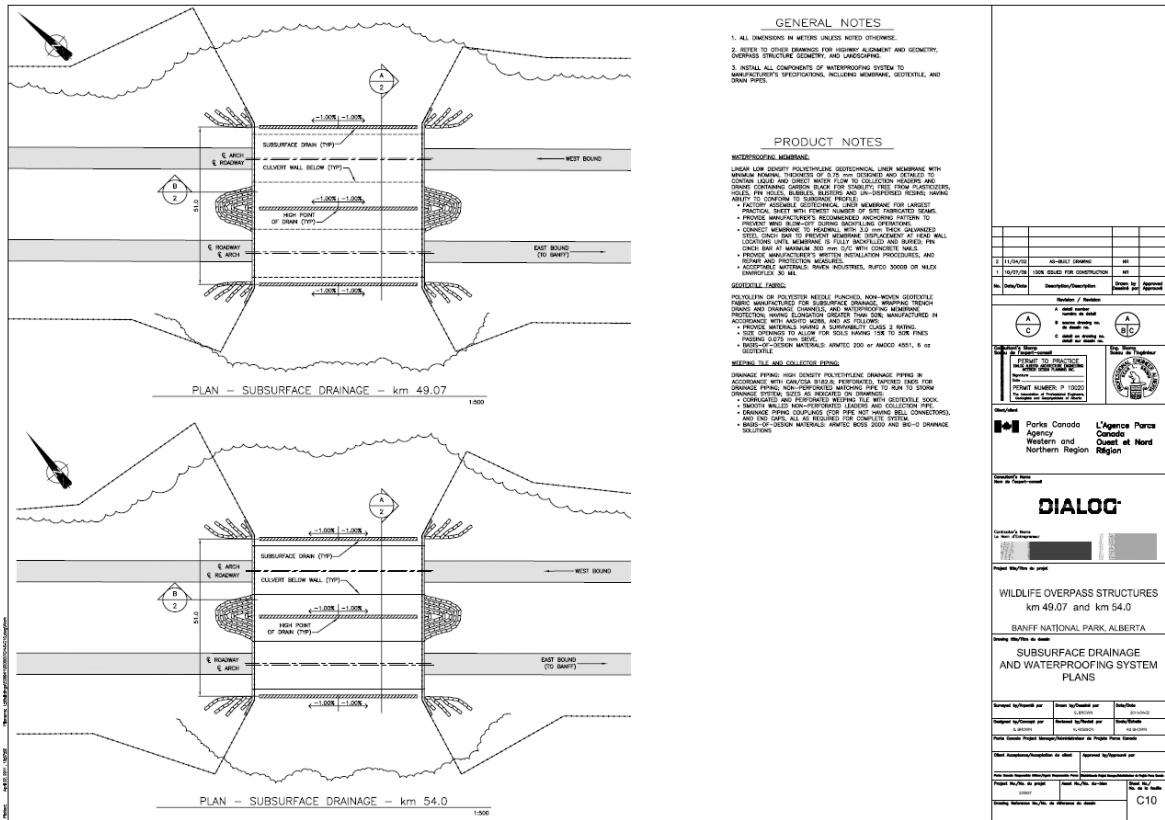
LIST OF DRAWINGS			
SHEET C00	INDEX		
SHEET C01	SITE PLAN		
SHEET C02	STRUCTURE km 49.07	- DRAINAGE PLAN & PROFILE VIEW	
SHEET C03	STRUCTURE km 49.07	- SECTIONS	
SHEET C04	TRANSITION km 49.07	- SIGNING AND PAVEMENT MARKINGS	
SHEET C05	STRUCTURE km 54.00	- DRAINAGE PLAN & PROFILE VIEW AND TYPICAL CULVERT DETAILS	
SHEET C06	STRUCTURE km 54.00	- SECTIONS	
SHEET C07	WILDLIFE OVERPASS STRUCTURES	- SECTIONS	
SHEET C08	STD. BARRIER AND FLARE DETAIL	- TYPICAL ROAD CROSS SECTIONS	
SHEET C09	km 49.07 W.B.L. DETOUR	- PLAN & PROFILE VIEW	
SHEET TMS1	DETOUR DIVERSION km 49.07	- TEMPORARY SIGNING AND PAVEMENT MARKINGS	
09,1084743,01	ELEVATION & SECTION	- FOR TWIN 61H BRIDGE-PLATE	
09,1084743,02	CRITICAL BACKFILL SPECIFICATIONS & INSTALLATION PROCEDURES	- FOR TWIN 61H BRIDGE-PLATE	
09,1084743,03	PLAN VIEW	- FOR WILDLIFE OVERPASS STRUCTURE TWIN 61H BRIDGE-PLATE	
09,1084743,04	PLAN VIEW	- FOR WILDLIFE OVERPASS STRUCTURE TWIN 61H BRIDGE-PLATE	
09,1084743,05	END VIEWS	- FOR WILDLIFE OVERPASS STRUCTURE TWIN 61H BRIDGE-PLATE	
09,1084743,06	END VIEWS	- FOR WILDLIFE OVERPASS STRUCTURE TWIN 61H BRIDGE-PLATE	
09,1084743,07	UNBALANCED CHANNEL & ANCHOR	- FOR 61H BRIDGE-PLATE	
09,1084743,08	PLATE LAYOUT & PLATE LAP DETAIL	- FOR 61H BRIDGE-PLATE	
09,1084743,09	PLATE LAYOUT & PLATE LAP DETAIL	- FOR 61H BRIDGE-PLATE	
SHEET SF-1	FOUNDATION PLAN & SECTION		
SHEET C10	SUBSURFACE DRAINAGE AND WATERPROOFING SYSTEM	- PLANS	
SHEET C11	SUBSURFACE DRAINAGE AND WATERPROOFING SYSTEM	- SECTIONS & DETAILS	
DWG No. 3499-P1	REINFORCED EARTH RETAINING WALL	- PLAN AND NOTES	
DWG No. 3499-P2	REINFORCED EARTH RETAINING WALL	- PLAN	
DWG No. 3499-P3	REINFORCED EARTH RETAINING WALL	- PLAN AND NOTES	
DWG No. 3499-P4	REINFORCED EARTH RETAINING WALL	- PLAN	
DWG No. 3499-E1	REINFORCED EARTH RETAINING WALL	- ELEVATION	
DWG No. 3499-E2	REINFORCED EARTH RETAINING WALL	- ELEVATION	
DWG No. 3499-TD1	REINFORCED EARTH RETAINING WALL	- TYPICAL DETAILS	
DWG No. 3499-D1	REINFORCED EARTH RETAINING WALL	- DETAILS	
SHEET L1	LAYOUT & GRADING PLAN	- FOR km 49.07	
SHEET L2	LAYOUT & GRADING PLAN	- FOR km 54.0	
SHEET L3	PLANTING PLAN	- FOR km 49.07	
SHEET L4	PLANTING PLAN	- FOR km 54.0	
SHEET L5	WILDLIFE FENCE DETAILS		
SHEET L6	WILDLIFE FENCE DETAILS		

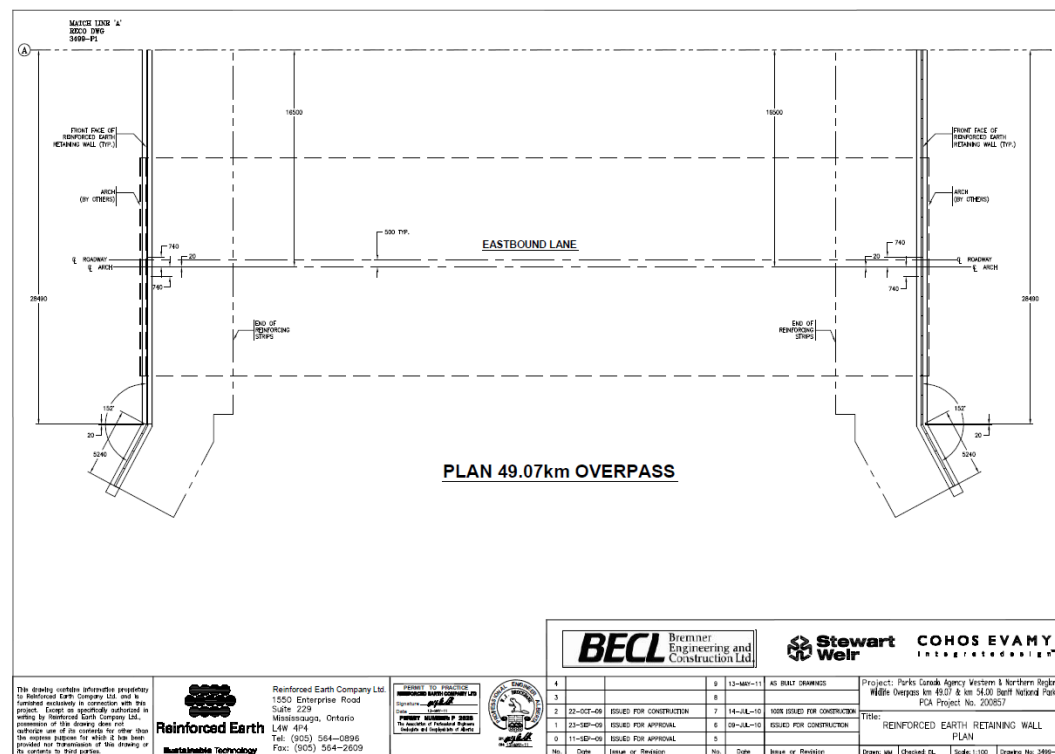


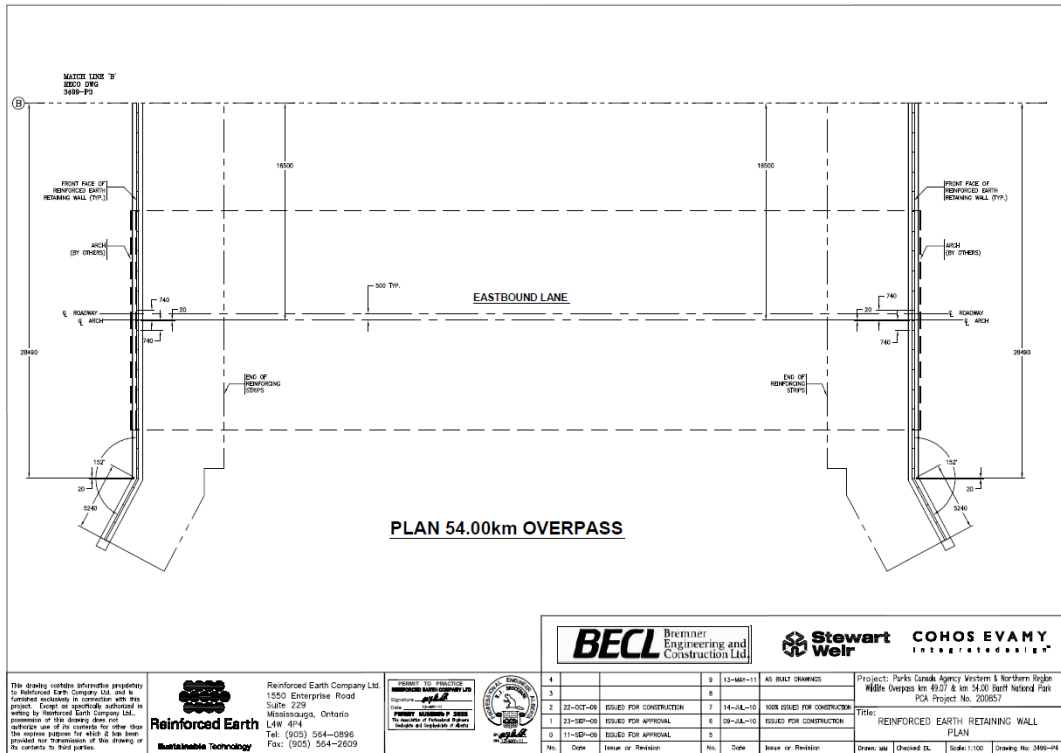
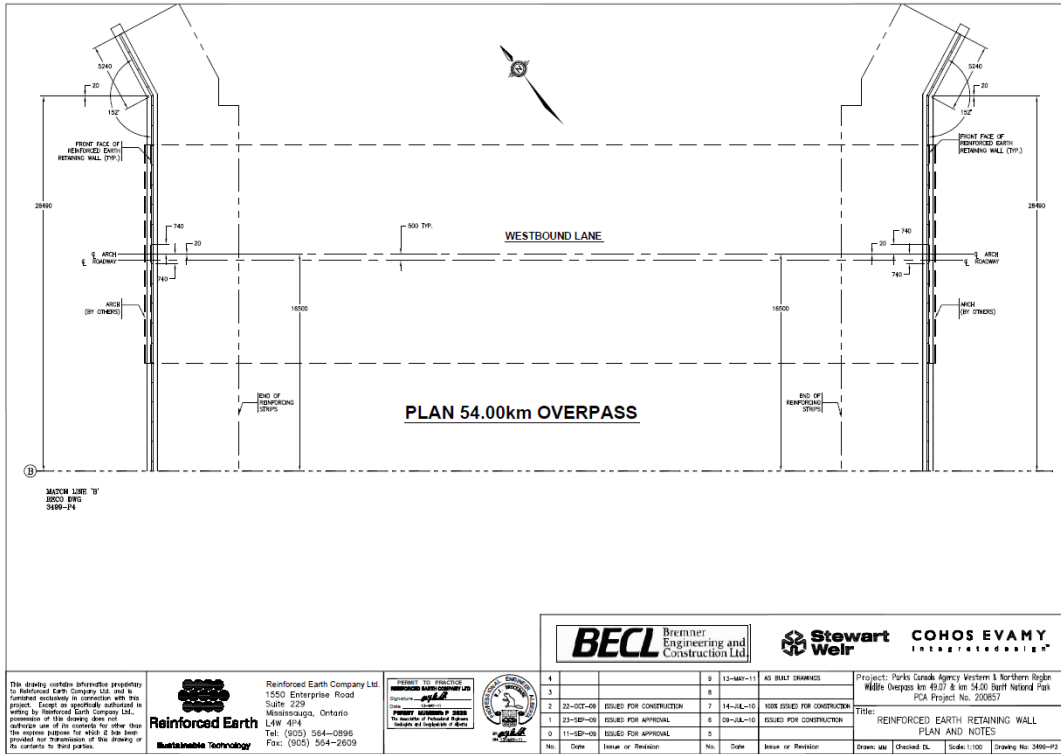


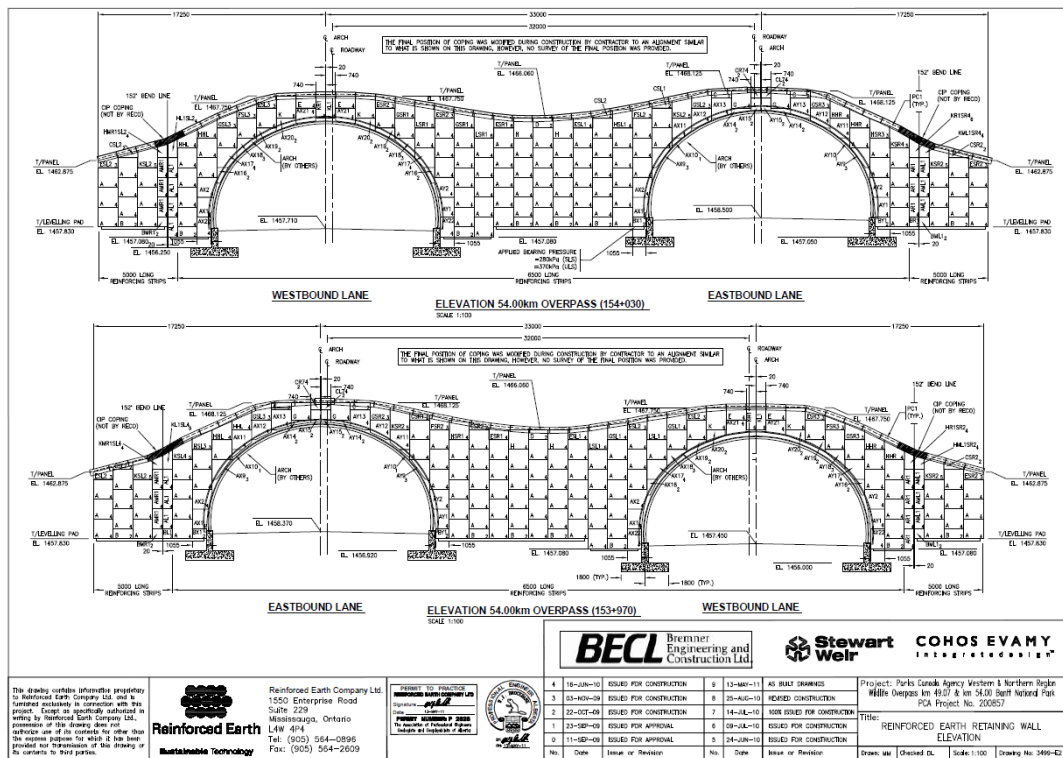
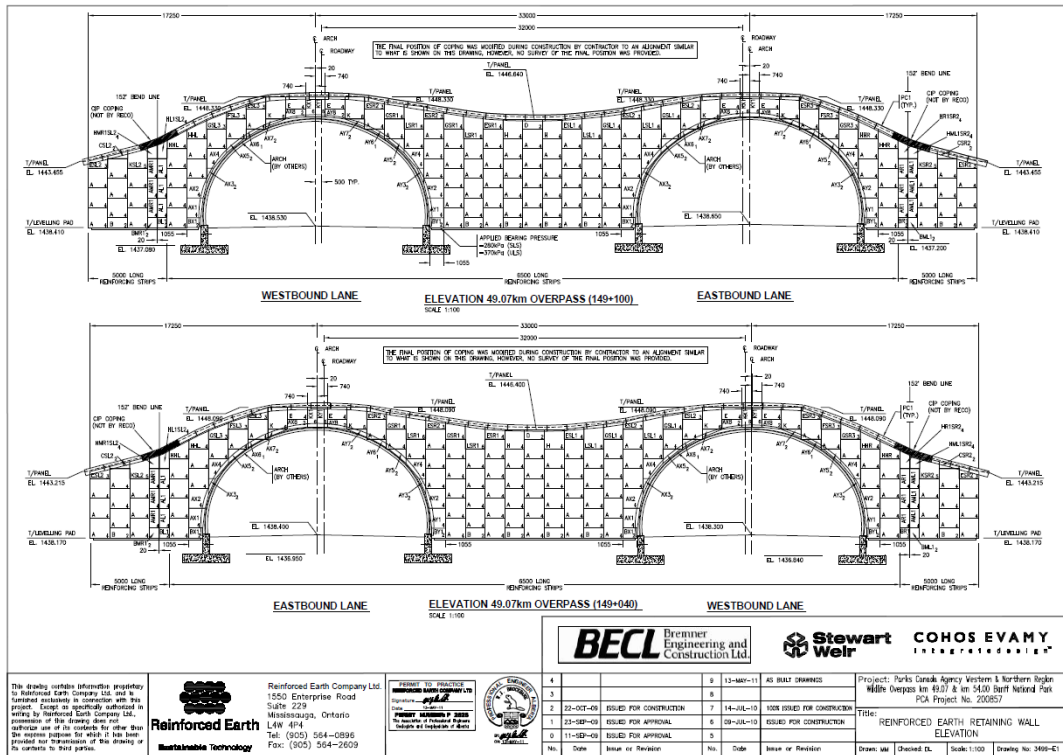


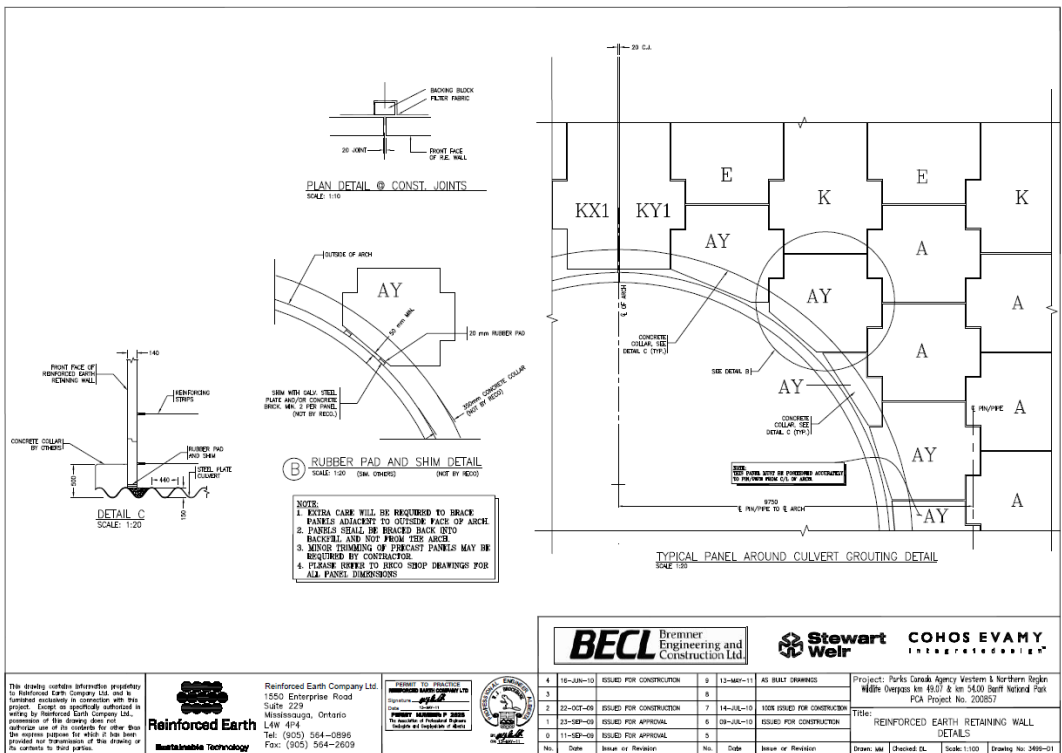
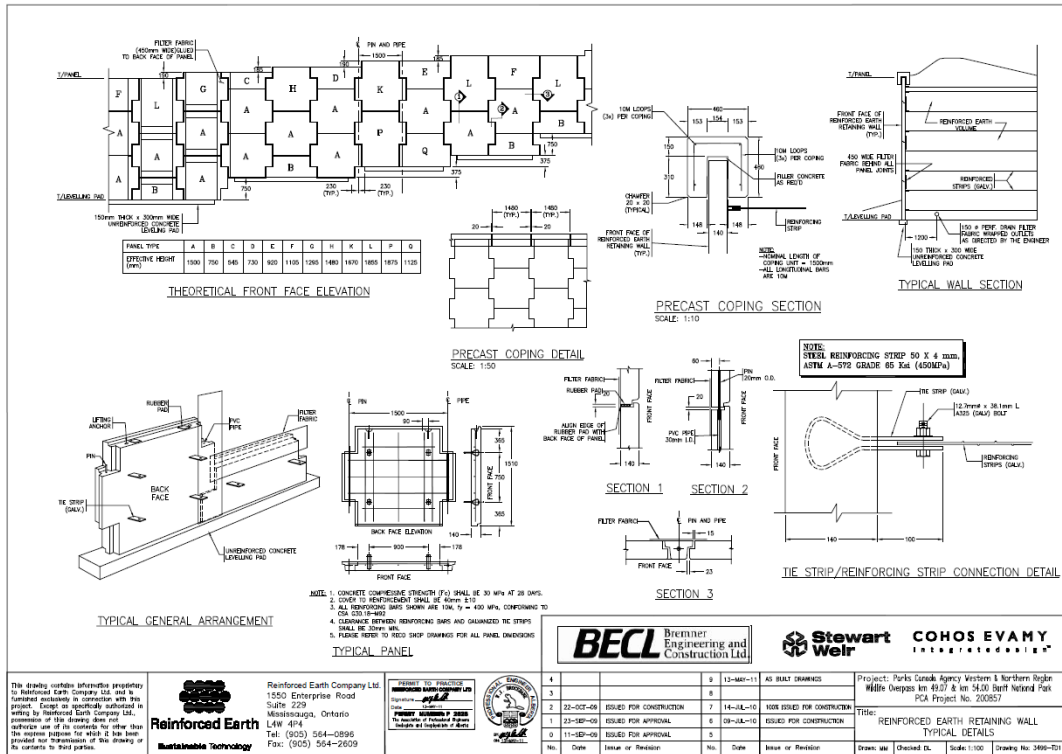


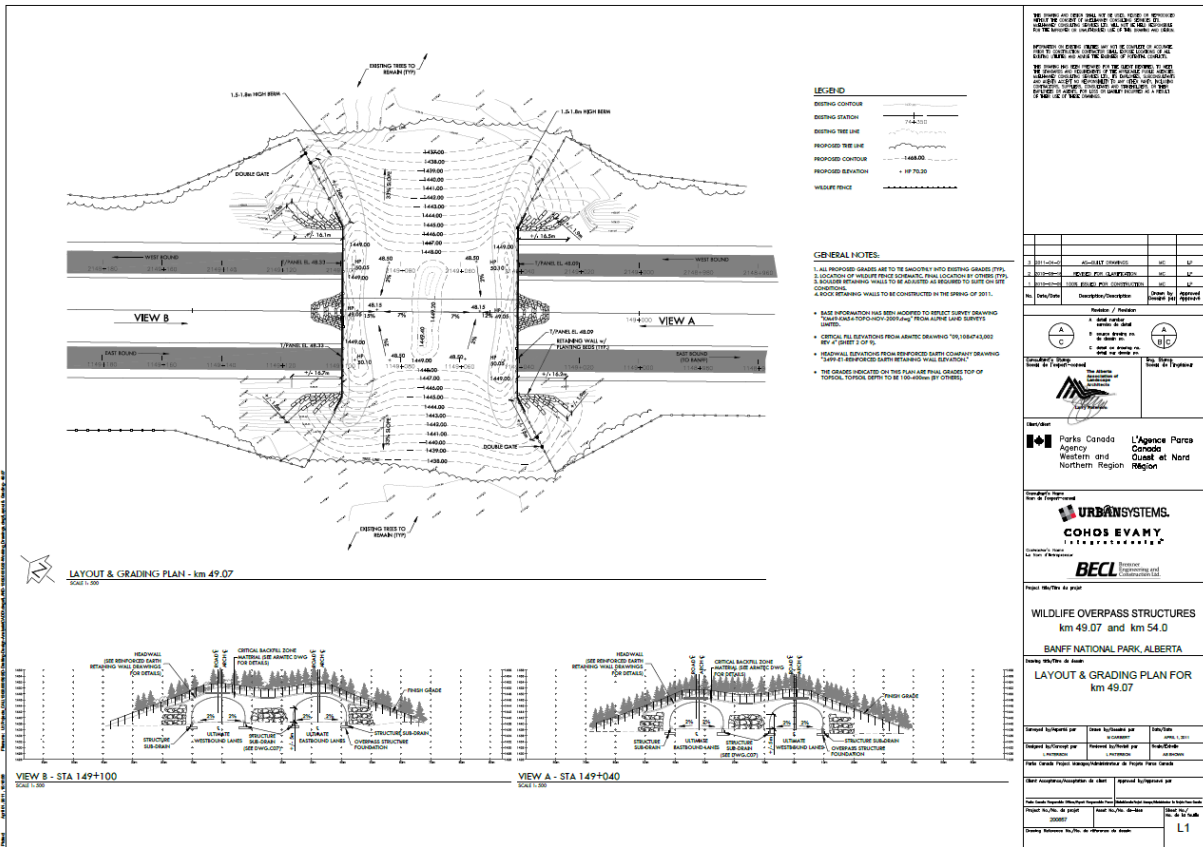












[illegible]

PLANT LIST						
ERY	COMMON NAME	BOTANICAL NAME	SIZE	SPACING	QTY	REMARKS
TREES						
1	LOGGWOOD PINE	PAUS CORFERTA 'LATOKPA'	AS SHOWN	AS SHOWN	130 @ 1.0m Ht. 130 @ 1.0m Ht. 130 @ 1.0m Ht.	LOCATE ON SITE AS DIRECTED
SHRUBS						
2	WILD ROSE	ROSA WOODSON	1.5m POT	AS SHOWN	130	CONTAINER
3	WIND BREAKER	RAEGRUS COMMUNIS	1.5m POT	AS SHOWN	250	CONTAINER
4	WIND BREAKER	LEPTOSPERMUM COMMUNE	1.5m POT	AS SHOWN	250	CONTAINER
5	BUFFAL GREEK	SPERDELLA ARGENTEA	1.5m POT	AS SHOWN	250	CONTAINER

BOULDERS & DEADFALL

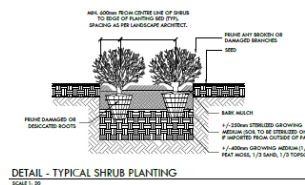
KEY	SIZE	QTY	REMARKS
Q	0.5m x 1.0m ²	35	LOCATE ON SITE AS DIRECTED
	TREES & STUMPS LOCALLY OBTAINED	18	LOCATE ON SITE AS DIRECTED

GENERAL NOTES:

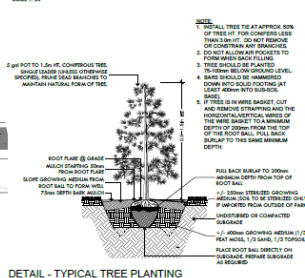
1. ALL PLANT MATERIAL SHALL BE HEREBY GUARANTEED TO BE SUITABLE TO THE STATEWIDE OF CHINA AND LAOS.
2. CONTRACTOR FIRST SHALL NOTIFY TO BE AWARDING 75days BEFORE.
3. ALL PLANTING TO BE STAKED OUT BY LANDSCAPE ARCHITECT CHASE SITE.
4. CONTRACTOR TO TAKE TREE DEAD FALLS AND TREE STUMPS AND PLACE INTO PLANTING AREAS.
5. 10% (TEN PERCENT) - 75%.
6. SEED MIX TO BE "LAKE LOUIS REGIONAL BLEND" MIX (FOR APPROVED QUALITY) AVAILABLE FROM SEETHYNGTON - PROFESSIONAL TURF PRODUCTS PHONE: 1 (800) 497-1212 FAX: 1-402-846-8266
6. PLANT MATERIALS TO BE INSTALLED BY OTHERS IN THE SPRING OF 2011.

PROPOSED SEED MIX:

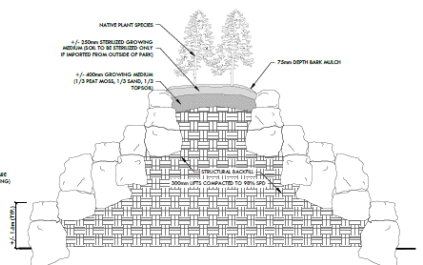
- 15% SLUDGES WHEATGRASS
15% FRINGED BROME
15% MOUNTAIN TURFED HAIRGRASS
15% POWERS BLUEGRASS
10% ROCKY MOUNTAIN FESCUE
5% JUNGGRASS
10% ALPINE BLUEGRASS
10% SPIKE TIGHTTUM
5% PERENNIAL RYEGRASS
- SEED TO BE APPLIED AT A RATE OF: 35kg PER HECTARE
(MECHANICAL) OR 70kg PER HECTARE (HYDROSEEDING)



DETAIL - TYPICAL SHRUB PLANTING
SCALE 1/8" = 1'-0"



DETAIL - TYPICAL TREE PLANTING



SECTION AA

THE DRAWING AND DESIGN SHALL NOT BE USED, EITHER IN WHOLE OR IN PART, WITHOUT THE CONSENT OF HANDBOOK CONSULTING, INC. OR ANY OF ITS SUBSIDIARIES. NO REPRODUCTION, EITHER WHOLLY OR IN PART, OF ANY OF THE DRAWINGS OR DESIGNS FOR THE PURPOSES OF COMMERCIAL USE OF ANY DRAWING AND DESIGN INFORMATION ON EXISTING PROJECTS MAY BE CONSIDERED AS VIOLATION OF THE CONTRACT. ANY VIOLATION OF ANY OF THE ABOVE SHALL BE CONSIDERED AS A BREACH OF CONTRACT.

THE DRAWING HAS BEEN PREPARED FOR THE ABOVE DESCRIBED PROJECT. IT IS THE RESPONSIBILITY OF THE USER OF THE DRAWING TO OBTAIN ALL NECESSARY PERMITS, ORDINANCES, AND REGULATIONS, AND TO OBTAIN ALL NECESSARY APPROVALS, AND TO OBTAIN ALL NECESSARY INFORMATION, INCLUDING CONSTRUCTION, SUPPLIES, CONDITIONS, AND DIMENSIONS, ON THE PROJECT. ANY VIOLATION OF ANY OF THE ABOVE SHALL BE CONSIDERED AS A BREACH OF THE CONTRACT.

No.	Date/Date	Description/Description	Drawn by Group #	Approved Signature
4	2011-04-05	40-04.7 CONCRETE	MC	MC
3	2011-03-09	REINFORCING BAR CLAMPING	MC	MC
2	2011-03-09	REINFORCING BAR CLAMPING	MC	MC
1	2011-03-09	100% REINFORCING BAR CLAMPING	MC	MC

QUESTION / QUESTION  A: total number of deals B: source dealing on dealership C: deal on dealing on deal on dealership  A: total number of deals B: source dealing on dealership C: deal on dealing on deal on dealership	
Strategic's Group Source of the Impact - source 	Strategic's Group Source of the Impact - source 

	Parks Canada Agency Western and Northern Region	L'Agence Parcs Canada Ouest et Nord Région
---	--	---

 Creator's Name
 Date of Completion

URBANSYSTEMS.
COHOS EVAMY

BECL Bechtel Engineering and Construction Ltd.

Project title/Title du projet

WILDLIFE OVERPASS STRUCTURES
1 1997 11 519

km 49.07 and km 54.0

leaving title/Titre de destination

PLANTING PLAN FOR
km 49.07

Kitt 49.97

Service/Instruments	Issue/Instruments	Info/Date
---------------------	-------------------	-----------

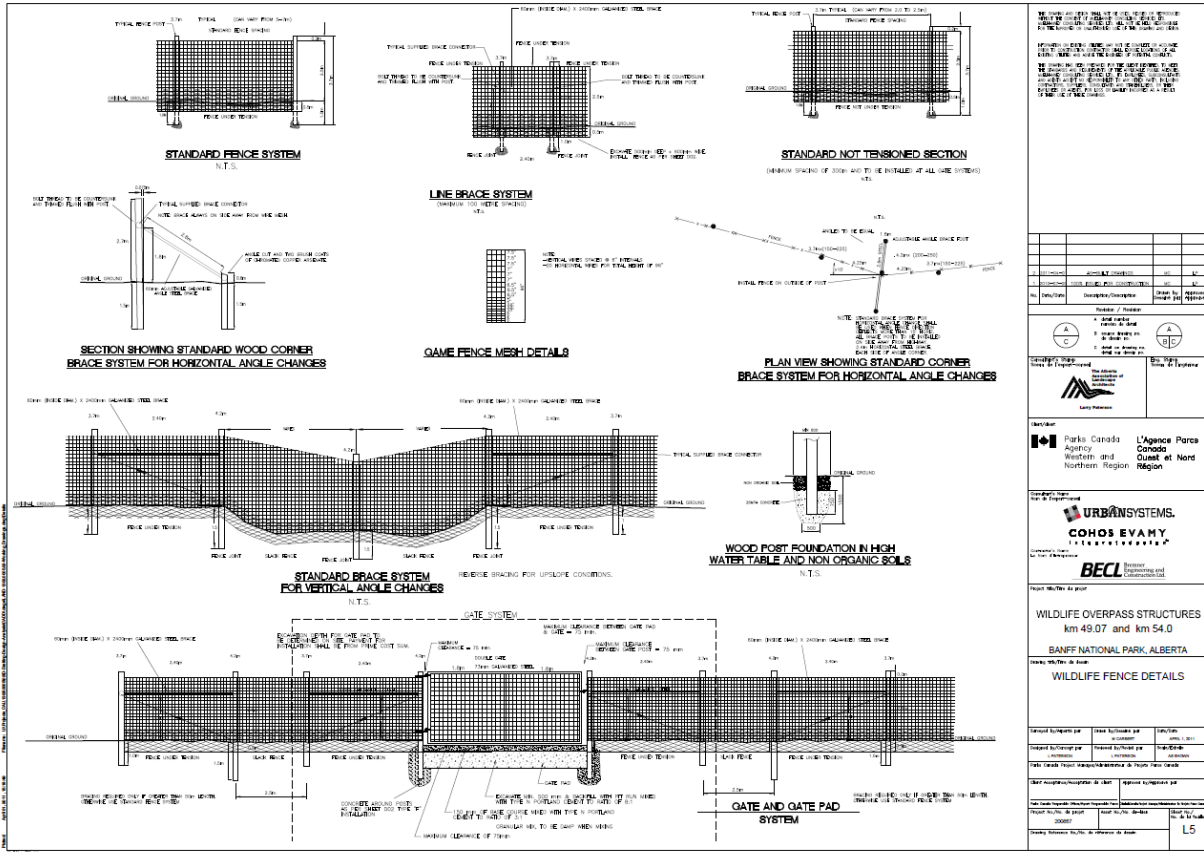
Developed by/Concept per	Reviewed by/Noted per	Date/Date due
--------------------------	-----------------------	---------------

L. PATRIMONIO	L. PATRIMONIO	AL. INVENTARIO
Fondo Canada Project Mapas/Administrativa de Papeles Fondo Canada		

Chargé acceptation/acceptation de client	Approuvé α_2 /Approuvé par
--	-----------------------------------

Fiche Exemple Responsable Officiel/Responsable Technique		Identification/Objet Groupe/Ministère de la Santé	
Projet No./No. de projet	Année No./No. de l'année	Libre No./No. de l'année	

200857		
Drawing Reference No./No. de référence du dessin		L3



THE FENCE AND GATE SHALL BE CONSTRUCTED AND MAINTAINED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND STANDARDS SET FORTH IN THE DRAWING. THE FENCE SHALL BE MAINTAINED IN A STATE OF GOOD REPAIR AT ALL TIMES.

THE FENCE SHALL BE CONSTRUCTED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND STANDARDS SET FORTH IN THE DRAWING. THE FENCE SHALL BE MAINTAINED IN A STATE OF GOOD REPAIR AT ALL TIMES.

THE FENCE SHALL BE CONSTRUCTED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND STANDARDS SET FORTH IN THE DRAWING. THE FENCE SHALL BE MAINTAINED IN A STATE OF GOOD REPAIR AT ALL TIMES.

THE FENCE SHALL BE CONSTRUCTED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND STANDARDS SET FORTH IN THE DRAWING. THE FENCE SHALL BE MAINTAINED IN A STATE OF GOOD REPAIR AT ALL TIMES.

THE FENCE SHALL BE CONSTRUCTED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND STANDARDS SET FORTH IN THE DRAWING. THE FENCE SHALL BE MAINTAINED IN A STATE OF GOOD REPAIR AT ALL TIMES.

THE FENCE SHALL BE CONSTRUCTED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND STANDARDS SET FORTH IN THE DRAWING. THE FENCE SHALL BE MAINTAINED IN A STATE OF GOOD REPAIR AT ALL TIMES.

THE FENCE SHALL BE CONSTRUCTED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND STANDARDS SET FORTH IN THE DRAWING. THE FENCE SHALL BE MAINTAINED IN A STATE OF GOOD REPAIR AT ALL TIMES.

THE FENCE SHALL BE CONSTRUCTED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND STANDARDS SET FORTH IN THE DRAWING. THE FENCE SHALL BE MAINTAINED IN A STATE OF GOOD REPAIR AT ALL TIMES.

THE FENCE SHALL BE CONSTRUCTED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND STANDARDS SET FORTH IN THE DRAWING. THE FENCE SHALL BE MAINTAINED IN A STATE OF GOOD REPAIR AT ALL TIMES.

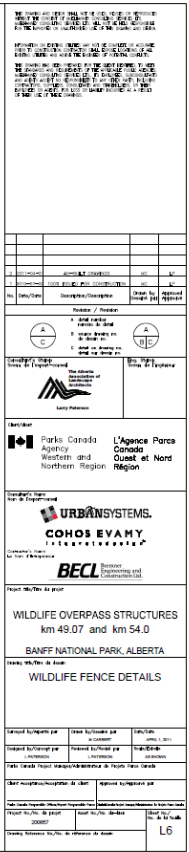
THE FENCE SHALL BE CONSTRUCTED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND STANDARDS SET FORTH IN THE DRAWING. THE FENCE SHALL BE MAINTAINED IN A STATE OF GOOD REPAIR AT ALL TIMES.

THE FENCE SHALL BE CONSTRUCTED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND STANDARDS SET FORTH IN THE DRAWING. THE FENCE SHALL BE MAINTAINED IN A STATE OF GOOD REPAIR AT ALL TIMES.

THE FENCE SHALL BE CONSTRUCTED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND STANDARDS SET FORTH IN THE DRAWING. THE FENCE SHALL BE MAINTAINED IN A STATE OF GOOD REPAIR AT ALL TIMES.

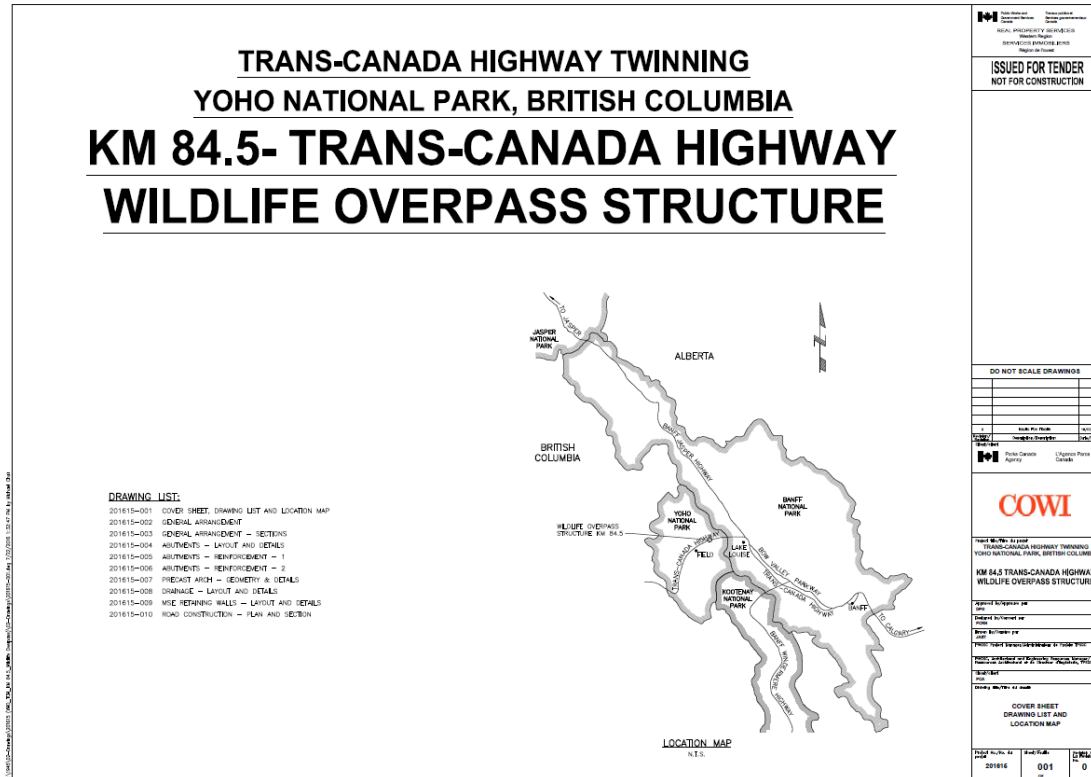
THE FENCE SHALL BE CONSTRUCTED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND STANDARDS SET FORTH IN THE DRAWING. THE FENCE SHALL BE MAINTAINED IN A STATE OF GOOD REPAIR AT ALL TIMES.

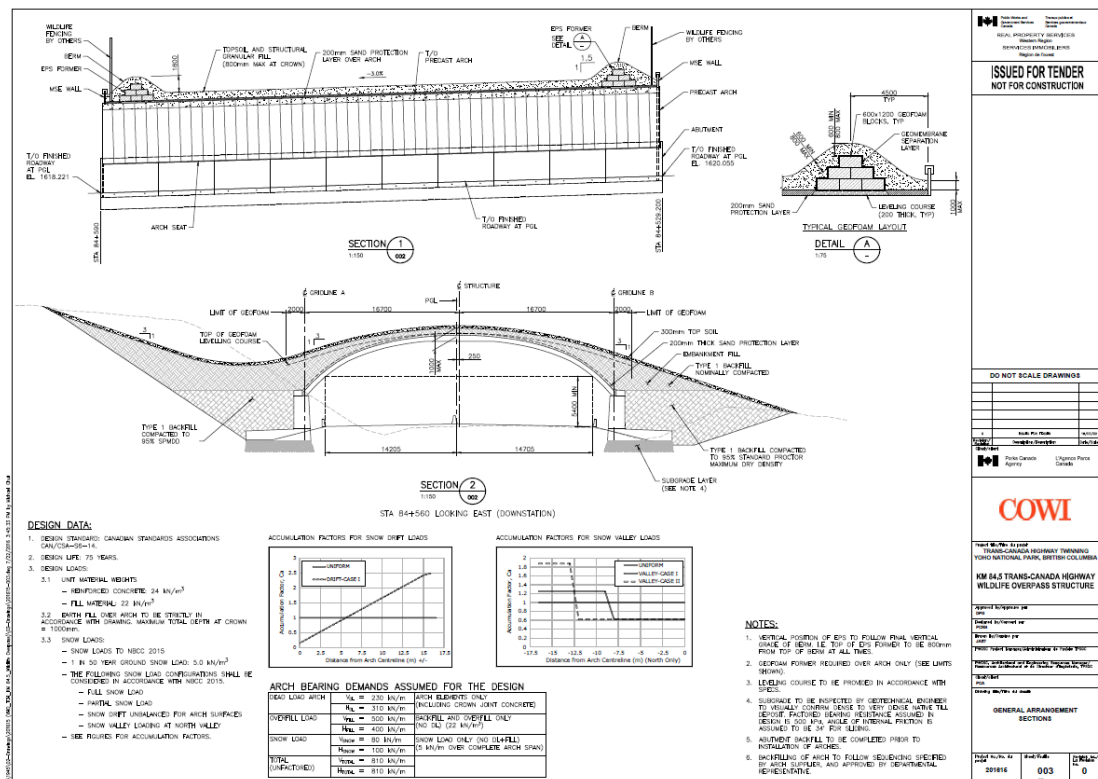
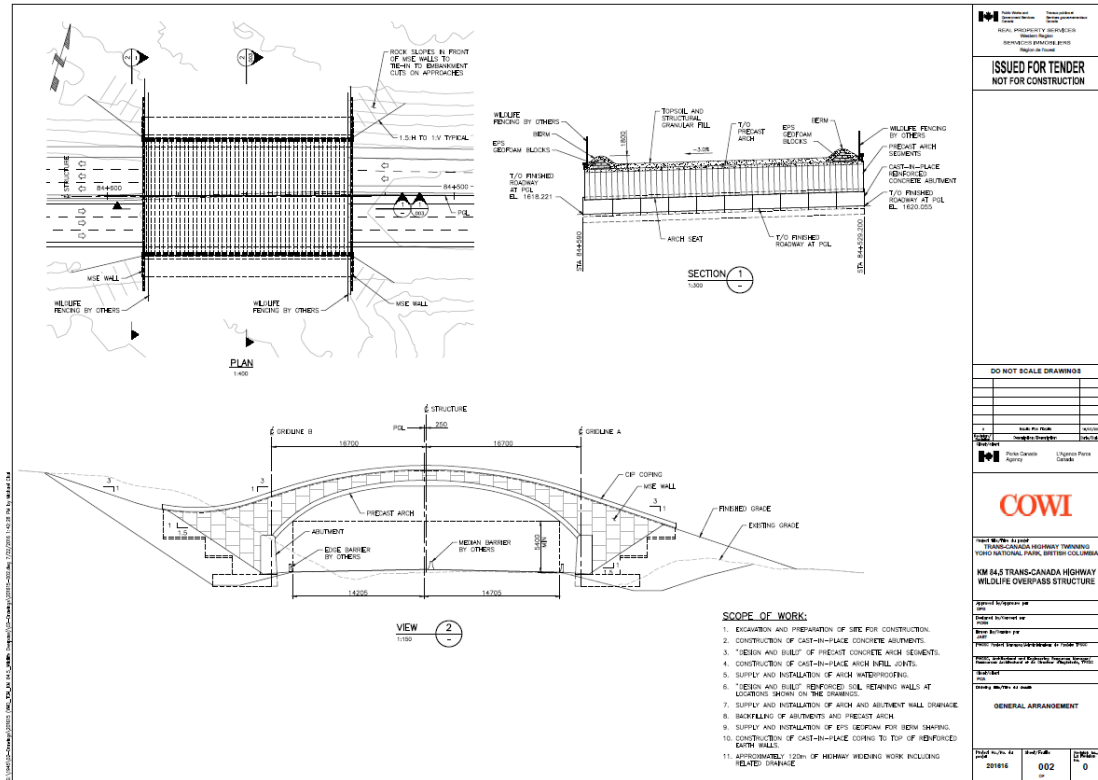
THE FENCE SHALL BE CONSTRUCTED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATIONS AND STANDARDS SET FORTH IN THE DRAWING. THE FENCE SHALL BE MAINTAINED IN A STATE OF GOOD REPAIR AT ALL TIMES.

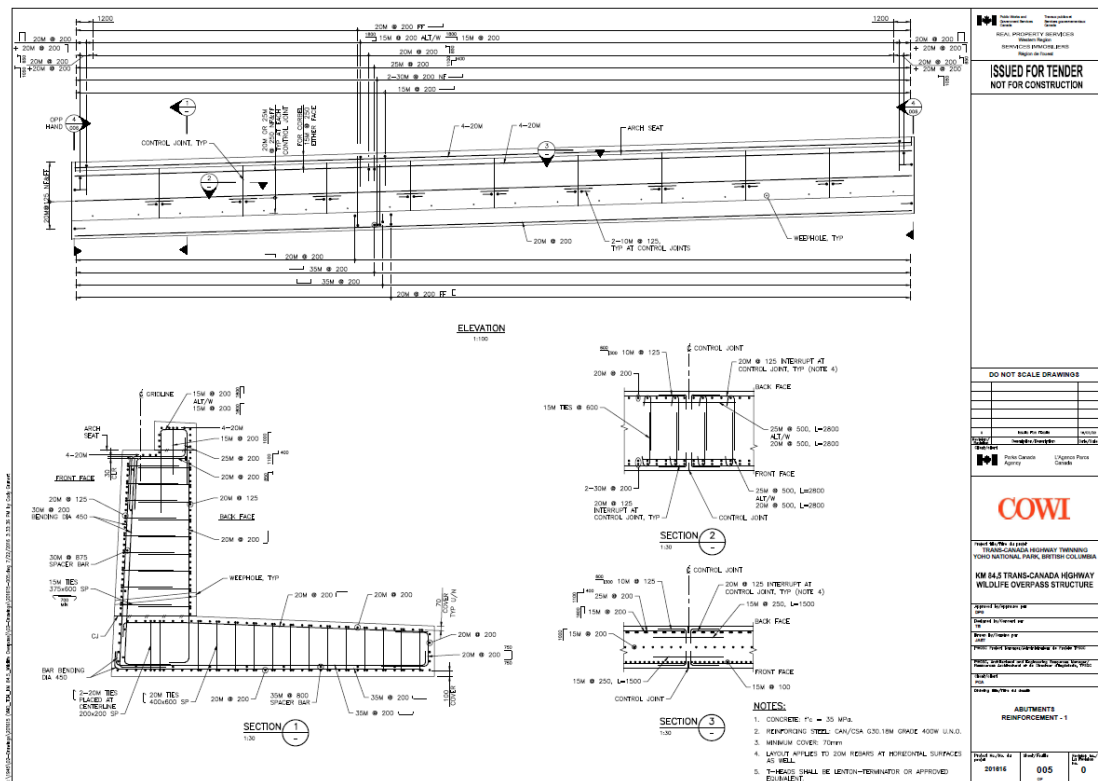
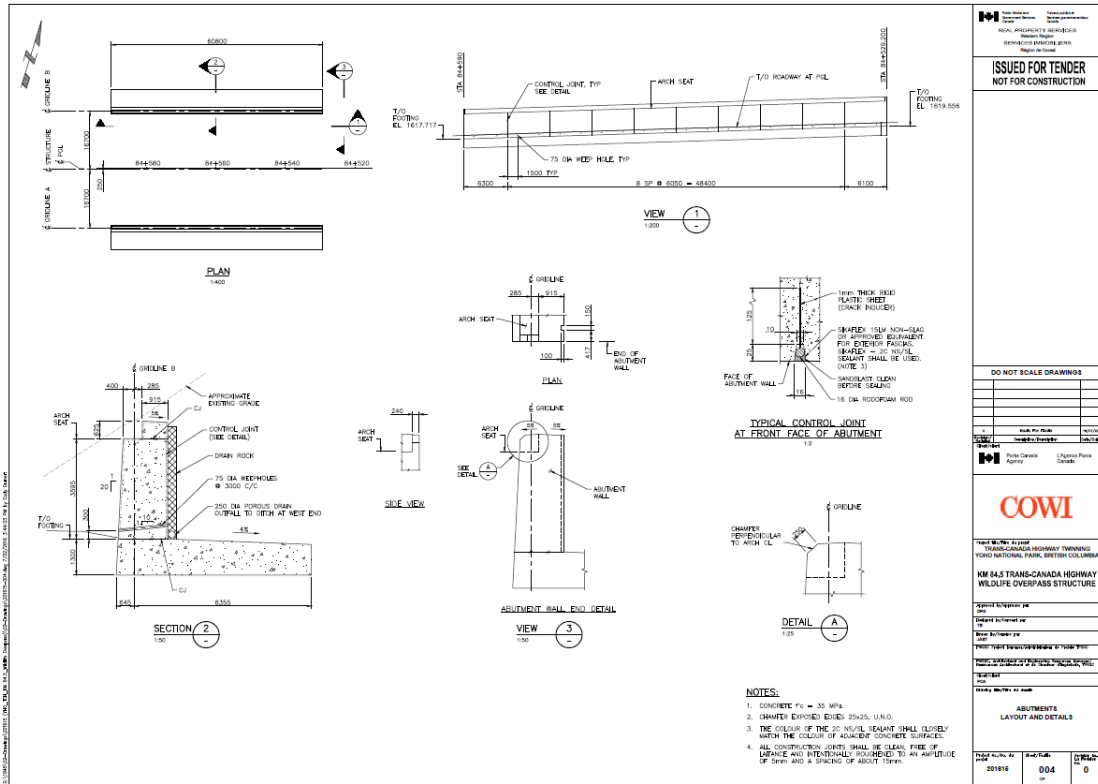


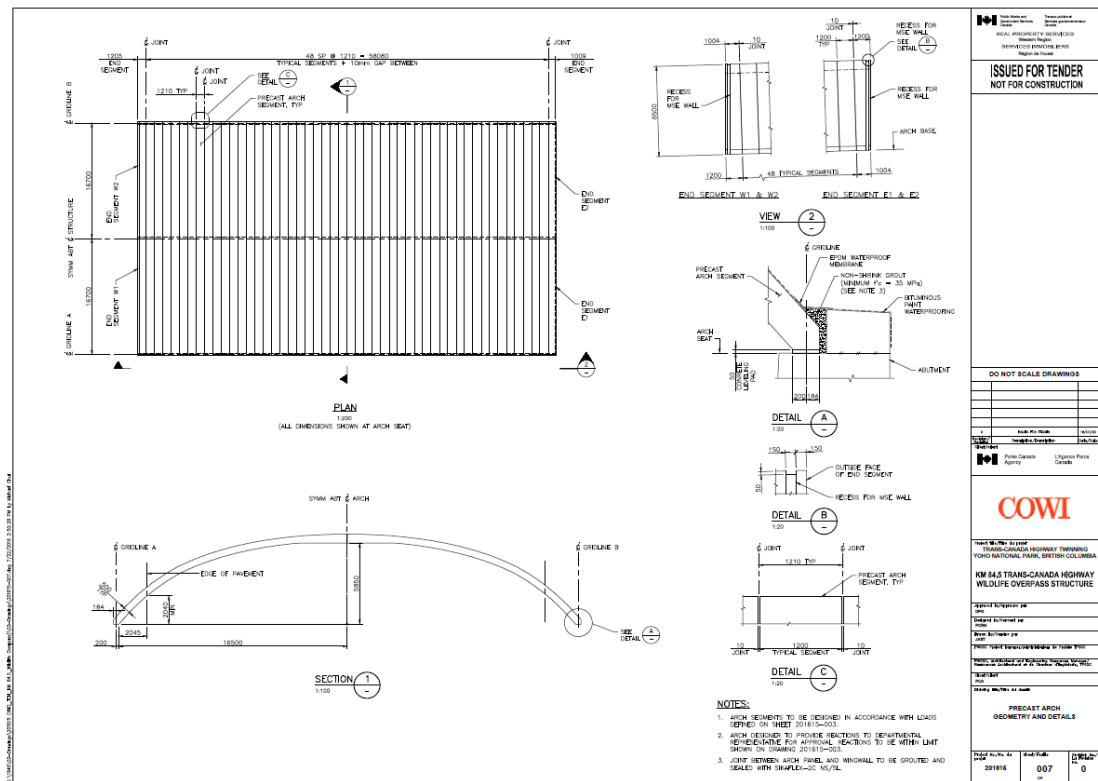
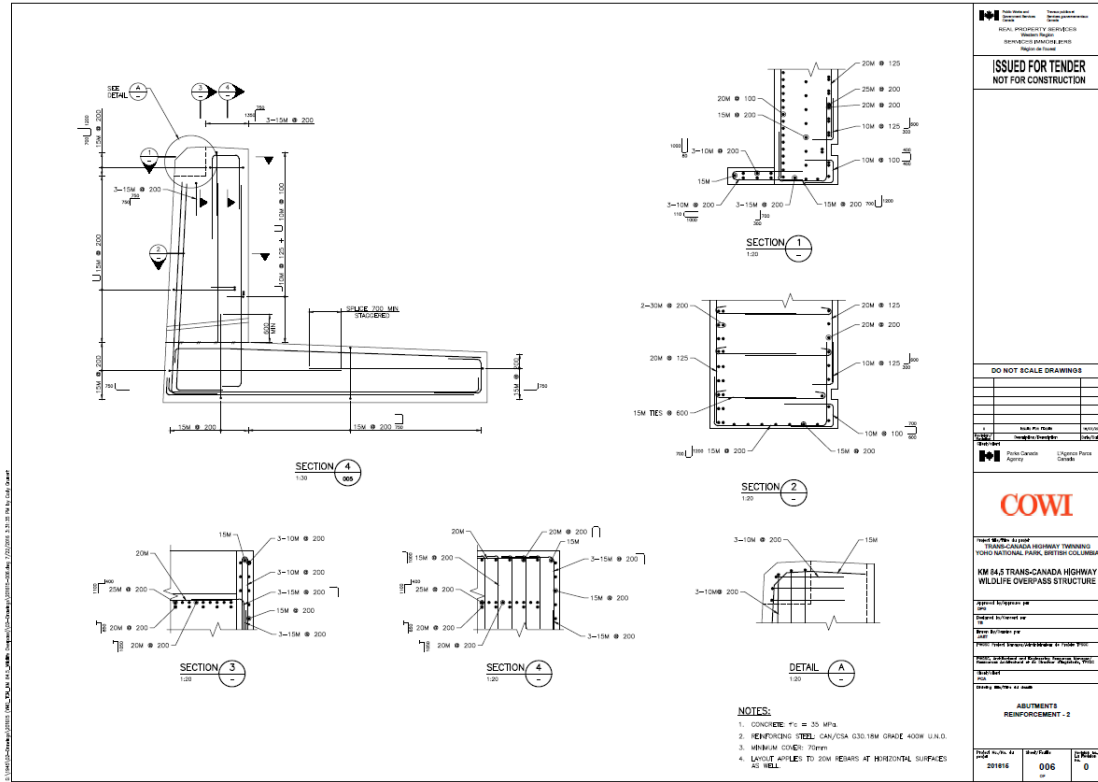
Passage supérieur dans le parc national de Yoho

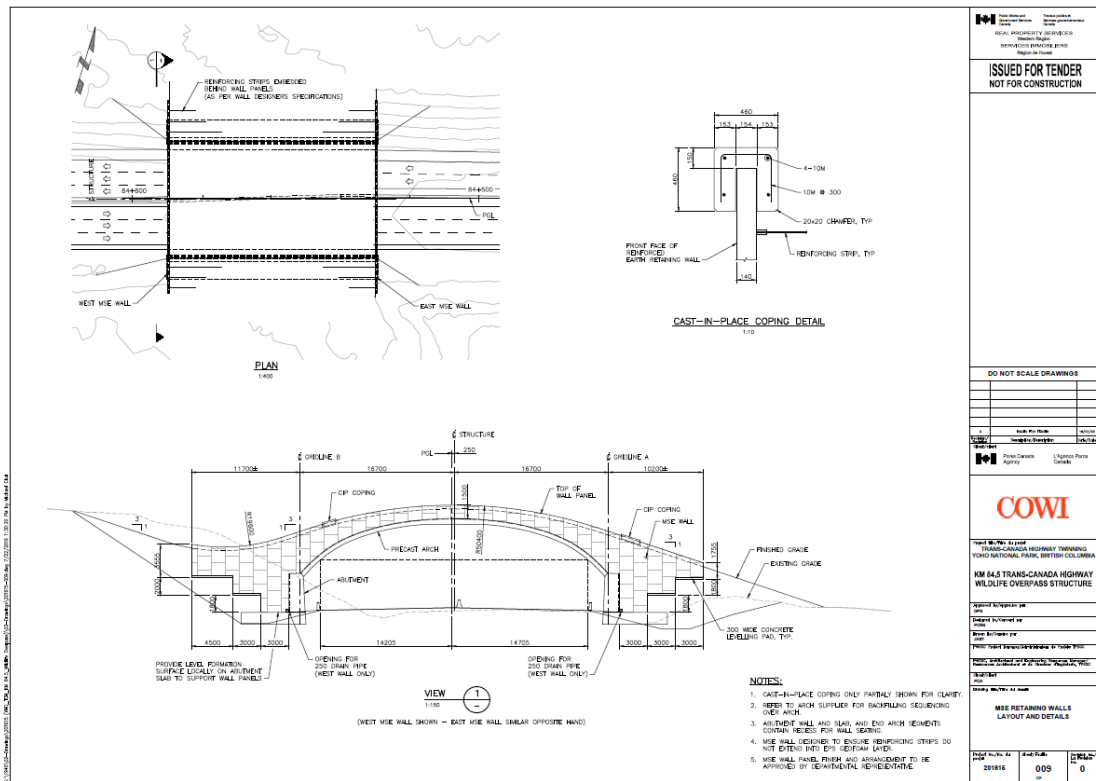
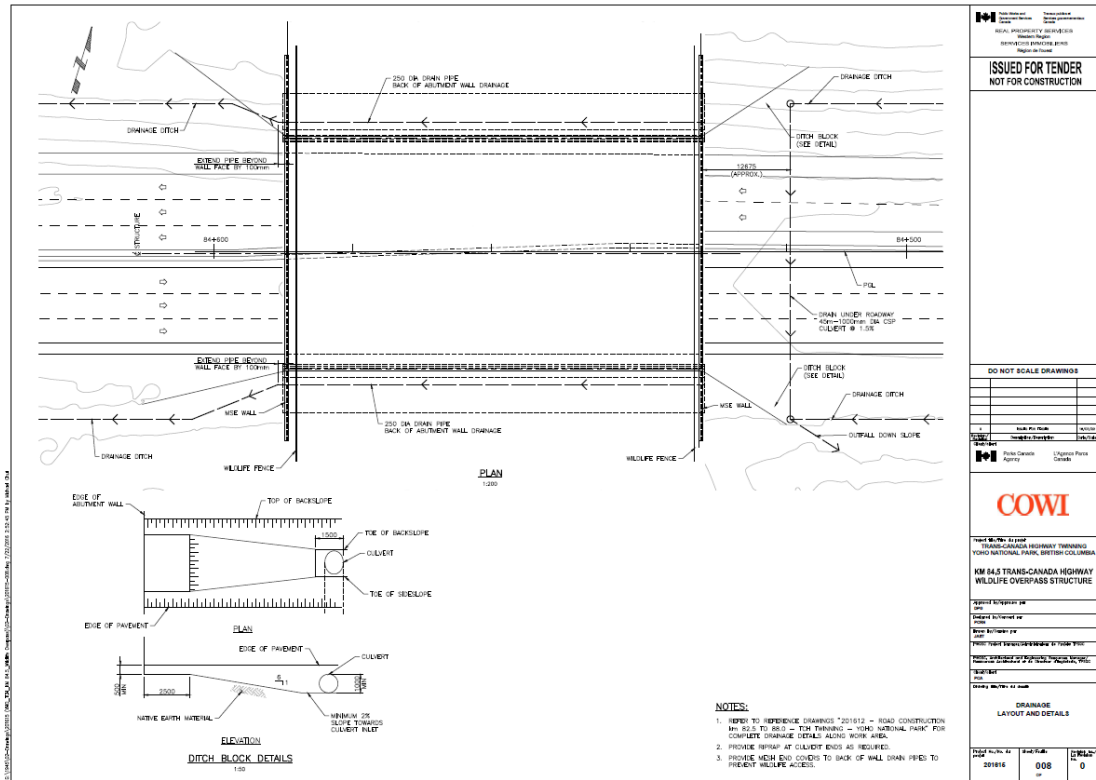
Un autre exemple de passage faunique supérieur dans le parc National de Yoho, construit en 2017, le plus récent construit par Parc Canada, est également disponible. Il permet la traversée de 6 voies de l'autoroute transcanadienne sous une seule arche, au km 84.5. (T. Kinley, communication personnelle, 23 novembre 2021; McNutt, 2020) :

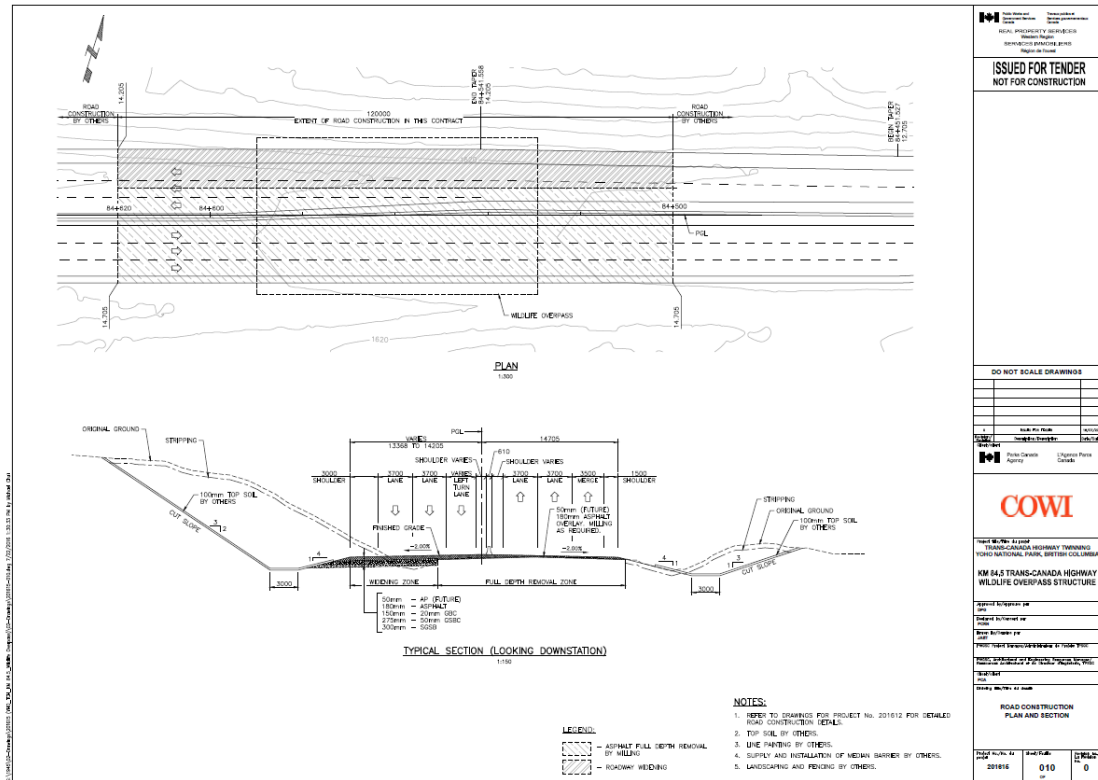








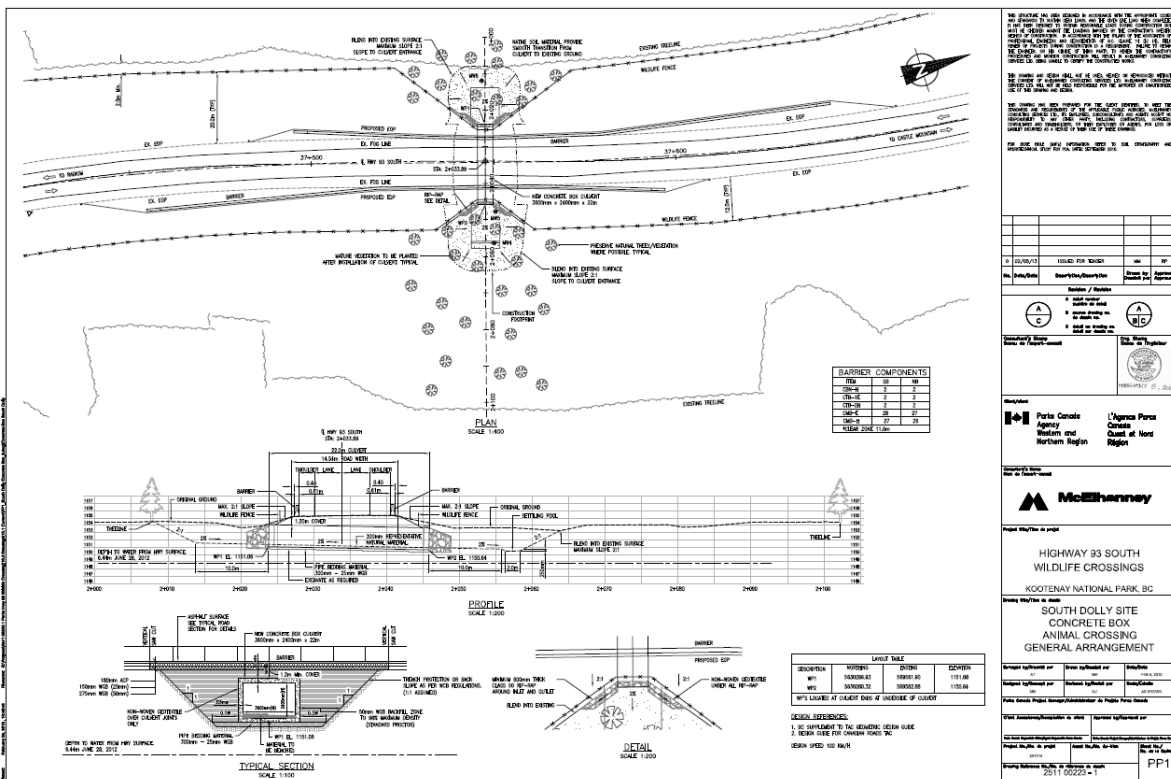
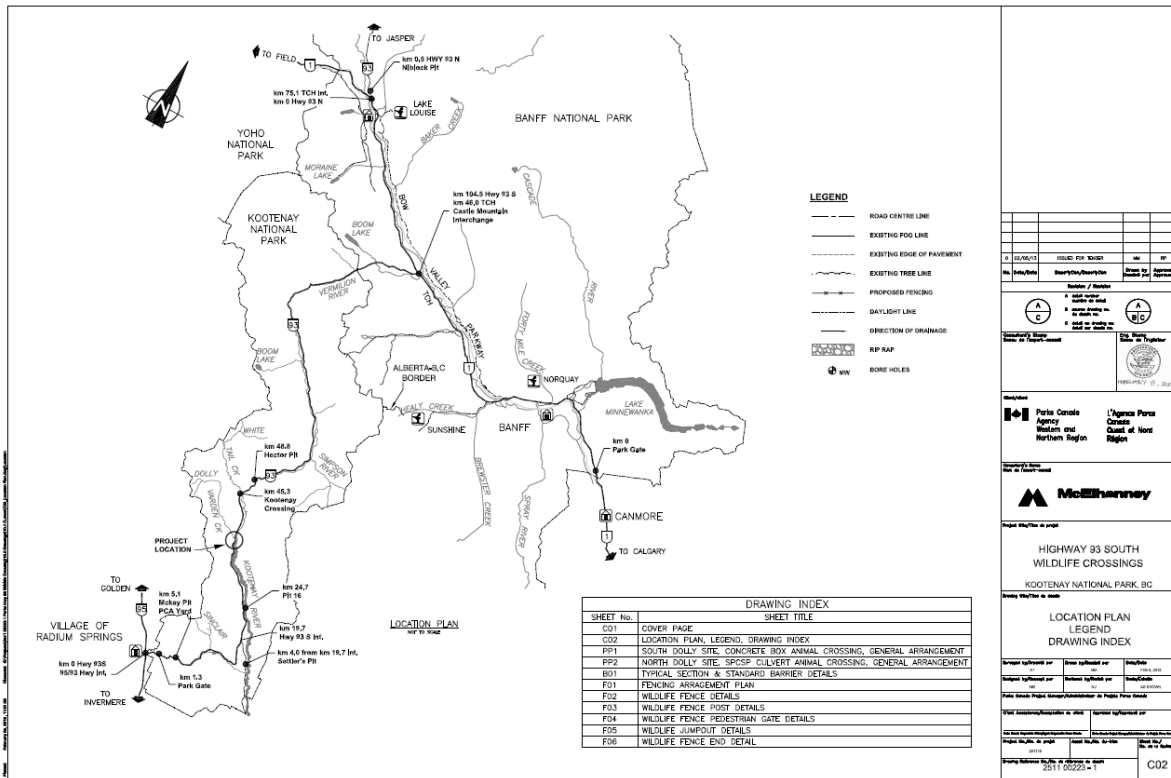


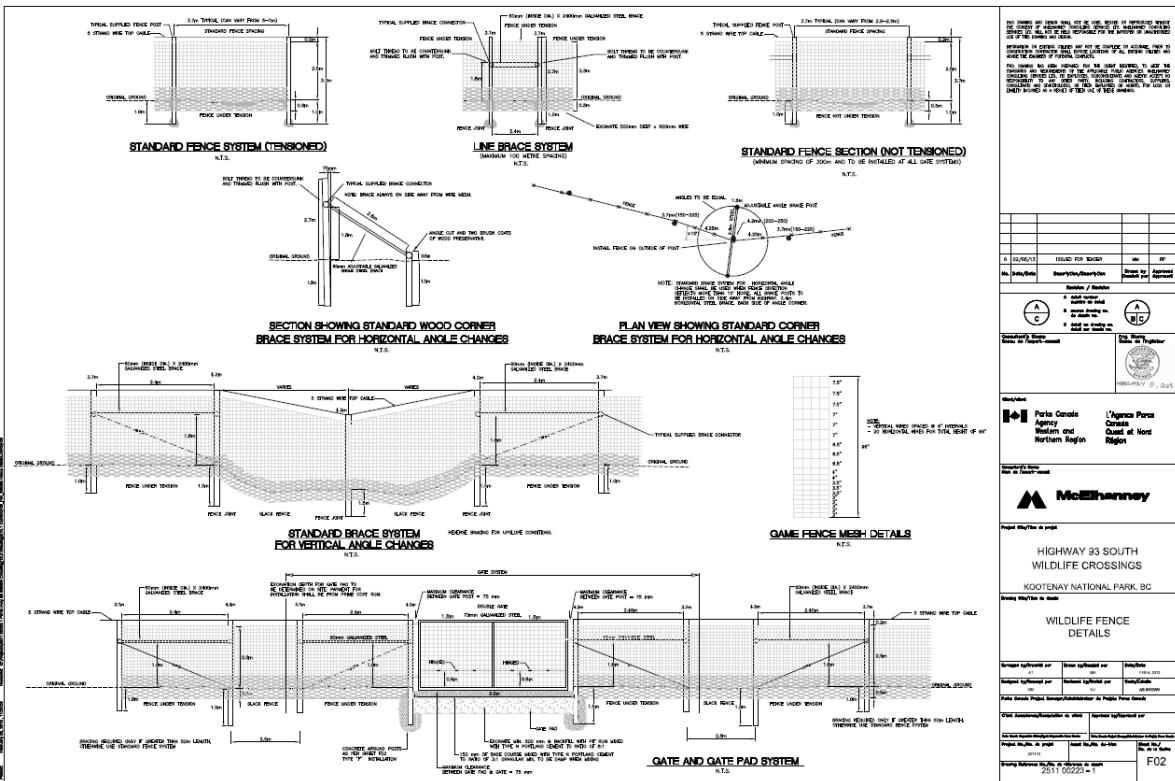
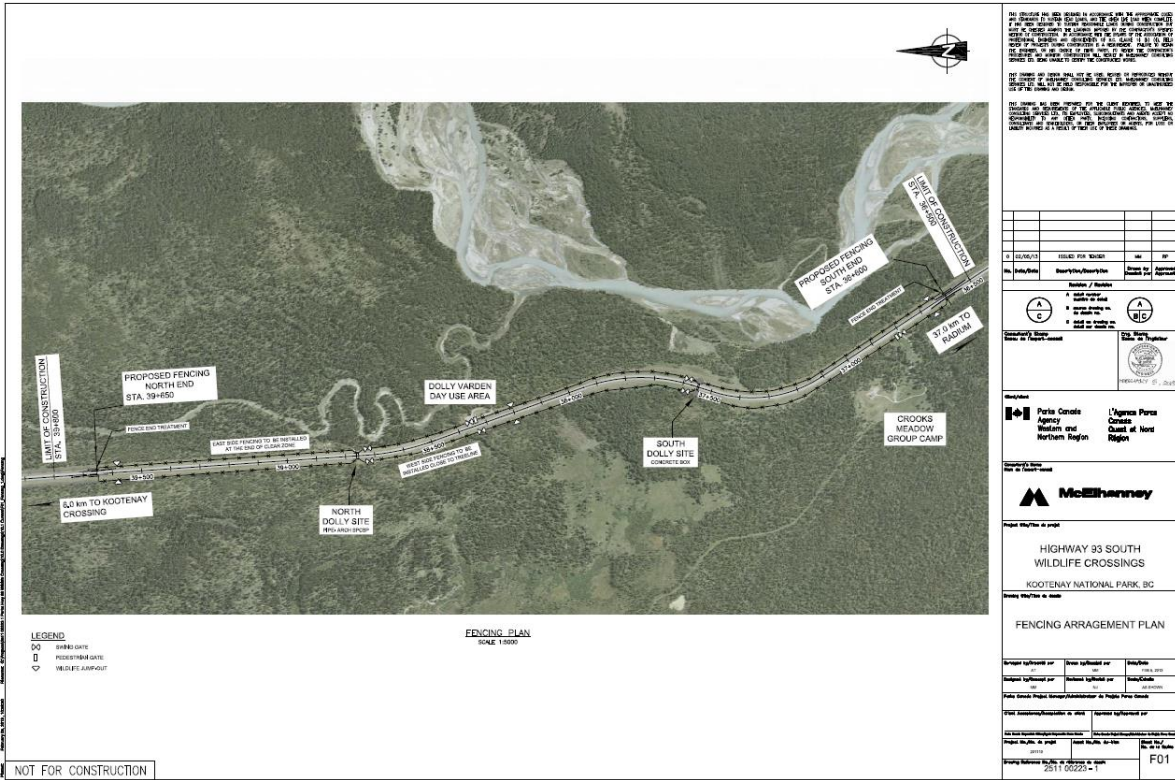


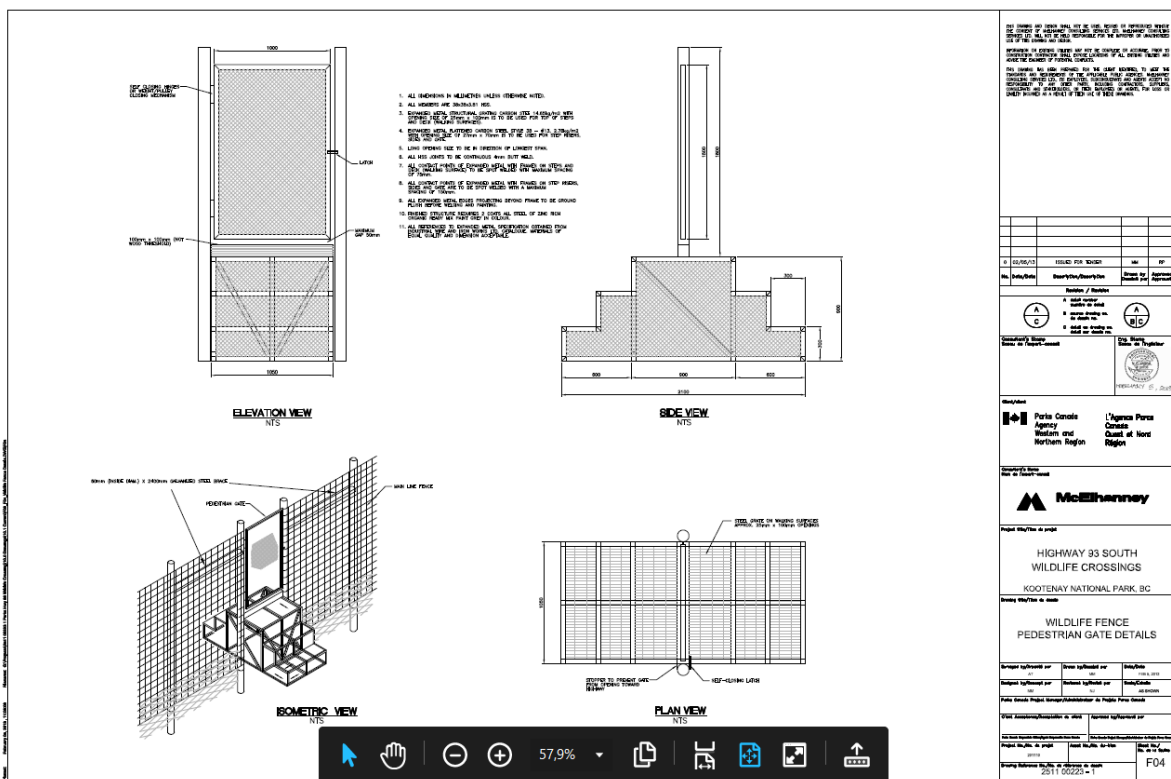
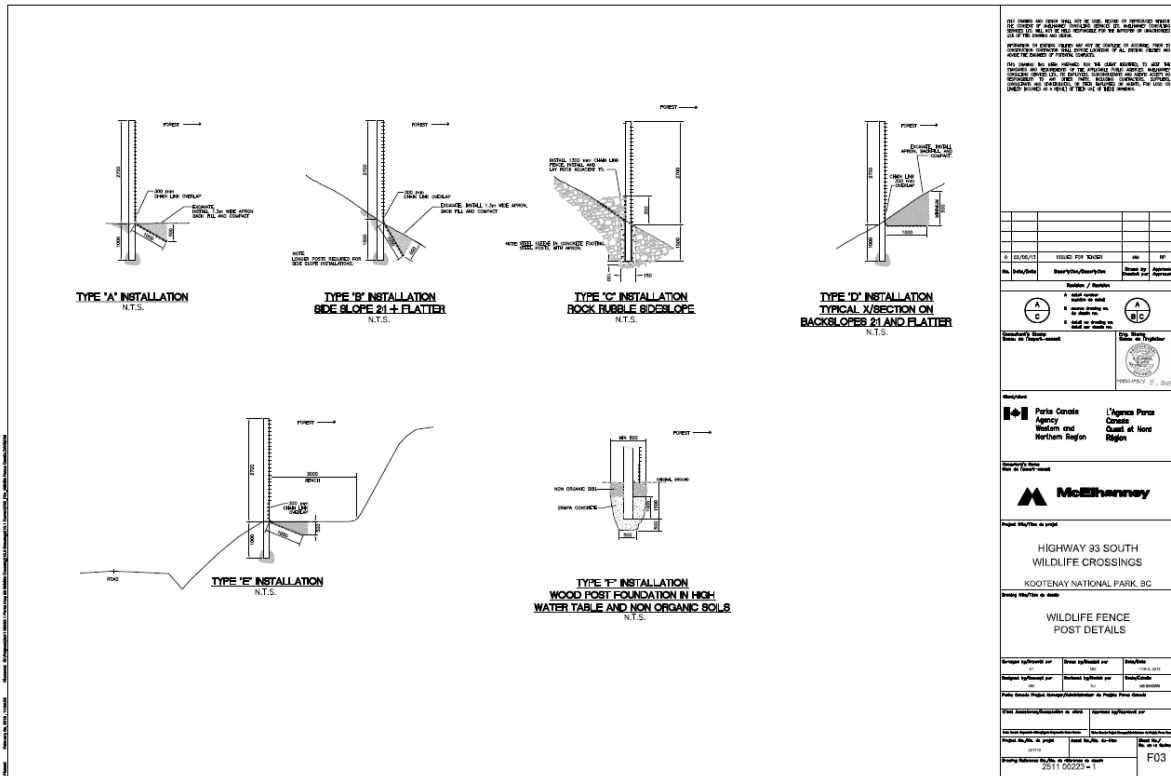
Passage inférieur dans le parc national de Kootenay

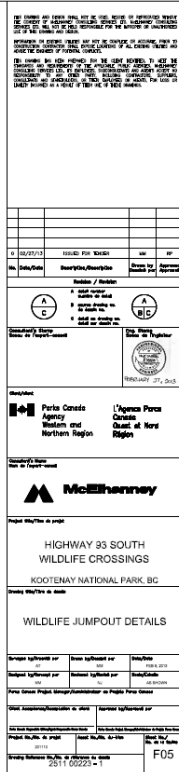
Les plans généraux pour la construction de deux types de passages fauniques inférieurs pour la grande faune sur l'autoroute 93 à Kootenay, comprenant 2 voies, nous ont également été partagés. Ces deux types de passages ont été construits à quelques reprises depuis 2013. Le premier type est un ponceau rectangulaire de béton de 3.6 m de large x 2.4 m de haut. Le second est un tuyau de forme elliptique en acier ondulé de 7 m de large x 4 m de haut. (T. Kinley, communication personnelle, 23 novembre 2021) Les plans de ces passages sont présentés ici :

 McElhanney for / pour	
	Parks Canada Agency Western and Northern Region
	L'Agence Parcs Canada Ouest et Nord Région
WILDLIFE CROSSINGS	
HIGHWAY 93 SOUTH KOOTENAY NATIONAL PARK, BC	
ISSUED FOR TENDER	
PROJECT No. 201110	FEBRUARY 2013
C01	









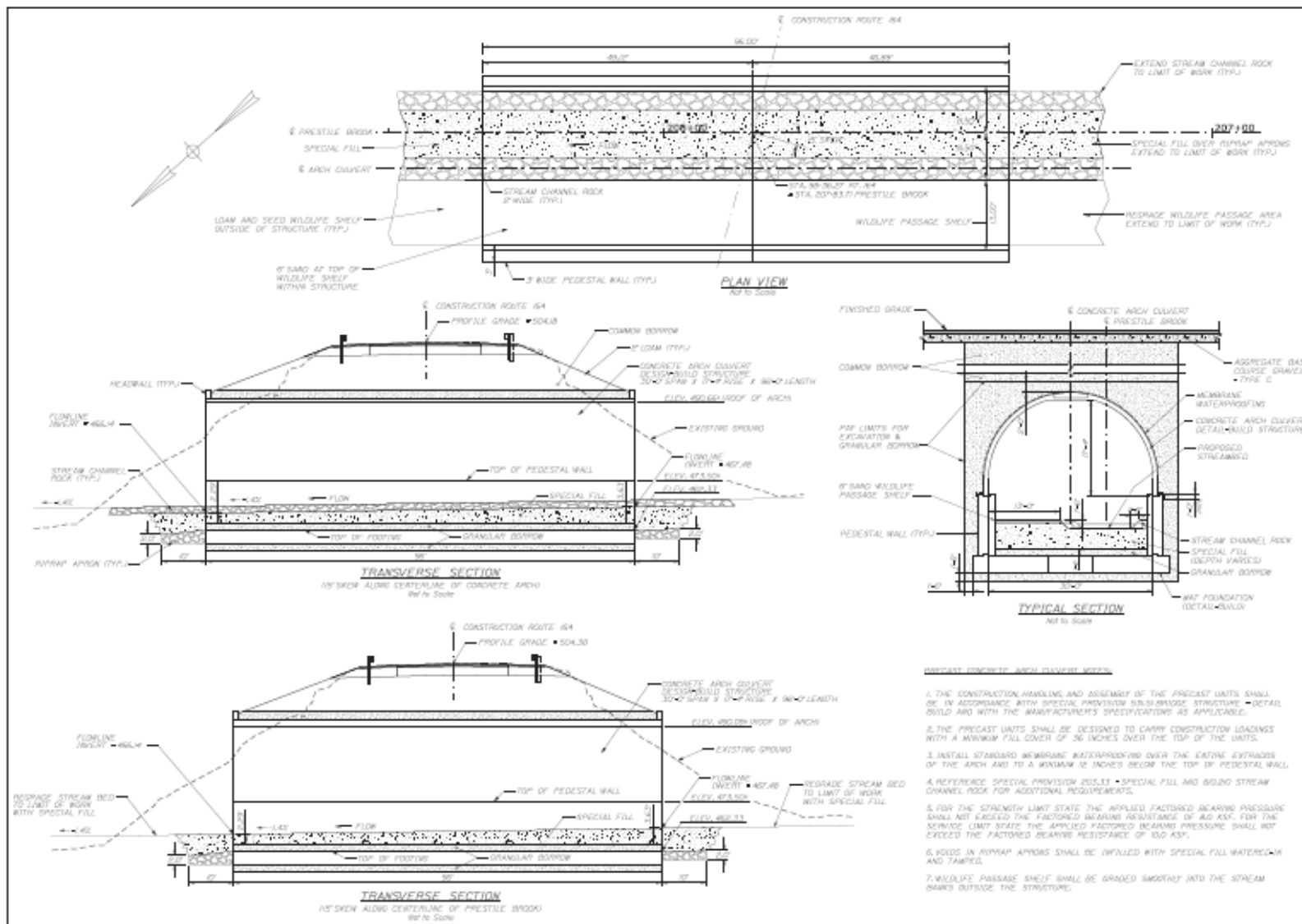
Estimation des coûts

La construction de chacun des passages fauniques supérieurs est estimée à environ 6.5M \$, en excluant les frais de conception et de supervision. Si on souhaite également estimer ces frais, il faut prévoir une augmentation approximative de 15 % des coûts. Cependant, les coûts de construction de passages fauniques peuvent difficilement être généralisés puisqu'ils sont influencés par plusieurs facteurs. Le lieu des travaux et la situation économique sont des exemples de facteurs qui auront une influence. (T. Kinley, communication personnelle, 23 novembre 2021)

Pour ce qui est des passages fauniques inférieurs, les coûts sont généralement inférieurs à ceux des passages fauniques supérieurs. Ils seront influencés par différents facteurs tels que les dimensions et le design du passage. Pour un passage faunique inférieur similaire à celui du parc national de Kootenay en acier ondulé dont les plans furent présentés (7 m de largeur, 4 m de hauteur et traversant une route à 2 voies), l'estimation des coûts est d'environ 900 000 \$. (T. Kinley, communication personnelle, 23 novembre 2021)

Exemple 3 – Département des transports du Maine (Richard Bostwick)

Dans l'état du Maine, aux États-Unis, des passages fauniques inférieurs ont été aménagés de façon coordonnée avec la réalisation de travaux sur les infrastructures existantes. En exemple est donnée l'ébauche des plans d'un ponceau dans la ville de Caribou, sous la route 164, en forme d'arche comportant une tablette. L'estimation des coûts pour la construction de ce passage n'était pas disponible. (R. Bostwick, communication personnelle, 22 novembre 2021)



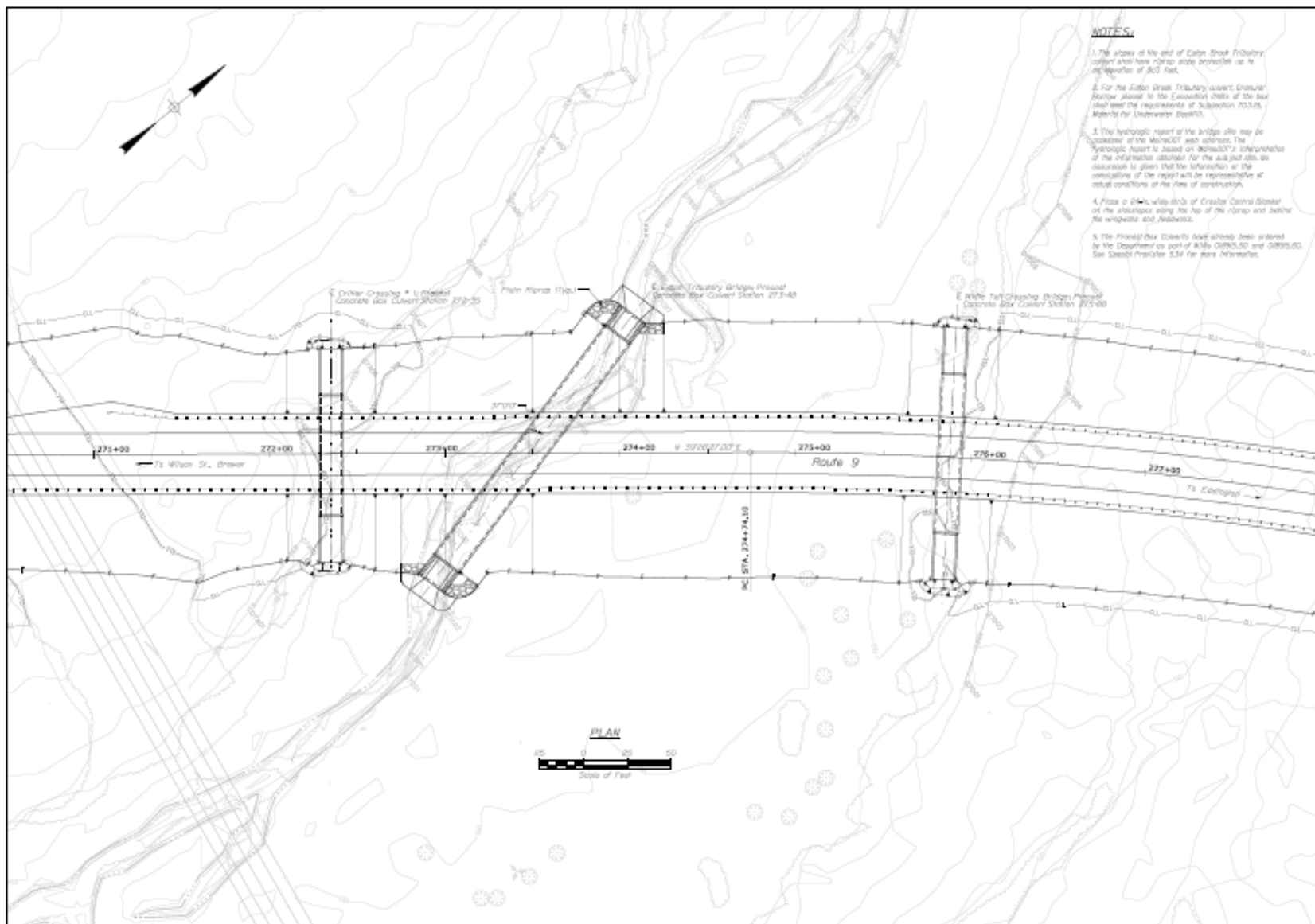
STATE OF MAINE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION		VHb VOLUME 100.000 03/2014	
CARIBOU HILL BRIDGE		ARCH CULVERT DETAILS	
SHEET NUMBER		4	
		OF 21	

De plus, des considérations pour la faune ont été intégrées lors de la conception d'une nouvelle autoroute dans le comté de Penobscot. Les coûts d'aménagement de ces passages sont donc difficiles à estimer, étant intégrés à ceux du projet. Les plans suivants présentent des exemples de passages inférieurs pour la grande faune et d'aménagements fauniques lors de la construction d'un pont. (R. Bostwick, communication personnelle, 22 novembre 2021)

Date: 01/14/2021

Drawn: [unclear]

Project: I-395/Route 9 Connector B12



NOTES:

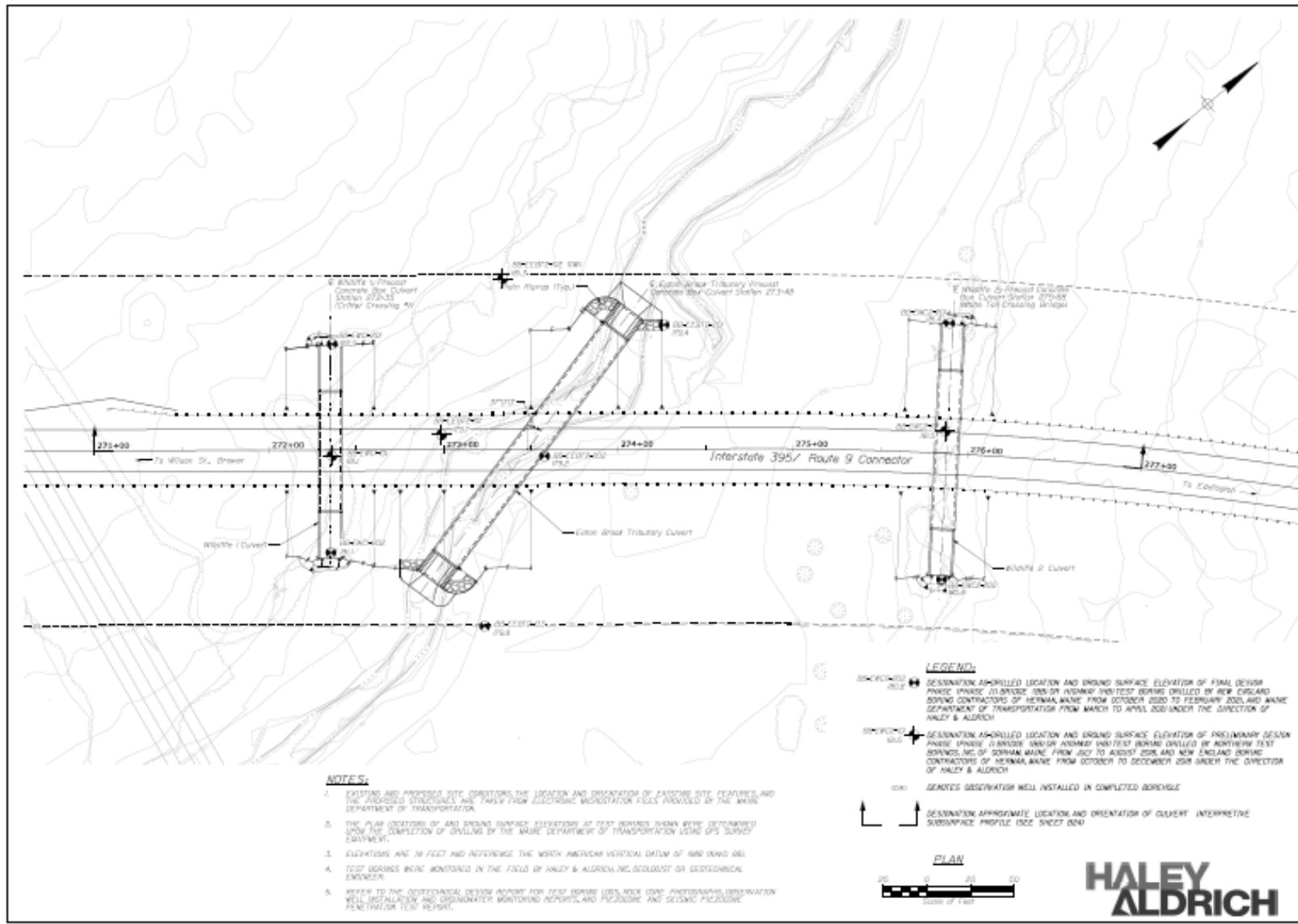
1. The slopes at the end of Eddington Tributary Culvert shall have a 10:1 slope protected up to a height of 3.0 feet.
2. For the Eddington Tributary Culvert, Gravel Armor placed to the Eddington side of the culvert shall meet the requirements of Subsection 703.05, Material for Underwater Work.
3. The hydraulic report at the bridge site may be considered at the MainDOT web address. The hydraulic report is based on 100-year return period of the information provided for the subject site. An assurance is given that the information in the calculations of the report will be representative of actual conditions at the time of construction.
4. Plans of the culverts and of the bridge shall be on the drawings along the top of the culvert and below the bridge and the bridge.
5. The proposed Culvert has already been ordered by the Department as part of 818a 0000.50 and 0000.50. See Special Provision 5.34 for more information.

STATE OF MAINE	
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION	
1001500	1001500
WIN	01001500
01001500	01001500
Brewer - Eddington I-395/Route 9 Connector	
Plan - Station 272+36 through 275+89	
SHEET NUMBER	
B21	

Scale 1/8" = 100'

Unimproved

Improve to 1200' (20' W) - 1200' (20' W) - 1200' (20' W)



STATE OF MAINE	
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION	
1651000	
WM	0165100
0165100	0165100
I-95/ROUTE 9 CONNECTOR	
CULVERTS LOCATED BETWEEN STATION 271+00 AND 275+00	
HENDERSONVILLE, PENOBSCOT COUNTY	
SITE AND SUBSURFACE EXPLORATION LOCATION PLAN	
SHEET NUMBER	
B23	

