

Développement d'une méthode d'analyse de la circulation des
cyclistes sur l'accotement revêtu des autoroutes au Canada et
aux États-Unis

par

Félix-Antoine TREMBLAY

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE
LA MAÎTRISE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
M. Sc. A.

MONTRÉAL, LE 6 FÉVRIER 2024

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Félix-Antoine Tremblay, 2024



Cette licence [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

PRÉSENTATION DU JURY

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

Mme Michèle St-Jacques, directrice de mémoire
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Amar Khaled, président du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Yannic Éthier, membre du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 24 JANVIER 2024

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à souligner l'apport de ma professeure Michèle St-Jacques qui m'a encouragé à poursuivre des études aux cycles supérieurs et qui m'a appuyé tant d'un point de vue administratif que rédactionnel tout au long des démarches qui ont mené à la production de ce mémoire.

Je souhaite ensuite remercier mon bon ami Benoit Prévost-Potvin qui m'a soutenu au fil de mes études universitaires et qui m'a accompagné lors de plusieurs expéditions à vélo, dont celle qui m'a presque coûté la vie en 2011.

Enfin, je tiens à souligner la contribution de Marc Panneton, lequel m'a offert son appui afin d'obtenir des ensembles de données pertinentes auprès du Ministère des Transports et de la Mobilité durable, ainsi que celle des employées et employés de la bibliothèque de l'ÉTS pour leur assistance dans mes recherches.

Développement d'une méthode d'analyse de la circulation des cyclistes sur l'accotement revêtu des autoroutes au Canada et aux États-Unis

Félix-Antoine TREMBLAY

RÉSUMÉ

Les avantages du vélo comme moyen de transport ne sont plus à démontrer et la promotion de l'utilisation du vélo est l'une des priorités du *Programme national de santé publique* du Québec. Comme les aménagements cyclables constituent un moyen efficace de favoriser les déplacements à vélo, il convient de poursuivre leur mise en place. De nombreuses contraintes y font toutefois obstacle, notamment le coût et le manque d'espace.

Conséquemment, il peut être pertinent de chercher à réaffecter des infrastructures existantes au bénéfice des cyclistes. En raison de l'envergure du réseau autoroutier au Canada et aux États-Unis ainsi que de caractéristiques propres aux autoroutes, soit notamment : la rareté des points de conflits; des courbes horizontales et verticales à grand rayon; et de larges accotements revêtus, l'utilisation de ces accotements par les cyclistes présente un potentiel à explorer.

L'objectif de ce mémoire est de formuler une méthode permettant d'évaluer la possibilité de permettre aux cyclistes de circuler sur l'accotement des autoroutes en milieu rural et périurbain et, le cas échéant, à déterminer les mesures de mitigation à adopter.

Mots-clés : réseau cyclable, infrastructure cyclable, transport actif, autoroute, accotement revêtu, sécurité routière, cohabitation

Development of a method for analyzing bicycle traffic on the paved shoulder of expressways and freeways in Canada and the United States

Félix-Antoine TREMBLAY

ABSTRACT

The benefits of cycling as a means of transportation no longer need to be demonstrated and its promotion is identified as a priority of the *Québec Public Health Program*. Since cycling facilities are an effective way to encourage bicycle usage, it is important to continue the implementation of those facilities. However, many constraints hinder progress, including cost and space limitations.

Consequently, exploring the reallocation of existing infrastructures for the benefit of cyclists. Given the extensive freeway and expressway network in Canada and the United States, along with specific characteristics of those roads, in particular: the rarity of conflict points; their large horizontal and vertical curves; and their wide paved shoulders, the use of these shoulders by cyclists has a potential that should be explored.

The objective of this thesis is to formulate a method to assess the desirability of allowing cyclists to travel on the shoulder of expressways and freeways in rural and suburban areas and, if it is the case, to determine the mitigation measures to be taken.

Keywords: cycling network, cycling infrastructure, active transportation, expressway, freeway, paved shoulder, road safety, road sharing

GLOSSAIRE

- 1) Accès contrôlé (*Controlled-access*) : Impossibilité d'accéder à une route, sauf par des bretelles d'accès.
« L'usage du mot "accès" dans ce contexte réfère à la capacité d'accéder aux routes, mais pas aux terrains adjacents – Ces routes n'offrent aucun "accès" aux terrains adjacents. L'accès à ces routes est [contrôlé] pour maximiser la mobilité par l'élimination des conflits avec les entrées charretières et les intersections qui gêneraient autrement la circulation. » [Traduction libre] (WSDOT, 2013, p. 14).
- 2) Accès limité (*Limited-access*) : « Possibilité restreinte d'accéder à une route, en raison des restrictions imposées en des endroits déterminés et réglementés. » (MTQ, 2019b, p. 1).
- 3) Accotement (*Shoulder*) : « Partie [...] aménagée entre la chaussée et le talus, servant d'appui à la chaussée ainsi qu'aux arrêts d'urgence. » (MTQ, 2019b, p. 1).
- 4) Accotement revêtu (*Paved shoulder*) : « Accotement sur lequel se prolonge le revêtement de la chaussée, séparé de celle-ci par des marques au sol. » (MTQ, 2019b, p. 1).
« Un accotement revêtu est une portion de la route qui est contiguë à la chaussée, et qui est utilisée pour accommoder les véhicules arrêtés, l'usage d'urgence, les piétons et les cyclistes, en plus d'offrir un support à la structure de la chaussée. » [Traduction libre] (MTO, 2014, p. 16).
- 5) Aménagement à circulation continue : Aménagement qui ne comprend aucun dispositif d'arrêt systématique des véhicules (MTQ, s.d.-b, § 3.3.1).
- 6) Aménagement à circulation interrompue : Aménagement qui comporte des dispositifs d'arrêt systématique des véhicules (MTQ, s.d.-b, § 3.3.2).
- 7) Anse (*Jughandle*) : Bretelle routière en forme d'anse permettant d'effectuer indirectement des virages à gauche ou des demi-tours, et ce, à partir de la droite.
« Bretelle à niveau positionnée à une intersection ou entre des intersections pour permettre aux conducteurs d'effectuer des virages à gauche ou des demi-tours indirects » [Traduction libre] (FHWA, 2016).
- 8) Autoroute : « [...] route à vitesse élevée qui compte plusieurs voies séparées par un terre-plein central. » (MTO, 2019a).
- 9) Autoroute à accès contrôlé (*Freeway*) : Aménagement à accès contrôlé dont la circulation est continue.
« Voie de communication à chaussées séparées, exclusivement réservées à la circulation rapide, ne comportant aucun croisement à niveau et accessible en des points aménagés à cet effet. » (MTQ, 2019b, p. 3).
« Une route à chaussées séparées avec contrôle complet de l'accès et deux voies ou plus dédiées à l'usage exclusif de la circulation de transit dans chaque direction. » [Traduction libre] (FHWA, 2017).
« *Freeway* signifie *Expressway* avec contrôle complet de l'accès. » [Traduction libre] (W. Va. Code R. § 157-3-2(2.39)).

- 10) Autoroute à accès limité (*Expressway*) : Aménagement à accès limité dont la circulation est généralement continue.
 « Une route à chaussées séparées avec contrôle partiel de l'accès et deux voies ou plus dédiées à l'usage exclusif de la circulation de transit dans chaque direction; inclus une séparation de niveau à la plupart des intersections. » [Traduction libre] (FHWA, 2017).
 « *Expressway* signifie une route à chaussées séparées pour la circulation de transit avec contrôle d'accès partiel ou complet et généralement avec une séparation de niveau aux intersections. » [Traduction libre] (W. Va. Code R. § 157-3-2(2.36)).
- 11) Bandes rugueuses (*Rumble strip*) : « Rainures dans la surface [revêtue] qui provoquent un bruit ou une vibration qui avertit un conducteur que son véhicule a quitté la voie de circulation. » (Chiu et al., 2017a).
- 12) Barrière canadienne (*Cattle guard* ou *Texas gate*) : « Type de barrière laissant passer les véhicules, mais interdisant le passage des bestiaux. » (Services publics et Approvisionnement Canada, 2000).
- 13) Carrefour (*At-grade intersection*) : « Un carrefour plan est une zone où deux ou plusieurs routes se rencontrent ou se croisent au même niveau » (MTQ, s.d.-b, § 8.1).
- 14) Chaussée (*Traveled way*) : « Surface de roulement des véhicules, excluant les accotements. » (MTQ, 2019b, p. 7).
- 15) Distance de confort à l'objet¹ (*Shy distance*) : « Distance à partir du bord de la chaussée au-delà de laquelle un objet aux abords de la route pourrait ne pas être perçu par un conducteur typique comme un obstacle à éviter au point où il modifierait pour ce faire la position ou la vitesse de son véhicule. » [Traduction libre] (WSDOT, s.d.).
- 16) Distance de visibilité d'arrêt (*Stopping sight distance*) : « [...] distance nécessaire au conducteur d'un véhicule roulant à une vitesse donnée pour arrêter son véhicule après avoir aperçu un objet sur la chaussée. » (MTQ, s.d.-b, § 7.7).
- 17) Distance de visibilité de traversée : « Distance nécessaire à l'usager arrêté sur la piste, en bordure de la chaussée, pour traverser de façon sécuritaire. » (Bruneau, Morin, & Pouliot, 2004, p. xix).
- 18) Échangeur (*Interchange*) : « L'échangeur est une forme particulière d'aménagement géométrique qui permet l'écoulement libre de forts débits de circulation en respectant les plus hauts niveaux de sécurité lors du croisement de routes. » (MTQ, s.d.-b, § 9.1).
- 19) Échangeur majeur (*System interchange*) : L'aménagement du croisement de deux autoroutes (MTQ, s.d.-b, § 9.4.2).
 « Un *system interchange* transporte le trafic d'une autoroute à l'autre via un réseau de bretelles et de connecteurs. » [Traduction libre] (Doctor, Merritt, & Moler, 2009).
- 20) Échangeur mineur (*Service interchange*) : « L'aménagement du croisement de deux routes, dont l'une au moins n'est pas une autoroute [...]. » (MTQ, s.d.-b, § 9.4.1).
 « Un *service interchange* connecte une autoroute avec le réseau local ou artériel. » [Traduction libre] (Doctor et al., 2009).
- 21) Intersection : « Lieu où se rencontrent deux ou plusieurs chaussées, quels que soient l'angle ou les angles des accès de la chaussée. » (MTQ, 2019b, p. 18).
- 22) Route à accès contrôlé (*Controlled-access highway*) : Route conforme à la définition de « Accès contrôlé » (1).

¹ Cette traduction de « *shy distance* » est employée par Massicotte (2016, p. 34)

- 23) Route à accès limité (*Limited-access highway*) : Route conforme à la définition de « Accès limité » (2).
- 24) Route à chaussée unique (*Undivided highway*) : Route bidirectionnelle sans terre-plein central.
« Route formée de deux ou plusieurs voies contiguës où la circulation s'exécute généralement dans les deux directions. » (MTQ, 2019b, p. 26).
- 25) Route à chaussées séparées (*Divided highway*) : Route bidirectionnelle avec terre-plein central.
« Route comportant au moins deux chaussées séparées par un terre-plein ou par un séparateur et affectées à des sens de circulation opposés. » (MTQ, 2019b, p. 26).
- 26) Route *Interstate* (*Interstate highway*) : Autoroute à accès contrôlé faisant partie du réseau *Interstate* (FHWA, 2010).
- 27) Section d'entrecroisement (*Weaving area*) : « Section de chaussée à sens unique, dans laquelle s'effectue le triage des véhicules convergeant et divergeant tangentiellement. » (MTQ, 2019b, p. 27).
« Les sections d'entrecroisement dans les échangeurs sont des lieux dynamiques, où les véhicules changent de voies fréquemment afin de réaliser des opérations de convergence et de divergence sur une courte distance. » [Traduction libre] (Xu et al., 2008, p. 240).
- 28) Véhicule de promenade : Véhicule routier aménagé pour le transport d'au plus neuf occupants et d'un poids nominal brut typiquement inférieur à 3 000 kg, ou 4 500 kg dans le cas des camionnettes utilisées comme véhicule personnel (MTQ, 2008a).
- 29) Véhicule lourd : Véhicule routier dont le poids nominal brut est de 4 500 kg ou plus; véhicule routier transportant des matières dangereuses nécessitant l'apposition de plaques d'indication de danger; autobus; minibus; ou dépanneuse (SAAQ, 2021).
- 30) Vitesse affichée (*Posted speed*) : Limite de vitesse maximale autorisée.
« La vitesse maximale légale affichée sur une section de route par des panneaux réglementaires. » [Traduction libre] (WSDOT, s.d.).
- 31) Vitesse de base (*Design speed*) : « Cette vitesse correspond à la vitesse affichée plus 10 km/h. » (MTQ, s.d.-b, § 1.4.4).
- 32) Vitesse de marche (*Running speed*) : « [...] la vitesse de marche est définie comme étant la vitesse [...] au 85^e centile de tous les véhicules le long d'une route donnée déterminée selon la distance et les temps de marche (temps de déplacement moins les retards causés par des arrêts involontaires) entre deux points choisis [...]. » (ATC, 1999, p. 1.2.3.3).
- 33) Vitesse pratiquée (*Operating speed*) : « [...] vitesse au 85^e centile de tous les véhicules à un endroit précis. » (MTQ, s.d.-b, § 1.4.6).
- 34) Voie de circulation extérieure (*Outside through lane* ou *Curb lane*) : Voie de circulation située du côté droit de la chaussée, par rapport au sens de la circulation (FHWA, 2014; MTQ, s.d.-b, § 4.3.4.1).
- 35) Voie de circulation intérieure (*Inside through lane*) : Toute voie de circulation excluant la voie extérieure (FHWA, 2014; MTQ, s.d.-b, § 4.3.4.1).

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 Revue de la littérature – Partie 1 Usagers de la route	19
1.1 Caractéristiques des cyclistes.....	19
1.1.1 Gabarit.....	20
1.1.2 Vitesse pratiquée.....	22
1.1.3 Types d’usagers	24
1.1.4 Clientèle cible	26
1.2 Positionnement des cyclistes sur la route.....	27
1.3 Vitesse de marche des véhicules routiers.....	31
1.4 Effet sur les conducteurs de la présence de cyclistes.....	32
1.5 Risques de collision impliquant au moins un cycliste et un véhicule motorisé.....	34
1.5.1 Ampleur de la problématique.....	35
1.5.2 Types de collision en section courante	36
1.5.3 Facteurs influents	37
1.5.3.1 Milieu environnant.....	37
1.5.3.2 Présence d’intersections.....	38
1.5.3.3 Conditions de visibilité	41
1.5.3.4 Largeur du revêtement	42
1.5.3.5 Respect de la réglementation par les conducteurs	43
1.5.3.6 Âge des cyclistes.....	44
1.5.4 Particularité des routes à accès contrôlé	45
1.5.5 Mitigation du risque.....	47
1.5.6 Contrôle de l’exposition.....	49
1.6 Risques de blessures sévères ou mortelles pour les cyclistes en cas de collision avec un véhicule motorisé.....	53
CHAPITRE 2 Revue de la littérature – Partie 2 Caractéristiques routières	63
2.1 Profil en travers.....	63
2.1.1 Bandes rugueuses.....	69
2.1.1.1 Fonction des bandes rugueuses et impact sur la sécurité des usagers	70
2.1.1.2 Interruption de la bande rugueuse.....	71
2.1.1.3 Largeur résiduelle de l’accotement revêtu.....	75
2.1.2 Grilles de puisards.....	77
2.2 Ponts et tunnels routiers	78
2.3 Passages à niveau.....	83
2.4 Échangeurs.....	85
2.4.1 Aménagements à niveau	86
2.4.1.1 Géométrie de l’intersection d’une bretelle autoroutière	86
2.4.1.2 Géométrie des bretelles autoroutières aménagées pour les cyclistes.....	88

	2.4.1.3	Vitesse des véhicules dans une bretelle	96
	2.4.1.4	Manœuvre de traversée	96
	2.4.1.5	Priorité des usagers	102
	2.4.1.6	Détection et affichage de la présence de cyclistes	104
2.4.2		Aménagements dénivelés.....	109
	2.4.2.1	Justification	110
	2.4.2.2	Choix d'un passage supérieur ou inférieur	111
	2.4.2.3	Critères de conception.....	113
CHAPITRE 3 Méthode d'analyse			115
3.1		Réglementation en vigueur	115
	3.1.1	Statut de véhicule.....	117
	3.1.2	Droits et devoirs.....	117
	3.1.3	Limite de vitesse minimale	118
	3.1.4	Circulation sur les autoroutes.....	119
	3.1.5	Analyse composée	120
	3.1.6	Autres analyses	121
3.2		Normes de conception routière	121
3.3		Capacité de réaction des usagers.....	122
	3.3.1	Vitesse.....	123
	3.3.2	Distance de visibilité.....	124
3.4		Phénomène d'aspiration.....	126
3.5		Bilan routier	127
	3.5.1	Californie	128
	3.5.1.1	Statewide Integrated Traffic Records System.....	128
	3.5.1.2	Traffic Accident Surveillance and Analysis System	129
	3.5.2	Arizona.....	131
	3.5.3	Floride.....	132
	3.5.4	Québec	133
CHAPITRE 4 Discussion			137
4.1		Méthode d'analyse	137
	4.1.1	Réglementation en vigueur	137
	4.1.2	Normes de conception routière	138
	4.1.3	Capacité de réaction des usagers.....	138
	4.1.4	Phénomène d'aspiration.....	139
	4.1.5	Bilan routier	140
4.2		Autres éléments à considérer	141
	4.2.1	Mesures de mitigation.....	141
	4.2.1.1	Aménagements en tronçon.....	141
	4.2.1.2	Aménagement des échangeurs.....	143
	4.2.1.3	Aménagement des ponts et des tunnels autoroutiers	145
	4.2.1.4	Aménagement des passages à niveau autoroutiers	148
	4.2.1.5	Signalisation.....	148
	4.2.2	Présence de travaux autoroutiers	150

4.2.3	Circulation sur l'accotement par des véhicules routiers	151
4.2.4	Effet du profil longitudinal	152
4.2.5	Restrictions d'accès complémentaires	153
4.2.6	Circulation en conditions hivernales.....	156
4.2.7	Potentiel d'application en milieu urbain.....	158
4.3	Méthode d'évaluation de l'accotement revêtu des autoroutes en vue d'y autoriser la circulation des cyclistes	159
4.4	Élaboration de recommandations.....	160
4.4.1	Comptage des cyclistes.....	160
4.4.2	Modification à l'article 10.4 du tome II et ajout d'une référence à cet article au chapitre 15 du tome I de la norme sur les ouvrages routiers du MTQ	161
4.4.3	Étudier l'aménagement des échangeurs majeurs où les cyclistes peuvent actuellement circuler	162
CONCLUSION.....		163
RECOMMANDATIONS		167
ANNEXE I	VITESSE AFFICHÉE SUR LES AUTOROUTES DU CANADA	169
ANNEXE II	VITESSE AFFICHÉE SUR LES AUTOROUTES DES ÉTATS-UNIS	171
ANNEXE III	ÉVALUATION DE L'ACCOTEMENT DES AUTOROUTES À ACCÈS CONTRÔLÉ COMME AMÉNAGEMENT CYCLABLE	175
APPENDICE A	LEXIQUE DES AMÉNAGEMENTS CYCLABLES.....	187
LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		195
BIBLIOGRAPHIE.....		207

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau 1.1	Accélération et vitesse des cyclistes	23
Tableau 1.2	Évolution du nombre d’hospitalisations chez les cyclistes (Québec)	35
Tableau 1.3	Évolution du nombre d’admissions à l’hôpital chez les cyclistes (États-Unis)	36
Tableau 1.4	Taux de collision par million de miles parcourus à vélo en fonction du groupe d’âge	45
Tableau 2.1	Largeur minimale et recommandée des accotements revêtus	66
Tableau 2.2	Largeur minimale des accotements revêtus en fonction de la vitesse affichée et du DJME	66
Tableau 2.3	Largeur minimale des accotements revêtus en fonction de la vitesse affichée	67
Tableau 2.4	Largeur minimale et désirée des accotements revêtus en fonction du DJMA	67
Tableau 2.5	Bénéfices et inconvénients des types de traitement de bretelles autoroutières	91
Tableau 2.6	Avantages et inconvénients des tunnels et des passerelles	113
Tableau 3.1	Caractéristiques des routes à accès limité utilisées dans le cadre du projet pilote du FDOT (2013-03-01 à 2015-02-28)	132
Tableau A I-1	Vitesse affichée maximale sur les autoroutes du Canada	169
Tableau A II-1	Vitesse affichée maximale sur les routes à accès limité des États-Unis	171
Tableau A III-1	Acceptabilité d’une route alternative	176

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1	Gabarit cycliste (AASHTO).....21
Figure 1.2	Gabarit cycliste (MTQ).....21
Figure 1.3	Dépassement légal d'un cycliste (États-Unis).....29
Figure 1.4	Probabilité de blessures graves d'un piéton en fonction de l'âge et de la vitesse d'impact d'un véhicule motorisé56
Figure 1.5	Probabilité de décès ou de blessures graves d'un piéton en fonction de la vitesse d'impact d'un véhicule motorisé57
Figure 1.6	Probabilité de décès d'un piéton et d'un cycliste en fonction de la vitesse d'impact d'un véhicule motorisé.....59
Figure 2.1	Bandes rugueuses adaptées pour les cyclistes (MTO)74
Figure 2.2	Bandes rugueuses adaptées pour les cyclistes (MTO)75
Figure 2.3	Passage à niveau adapté aux cyclistes (AASHTO).....84
Figure 2.4	Passage à niveau adapté aux cyclistes (MTQ)85
Figure 2.5	Bretelles d'autoroutes avec passage parallèle (Schonfeld et al.)90
Figure 2.6	Bretelles d'autoroutes avec passage perpendiculaire (Schonfeld et al.)90
Figure 2.7	Signalisation à une bretelle autoroutière divergente (MTO).....92
Figure 2.8	Signalisation à une bretelle autoroutière divergente (MTO).....92
Figure 2.9	Signalisation à une bretelle autoroutière convergente (MTO).....92
Figure 2.10	Bretelle d'autoroute divergente (ATC)93
Figure 2.11	Bretelle d'autoroute convergente (ATC)93
Figure 2.12	Rayon de courbure en fonction du dévers pour différentes vitesses de conception94
Figure 2.13	Signalisation à une bretelle autoroutière convergente (AASHTO).....95

Figure 2.14	Voie cyclable de contournement dans un échangeur en trompette (Caltrans).....	95
Figure 2.15	Distance de visibilité d'arrêt des cyclistes	99
Figure 2.16	DVA et DVT au passage pour cyclistes.....	101
Figure 2.17	Marquage au sol pour détecteurs de véhicules (MTQ).....	105
Figure 2.18	Marquage au sol pour détecteurs de bicyclette (MUTCD)	106
Figure 2.19	Feux rectangulaires à clignotement rapide.....	108
Figure 2.20	Feux clignotants renforçant le message d'un panneau.....	108
Figure 2.21	Panneaux équipés de DEL clignotantes	109
Figure 2.22	Gabarit de passage pour cyclistes en tunnel (MTQ).....	114
Figure 3.1	Forces aérodynamiques causées par le passage de véhicules lourds	126
Figure 4.1	Voie auxiliaire pour véhicules lents sur la route 5 (Colombie-Britannique)	142
Figure 4.2	Anse pour cyclistes de la R-137 (Québec).....	144
Figure 4.3	Anse pour cyclistes du boulevard King George (Colombie-Britannique)	144
Figure 4.4	Tunnel de Franquelin (Québec)	147
Figure 4.5	Pare-avalanches avec voie auxiliaire pour véhicules lents sur la route 5 (Colombie-Britannique).....	147
Figure 4.6	Signalisation de destination destinée aux cyclistes sur la route 1 (Colombie-Britannique)	149
Figure 4.7	Feux clignotants accompagnant une signalisation de danger (Colombie-Britannique)	150
Figure 4.8	Acceptabilité des pentes en fonction de leur longueur et de leur pourcentage	153
Figure 4.9	Cycliste circulant sur l'accotement revêtu d'une autoroute en conditions hivernales (Terre-Neuve-et-Labrador)	157
Figure 4.10	Convoi de chasse-neige sur une autoroute (Ontario).....	157

Figure A II-1	Signalisation pour vitesse affichée spécifique aux poids lourds (Montana).....	174
Figure A II-2	Signalisation pour vitesse affichée spécifique aux poids lourds et aux conditions nocturnes (Montana).....	174
Figure A III-1	Longueur de l'alternative viable (Wilkinson et Moran)	177
Figure A III-2	Longueur de l'alternative viable (proposée)	178
Figure A III-3	Évaluation de la largeur de la voie de circulation extérieure en fonction du débit journalier	180
Figure A III-4	Évaluation de la largeur de la voie de circulation extérieure en fonction de la vitesse affichée	181
Figure A III-5	Évaluation d'une pente en fonction de sa longueur	184
Figure AA.1	Chaussée désignée.....	188
Figure AA.2	Accotement revêtu	189
Figure AA.3	Bande cyclable bidirectionnelle sans délinéateurs.....	190
Figure AA.4	Bande cyclable unidirectionnelle avec délinéateurs	191
Figure AA.5	Piste cyclable bidirectionnelle dans l'emprise routière.....	192
Figure AA.6	Piste cyclable bidirectionnelle en site propre.....	193

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ORGANISMES

AASHTO :	American Association of State Highway and Transportation Officials ²
ADOT :	Arizona Department of Transportation ²
ATC :	Association des transports du Canada ³
Caltrans :	California Department of Transportation ²
CanLII :	Institut canadien d'information juridique (<i>Canadian Legal Information Institute</i>) ³
CDOT :	Colorado Department of Transportation ²
CROW :	Center for Research and Contract Standardization in Civil and Traffic Engineering ⁴
DoT :	Ministère des Transports (<i>Department of Transportation</i>)
FDOT :	Florida Department of Transportation ²
FHWA :	Federal Highway Administration ²
INSPQ :	Institut national de santé publique du Québec ³
ITE :	Institute of Transportation Engineers ²
LAB :	League of American Bicyclists ²
PBIC :	Pedestrian and Bicycle Information Center ²
MnDOT :	Minnesota Department of Transportation ²
MOTI :	Ministère des Transports et des Infrastructures de la Colombie-Britannique ³ (<i>British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure</i>)
MTO :	Ministère des Transports de l'Ontario ³
MTQ :	Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec ³

² Organisme des États-Unis

³ Organisme du Canada

⁴ Organisme des Pays-Bas

NACTO :	National Association of City Transportation Officials ²
NHTSA :	National Highway Traffic Safety Administration ²
SAAQ :	Société de l'assurance automobile du Québec ³
USDOT :	United States Department of Transportation ²
WSDOT :	Washington State Department of Transportation ²

DIVERS

A-### :	Autoroute numéro « ### » ⁵
DEL :	Diodes électroluminescentes
DJM :	Débit journalier moyen
DJMA :	Débit journalier moyen annuel
DJME :	Débit journalier moyen estival
DN :	Dessin normalisé
DVA :	Distance de visibilité d'arrêt
DVT :	Distance de visibilité de traversée
FRCR :	Feux rectangulaires à clignotement rapide (<i>Rectangular Rapid Flashing Beacon</i>)
HSM :	Highway Safety Manual ⁶
I-### :	Route <i>Interstate</i> numéro « ### » ⁶
MUTCD :	<i>Manual on Uniform Traffic Control Devices</i> ⁶
ND :	Non disponible
PIEV :	Perception–Intellection–Émotion–Volition (<i>Perception reaction time</i>)
R-### :	Route nationale ou régionale numéro « ### » ⁵
s.o. :	Sans objet
SR ### :	Route numéro « ### » (<i>State route</i>) ⁶
SVROR :	Sortie de route n'impliquant qu'un seul véhicule (<i>single-vehicle run-off-road crash</i>)
SWITRS :	<i>Statewide Integrated Traffic Records System</i> ⁶
TASAS :	<i>Traffic Accident Surveillance and Analysis System</i> ⁶
UAB :	Utilisation de l'accotement par les autobus ⁵
US ### :	Route numéro « ### » (<i>United States Numbered Highway</i>) ⁶

⁵ Terme spécifique au Québec (Canada)⁶ Terme spécifique aux États-Unis

LOIS ET RÈGLEMENTS DU CANADA

Alta Reg 304/2002 :	Traffic Safety Act; Use of highway and rules of the road regulation (Alberta)
BC Reg 26/58 :	Motor Vehicle Act Regulations (Colombie-Britannique)
CCSM c H60 :	The Highway Traffic Act (Manitoba)
CQLR c C-24.2 :	Highway Safety Code (Québec)
RRO 1990, Reg 630 :	Vehicles on Controlled-access Highways (Ontario)
RSA 2000, c T-6 :	Traffic Safety Act (Alberta)
RSBC 1996, c 318 :	Motor Vehicle Act (Colombie-Britannique)
RSNB 1973, c M-17 :	Motor Vehicle Act (Nouveau-Brunswick)
RSNL 1990, c H-3 :	Highway Traffic Act (Terre-Neuve-et-Labrador)
RSNS 1989, c 293 :	Motor Vehicle Act (Nouvelle-Écosse)
RSNWT (Nu) 1988, c M-16 :	Traffic Safety Act (Nunavut)
RSNWT 1988, c M-16 :	Motor Vehicles Act (Territoires du Nord-Ouest)
RSO 1990, c H.8 :	Highway Traffic Act (Ontario)
RSPEI 1988, c H-5 :	Highway Traffic Act (Île-du-Prince-Édouard)
RSY 2002, c 153 :	Motor Vehicles Act (Yukon)
SNS 2018, c 29 :	Bill 80, An Act Respecting Highways and Traffic Safety (Nouvelle-Écosse)
SS 2004, c T-18.1 :	The Traffic Safety Act (Saskatchewan)

LOIS ET RÈGLEMENTS DES ÉTATS-UNIS

13 AAC :	Alaska Administrative Code; Title 13, Public Safety
17 AAC :	Alaska Administrative Code; Title 17, Transportation and Public Facilities
A.R.S. :	Arizona Revised Statutes
Ala. Admin. Code :	Alabama Administrative Code
Ala. Code (1975) :	Code of Alabama
Ariz. Admin. Code :	Arizona Administrative Code
Ark. Code R. :	Arkansas Administrative Code
Ark. Code :	Arkansas Code of 1987
AS :	Alaska Statutes
C.M.R. :	Maine Administrative Code
C.R.S. :	Colorado Revised Statutes
Ca. Sts. and High. Code :	California Streets and Highways Code
Ca. Veh. Code :	California Vehicle Code
Cal. Code Regs. :	California Code of Regulations
CCR :	Colorado Administrative Code
CMR :	Code of Massachusetts Regulations
Conn. Agencies Regs. :	Connecticut Administrative Code
Conn. Gen. Stat. :	General Statutes of Connecticut
15 CRR-NY :	New York Codes, Rules, and Regulations; Title 15, Department of Motor Vehicles
17 CRR-NY :	New York Codes, Rules, and Regulations; Title 17, Department of Transportation
CSR :	Missouri Administrative Code
D.C. Code :	District of Columbia Official Code
D.C. Mun. Regs. Tit. 18 :	District of Columbia Administrative Code; Title 18, Vehicles and Traffic
2 Del. C. :	Delaware Code; Title 2, Transportation

XXX

17 Del. C. :	Delaware Code; Title 17, Highways
21 Del. C. :	Delaware Code; Title 21, Motor Vehicles
Del. Admin. Code :	Delaware Administrative Code
Fla. Admin. Code Ann. :	Florida Administrative Code
Fla. Stat. :	Florida Statutes
Ga. Comp. R. & Regs. :	Georgia Administrative Code
Haw. Code R. :	Hawaii Administrative Rules
HRS :	Hawaii Revised Statutes
IAC :	Indiana Administrative Code
IC :	Indiana Code
Idaho Admin. Code :	Idaho Administrative Code
Idaho Code :	Idaho Code
ILCS 5 :	Illinois Compiled Statutes; Transportation
Ill. Admin. Code :	Illinois Administrative Code
Iowa Admin. Code :	Iowa Administrative Code
Iowa Code :	Iowa Code
K.S.A. :	Kansas Statutes
Kan. Admin. Regs. :	Kansas Administrative Code
601 KAR :	Kentucky Administrative Regulations; Title 601, Transportation Cabinet : Department of Vehicle Regulation
603 KAR :	Kentucky Administrative Regulations; Title 603, Transportation Cabinet : Department of Highways
KRS :	Kentucky Revised Statutes
La. Admin. Code :	Louisiana Administrative Code
La. R.S. :	Louisiana Revised Statutes
M.R.S. :	Maine Statutes
Mass. Gen. Laws :	General Laws of Massachusetts
MCA :	Montana Code
MCL :	Michigan Compiled Laws
Md. Code :	Code of Maryland

Md. Code Regs. :	Code of Maryland Regulations
Mich. Admin. Code R. :	Michigan Administrative Code
Minn. R. :	Minnesota Administrative Rules
Minn. Stat. :	Minnesota Statutes
Miss. Code :	Mississippi Code 1972
Miss. Code. R. :	Mississippi Administrative Code
Mont. Admin. R. :	Montana Administrative Code
19A N.C. Admin. Code :	North Carolina administrative code; Title 19A, Transportation
N.C. Gen. Stat. :	General Statutes of North Carolina
N.D. Admin Code :	North Dakota Administrative Code
N.D.C.C. :	North Dakota Century Code
N.H. Code Admin. R. :	New Hampshire Administrative Code
N.J. Admin. Code :	New Jersey Administrative Code
N.J.S. :	New Jersey Statutes
N.M. Code R. :	New Mexico Administrative Code
N.Y. High. Law :	Consolidated Laws of New York; Chapter, Highway
N.Y. Transp. Law :	Consolidated Laws of New York; Chapter, Transportation
N.Y. Veh. and Traf. Law :	Consolidated Laws of New York; Chapter, Vehicle and Traffic
Neb. Admin. Code :	Nebraska Administrative Code
Neb. Rev. Stat. :	Revised Statutes of Nebraska
Nev. Admin. Code :	Nevada Administrative Code
NMS :	New Mexico Statutes
NRS :	Nevada Revised Statutes
OCGA :	Code of Georgia
Okla. Admin. Code :	Oklahoma Administrative Code
Okla. Stat. Tit. 47 :	Oklahoma Statutes; Title 47, Motor Vehicles
Okla. Stat. Tit. 69 :	Oklahoma Statutes; Title 69, Roads Bridges and Ferries
Or. Admin. R. :	Oregon Administrative Code
ORS :	Oregon Revised Statutes

XXXII

36 P.S. :	Pennsylvania Statutes; Statutes; Title 36, Highways and Bridges
67 Pa. Code :	Pennsylvania Code; Title 67, Transportation
74 Pa.C.S. :	Pennsylvania Statutes; Consolidated Statutes; Title 74, Transportation
75 Pa.C.S. :	Pennsylvania Statutes; Consolidated Statutes; Title 75, Vehicles
R.C. :	Ohio Revised Code
R.I. Code R. :	Rhode Island Administrative Code
R.I. Gen. Laws :	General Laws of Rhode Island
RCW :	Revised Code of Washington
RSA :	New Hampshire Revised Statutes
RSMo :	Missouri Revised Statutes
S.C. Code :	Code of Laws of South Carolina 1976
S.C. Code Regs. :	South Carolina Code of Regulations
S.D. Admin. R. :	South Dakota Administrative Rules
SDCL :	South Dakota Codified Laws
T.C.A. :	Tennessee Code
Tenn. Comp. R. & Regs. :	Tennessee Administrative Code
Tex. Admin. Code :	Texas Administrative Code
Tex. Transp. Code :	Texas Codes; Transportation Code
Utah Admin. Code :	Utah Administrative Code
Utah Code :	Utah Code
Va. Admin. Code :	Virginia Administrative Code
Va. Code :	Code of Virginia
Vt. Code R. :	Vermont Administrative Code
Vt. Stat. Tit. 19 :	Vermont Statutes; Title 19, Highways
Vt. Stat. Tit. 23 :	Vermont Statutes; Title 23, Motor Vehicles
W. Va. Code :	West Virginia Code
W. Va. Code R. :	West Virginia Administrative Code

W.S. :	Wyoming Statutes
Wash. Admin. Code :	Washington Administrative Code
Wis. Admin. Code :	Wisconsin Administrative Code
Wis. Stat. :	Wisconsin Statutes
Wyo. Code R. :	Wyoming Administrative Code

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

\pm :	Plus ou moins
$^{\circ}$:	Degré
a :	Accélération
c/c :	Centre à centre (<i>on centre</i>)
e :	Dévers en m/m^7
f :	Coefficient de frottement longitudinal
L :	Longueur
p :	Déclivité en m/m , positive en montée et négative en descente
R :	Rayon
V :	Vitesse
\S :	Numéro d'article
pi :	Pied (0,3048 m)
po :	Pouce (0,0254 m)
mbm :	Million de miles à bicyclette (<i>million bicycle miles</i>)
mi :	Mile (1,60934 km)
MPH :	Mile par heure (<i>mile per hour</i>)
$véh./h$:	Véhicule routier par heure

⁷ Selon le contexte, « e » représente aussi le nombre d'Euler ou la constante de Néper

INTRODUCTION

N.B. Le genre masculin est utilisé dans le présent document comme genre neutre. Cet emploi a pour but d'alléger le texte et d'en faciliter la lecture, conformément aux contraintes académiques en vigueur.

0.1 État du cyclisme

Le cyclisme comme moyen de transport ou son utilisation récréative varie selon la région observée. Les bénéfices de cette activité semblent toutefois dépasser les frontières. On remarque présentement une progression de l'usage utilitaire de la bicyclette dans plusieurs états d'Occident, ce qui justifie une discussion sur la mobilité.

0.1.1 Portrait du cyclisme au Québec

« Le cyclisme a joué un rôle historique dans les transports. Avant même l'invention de l'automobile, la *League of American Wheelmen*⁸ a promu l'amélioration des voies de circulation. » [Traduction libre] (AASHTO, 1999, p. 1). Selon cette même référence, bien que le cyclisme récréatif demeure à ce jour l'usage principal des bicyclettes, l'usage utilitaire est en croissance depuis les années 1970. Les autorités du domaine des transports à travers les États-Unis reconnaissent d'ailleurs de plus en plus le cyclisme comme un mode de déplacement viable, et ce, depuis des décennies, comme en témoignait l'AASHTO en 1999 (p. 1).

En milieu urbain, on observe un plus grand attrait pour le cyclisme utilitaire, par exemple à Montréal où la part modale du vélo dans les déplacements liés à l'emploi est en croissance (Bilodeau, 2015, p. 15). En milieux périurbains et ruraux, au Québec, la pratique du vélo est plutôt fortement caractérisée par le vélo récréatif, dont le cyclotourisme (Robitaille, Bellingeri, & Nauroy, 2016, p. 49).

⁸ La *League of American Wheelmen* est aujourd'hui nommée *League of American Bicyclists* (LAB)

Selon Vélo Québec (2005), cité par Fortier (2009, p. 3) :

Au Québec, tout le monde – ou presque – a déjà pratiqué le vélo : 86 % des adultes ont ainsi utilisé une bicyclette au moins une fois dans leur vie. En 2005, plus de la moitié (54 %) de la population âgée de 6 à 74 ans se dit cycliste, ce qui représente 2,6 millions d'adultes et 1 million d'enfants. Ces 25 dernières années, l'engouement pour le vélo a globalement augmenté chez les 18-74 ans : en 1981, 38 % d'entre eux pratiquaient le vélo au moins une fois par année, alors qu'en 2005, on en compte 47 %.

Dix ans plus tard, en 2015, on comptait 4,2 millions de cyclistes au Québec, soit la majorité de la population (Bilodeau, 2015, p. 4). De ce nombre, 3,2 millions sont des adultes (Bilodeau, 2015, p. 12) et 1,9 million utilisent le vélo comme moyen de transport (Bilodeau, 2015, p. 10).

0.1.2 Bénéfices liés au cyclisme

Les avantages du vélo comme moyen de transport ne sont plus à démontrer. Virtuellement, toutes les références consultées abordant cette question font l'éloge de ce moyen de transport. Le cyclisme est un moyen de transport sain et économique, lequel est accessible à presque tout le monde (AASHTO, 2012, p. 2.1). À travers les États-Unis, on reconnaît l'efficacité énergétique et économique du cyclisme ainsi que ses bienfaits pour la santé et l'environnement (AASHTO, 1999, p. 1). Les déplacements à bicyclette offrent une myriade de bénéfices aux cyclistes eux-mêmes ainsi qu'à la population dans son ensemble (Morrison, Thompson, Kondo, & Beck, 2019, p. 123).

« La pratique régulière d'activité physique a démontré des effets favorables sur la santé. » (Pikora et al., 2003, cités par Fortier, 2009, p. 1). Le MTQ (2008b, p. 8) affirme d'ailleurs que la marche et le vélo sont de plus en plus considérés comme un moyen efficace d'améliorer le bilan de santé des Québécois. Parmi ces bénéfices, Fortier (2009, p. 1) rapporte en citant Pikora et al. (2003) que la marche et le cyclisme « [...] peuvent prévenir l'apparition et la progression de maladies chroniques et réduire le risque de mortalité prématurée associé à ces problèmes. » Les cyclistes bénéficient d'une meilleure santé mentale et d'un meilleur métabolisme, ainsi

que d'une réduction des risques d'obésité et des problèmes en découlant (Hartog et al., 2010; Götschi et al., 2016; Hamer & Chida, 2008, cités par Morrison et al., 2019, p. 123). En outre, « Une augmentation de l'usage des transports actifs peut contribuer directement et indirectement à adresser les préoccupations de santé soulevées par les modes de vie sédentaire et les autres problématiques sociales de transport dont la congestion, la pollution et l'iniquité. » [Traduction libre] (Barnes & Schlossberg, 2013; MacDonald, 2007; Pucher & Renne, 2003; Saelensminde, 2004; World Health Organization, 2002, cités par Watkins et al., 2016, p. 1).

Garder (1995, p. 1) spécifie tout de même que ces bénéfices pour la santé existent « pour autant que des blessures soient évitées ». En effet, les cyclistes sont parmi les usagers les plus à risque dans la circulation (Raslavicius et al., 2017, p. 222). La crainte liée au manque de sécurité dans la circulation est d'ailleurs une des raisons les plus fréquentes pour laquelle éviter de faire du vélo (FHWA, 1994, cité par Garder, 1995, p. 1). Robitaille et al. (2016, p. 12) rapporte toutefois que les résultats de Hartog et al. (2010) montrent que les bénéfices, du point de vue de la santé, sont plus importants que les risques potentiels. « En contrôlant pour les facteurs d'exposition et même en sur-comptabilisant les traumatismes, les résultats de plusieurs autres études montrent que les gains de santé liés à la pratique du vélo sont supérieurs aux désavantages liés aux traumatismes ou à la pollution atmosphérique. » (Van Kempen et al., 2010; Praznoczy, 2012; Rabl & Nazelle, 2012; Rojas-Rueda et al., 2011, cités par Robitaille et al., 2016, p. 12).

Ensuite, en ce qui a trait à l'environnement, le MTQ (2008b, p. 8) considère que le vélo constitue un des meilleurs modes de déplacement pouvant contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). En plus de réduire la congestion routière (Garder, 1995, p. 1), la bicyclette est un des moyens de transport les plus efficaces énergétiquement. Elle n'émet aucune pollution, n'a besoin d'aucune source d'énergie externe, et utilise l'espace de manière efficiente. La bicyclette déplace efficacement les gens d'un endroit à l'autre sans impact environnemental négatif (AASHTO, 2012, p. 2.1).

En somme, Hess et Peterson (2015, p. 2) affirment que plusieurs des plus grands défis auxquels fait globalement face l'Humanité peuvent être adressés, en partie, par le cyclisme. Cela n'est

certainement pas étranger au fait que « Diverses politiques publiques encouragent la pratique du vélo pour des raisons environnementales [...], économiques [...] et de santé publique. » (Banister, 2008; Kohl et al., 2012; USDOT, 2010; NICE, 2012, cités par Robitaille et al., 2016, p. 5). Le Québec n'y fait pas exception, puisque « [...] la promotion du transport actif sécuritaire tel que l'utilisation du vélo est l'une des priorités du *Programme national de santé publique*. » (MSSS, 2015, cité par Robitaille et al., 2016, p. 5).

0.1.3 Mobilité

Les cyclistes, comme les usagers des autres modes de transport, dont l'automobile, ont des besoins de mobilité. La définition de ce terme varie selon les références consultées. Par exemple, Turcot (2018, p. 7) réfère à *Vivre en Ville* (2018) en affirmant que « La mobilité renvoie [à] la notion d'accessibilité des lieux de destination et à la capacité des individus à s'y rendre. » Pour sa part, Fortier (2009, p. 18) indique que « La mobilité représente la capacité du cycliste [à] se déplacer d'un point A à un point B par le chemin le plus efficace. » C'est également l'avis de Wilkinson et Moran (1986, p. 50) qui rappellent que les cyclistes devraient pouvoir choisir le chemin leur demandant le moins de temps, comme le font les automobilistes.

Malgré cela, la conception routière états-unienne a traditionnellement été axée sur les besoins des modes de transports motorisés, lesquels diffèrent de ceux des piétons et cyclistes et sont parfois en conflit avec les critères de sécurité des usagers de ces modes (Watkins et al., 2016, p. 1). Il ne va donc pas de soi que les routes comme on les connaît aujourd'hui répondent aux besoins des cyclistes. Pourtant, « Peu importe le mode qu'ils choisissent, les individus ont besoin de pouvoir se déplacer et d'accéder aux destinations d'un territoire. » (Turcot, 2018, p. 5).

Selon le WSDOT (2013, pp. 7-8), l'efficacité du déplacement renvoie à la capacité de l'utilisateur à atteindre sa destination le plus rapidement possible et par la distance la plus courte. Si l'on s'en tient à la nomenclature utilisée pour les véhicules routiers, les artères offrent ce type de service, souvent sous la forme de routes à accès partiellement ou entièrement contrôlé, avec

peu d'intersections qui pourraient entraver le flux de circulation. Pour cette raison, un fort pourcentage de la distance d'un long déplacement sera effectué sur des artères, lesquelles permettent de plus grandes vitesses pratiquées. En contraste, toujours en s'en tenant à la nomenclature utilisée pour les véhicules routiers, les trajets plus courts seront effectués en plus grande proportion sur des routes locales ou collectrices où la présence de carrefours, d'entrées charretières, d'arrêts d'autobus et de passages piétonniers réduit la vitesse pratiquée.

En somme, les routes servent deux principaux besoins de transport selon le WSDOT (2013, p. 4), soit le transit et l'accès aux destinations :

- Fonction de transit : offre peu d'opportunités d'entrée et de sortie et génère donc peu de friction avec la circulation routière;
- Fonction d'accès : offre plusieurs opportunités d'entrée et de sortie et génère donc potentiellement plus de friction avec la circulation routière.

Bien que ces fonctions s'opposent, la plupart des routes offrent une combinaison des deux. À cet égard, les autoroutes à accès contrôlé se démarquent, puisqu'elles ne permettent strictement aucun accès hors de leurs échangeurs (MTQ, s.d.-b, § 10.3).

Parallèlement, le MTQ (2019a) a pour mandat « [d'assurer], sur tout le territoire, la mobilité durable des personnes et des marchandises par des systèmes de transport efficaces et sécuritaires qui contribuent au développement du Québec. » Il précise sa vision de la mobilité durable en affirmant qu'elle « [...] repose sur une planification et une gestion intégrées des transports et de l'aménagement du territoire, ainsi que sur des technologies efficaces. » (MTQ, 2019a).

La bicyclette étant un mode de transport particulièrement efficient (AASHTO, 2012, p. 2.1), celle-ci s'inscrit dans la mobilité durable, telle que définie ci-dessus. De plus, la promotion de son usage est l'une des priorités du *Programme national de santé publique* du Québec (MSSS, 2015, cité par Robitaille et al., 2016, p. 5). Dans cette optique, le MTQ doit fournir aux cyclistes

des aménagements sécuritaires et efficaces sur tout le territoire, et ce, afin de répondre aux besoins de mobilité de ces usagers.

0.2 Portrait des aménagements cyclables en milieu rural et périurbain

Comme mentionné à la section 0.1.1, le portrait du cyclisme diffère selon le milieu. Notamment, les milieux urbains bénéficient d'une densité contribuant à justifier la mise en place d'aménagements dédiés aux cyclistes. Il convient toutefois de se questionner sur leur pertinence en milieu rural et périurbain. Corollairement, leur état peut être inférieur à celui des aménagements fortement utilisés par les cyclistes.

En établissant les aménagements cyclables souhaitables dans ces milieux, et compte tenu d'une justification plus difficile à démontrer qu'en milieu urbain, on doit prendre en compte la capacité de réaliser et d'entretenir ces aménagements. Les accotements revêtus, notamment lorsqu'ils sont existants, apparaissent donc comme un aménagement potentiellement intéressant en milieu rural et périurbain. On les trouve toutefois notamment sur les routes à fort débit de circulation et là où la vitesse affichée est élevée : routes nationales, routes régionales et autoroutes.

0.2.1 Justification des infrastructures cyclables

Au Québec, les cyclistes peuvent circuler sur toutes les routes sauf celles où leur circulation est spécifiquement interdite, comme l'indiquent les articles 296 et 479 du Code de la sécurité routière du Québec (CQLR c C-24.2). De plus, suite à l'abrogation de l'article 492 de ce même Code en 2010 (Éditeur officiel du Québec, 2010, p. 23), les cyclistes ne sont pas tenus d'utiliser les aménagements cyclables mis à leur disposition.

Cette réalité n'est cependant pas nécessairement celle qui est perçue par la population, notamment par les automobilistes. En effet, selon une enquête de SOM Recherches et sondages et SAAQ (2014), cités par Turcot (2018, p. 43), une proportion importante de personnes, soit

respectivement 32 % et 40 % des répondants, pense que les routes devraient être réservées aux automobilistes seulement et que les cyclistes nuisent à la circulation.

À cet égard, les aménagements cyclables constituent une solution efficace et peu coûteuse de réduire l'occurrence de collisions, d'améliorer la sécurité perçue et de favoriser les déplacements à vélo (Buehler & Dill, 2016; Gu et al., 2017, cités par Morrison et al., 2019, p. 123). C'est également l'avis de Robitaille et al. (2016, p. 15) qui s'appuient pour leur part sur les travaux de Pucher, Dill et Handy (2010); Pucher et Dijkstra (2003); Heinen, van Wee et Maat (2010); Buehler et Dill (2015); ainsi que Dill (2009). Ceux-ci poursuivent d'ailleurs en citant Buehler et Dill (2015) pour affirmer qu'au Canada et aux États-Unis, « [...] la plupart des usagers du vélo préfère rouler sur des infrastructures cyclables séparées autant que possible des véhicules motorisés. »

Il peut en effet sembler raisonnable de séparer la circulation des cyclistes de celle des véhicules motorisés, particulièrement là où ces derniers circulent à haute vitesse (Wegman et al., 2012, cités par Bil, Bilova, Dobias, & Andrasik, 2016, p. 395). Selon Garder (1995, p. 2), on éliminerait presque entièrement les collisions mortelles impliquant des cyclistes si l'on pouvait totalement séparer leur circulation de celle des véhicules motorisés. Celui-ci reconnaît toutefois qu'un tel objectif ne serait pas réaliste. En outre, la séparation peut être inappropriée lorsque l'accès à des destinations riveraines est le principal objectif du déplacement à vélo, parce que la séparation limite généralement leur accès depuis ces infrastructures (Watkins et al., 2016, p. 10).

D'un autre côté, selon Fortier (2009, p. 17), les voies cyclables non conformes aux critères de sécurité peuvent induire un faux sentiment de sécurité chez les cyclistes, puisqu'on s'attend à ce qu'une voie cyclable identifiée soit sécuritaire. Il poursuit en affirmant que « [...] lorsqu'une infrastructure est officiellement identifiée par une signalisation comme un aménagement cyclable, cette infrastructure devrait être aménagée de façon sécuritaire, indépendamment du type de cycliste qui y circule. » O'Mara et Shanteau (2014, p. 4) ajoutent, en citant l'ITE

(2012), que les infrastructures cyclables mal conçues peuvent être contre-productives pour la sécurité des cyclistes.

Fortier (2009, p. 17) est donc d'avis qu'il vaut mieux ne pas identifier publiquement une rue ou une route comme une voie cyclable si celle-ci n'est pas pourvue d'un aménagement sécuritaire. Il en conclut qu'il vaut parfois mieux « [...] faire une place au cycliste sur la voie publique sans la signaler comme un aménagement cyclable plutôt que de tenter à tout prix d'aménager une voie cyclable lorsque les conditions de la route ne le permettent pas. » (Fortier, 2009, p. 20). C'est également la position du MTO (2014, p. 22), lequel propose en outre que la décision d'implanter une voie cyclable devrait être prise avec l'engagement d'un entretien à long terme en vue de son maintien en bon état.

0.2.2 État des infrastructures cyclables

Fortier (2009, p. 1) constate des variations importantes de la sécurité des parcours cyclables existants, nonobstant la présence de certaines normes au Québec. Il explique en partie cette situation par le fait que l'application des normes québécoises est volontaire et que celles-ci, de même que l'expertise les concernant, ont évolué. Selon les normes québécoises actuelles, les aménagements cyclables peuvent prendre plusieurs formes, comme le montre de façon non limitative le *Lexique des aménagements cyclables* présenté en appendice.

Selon Turcot (2018, p. 1) qui cite Vélo Québec (2013), « Les infrastructures cyclables québécoises présentent [...] de nombreuses déficiences fonctionnelles connues, par exemple, au niveau réseau, le manque de connectivité et la discontinuité des tronçons, les détours, la quantité insuffisante de liens ou leur absence. » Bilodeau (2015, p. 18) rapporte que des 5 000 km de la Route verte, seuls 1 900 sont constitués d'aménagements cyclables hors chaussée.

Toujours selon Turcot (2018, p. 39), la carte interactive de la Route verte (Vélo Québec, s.d.) permet de constater que celle-ci est discontinuée à de nombreux endroits, et ce, parfois sur

plusieurs kilomètres. De surcroît, là où elle est ininterrompue, celle-ci suggère des détours significatifs à plusieurs endroits. Ne serait-ce qu'entre Montréal et Québec, soit les deux villes les plus peuplées du Québec, la Route verte est incomplète ou « non aménagée » de part et d'autre du fleuve Saint-Laurent. Dans cet axe, certains tronçons aménagés des circuits 3 et 5 sont d'ailleurs considérés « non conviviaux », selon la carte interactive susmentionnée.

Pour dresser le portrait du réseau cyclable québécois, Fortier (2009, p. 11) prend l'exemple de la Montérégie. Il note que les trajets proposés aux cyclistes se trouvent souvent sur des routes nationales ou régionales sans accotement revêtu, dont la vitesse affichée est de 90 km/h ou dont le DJMA varie de moyen à élevé. En se basant sur les travaux de Brown et al. (1998), il constate que « Rien n'indique que la Montérégie soit pire ou meilleure que d'autres régions en ce qui concerne les aménagements cyclables [...] » et affirme qu'il est « [...] probable qu'elle se situe dans la moyenne québécoise. »

En se basant sur des travaux de MTQ et SAAQ (1995), Turcot (2018, p. 40) note un manque de coordination et de planification des aménagements cyclables, ceux-ci étant souvent réalisés dans le cadre de projets isolés et sans chercher à relier entre eux les aménagements des diverses municipalités.

Selon le MTQ (2008b, p. 22), 66 M\$ auraient été investis par le Ministère de 1995 à 2006 pour des aménagements cyclables sur son réseau. Ces aménagements constitueraient principalement le revêtement des accotements et l'ajout de voies cyclables sur des structures. Le MTQ (2008b, p. 23) poursuit en indiquant que « Dans le cas des voies cyclables de grandes distances, comme la Route verte et les réseaux régionaux, la prise en charge par les petites municipalités dont l'assiette fiscale est faible peut poser des problèmes de qualité de l'entretien. »

L'existence de réseaux cyclables reliant deux endroits ou se trouvant à proximité d'un endroit peut donc difficilement être interprétée comme répondant nécessairement aux besoins des cyclistes, que ceux-ci soient existants ou latents.

0.2.3 Aménagements cyclables souhaitables

En fonction du type de cycliste (récréatif ou utilitaire) et de leur niveau de confort ou d'habileté, la notion d'aménagement cyclable « souhaitable » peut varier. Cela réfère en partie à la notion de mobilité décrite à la section 0.1.3. Si certains aménagements cyclables sont « souhaitables » en milieu urbain, on peut également envisager une différence pour les aménagements cyclables se trouvant en milieu rural ou périurbain.

Selon Wilkinson et Moran (1986, p. 11), pour justifier leur utilisation, les liens cyclables doivent offrir un environnement cyclable supérieur d'une manière ou d'une autre aux alternatives.

Les cyclistes récréatifs acceptent d'effectuer des détours, au besoin, pour éviter des conditions dangereuses ou inconfortables. Ceux-ci ne doivent toutefois pas représenter une proportion trop importante du trajet le plus court (Wilkinson & Moran, 1986, p. 10). Pour ces usagers, sans s'y limiter, l'AASHTO (2012, p. 2.14) considère que le paysage constitue un aspect important à considérer dans la conception d'un aménagement cyclable.

Pour leur part, les cyclistes utilitaires sont peu enclins à dévier le moindre du trajet le plus court (Wilkinson & Moran, 1986, p. 10). Caltrans (2010, p. 108) rappelle en effet que les liens directs facilitent le transit cycliste et contribuent à réduire la distance de parcours. Une voie cyclable devrait donc connecter les lieux d'intérêt avec aussi peu de détours que raisonnable et minimiser le nombre d'arrêts, puisque l'efficacité d'une bicyclette est réduite aux arrêts et aux départs (AASHTO, 2012, p. 2.13). Il apparaît donc que les cyclistes utilitaires sont disposés à sacrifier une part de leur confort et de l'attrait du paysage pour utiliser un trajet optimal.

Wilkinson et Moran (1986, p. 17) rappellent en outre que les cyclistes sont particulièrement sensibles à la douceur de la chaussée et sont affectés négativement par ses irrégularités. Ceux-ci tendent à circuler à l'endroit où le revêtement est en meilleur état, même si cela signifie se

déporter vers les voies de circulation ou s'y insérer, nonobstant la présence d'un accotement revêtu inconfortable. Ironiquement, toujours selon cet auteur, bien qu'on s'attende à ce que les cyclistes y circulent, la section du revêtement la plus à risque de détérioration et la moins propice à être entretenue est l'accotement.

Wilkinson et Moran (1986, p. 10) proposent que, pour répondre aux besoins des cyclistes, un lien cyclable doit être simple, ininterrompu et logique. Il doit offrir des connexions claires aux destinations que les cyclistes seront portés à chercher et ne pas les conduire vers des conditions hasardeuses avant de les abandonner par l'entremise d'un panneau indiquant la fin de l'itinéraire cyclable. Toujours selon cet auteur, le lien cyclable devrait éviter les enchaînements de virages et les connexions multiples. En effet, la complexité augmente les probabilités qu'un cycliste perde son chemin et se retrouve dans un environnement dangereux.

Selon Wilkinson et Moran (1986, p. 11), les liens cyclables de longue distance devraient donc idéalement être situés le long de corridors servant de routes nationales et disposer de branches connectrices vers les centres de population et les circuits cyclables touristiques. L'AASHTO (2012, p. 2.13) souligne d'ailleurs que les routes principales sont généralement plus directes et sont avantageuses du point de vue de l'efficacité compte tenu de leur priorité aux carrefours. L'organisme poursuit en affirmant que la meilleure approche est, dans plusieurs cas, d'améliorer la route principale tout en fournissant un lien parallèle sur des routes où la vitesse affichée et le débit de circulation sont inférieurs, pour autant que la fonction d'accès soit similaire.

0.2.4 Usage de l'accotement revêtu des autoroutes comme aménagement cyclable

Au même titre que les routes principales ci-haut mentionnées, Moeur et Bina (2002, p. 5) constatent qu'une route à accès contrôlé, typiquement une autoroute, peut être considérée par les cyclistes comme plus pratique en termes de temps de parcours, de distance et d'accessibilité. Ferrara (2001, p. 50) ajoute que la géométrie autoroutière qui accommode la

circulation des cyclistes consiste en de larges accotements revêtus, en de faibles pentes longitudinales et en la rareté des bretelles d'accès.

Morrison et al. (2019, p. 130) soulignent néanmoins que l'ajout de bandes cyclables⁹ sur des routes à fort débit de circulation et à vitesse affichée élevée, ou sur des routes étroites, n'attirera pas nécessairement des cyclistes additionnels. En effet, la circulation rapide des véhicules routiers réduit le confort des cyclistes, de même que leurs probabilités de survie en cas de collision (Caltrans, 2010, p. 108). Schonfeld, Miller-Hooks, Zhao, et Conrad (2016, p. 2) rappellent d'ailleurs que sur les routes dont la vitesse affichée est supérieure à 72 km/h (45 MPH), comme les routes nationales ou régionales mentionnées à la section 0.2.2, la séparation physique des aménagements cyclables est presque universellement recommandée. Cette même référence spécifie toutefois que certains états des États-Unis recommandent l'élargissement de l'accotement revêtu là où une séparation physique n'est pas viable.

Pour sa part, Ferrara (2001, p. 9) aborde de la façon suivante l'usage de l'accotement revêtu des autoroutes comme aménagement cyclable :

Initialement, plusieurs personnes croient que l'idée d'autoriser la circulation des cyclistes sur les autoroutes est ridicule, et la majorité des automobilistes ignore parfaitement que la circulation des cyclistes est parfois autorisée sur les autoroutes. De plus amples analyses du sujet, toutefois, révèlent non seulement que les cyclistes ont accès à certaines autoroutes, mais qu'ils sont en réalité encouragés à y circuler dans certaines régions, par exemple le long de la *Pacific Coast Bike Route* [en Californie]. En dépit des antécédents entourant la circulation des cyclistes sur les autoroutes, il est difficile d'évaluer le succès de cette mesure. [Traduction libre]

Les autoroutes se distinguent en effet substantiellement des routes nationales typiques. Selon l'ATC (1999, p. 1.2.3.4), « les statistiques » montrent que les taux de collisions sur les

⁹ Dans le contexte des routes à profil rural, les bandes cyclables sont assimilées aux accotements revêtus aménagés pour la circulation des cyclistes.

autoroutes affichant les limites de vitesse les plus élevées autorisées par la loi sont deux à trois fois moins élevés que sur les « grandes routes » (*highways*) à une voie par direction. L'ATC (1999, p. 1.2.3.4) attribue cet avantage au point de vue de la sécurité aux caractéristiques des autoroutes, soit : les chaussées séparées, séparant la circulation en sens inverse; de multiples voies par direction, réduisant les conflits de dépassement; la limitation des accès à la route; la séparation des débits véhiculaires aux échangeurs; ainsi que les abords de route relativement larges, plats et libres d'obstacles, ce qui réduit la gravité des collisions lorsqu'un véhicule quitte la chaussée.

Malgré cela, l'ATC (1999, p. 1.2.3.2) est d'avis « [qu'il] faut interdire ou décourager fortement l'utilisation [des routes express et des autoroutes] par les piétons et les cyclistes, ce qui permet d'établir une vitesse qui satisfait presque tous les conducteurs (le 85^e centile de la vitesse souhaitée observée est généralement utilisé). » Conformément, au Québec, « On peut faire du vélo sur toutes les voies publiques, sauf sur les autoroutes et leurs voies d'accès. » (SAAQ, 2019).

Aux États-Unis, l'accès des cyclistes et des piétons au réseau de routes *Interstate* n'est pas prohibé par la loi ou les règlements fédéraux. Cependant, les états peuvent interdire la circulation des piétons et des cyclistes sur leurs routes *Interstate* en contrôlant leur accès, ce que font de nombreux états (FHWA, 2010, p. 4). Cela étant dit, plusieurs états permettent au contraire l'usage d'une part ou de tout leur réseau de routes *Interstate* (Wilkinson & Moran, 1986, p. 48).

Selon l'AASHTO (2012, p. 1.1), toutes les routes, excepté celles où la circulation des cyclistes est légalement prohibée, devraient être conçues et construites sous la présomption qu'elles seront utilisées par les cyclistes. En ce sens, les autoroutes où peuvent circuler les cyclistes devraient être conçues selon ce critère.

Pourtant, Ferrara (2001, p. 51) indique qu'en ce qui a trait à la circulation des cyclistes sur les autoroutes, le traitement le plus courant pour les cyclistes semble être de simplement les laisser

circuler sur les accotements revêtus. Selon cet auteur, des critères spécifiques pour les débits véhiculaires et les largeurs de voies ont été suggérés en se basant sur l'opinion des cyclistes, mais les autorités concernées ne les ont pas adoptés. Ces critères n'ont pas été testés dans le cadre d'études contrôlées ou partiellement contrôlées au sujet de la fréquence des collisions. Ferrara (2001, p. 51) conclut que la littérature ne contient pas de processus de conception clair pour traiter la problématique potentielle de la circulation des cyclistes sur les autoroutes.

0.3 Objectifs

À la lumière de ces informations, il n'y a pas de consensus quant à l'usage de l'accotement revêtu des autoroutes comme aménagement cyclable et l'information à cet égard est limitée. Par exemple, les travaux de Ferrara (2001, p. 51) n'ont pas permis d'identifier des études comparant les routes à accès limité, typiquement des autoroutes, aux autres routes, du point de vue de la sécurité des cyclistes. La revue de littérature de Ferrara (2001, p. 51) montre en outre que peu de tentatives ont été effectuées pour établir des taux de collision par kilomètre parcouru impliquant les cyclistes.

Le présent mémoire vise à formuler une méthode d'analyse permettant d'évaluer la possibilité d'autoriser les cyclistes à circuler sur l'accotement des autoroutes en milieu rural et périurbain et, le cas échéant, à identifier les paramètres à considérer ainsi que les mesures de mitigation à envisager. À cette fin, la méthode est divisée en trois sous-objectifs :

- Déterminer l'état des connaissances entourant la circulation des cyclistes sur les autoroutes;
- Identifier les aménagements mis en place en lien avec cette circulation, s'il y a lieu;
- Identifier une méthode d'analyse applicable au Québec permettant de déterminer dans quel contexte devrait être autorisée la circulation des cyclistes sur l'accotement des autoroutes en milieu rural et périurbain, s'il y a lieu.

La présente recherche est divisée en quatre Chapitres. Les deux premiers abordent la revue de littérature, d'abord en ce qui a trait aux caractéristiques des cyclistes et à leur circulation, ensuite en ce qui a trait aux caractéristiques routières les concernant. Le troisième Chapitre

présente la méthodologie développée afin d'atteindre l'objectif ci-haut mentionné. Le Chapitre suivant contient une discussion par rapport aux trois Chapitres précédents ainsi que la formulation des recommandations pertinentes en découlant, lesquelles sont rapportées à la Conclusion.

0.4 Cadre de la recherche

La présente recherche se limite aux milieux ruraux et périurbains. L'INSPQ (2013) distingue clairement les deux milieux et leur définition a servi de base à ces travaux.

D'abord, le milieu rural est défini comme suit :

Il se trouve à l'extérieur du périmètre d'urbanisation et peut comporter des terres agricoles, des forêts, des habitations et des bâtiments industriels. Les routes en milieu rural sont généralement caractérisées par une limite de vitesse supérieure à 50 km/h, une largeur plus grande des voies de circulations, des courbes plus prononcées, le recul des bâtiments et leur faible densité ainsi qu'un nombre limité d'intersections et d'entrées [...] S'il est difficile d'établir précisément où se termine le milieu rural et où commence le milieu périurbain, les éléments suivants sont de bons indices : la limite de vitesse est plus basse, les bâtiments sont de plus en plus rapprochés [...], l'activité près de la route augmente (piétons, véhicules) et un village ou une ville est à proximité. (INSPQ, 2013)

Ensuite, le milieu périurbain est défini comme suit :

Qui est à proximité d'une ville. Le milieu peut rester rural en apparence, mais les liens fonctionnels entre l'habitat et les activités de la ville centre sont importants. La densité des bâtiments est plus grande qu'en milieu rural, ils sont moins dispersés. En milieu périurbain la vitesse est un peu plus élevée qu'en milieu urbain (60-70 [km/h]), les rues sont plus larges et les débits en heures de pointe se concentrent surtout le matin et le soir (mouvement pendulaire). (INSPQ, 2013)

Plus spécifiquement, le milieu périurbain est le milieu de transition qui, potentiellement, reliait le réseau cyclable autoroutier avec le réseau cyclable conventionnel qui est généralement mieux développé dans les régions urbanisées.

Au Québec, les autoroutes sont une catégorie officiellement dissociée des autres routes. Celles-ci sont numérotées de 1 à 99 ainsi que de 400 à 999 et se distinguent par l'usage des panneaux caractéristiques de la série I-130 (MTQ, s.d.-e, § 5.5.3). Aux États-Unis, en ce qui a trait aux routes *Interstate*, la situation est similaire. Celles-ci sont officiellement désignées ainsi par le Secrétaire des Transports états-unien (WSDOT, 2013, p. 14).

En ce qui a trait aux autres routes à chaussées séparées et dont l'accès est limité, il peut être plus complexe de les différencier du reste du réseau routier. En effet, la classification fonctionnelle peut s'avérer plutôt subjective (WSDOT, 2013, p. 14). Il convient donc de définir, au-delà de la numérotation, ce qui constitue une autoroute, notamment en considérant que, dans le contexte nord-américain, le terme est spécifique au Québec.

Le MTQ (2019b, p. 1) et l'Office québécois de la langue française (1998) offrent la même définition de ce que constitue une autoroute. Il s'agit d'une « Voie de communication à chaussées séparées, exclusivement réservées à la circulation rapide, ne comportant aucun croisement à niveau et accessible seulement en des points aménagés à cet effet. »

L'Office québécois de la langue française (1998) propose cependant une seconde définition affirmant que l'autoroute est une : « Route réservée exclusivement à la circulation mécanique rapide, accessible seulement en des points spécialement aménagés et ne comportant aucun carrefour à niveau. » Cette deuxième description a été écartée du présent mémoire, puisqu'elle implique que les autoroutes ne sont pas destinées à l'usage des bicyclettes, et ce, bien qu'un tel usage soit permis ailleurs.

Dans le reste du Canada et aux États-Unis, on utilise les termes *freeway* et *expressway* lorsqu'on fait référence aux autoroutes. Certains allèguent qu'il s'agit de synonymes, comme

le MTO (2019b) qui définit ainsi le terme *freeway* : « Un *freeway* – aussi nommé un *expressway* – est une route à haute vitesse comportant plusieurs voies. » [Traduction libre]. À Montréal, au Québec, on trouve par exemple le « *Bonaventure expressway* » qui est traduit en français par « autoroute Bonaventure ».

Pourtant, aux États-Unis, les deux termes sont distincts. Le Code administratif de la Virginie-Occidentale affirme par exemple que « *Freeway* signifie *Expressway* avec contrôle complet de l'accès. » [Traduction libre] (W. Va. Code R. § 157-3-2(2.39)). On retrouve typiquement cette différenciation dans la littérature provenant des États-Unis.

La distinction provient de la notion d'accès, qui réfère dans ce contexte à la capacité d'accéder aux routes, mais pas aux propriétés riveraines. « L'accès à ces routes est [limité] pour maximiser la mobilité par l'élimination des conflits avec les entrées charretières et les intersections qui gêneraient autrement la circulation. » [Traduction libre] (WSDOT, 2013, p. 14).

Lorsque l'accès à une autoroute est limité, celle-ci est assimilée à un *expressway*. Le cas échéant, il peut exister des accès aux propriétés riveraines, de même que des carrefours, mais ceux-ci sont rares. Si l'accès est contrôlé, les intersections prennent systématiquement la forme d'échangeurs et il n'existe aucun accès aux lots adjacents. Il s'agit alors d'un *freeway*.

Au Québec, une telle distinction n'existe pas, puisque l'accès au réseau autoroutier est réputé être entièrement contrôlé. En effet, le MTQ (s.d.-b, § 10.3) affirme que « Les accès sont en tout temps interdits sur les autoroutes ». Il en va de même pour le réseau *Interstate* aux États-Unis (FHWA, 2010, p. 3).

Dans le cadre du présent document, l'autoroute est donc une route à chaussées séparées de deux voies ou plus dans chaque direction et dont l'accès est limité ou contrôlé. Une telle route est dédiée à l'usage exclusif de la circulation de transit et inclut une séparation de niveau à la plupart des intersections (FHWA, 2017).

L'autoroute inclut donc les aménagements à accès limité (*expressway*), en plus des aménagements à accès contrôlé (*freeway*). Aux États-Unis, cela signifie que la recherche dépasse parfois le cadre du réseau *Interstate*. Il en va de même au Québec où des aménagements aux caractéristiques autoroutières ne faisant pas partie des routes numérotées de 1 à 99 ainsi que de 400 à 999 peuvent être considérés. Au Canada, cette inclusion permet notamment de considérer les autoroutes de la région des Prairies, dont la route Transcanadienne, lesquelles n'ont généralement pas un contrôle complet de l'accès.

CHAPITRE 1

REVUE DE LA LITTÉRATURE – PARTIE 1 USAGERS DE LA ROUTE

1.0 Introduction

Ce Chapitre présente la première partie de la revue de littérature, soit le survol et l'évaluation des ouvrages ayant servi à établir l'état des connaissances relatives aux cyclistes et à leurs interactions avec les automobilistes. Cette revue de littérature a également permis de formuler les bases méthodologiques des analyses présentées subséquemment.

Ce Chapitre aborde les caractéristiques des cyclistes et leur positionnement sur la route; la vitesse de marche des conducteurs et l'effet de la présence de cyclistes sur ces conducteurs; les risques de collision impliquant au moins un conducteur et un cycliste ainsi que le risque de blessure sévère ou mortelle chez les cyclistes découlant de ces collisions.

1.1 Caractéristiques des cyclistes

Au Québec, les cyclistes circulent surtout l'été, bien que plusieurs cyclistes circulent tout au long de l'année. Bilodeau (2015, p. 7) rapporte qu'en 2015, au Québec, le volume de cyclistes en hiver représentait 6 % du volume de cyclistes en été. Selon l'auteur, les conditions météorologiques auraient toutefois été particulièrement défavorables au cours de cette saison.

À la différence de la conduite d'un véhicule motorisé, lequel n'est généralement pas considéré comme une activité récréative, mais plutôt comme un mode de déplacement, plusieurs choisissent le vélo parce que le cyclisme atteint plus qu'un seul objectif, comme faire de l'exercice tout en se déplaçant. Le cyclisme est d'ailleurs une activité récréative pour les millions de personnes aux États-Unis, jeunes et âgés, à travers plusieurs classes démographiques et socioéconomiques (AASHTO, 2012, p. 2.3).

Bien que le cycliste soit souvent comparé au piéton en raison de sa vulnérabilité et de son agilité, on le compare parfois aux conducteurs de véhicules routiers en raison de sa vitesse (Bruneau et al., 2004, p. 7). En outre, le cycliste est un usager directionnel au même titre que l'automobiliste, lequel ne peut pas se déplacer latéralement comme le peut un piéton. Le cycliste a également la particularité de pouvoir se transformer en piéton lorsqu'il descend de selle, par exemple lorsqu'il fait face à un panneau *Obligation de descendre de bicyclette* (P-125) (MTQ, s.d.-e, § 7.8.9).

Les cyclistes se démarquent des piétons et des conducteurs de véhicules routiers de multiples façons. Il convient donc d'étudier leurs particularités, dont leur gabarit, le type d'usagers et la vitesse qu'ils pratiquent. Enfin, spécifiquement dans le contexte de l'usage de l'accotement des autoroutes par les cyclistes, on doit déterminer qui est la clientèle cible.

1.1.1 Gabarit

Le gabarit des cyclistes prend en compte la largeur de leur bicyclette, de même que leur distance de confort à l'objet. L'AASHTO (2012, p. 3.2) et le MTQ (s.d.-b, p. 15.9) fixent un gabarit souhaitable de 1,5 m. Cela dit, comme le montrent les Figures 1.1 et 1.2, les deux références diffèrent en ce qui a trait au gabarit minimal, soit respectivement 1,2 m et 1,0 m, ainsi qu'à la largeur des cyclistes et de leur bicyclette, soit respectivement 0,75 m et 0,6 m.

Ces gabarits tiennent compte de vélos standards et excluent donc les bicyclettes surdimensionnées comme les tricycles pour adultes, les vélos couchés, les vélos cargos, les remorques de vélo, etc. O'Mara et Shanteau (2014, pp. 5-7) rapportent que la largeur de ces engins atteint couramment 0,76 m (30 po) et peut atteindre 0,84 m (33 po).

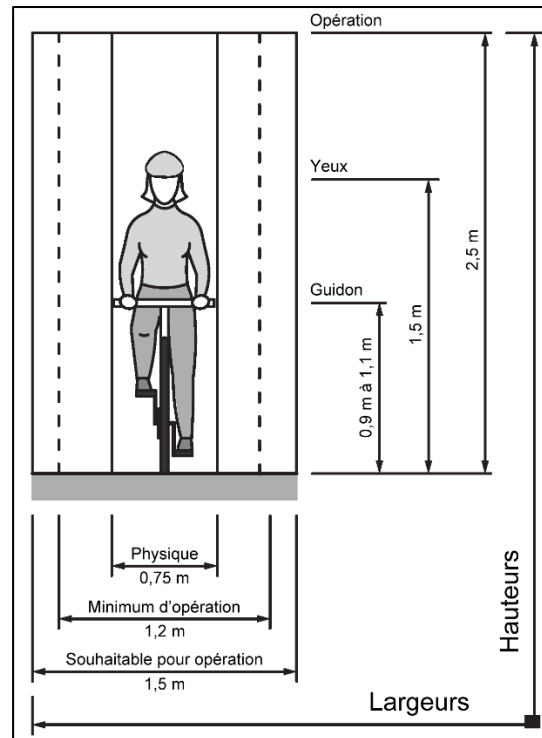


Figure 1.1 Gabarit cycliste (AASHTO)
Adaptée de AASHTO (2012, p. 3.2)

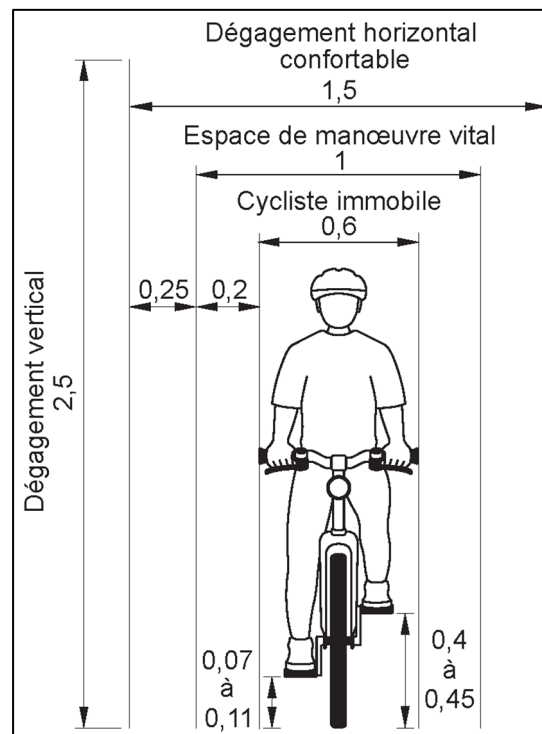


Figure 1.2 Gabarit cycliste (MTQ)
Adaptée de MTQ (s.d.-b, p. 15.9)

1.1.2 Vitesse pratiquée

Il n'y a pas consensus sur la vitesse pratiquée par les cyclistes. Cela n'est certainement pas étranger au fait qu'il s'agisse d'un mode de transport à propulsion musculaire. À la différence des conducteurs de véhicules motorisés, on ne peut pas s'attendre à ce que tous les usagers se déplacent à une vitesse affichée donnée.

Le MTO (2014, p. 9) et l'AASHTO (1999, p. 51) reconnaissent d'ailleurs que, compte tenu de cette spécificité, les cyclistes préfèrent plus que les autres opérateurs de véhicule maintenir leur élan et éviter un arrêt. Wilkinson et Moran (1986, p. 10) partagent cet avis en affirmant simplement que : « Les cyclistes n'aiment pas arrêter. » [Traduction libre]. Cet auteur soutient que les cyclistes tendent à éviter les routes dotées d'arrêts à plusieurs intersections. En fait, ces cyclistes ont même tendance à ne pas respecter ces arrêts obligatoires. Aux carrefours dotés d'arrêts toutes directions, St-Jacques (2016, p. 25) observe qu'en écoulement fluide, face à un panneau d'arrêt, seuls 4,7 % des cyclistes effectuent un arrêt complet alors que 90,6 % poursuivent leur trajet sans ralentir.

En section courante, sur une surface plane, les cyclistes typiques circulent dans les intervalles de vitesses suivants, selon les références indiquées :

- Entre 12,1 et 20,0 km/h (Robertson & Hawkins, 2013, p. 833);
- Entre 20 et 30 km/h (MTQ, s.d.-b, § 15.4.3);
- Entre 13 et 24 km/h (AASHTO, 2012, p. 3.4);
- Entre 15 et 16 km/h (4 m/s) (SDD, 1989; MnDOT, 1996, cités par Bruneau et al., 2004, p. 18).

Moeur (2000, p. 95) cite pour sa part l'AASHTO (s.d) en recommandant l'usage d'une vitesse de conception de 32 km/h (20 MPH) dans le cadre d'aménagements spécifiquement dédiés aux cyclistes. L'auteur reconnaît toutefois que les cyclistes peuvent atteindre des vitesses de 40 km/h (25 MPH) ou plus en descente.

Dans le contexte de la traversée d'une route, par exemple à un passage pour personnes, Bruneau et al. (2004, p. 18) citent Gittings et al. (1994) et rapportent que la vitesse maximale y est de 10 km/h. Les auteurs abordent également plus spécifiquement les caractéristiques d'accélération et de décélération applicables à ce contexte. Pour ce faire, ils se basent sur les travaux de Taylor (1993), lequel a évalué l'accélération d'un groupe de cyclistes âgés de 19 à 55 ans. Les résultats obtenus par l'auteur sont rapportés au Tableau 1.1. Bruneau et al. (2004, p. 18) émettent des réserves par rapport à l'âge des participants, le groupe excluant les jeunes cyclistes, de même que l'accélération sur de courtes distances, par exemple dans le cadre de la traversée d'une route à chaussée unique et disposant d'une voie par direction.

Tableau 1.1 Accélération et vitesse des cyclistes
Adapté de Bruneau et al. (2004, p. 18)

Statistique	Vitesse (km/h)	Décélération (m/s ²)	Accélération (m/s ²)	
			Sur 18 m	Sur 45 m
Minimum	13,2	1,15	0,03	0,55
15 ^e centile	16,9	1,28	0,21	s.o.
Moyenne	22,7	2,29	0,43	1,15
Médiane	23,0	2,35	0,40	1,10
85 ^e centile	26,7	2,96	0,58	s.o.
Maximum	33,6	3,75	0,91	1,95
Nb de données	28	27	12	6

L'AASHTO (2012, pp. 4.44-4.46) propose également des valeurs d'accélération et de décélération pour les cyclistes, lesquelles ne sont pas soumises à un intervalle d'applicabilité quant à la longueur, mais sont appliquées au contexte d'un passage pour personnes. Ces valeurs sont respectivement fixées à 0,5 m/s² et 1,5 m/s². L'usage d'une vitesse de conception de 16 km/h (10 MPH) est recommandé, mais là où de jeunes usagers sont attendus, un délai supplémentaire est conseillé pour le calcul du temps de dégagement.

En somme, les cyclistes typiques circuleraient entre 10 et 32 km/h en l'absence de pente significative, un niveau d'imprécision qui peut sembler inadéquat en vue de la conception d'aménagements. Il convient toutefois de considérer le contexte. D'un côté, une vitesse de conception élevée en tronçon vise, sans s'y limiter, à assurer des rayons de virage et des distances de visibilité d'arrêt (DVA) adéquats (MTQ, s.d.-b, § 15.4). D'un autre côté, une vitesse de conception peu élevée vise, sans s'y limiter, à assurer des distances de visibilité de traversée (DVT) et des temps de dégagement adéquats (AASHTO, 2012, pp. 4.44-4.46). Le choix d'une seule vitesse de conception pour ces deux contextes n'est donc pas souhaitable.

1.1.3 Types d'usagers

Selon le motif de leur déplacement, on classe généralement les cyclistes dans deux catégories : les cyclistes récréatifs et les cyclistes utilitaires. Sur les 4,2 millions de cyclistes au Québec en 2015, Bilodeau (2015, pp. 4, 10) note que 1,9 million d'entre eux utilisent régulièrement ou à l'occasion le vélo pour se rendre au travail, à l'école ou ailleurs. Cela signifie que 45 % des cyclistes effectuent parfois des trajets à vélo pour des motifs utilitaires et non que 45 % de l'ensemble des trajets à vélo sont effectués pour des motifs utilitaires. La politique sur le vélo du Gouvernement du Québec (MTQ, 2008b, p. 15) mesurait pour sa part à 17 % la part des déplacements à vélo effectués au Québec pour des fins utilitaires, et ce, en 2005.

L'AASHTO (2012, p. 2.3) note qu'il peut être difficile de différencier ces deux types de cyclistes, puisque leur mode de transport est le même. Quoiqu'il en soit, tout comme on conçoit les routes pour une variété de déplacements en véhicule motorisé, l'organisme affirme que les voies cyclables devraient être conçues pour accommoder une variété de déplacements à vélo.

Spécifiquement par rapport aux cyclistes utilitaires, Turcot (2018, p. 10) cite Jolicoeur et Vélo Québec (2009) en affirmant que leurs décisions et comportements sont liés aux facteurs suivants :

- La relation avec son milieu et son exposition aux conditions météorologiques;
- L'effort physique constant et son enclin à réduire cet effort;
- La concentration et l'attention nécessaire au maintien du contrôle de son véhicule;
- La sensibilité aux irrégularités des surfaces et aux éléments verticaux;
- La vulnérabilité obligeant un effort psychologique constant pour évaluer son environnement statique et dynamique et assurer sa sécurité objective.

On sépare également les cyclistes en quatre catégories selon leur niveau d'expérience et leur tolérance du risque (Geller, 2006, cité par Dill & McNeil, 2013, p. 129) :

- Non intéressés (*no way, no how*);
- Intéressés, mais inquiets (*interested but concerned*);
- Intéressés et confiants (*enthused and confident*);
- Expérimentés et confiants (*strong and fearless*).

Les résultats de Dill et McNeil (2013, p. 129), de même que ceux cités de Geller (2006) montrent que les cyclistes dits « confiants » sont significativement minoritaires, soit au plus 15 % des répondants dans les deux cas. La majorité se dit « inquiète », mais intéressée par le cyclisme.

Selon l'AASHTO (2012, p. 2.5), les groupes moins confiants incluent une grande variété de personnes. Ces cyclistes incluent ceux qui se déplacent :

- Fréquemment, et ce, pour diverses raisons;
- Parfois, mais uniquement sur les voies cyclables ou des rues à faible débit de circulation ou dont la vitesse affichée est peu élevée;
- Pour des fins récréatives, parfois avec des enfants;
- Pour des raisons de nécessité, comme moyen de déplacement (cyclistes utilitaires).

Toujours selon l'AASHTO (2012, p. 2.5), pour un usage fréquent de leur bicyclette, ces cyclistes requièrent un réseau cyclable robuste et bien conçu. Avec le temps, ces cyclistes peuvent migrer vers les groupes dits « confiants ».

En ce qui a trait aux cyclistes confiants, l'AASHTO (2012, p. 2.5) les définit comme des cyclistes confortables sur la plupart des voies cyclables, dont les routes sans traitement particulier pour leur usage. Ces cyclistes circulent pour des fins utilitaires ou récréatives. Ils sont à l'aise de circuler sur des routes où la circulation véhiculaire est dense et peuvent naviguer à l'intérieur de cette circulation. L'organisme décrit ces cyclistes comme incluant les sous-groupes suivants :

- Cyclistes navetteurs;
- Cyclistes de longue distance;
- Cycloportifs;
- Membres de clubs cyclistes.

1.1.4 Clientèle cible

Selon Ferrara (2001, p. 26) qui cite les résultats d'un sondage effectué en 1996 par la LAB et rapporté par Moritz (1998), l'individu typique que l'on retrouve à vélo sur les routes à haute vitesse, dont les ponts et tunnels à péage, est un professionnel marié âgé de 48 ans et possédant un diplôme universitaire. Selon ce sondage, 53 % des cyclistes utilisant couramment ces infrastructures disposent d'un revenu familial annuel dépassant 60 000 USD. 88 % des répondants ont également déclaré porter un casque lors de chaque sortie à vélo.

En faisant référence aux travaux de Forester (1977), Ferrara (2001, p. 27) conclut que les cyclistes les plus à même de circuler à vélo sur les routes à haute vitesse, dont les routes à accès limité, sont généralement plus âgés et sont des professionnels ou des étudiants préoccupés par leur sécurité.

Fortier (2009, p. 18) note que « [Les cyclistes utilitaires] souhaitent avoir un accès complet au réseau routier (urbain ou autre), et ce, même s'il n'y a pas d'aménagement cyclable partout. Ferrara (2001, p. 69) va plus loin en affirmant que les passionnés du cyclisme veulent généralement l'opportunité de circuler sur les autoroutes. Fortier (2009, p. 18) poursuit en affirmant que « Compte tenu du caractère très extensif de leur pratique, l'amélioration de la

sécurité [des cyclistes utilitaires] ne peut être exclusivement résolue par le développement d'aménagements cyclables sécuritaires. Ce type de pratique devrait être plutôt envisagé sous l'angle des améliorations à apporter à l'ensemble du réseau routier pour favoriser la cohabitation sécuritaire et équilibrée de tous les usagers [...].» Cela étant dit, l'AASHTO (2012, p. 4.56) note que là où les cyclistes peuvent circuler sur les autoroutes à accès contrôlé, l'usage est rare. Bilodeau (2015, p. 8) rapporte par exemple qu'au Québec, seulement 9 % des déplacements à vélo sont effectués sur une route à forte circulation, une catégorie dans laquelle les autoroutes seraient certainement comprises.

Selon Ferrara (2001, p. 50), les groupes de défense des cyclistes sont généralement en faveur de l'usage des autoroutes par les cyclistes, mais certaines inquiétudes sont exprimées quant aux échangeurs et à la présence de bandes rugueuses. Ceux consultés par Schonfeld et al. (2016, p. 3) sont unanimes en ce qui a trait à leurs inquiétudes quant à l'usage d'une bicyclette sur des routes où la vitesse affichée dépasse 72 km/h (45 MPH).

Il est à noter que, compte tenu de l'envergure des autoroutes, certaines mesurant des centaines ou des milliers de kilomètres, une part non négligeable de la clientèle devrait être constituée de cyclotouristes, lesquels voyagent chargés d'équipements spécialisés. Selon Bruneau et al. (2004, p. 82), il faut « [...] porter une attention particulière à ces équipements, car ils sont susceptibles de ralentir les usagers à cause de leur poids ou de la difficulté à manœuvrer qu'ils engendrent. »

1.2 Positionnement des cyclistes sur la route

La recherche démontre que la présence d'infrastructure dédiée aux cyclistes promeut la sécurité, dont les mesures d'apaisement de la circulation, les aménagements en site propre ou la séparation physique des aménagements dans l'emprise routière (Teschke et al., 2012, cités par Hess & Peterson, 2015, p. 2). Les cyclistes états-uniens auront toutefois invariablement à partager les voies de circulation avec les véhicules motorisés, puisque la plupart des routes n'ont pas d'infrastructures dédiées aux cyclistes (Hess & Peterson, 2015, p. 2). C'est également

le cas des routes du Québec, bien que les cyclistes ne soient pas de toute façon tenus d'utiliser les aménagements cyclables mis à leur disposition, comme mentionné à la section 0.2.1. De ce point de vue, il convient de déterminer le positionnement des cyclistes sur la route par rapport à celle des véhicules routiers avec lesquels ils cohabitent.

Sur les routes en milieu rural, en l'absence d'accotement revêtu de largeur suffisante, soit généralement 1,2 m (4 pi) (AASHTO, 1999, p. 16; AASHTO, 2012, p. 4.7; MTO, 2014, p. 52; Schonfeld et al., 2016, p. 2), bien que le MTQ (s.d.-b, p. 15.13) recommande parfois aussi peu que 1,0 m, le cycliste partage la chaussée avec les véhicules motorisés (Fortier, 2009, p. 15). Les voies de la plupart des routes des États-Unis sont toutefois trop étroites pour permettre aux conducteurs d'effectuer un dépassement sécuritaire sans empiéter en partie ou entièrement sur la voie adjacente. Leurs voies de circulation ont généralement une largeur de 3,0 m (10 pi) à 3,7 m (12 pi) (Hess & Peterson, 2015, p. 2).

Au Québec, sauf sur les « vélorues » et les « rues partagées » (CQLR c C-24.2 § 496.3), lorsque le conducteur d'un véhicule motorisé souhaite dépasser un cycliste circulant dans la voie où il se trouve, sur l'accotement ou sur une voie cyclable qui n'est pas séparée physiquement de la chaussée, il doit maintenir une « distance raisonnable » entre son véhicule et le cycliste. L'article 341 du Code de la sécurité routière du Québec (CQLR c C-24.2) établit cette distance à 1,0 m sauf lorsque la vitesse affichée dépasse 50 km/h. Dans ce cas, cette distance est augmentée à 1,5 m. Aux fins du présent document, un tel dépassement constitue un « dépassement sécuritaire », la distance à respecter pouvant cependant varier selon la juridiction. Robertson et Hawkins (2013, p. 835) qui citent Bisbee (2010) mentionnent par exemple la distance de 0,9 m, laquelle correspondait à la distance minimale de dépassement des cyclistes dans 15 états des États-Unis en 2010. Hess et Peterson (2015, p. 3) affirment en outre que la plupart des états de ce pays exigent une telle distance pour un dépassement légal.

Aux États-Unis, une voie de circulation de 4,3 m (14 pi) de largeur est généralement reconnue comme la plus étroite au sein de laquelle un conducteur peut dépasser un cycliste de façon sécuritaire. Cette largeur augmente à 4,6 m (15 pi) ou 4,9 m (16 pi) lorsque la vitesse pratiquée,

le débit de circulation ou la présence de véhicules lourds le justifie (Wilkinson et al., 1994; Seyfried, 2013; Caffrey, s.d., cités par Hess & Peterson, 2015, p. 2). Cependant, des voies de circulation d'une largeur excédant continuellement 4,9 m (16 pi) peuvent encourager l'utilisation de deux véhicules côte à côte dans la même voie, ce qui n'est pas souhaitable (AASHTO, 2012, p. 4.3).

La Figure 1.3 montre deux véhicules routiers communs aux États-Unis, soit une berline à gauche et un véhicule utilitaire sport à droite (Hess & Peterson, 2015, p. 3), effectuant un dépassement respectant une distance latérale de 0,9 m (3 pi) entre le véhicule et le cycliste, dont l'espace d'opération est de 1,2 m (4 pi), comme montré à la Figure 1.1. La largeur totale résultante ne prend pas en compte la distance de confort à l'objet que les usagers maintiennent généralement entre leur véhicule et des objets dangereux, de même qu'entre un véhicule motorisé et le marquage délimitant la voie à sa gauche ou entre une bicyclette et le bord de la chaussée. Hess et Peterson (2015, p. 3) rapportent que, dans ce contexte, la distance de confort à l'objet est de 0,46 m (1,5 pi), alors que O'Mara et Shanteau (2014, p. 11) recommandent une distance de 0,6 m (2 pi).

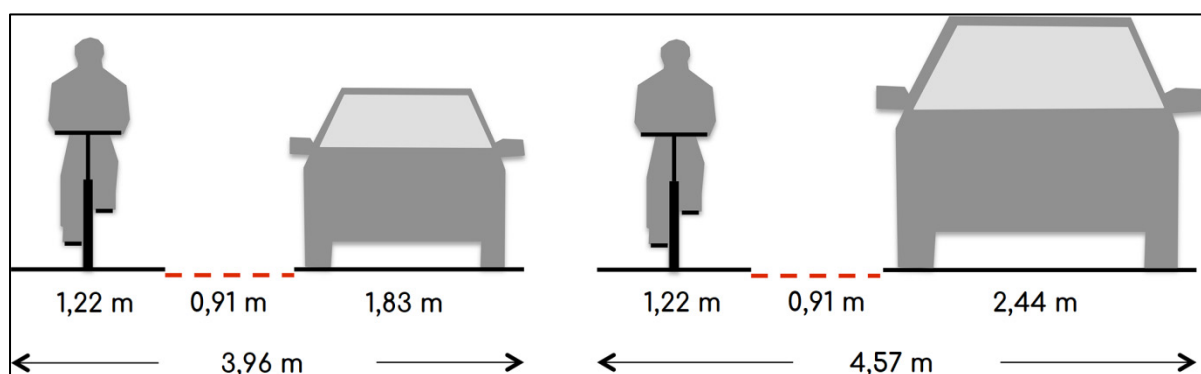


Figure 1.3 Dépassement légal d'un cycliste (États-Unis)
Adaptée de Hess et Peterson (2015, p. 3)

Pour obtenir la largeur réelle nécessaire au dépassement sécuritaire, mesurée à partir du bord de la chaussée, on doit donc ajouter cette distance de confort à l'objet. Cette distance est doublée pour prendre en compte la distance laissée entre le véhicule motorisé et le marquage délimitant la voie à sa gauche. La largeur ainsi obtenue est prohibitive, soit au moins 5,0 m. Il

convient donc de supposer que le dépassement sécuritaire d'un cycliste ne peut pas être effectué au sein de la même voie de circulation sans supposer une réduction de la distance de confort à l'objet des usagers et, donc, de leur confort et de leur sécurité.

De nombreux programmes éducatifs sur la sécurité à vélo enseignent aux cyclistes que circuler près du bord de la chaussée encourage les dépassements ne respectant pas une distance sécuritaire et que, au contraire, circuler au centre de la voie de circulation encourage les conducteurs à changer de voie afin d'effectuer un dépassement sécuritaire (Cycling Savvy, s.d.; LAB, s.d., cités par Hess & Peterson, 2015, p. 2).

Néanmoins, cette situation engendre du ressentiment auprès des conducteurs, qui doivent patienter derrière les cyclistes circulant lentement, et des cyclistes, qui subissent des dépassements dangereux, du harcèlement et la crainte d'être victime d'une collision lors d'un dépassement. Des cyclistes rapportent en outre une tendance au harcèlement par les conducteurs, dont certains policiers, lorsqu'ils utilisent cette technique (Oswald, 2011, cité par Hess & Peterson, 2015, p. 2), laquelle est nommée de plusieurs façons : prendre la voie (*taking the lane*¹⁰), cyclisme véhiculaire (*vehicular cycling*¹¹), cyclisme défensif (*defensive cycling*¹²), contrôle de la voie (*lane control*¹³), etc.

Sur les routes rurales dont la vitesse affichée est élevée et où la distance de visibilité est limitée, un espace pour la circulation des cyclistes sur l'accotement revêtu peut être préférable à une large voie extérieure en raison de l'effet de canal (*channeling effet*) produit par la ligne de rive (Wilkinson & Moran, 1986, p. 14). L'AASHTO (2012, p. 4.28) propose également l'élargissement des accotements revêtus de telles routes pour améliorer la mobilité et le confort des cyclistes, tout en réduisant l'occurrence des collisions impliquant des cyclistes.

¹⁰ City biking 101: Taking the lane : <https://www.kitsilano.ca/2012/07/23/city-biking-101-taking-the-lane/>

¹¹ Vehicular cycling : <https://www.cycling-embassy.org.uk/dictionary/vehicular-cycling>

¹² What is defensive cycling and how can you benefit from it? : <https://www.edinburghbicycle.com/info/what-is-defensive-cycling/>

¹³ Change Lanes to Pass- A Lesson in Safety : <https://www.bikewalknc.org/2018/11/change-lanes-to-pass-a-lesson-in-safety/>

Toutefois, « [...] les abords de la route ne sont pas toujours confortables et sécuritaires pour les cyclistes : par exemple, présence de sable, de gravier, d'herbes hautes, de fossés près de la route, d'obstacles en bordure, etc. » (Fortier, 2009, p. 15). Pour que les cyclistes y circulent, ceux-ci devraient donc avoir des standards de qualité de revêtement élevés et être maintenus exempts de débris et d'obstacles, dont des véhicules motorisés (Garder, 1995, p. 2).

En l'absence d'aménagement cyclable en site propre ou séparé physiquement, on s'attend donc à ce que le cycliste circule dans la voie extérieure; dans la bande cyclable, le cas échéant; ou sur l'accotement revêtu, si ce dernier est assez large pour accommoder sa circulation. Dans tous ces cas, la largeur disponible doit permettre un dépassement sécuritaire, faute de quoi les véhicules routiers doivent empiéter sur la voie adjacente pour effectuer leur dépassement ou attendre derrière le cycliste.

1.3 Vitesse de marche des véhicules routiers

La SAAQ (2015, p. 5), qui cite le MTQ (2007), rapporte que la majorité des conducteurs circulent à une vitesse supérieure à la vitesse affichée. Sur les routes principales, ce serait 65 % des conducteurs qui dépassent la vitesse affichée. Ce taux grimpe à 80 % sur les autoroutes interurbaines et à 90 % sur les routes en milieu rural dont la vitesse affichée est de 50 km/h. En outre, la proportion d'automobilistes déclarant circuler plus rapidement que la vitesse affichée est plus grande lorsque celle-ci est fixée à 90 km/h que lorsque celle-ci est fixée à 50 km/h, soit respectivement 70 % et 60 % des répondants. Toujours selon la SAAQ (2015, p. 6), comme « [...] la vitesse déclarée sous-estime la vitesse pratiquée, on peut penser que la situation concernant les vitesses pratiquées est pire que celle décrite [ci-dessus]. »

La vitesse dite « pratiquée » par les conducteurs correspond à leur vitesse à un endroit précis. « La littérature fait référence à deux indicateurs de la vitesse pratiquée : la vitesse moyenne et la vitesse du 85^e [centile]. Pour plus de sécurité, il est suggéré d'utiliser seulement le 85^e [centile], car cette vitesse est généralement plus élevée. » (Bruneau et al., 2004, pp. 16-17). C'est la définition qui est retenue aux fins du présent document.

La vitesse de marche fait quant à elle référence à la vitesse de ces conducteurs le long d'une route selon la distance parcourue et le temps de déplacement, sans compter les retards causés par des arrêts involontaires. La vitesse de marche est également mesurée pour la moyenne ou le 85^e centile (ATC, 1999, p. 1.2.3.3). Pour plus de sécurité, la vitesse de marche du 85^e centile est retenue aux fins du présent document. En outre, dans le contexte de cette étude, l'usage de la vitesse de marche est favorisé, puisque la vitesse pratiquée est une valeur ponctuelle, bien qu'il soit parfois nécessaire de l'employer.

Enfin, la vitesse de base, aussi dite vitesse de conception, correspond à 10 km/h de plus que la vitesse affichée (MTQ, s.d.-b, § 1.4.4), soit la vitesse maximale indiquée sur les panneaux de signalisation (WSDOT, s.d.). Cette vitesse correspond généralement à la vitesse de marche ou pratiquée attendue. Hunt, Larocque, et Gienow (2004, p. 11) notent en effet que presque toutes les routes ont une vitesse de marche 5 à 15 km/h plus élevée que la vitesse affichée. C'est également ce qui est observé par Bruneau et al. (2004, pp. 80, 100, 104) et Alberta Ministry of Transportation (2018, p. 34), lesquels établissent la vitesse pratiquée ou la vitesse de marche à approximativement 10 km/h de plus que la vitesse affichée.

1.4 Effet sur les conducteurs de la présence de cyclistes

Comme mentionné à la section 1.1, la majorité des cyclistes circulent l'été. De ce fait, il convient d'évaluer notamment les conditions de circulation en été. Selon les travaux de Bruneau et al. (2004, p. 16), la période estivale correspond également à un achalandage plus élevé pour les véhicules routiers. En effet, l'auteur constate que le DJME est en moyenne 19,4 % plus élevé que le DJMA au Québec et conclut que c'est l'indicateur à retenir en ce qui a trait à la problématique des passages pour personnes en milieu rural.

La présence des cyclistes sur les routes peut d'abord causer des manœuvres de dépassement, mais également un ralentissement des conducteurs en leur présence, sans s'y limiter. Ce ralentissement peut être significatif dans le contexte où le dépassement sécuritaire d'un cycliste par un conducteur est impossible à un moment ou à un endroit donné.

Dans le cadre de leurs travaux concernant l'implantation de chaussées désignées, Robertson et Hawkins (2013) ont pu déterminer que le débit de cyclistes sur la voie de circulation extérieure influence négativement le niveau de service de la route. Cet impact est plus important pour les voies de 3,7 m (12 pi) que pour les voies de 4,6 m (15 pi). Ceux-ci indiquent toutefois que leur modèle n'avait pas été calibré à l'aide de données observées et que les modèles utilisés pour le dépassement pourraient ne pas représenter fidèlement le comportement des automobilistes lors du dépassement des cyclistes, puisque ceux-ci ont été développés pour le dépassement d'autres automobilistes.

L'AASHTO (2012, p. 4.7) qui cite l'AASHTO (2011) note par ailleurs que l'ajout ou l'amélioration des accotements revêtus des routes dont la vitesse affichée ou le débit de circulation est élevé peut non seulement améliorer les conditions pour les cyclistes, mais également pour les conducteurs de véhicules motorisés.

Au Québec, le ralentissement d'un conducteur de véhicule routier est prescrit par l'article 341 du Code de la sécurité routière du Québec (CQLR c C-24.2) lorsque celui-ci souhaite dépasser un cycliste circulant dans sa voie ou sur l'accotement ou sur une voie cyclable qui n'est pas séparée physiquement de la chaussée. Comme mentionné à la section 1.2, cet article vise à assurer des dépassements sécuritaires, c'est-à-dire des dépassements respectant une « distance raisonnable » entre le véhicule motorisé et le cycliste.

Ces informations concordent avec celles indiquant que le dépassement sécuritaire d'un cycliste par le conducteur d'un véhicule motorisé nécessite une largeur de l'ordre de 5,0 m, soit plus que la largeur typique de la voie de circulation extérieure et de l'accotement revêtu adjacent, s'il y a lieu. En-deçà de cette largeur, le conducteur doit empiéter sur la voie adjacente ou attendre derrière le cycliste.

Dans le cadre d'un projet pilote sur des chaussées à accès limité, le FDOT (2015, p. 18) a observé un ralentissement moyen de 3,5 km/h (2,2 MPH) des conducteurs lors du dépassement des cyclistes, une valeur conforme à leurs observations lors de recherches précédentes (Sando

& Moses, 2011, cités par FDOT, 2015, p. 18). Seule la largeur de l'accotement revêtu des aménagements étudiés a été divulgué, soit entre 2,1 m (7 pi) et 3,0 m (10 pi). Ces données ne permettent donc pas de calculer la largeur totale de l'accotement revêtu et de la voie de circulation extérieure. En posant l'hypothèse d'une voie de circulation extérieure d'une largeur d'au moins 3,0 m (10 pi), conformément aux largeurs typiques observées par Hess et Peterson (2015, p. 2), la configuration semble donc respecter les conditions favorisant un dépassement sécuritaire sans nécessiter l'empiètement dans la voie de circulation adjacente. Des relevés par orthophotographie (Google Inc., 2019b) appuient cette hypothèse, la largeur de la voie de circulation extérieure étant mesurée en moyenne entre 3,3 et 3,4 m (11 pi). Il est toutefois à noter que le projet pilote du FDOT (2015) avait lieu dans un environnement urbain, plutôt que rural ou périurbain.

En somme, compte tenu du positionnement des cyclistes sur la route et des conditions permettant le dépassement sécuritaire des cyclistes par les conducteurs (voir section 1.2), la présence des cyclistes sur la route cause un ralentissement des conducteurs. Cet effet s'amenuise toutefois lorsque la largeur de la voie de circulation extérieure et de l'accotement revêtu augmente. Dans le contexte où la combinaison de l'accotement revêtu et la voie de circulation extérieure représente une largeur d'au moins 5,0 m, ce ralentissement est léger, soit de l'ordre de 3,5 km/h (2,2 MPH).

1.5 Risques de collision impliquant au moins un cycliste et un véhicule motorisé

Les collisions impliquant au moins un cycliste et un véhicule motorisé constituent un danger pour les usagers, de même qu'un frein à l'usage de la bicyclette. Cette section vise à :

- Préciser l'ampleur de la problématique;
- Déterminer quels sont les types de collision prédominants en section courante, par opposition aux collisions aux intersections;
- Déterminer les facteurs influençant la probabilité des collisions;
- Établir les particularités liées au contrôle d'accès des autoroutes;
- Explorer les mesures pouvant mitiger le risque de collision;

- Explorer les méthodes permettant de contrôler l'exposition au risque dans l'étude de ce risque.

1.5.1 Ampleur de la problématique

Comme mentionné à la section 0.1.2, la crainte liée au manque de sécurité dans la circulation est une des raisons les plus fréquentes pour laquelle éviter de faire du vélo (FHWA, 1994, cité par Garder, 1995, p. 1). Cette crainte est justifiée par l'ampleur de cette problématique.

Fortier (2009, p. 5) qui cite l'INSPQ (2005) note que les collisions impliquant un véhicule motorisé sont responsables de 20 % des hospitalisations chez les cyclistes. Stutts et Hunter (1997), cités par l'AASHTO (2012, p. 3.8), en arrivent à des résultats similaires. Les auteurs rapportent que les études examinant les dossiers d'hôpitaux ont démontré que de 70 à 90 % des collisions suffisamment graves pour justifier une visite à l'urgence n'impliquent pas de véhicule motorisé. Ces situations sont généralement le résultat de chutes, de collisions avec des objets fixes et de collisions avec d'autres cyclistes. Lorsqu'on s'intéresse uniquement aux décès des cyclistes, la proportion des hospitalisations pour une collision impliquant un véhicule motorisé passe toutefois à 83,4 % (INSPQ, 2005, cité par Fortier, 2009, p. 5).

Au Québec, comme le montre le Tableau 1.2, on observe une diminution continue du nombre d'hospitalisations chez les cyclistes. Aux États-Unis, comme le montre le Tableau 1.3, cette tendance est cependant à la hausse.

Tableau 1.2 Évolution du nombre d'hospitalisations chez les cyclistes (Québec)
Adapté de INSPQ (2005) cité par Fortier (2009) et de Robitaille et al. (2016, p. 7)

Période analysée	1991 à 1993	2003 à 2004	2006 à 2007	2011 à 2012
Nombre d'hospitalisations annuellement	1 234	1 162	971	864
Taux d'hospitalisation par 100 000 habitants	16,8	15,5	13,1	11,4

Tableau 1.3 Évolution du nombre d'admissions à l'hôpital chez les cyclistes (États-Unis)
Adapté de Sanford, McCulloch, Callcut, Carroll, et Breyer (2015, p. 947)

Période analysée	1998 à 1999	2000 à 2001	2010 à 2011	2012 à 2013
Nombre d'hospitalisations annuellement	8 791	9 775	14 322	15 427
Taux d'hospitalisation par 100 000 habitants	5,1	4,8	9,1	11,2

Sanford et al. (2015, p. 947) expliquent en partie cette augmentation par la hausse du nombre de cyclistes, dont les cyclistes de plus de 45 ans chez qui la hausse des admissions est plus marquée. Le manque de données en ce qui a trait à la distance parcourue ou à une autre mesure d'exposition, sinon le nombre de cyclistes, représente une limite importante, laquelle est abordée plus en détail à la section 1.5.6.

1.5.2 Types de collision en section courante

Forester (1974) cité par Ferrara (2001, p. 30) dresse une liste de manœuvres pouvant mener à une collision en section courante impliquant un véhicule motorisé :

- Collision par l'arrière du cycliste;
- Accrochage latéral du cycliste lors d'une tentative de dépassement;
- Dépassement suivi d'un arrêt devant le cycliste;
- Collision frontale du cycliste lors d'un dépassement en direction opposée dans la voie où circule le cycliste.

Toujours selon Forester (1974), cité par Ferrara (2001, p. 30), les tentatives de dépassement laissant suffisamment d'espace pour la manœuvre, mais trop peu pour compenser les erreurs d'une ou l'autre des parties impliquées peuvent également représenter un danger de collision. Ces erreurs peuvent par exemple être causées par le vent ou la condition de la chaussée.

Dans le cadre d'une étude sur les circonstances et les causes des collisions fatales impliquant des cyclistes en République tchèque, Bil et al. (2016, p. 398) ont identifié les collisions par l'arrière du cycliste comme la cause la plus fréquente lorsqu'un véhicule motorisé était

impliqué. 75 % de ces collisions sont survenues hors des secteurs urbanisés sur des routes où les conducteurs pouvaient atteindre une vitesse de 90 km/h. Bil et al. (2016, p. 398) notent que dans ce contexte, les cyclistes n'ont aucune chance de réagir afin d'éviter la collision. Le différentiel considérable de vitesse entre le cycliste et le conducteur est responsable de l'issue fatale. Les auteurs notent en outre que le conducteur a été trouvé responsable de la collision dans les 24 cas étudiés.

1.5.3 Facteurs influents

Plusieurs facteurs peuvent influencer la probabilité de collision impliquant au moins un cycliste et un véhicule motorisé. Les facteurs retenus pour la présente étude incluent le milieu environnant, la fréquence des intersections, les conditions de visibilité, la largeur du revêtement, le respect de la réglementation par les conducteurs et l'âge des cyclistes.

1.5.3.1 Milieu environnant

Le milieu dans lequel les cyclistes circulent détermine un ensemble de facteurs qui influencent en définitive leur sécurité. Pour plusieurs raisons, dont les débits cyclistes et véhiculaires plus faibles, les sources de conflits entre les usagers du réseau routier sont moins nombreuses dans les milieux ruraux et périurbains. Toutefois, comme les vitesses pratiquées sont généralement élevées et les aménagements cyclables moins présents, les blessures qui surviennent dans ces milieux sont souvent plus graves (Lee-Gosselin et al., 2002, cités par Fortier, 2009, p. 15).

En effet, la majorité des collisions mortelles causées par la vitesse surviennent en milieux ruraux et périurbains (Ivan et al., 2001; Klop & Khattak, 1999, cités par INSPQ, 2013). En outre, le milieu rural est le lieu d'une part importante des collisions rapportées. Selon les données de Klop et Khattak (1999), cités par Ferrara (2001, p. 33), de 1990 à 1993 en Caroline du Nord, 80,5 % des collisions impliquant au moins un cycliste et le conducteur d'un véhicule motorisé sont survenues en milieu rural.

Le type de collision est également influencé par le milieu. Les collisions par l'arrière ou les accrochages latéraux représentent une faible proportion des collisions impliquant des cyclistes en milieu urbain, mais une part plus large en milieu rural. En milieu urbain, ces types de collisions surviennent souvent la nuit et sont associées à de mauvaises conditions d'éclairage. En milieu rural, ceux-ci sont plutôt associés à la distraction des conducteurs ou à une vitesse trop élevée dans des zones de mauvaise visibilité, comme dans une courbe horizontale ou verticale. Les collisions de ce genre engendrant des blessures sévères ou la mort sont plus communes en milieu rural (Hunter & Stutts, 1996; North Carolina Department of Transportation, s.d., cités par AASHTO, 2012, pp. 3.8, 3.11).

L'emplacement des collisions varie également selon le milieu. Contrairement à ce qui est observé en milieu urbain, les blessures de cyclistes causées par une collision avec un véhicule motorisé en milieu rural ont souvent lieu en tronçon. Gardner et Gray (1998), cités par Fortier (2009, p. 15), rapportent par exemple que, dans un tel milieu, 39 % de ces blessures ont eu lieu hors des intersections au Royaume-Uni en 1995.

Pour assurer la sécurité des usagers, l'analyse des aménagements destinés aux cyclistes doit donc prendre en compte la réalité du milieu dans lequel ils sont implantés.

1.5.3.2 Présence d'intersections

Les intersections sont d'importants points de conflits pour les usagers de la route, lesquels causent des collisions menant à des blessures (Caltrans, 2010, p. 1). Elles « [...] représentent des lieux névralgiques où les conflits entre les différents utilisateurs de la rue sont plus nombreux, entraînant des probabilités de collisions et de traumatismes plus élevées. » (Reynolds et al., 2009; Wang & Nihan, 2004; Haque, Chin & Huang, 2010, cités par Robitaille et al., 2016, p. 33). Les intersections devraient donc être considérées comme un facteur important dans l'analyse de la convenance d'un lien cyclable potentiel (Wilkinson & Moran, 1986, p. 14). Ces intersections prennent plusieurs formes comme des carrefours à niveau ou des échangeurs, de même que des entrées charretières.

La majorité des collisions impliquant au moins un cycliste et un conducteur ont lieu à des intersections, où les conflits entre ces usagers sont les plus probables (Korve & Niemeier, 2002; Wachtel & Lewiston, 1994, cités par Schonfeld et al., 2016, p. 3; Wilkinson & Moran, 1986, p. 14). Ferrara (2001, p. 33), en citant Klop et Khattak (1999), rapporte par exemple que 75 % des collisions survenues en Caroline du Nord, de 1990 à 1993, ont eu lieu à diverses intersections : entrées charretières, carrefours et bretelles. En Californie, ce sont près de 25 % des collisions causant le décès de cyclistes qui ont lieu à des intersections (Caltrans, 2010, p. 1).

Robitaille et al. (2016, p. 30) se basent sur trois études (Priyantha Wedagama, Bird & Metcalfe, 2006; Prato et al., 2015; Kim & Kim, 2015) pour affirmer qu'une connectivité élevée du réseau routier est significativement liée à une augmentation de la fréquence des collisions entre des cyclistes et des conducteurs de véhicule motorisé, ainsi que de la sévérité des blessures en découlant. Les auteurs citent quatre autres études (Romanow et al., 2012; Dumbaugh, Li & Joh, 2013; Vandembulcke, Thomas & Int Panis, 2014; Morency et al., 2012) pour affirmer que la fréquence et la probabilité d'une collision impliquant au moins un cycliste et un conducteur sont significativement plus élevées aux intersections, en particulier aux intersections à quatre branches.

Selon Watkins et al. (2016, p. 23) qui citent Hunter et al. (1996, 1999), minimiser les points de conflit pourrait influencer la sécurité des cyclistes. Il n'est donc pas surprenant que les aménagements cyclables hors chaussée comme les pistes cyclables soient associés à moins de collisions que les aménagements en chaussée comme les bandes cyclables (Morrison et al., 2019, p. 130).

Cela dit, bien qu'un aménagement cyclable avec une plus grande séparation puisse sembler plus sécuritaire, en déplaçant les cyclistes vers des aménagements hors de la chaussée, la séparation physique entre les cyclistes et la circulation véhiculaire peut créer des problématiques de visibilité aux endroits où ces aménagements croisent des routes (Watkins et al., 2016, p. 10). Le MTO (2014, p. 25) affirme d'ailleurs que cette séparation peut en réalité

générer plus de conflits aux intersections, dont les entrées charretières, particulièrement si cette séparation nuit à la visibilité entre les cyclistes et les conducteurs. Le MTQ (s.d.-b, § 15.6.1) précise d'ailleurs que « Dans le cas d'une piste cyclable, c'est à l'intersection avec une route que peuvent survenir la plupart des conflits et des [collisions]. »

« Les zones commerciales et de services, en particulier les grandes surfaces et les zones commerciales linéaires, sont des secteurs où il est plus susceptible d'enregistrer des collisions et des traumatismes. Ces secteurs sont généralement caractérisés par des zones de conflits entre les usagers du vélo et les véhicules motorisés, par un volume de [circulation] et par un nombre d'intersections plus élevé. » (Romanow et al., 2012; Dumbaugh, Li & Joh, 2013; Priyantha Wedagama, Bird & Metcalfe, 2006; Vandenbulcke, Thomas & Int Panis, 2014; Narayanamoorthy, Paleti & Bhat, 2013, cités par Robitaille et al., 2016, p. 31).

Puisque la présence d'entrées commerciales en bordure de la route accroît le risque de conflit potentiel avec les conducteurs (Fortier, 2009, p. 16), la largeur et le nombre d'entrées commerciales, institutionnelles et industrielles doivent donc être limitées au minimum (Fortier, 2009, p. 47). Bien que plusieurs auteurs, tel l'AASHTO (1999), mentionnent l'importance de minimiser le nombre de rues ou de routes traversées sur le trajet d'une voie cyclable, Fortier (2009, p. 47), affirme qu'aucun n'indique un nombre maximal d'intersections. L'auteur (2009, p. 16) qui cite Lee-Gosselin et al. (2002) propose donc que le long d'un aménagement cyclable en milieu rural ou périurbain, on devrait trouver au plus « [...] neuf accès et moins par kilomètre si l'accès résidentiel dessert cinq logements et moins, ainsi que sept accès et moins par kilomètre si l'accès dessert plus de cinq logements, un commerce, une industrie, une institution, un bâtiment de ferme ou une intersection de rues ou ruelles. » Fortier (2009, p. 16) précise en outre que « Le stationnement, s'il est un facteur important en milieu urbain, est négligeable en milieu rural. »

La géométrie routière, la vitesse pratiquée et la visibilité en milieu rural font en sorte que les collisions en tronçon, plutôt qu'aux intersections, y sont plus fréquentes qu'en milieu urbain (Ivan et al., 2001; Klop & Khattak, 1999, cités par INSPQ, 2013). Spécifiquement sur les routes

à accès contrôlé, Moeur et Bina (2002, p. 1) rapportent néanmoins que les études ont montré qu'approximativement 65 à 75 % des collisions impliquant au moins un cycliste et un véhicule motorisé ont lieu à des intersections, dont les entrées charretières, en raison de virages ou de circulation transversale.

Bien que plus rares, la présence d'intersections en milieu rural et sur les routes à accès contrôlé représente donc un facteur important quant au risque de collision impliquant au moins un cycliste et un conducteur.

1.5.3.3 Conditions de visibilité

Selon Fortier (2009, p. 41), « La distance de visibilité est un facteur très important pour la sécurité des cyclistes. » La problématique de la visibilité est d'ailleurs fréquemment un facteur dans les collisions en milieu rural (Fortier, 2009, p. 16). Cela entraîne typiquement des collisions par l'arrière du cycliste, lesquelles génèrent des blessures graves ou mortelles. L'auteur note que lorsqu'une route est sinueuse ou que ses dénivellations sont prononcées, les cyclistes ont plus de mal à voir et à être vus.

Wilkinson et Moran (1986, p. 15) soulignent également l'importance de cette problématique. Les auteurs l'abordent en outre du point de vue du conducteur, lequel aura plus de difficulté à dépasser un cycliste de façon sécuritaire. En effet, la visibilité limitée sur les routes à deux voies contiguës est reflétée par un haut pourcentage de sections où la ligne axiale est ininterrompue, soit des zones où il est interdit de dépasser un véhicule motorisé (*no passing zone*). Cette situation augmente les occurrences de conflits au dépassement (Wilkinson & Moran, 1986, p. 15).

Fortier (2009, p. 41) note que, tout comme l'automobiliste, le cycliste devrait disposer d'une distance de visibilité suffisante pour lui permettre d'apercevoir les obstacles ou les intersections avant de les éviter ou de s'arrêter, au besoin. Selon l'auteur, la distance de visibilité doit tenir compte de la présence de pentes, d'obstacles, de courbes, etc. Cela

correspond sommairement à ce qui est prescrit au chapitre 7 de la norme sur les ouvrages routiers du MTQ (s.d.-b), lequel vise les aménagements destinés aux conducteurs de véhicules.

En ce qui a trait spécifiquement à la distance de visibilité des cyclistes, Wilkinson et Moran (1986, p. 16) mettent l'accent sur la nécessité d'ajuster ces principes aux spécificités des cyclistes. D'abord, la hauteur des yeux du cycliste diffère de celle d'un conducteur. Ensuite, les cyclistes circulent généralement à une position inhabituelle sur la route, par exemple sur l'accotement revêtu plutôt qu'au centre de la voie de circulation extérieure.

1.5.3.4 Largeur du revêtement

La largeur du revêtement correspond à la somme de la largeur des voies de circulation et des accotements revêtus. Celle-ci influence l'interaction entre les conducteurs et les cyclistes, de même que la vitesse pratiquée par les conducteurs. En effet, en trafic fluide, la vitesse pratiquée des véhicules motorisés augmente avec la largeur de la voie (Fitzpatrick, Carlson, Brewer, & Wooldridge, 2001, p. 23).

Une plus grande distance entre les cyclistes et les véhicules motorisés réduit le risque de collision (Apasnore et al., 2017; Debnath et al., 2018; Schepers et al., 2017, cités par Morrison et al., 2019, pp. 129-130). Cela augmente la distance de dépassement et peut contribuer à une meilleure visibilité pour les cyclistes et les conducteurs en plus d'offrir une marge d'erreur permettant d'éviter des collisions.

De ce fait, les configurations de bandes cyclables offrant une plus grande distance de séparation entre les cyclistes et la circulation véhiculaire sont associées aux plus grands bénéfices quant à la réduction des collisions impliquant au moins un cycliste et le conducteur d'un véhicule motorisé (Morrison et al., 2019, p. 130). Corollairement, les vitesses affichées élevées et les routes étroites augmentent la fréquence et la sévérité des collisions (Hunter, 1995, cité par Ferrara, 2001, p. 38). L'AASHTO (2012, p. 3.11) atteste d'ailleurs que l'ajout d'un accotement revêtu à une route rurale étroite dont le débit de circulation est élevé est un moyen efficace de

la sécuriser. Schonfeld et al. (2016, p. 6) affirment quant à eux que les cyclistes circulant sur des routes dont la vitesse affichée dépasse 72 km/h (45 MPH) courent de sérieux risques en l'absence d'une séparation suffisante avec la circulation véhiculaire.

Dans le contexte des routes sans bande ou piste cyclable où le partage de la chaussée est inapproprié, c'est l'accotement revêtu qui sert à la circulation des cyclistes. Lorsque la largeur de l'accotement revêtu est suffisante, elle favorise des dépassements respectant une distance sécuritaire telle que présentée à la section 1.2, au même titre que la présence d'une bande cyclable.

En effet, la présence d'accotements revêtus augmente la sécurité des cyclistes y circulant, en comparaison avec ceux qui circulent sur des routes sans accotement revêtu (Zegeer & Council, 1991, cités par Garder, 1995, p. 2). Il a été démontré que l'ajout d'un accotement revêtu de 1,2 m (4 pi) sur les routes rurales à deux voies contiguës permet de réduire la fréquence des sorties de route, des face à face et des accrochages de 29 % chez les conducteurs. Cette réduction atteint 49 % dans le cas d'un accotement revêtu de 2,4 m (8 pi) (Zegeer & Council, 1991, cités par Garder, 1995, p. 2).

1.5.3.5 Respect de la réglementation par les conducteurs

Selon le MTQ (2008b, p. 17), les automobilistes contreviennent souvent aux dispositions du Code de la sécurité routière (CQLR c C-24.2). Ces écarts peuvent mettre en danger les cyclistes circulant sur le réseau routier. L'organisme donne en exemple les infractions en ce qui a trait à la vitesse et la distance de dépassement. Celles-ci donnent moins de marge aux cyclistes dans le cas de manœuvres inattendues, par exemple louvoyer pour éviter un obstacle.

Garder (1995, p. 4) rapporte que les collisions le long d'un accotement revêtu peuvent survenir si le cycliste quitte l'accotement, par exemple pour éviter un nid-de-poule. La plupart du temps, les collisions sont toutefois provoquées par un empiètement du conducteur sur l'accotement. Cela peut être un geste volontaire, par exemple lorsqu'un conducteur entre ou sort d'une allée

de stationnement ou dépasse un véhicule par la droite, comme lorsqu'un autre véhicule effectue un virage à gauche depuis la voie de circulation. Dans certains états, il est également nécessaire de se ranger temporairement pour laisser passer la circulation plus rapide (RCW 46.61.427; 13 AAC 03.050(b)), une situation qui se présente notamment lors de l'ascension de pentes abruptes où l'on ne trouve pas de voie pour véhicules lents. Ce geste peut également être involontaire, par exemple si le conducteur circule trop rapidement pour contrôler son véhicule, s'il est inattentif ou s'il s'est endormi au volant.

Spécifiquement quant au risque de collision impliquant au moins un cycliste et un véhicule motorisé causé par le sommeil du conducteur, Garder (1995, p. 5) estime qu'il est quatre fois plus élevé sur une route *Interstate* que sur une route rurale à deux voies contiguës dotée d'un accotement revêtu. Sans minimiser l'importance d'un système de séparation sur les routes rurales, il en conclut que de tels systèmes sont nécessaires sur les routes *Interstate*. Dans ce contexte, l'auteur fait spécifiquement référence à des bandes rugueuses. Ces dispositifs sont abordés plus en détail à la section 2.1.1.

1.5.3.6 Âge des cyclistes

L'âge des cyclistes est également un facteur influent. Par exemple, on considère d'emblée les enfants et les personnes âgées comme des usagers vulnérables (INSPQ, 2001, p. 42). Ces usagers ont des capacités physiques et mentales différentes des adultes d'âge moyen.

Selon Hunter et Stutts (1996), cités par l'AASHTO (2012, p. 3.11), les enfants de moins de 16 ans sont surreprésentés dans les collisions où les cyclistes sont responsables. Les types de collisions où ce groupe est surreprésenté incluent la désobéissance à un panneau d'arrêt; la sortie d'une allée de stationnement (*driveway rideout*), le changement de voie et le virage sans céder le passage; de même que les collisions hors chaussée, comme dans les stationnements. L'AASHTO (2012, p. 3.11) note que certains de ces problèmes comportementaux sont reliés au manque d'expérience et à l'incapacité de reconnaître la vitesse.

Bien que les personnes âgées ne manquent généralement pas d'expérience, selon des analyses de Transport for London (2008), cité par Bruneau et Houle (2011, p. 3), la probabilité qu'une collision soit mortelle est beaucoup plus élevée chez les personnes âgées que chez les adultes d'âge moyen.

Le Tableau 1.4 montre l'évolution du taux de collision par million de miles parcourus à vélo en fonction du groupe d'âge, sans toutefois s'intéresser aux personnes âgées. Ce Tableau montre également la part de ces collisions impliquant une voiture, soit environ entre 10 et 20 % de toutes les collisions.

Tableau 1.4 Taux de collision par million de miles parcourus à vélo en fonction du groupe d'âge
Adapté de Ferrara (2001, p. 27) qui cite Forester (1977)

Groupe d'âge	École primaire	Université	Adulte
Taux de collision total	720	510	113
Taux de collision impliquant un véhicule routier	72	80	20
Part des collisions impliquant un véhicule	10,0 %	15,7 %	17,7 %

En somme, la présence d'enfants et de personnes âgées parmi les usagers attendus d'un aménagement projeté justifie une réflexion prenant en compte leurs particularités, puisqu'il s'agit d'usagers particulièrement vulnérables.

1.5.4 Particularité des routes à accès contrôlé

Comme décrit dans le glossaire, le contrôle de l'accès à une route correspond à l'impossibilité d'accéder à une route, sauf par des bretelles d'accès. Une route à accès contrôlé n'offre aucun accès aux terrains adjacents, ce qui a pour objet de maximiser la mobilité par l'élimination des

conflits avec les entrées charretières et les intersections qui gêneraient autrement la circulation (WSDOT, 2013, p. 14).

Selon Moeur et Bina (2002, p. 5), la conception de ces routes minimise le risque des collisions d'autres types que celui d'accrochage lors du dépassement, soit une probabilité relativement faible. Un des principaux avantages des routes à accès contrôlé, du point de vue de la sécurité des cyclistes et des conducteurs, est l'absence de circulation transversale découlant de la présence de carrefours et d'entrées charretières (Moeur & Bina, 2002, p. 1). En analysant les flux de circulation, Moeur et Bina (2002, p. 5) constatent que le principal point de conflit sur les routes à accès contrôlé se situe aux bretelles d'accès, là où la trajectoire des cyclistes poursuivant tout droit croise celle des conducteurs entrant ou sortant par la bretelle.

Selon Caltrans (2010, p. 80), lorsque les piétons et les cyclistes traversent des bretelles, ils font face à des défis liés à la visibilité limitée, à l'absence d'aménagements cyclopiédestres, à l'absence de trajectoire de circulation claire, ainsi qu'aux conducteurs ne cédant pas le passage ou circulant à haute vitesse. La haute vitesse des conducteurs circulant sur les autoroutes à accès contrôlé entraîne un important différentiel de vitesse avec les piétons et les cyclistes dans la section d'entrecroisement que constituent les bretelles (Caltrans, 2010, p. 81). En outre, les intersections à angle aigu des bretelles limitent la visibilité des piétons et des cyclistes à cet endroit (Caltrans, 2010, p. 81).

Les bretelles à voies multiples et les voies de circulation à destinations multiples, par exemple la possibilité pour les conducteurs de poursuivre tout droit ou de quitter la route à accès contrôlé à l'approche des bretelles sortantes, nuisent à la capacité des piétons et des cyclistes de déterminer l'intention des conducteurs en approche et exacerbent les problématiques susmentionnées (Caltrans, 2010, p. 81).

Au sujet des artères, sans égard au contrôle des accès, Robitaille et al. (2016, p. 31) affirment qu'elles sont aménagées pour une circulation à vitesse élevée, ce qui amène une « [...] réduction de la vigilance des conducteurs de véhicules motorisés et une distance de freinage

plus élevée.» Il est raisonnable d'étendre cette remarque au contexte des routes à accès contrôlé. Le MTQ (s.d.-b, § 7.9) affirme d'ailleurs au sujet du temps de perception-réaction (PIEV) que celui-ci peut être plus long « [...] lorsque les conducteurs doivent prendre des décisions complexes ou instantanées, lorsqu'il leur est difficile de percevoir l'information ou lorsque des manœuvres inattendues ou inhabituelles sont requises. »

Toujours au sujet des artères, Robitaille et al. (2016, p. 36) rapportent en se basant sur les travaux de Teschke et al. (2012) que la circulation de cyclistes en présence d'une bande cyclable et en l'absence d'une voie de stationnement est associée « [...] à une probabilité significativement plus faible de 51 % de collisions comparativement à un déplacement réalisé sur une artère où le stationnement est permis et sans aménagement cyclable. » Considérant qu'il est généralement interdit d'immobiliser un véhicule sur les routes à accès contrôlé et que, comme mentionné à la section 1.5.3.4, un large accotement revêtu peut jouer le rôle d'une bande cyclable, on peut faire un rapprochement entre ce contexte et celui d'une artère disposant d'une bande cyclable sans voie de stationnement.

En somme, les caractéristiques propres aux routes à accès contrôlé réduisent les points de conflit entre les conducteurs et les cyclistes, mais les concentrent aux points de croisement des bretelles d'entrée et de sortie.

1.5.5 Mitigation du risque

Dans le cadre de la recherche concernant les risques de collision impliquant au moins un cycliste et un véhicule motorisé, plusieurs éléments ont été relevés en ce qui a trait à la mitigation du risque.

Selon Robitaille et al. (2016, p. 36), les occurrences de collisions sont moins élevées en zone rurale sur les segments de routes ayant des accotements revêtus. Ce constat se base sur deux études, respectivement de Abdel-Rahim et Sonnen (2012) ainsi que de Metroplan Orlando (2010). En citant spécifiquement cette première étude, Robitaille et al. (2016, p. 36) indiquent

que les probabilités sont beaucoup plus faibles sur les tronçons ayant un accotement revêtu de 1,2 et 2,4 m de largeur. Il est cependant à noter que les données de collisions ne capturent pas les lieux caractérisés par de fréquentes quasi-collisions (AASHTO, 2012, p. 2.23).

Des études ont en outre établi que la densité de cyclistes a une influence substantielle sur le nombre et la gravité des collisions (Jacobsen, 2003; Nordback et al., 2014; Robinson, 2005; Shinkle, 2012, cités par Watkins et al., 2016, p. 41). L'idée de la force du nombre met une perspective intéressante sur l'emphase qui devrait être mise dans la conception des aménagements cyclables sur la conception d'aménagements que les cyclistes voudront utiliser (Watkins et al., 2016, p. 43).

Selon Robitaille et al. (2016, p. 51), des infrastructures peuvent être aménagées pour contrer les risques de collisions et de traumatismes. Celles-ci « [...] doivent miser sur la réduction de la vitesse, des volumes des véhicules motorisés et des conflits entre les usagers de la rue. » En se basant sur les travaux de Retting et al. (2003), Watkins et al. (2016, p. 9) dressent une liste plus détaillée de stratégies permettant de réduire le nombre et la gravité des collisions entre les conducteurs et les usagers de la route non-motorisés :

- Augmenter la séparation entre les cyclistes et les conducteurs en temps;
- Augmenter la séparation entre les cyclistes et les conducteurs en distance;
- Augmenter la visibilité et la perceptibilité des usagers non-motorisés;
- Améliorer les lignes de visibilité entre les modes;
- Réduire la quantité d'interactions entre les modes;
- Réduire la vitesse des conducteurs.

Dans le contexte de la circulation des cyclistes sur les autoroutes à accès contrôlé, la vitesse des conducteurs devrait être considérée comme une contrainte. Cela dit, les autres stratégies de cette liste sont applicables. Enfin, compte tenu de la clientèle cible identifiée à la section 1.1.4, il est improbable que l'effet de la force du nombre puisse être observé.

1.5.6 Contrôle de l'exposition

Moeur et Bina (2002, p. 5) affirment que le taux d'incidence des collisions est typiquement analysé en déterminant le nombre de collisions correspondant à une certaine sévérité en le divisant par le nombre de véhicules-miles sur un tronçon particulier, soit l'équivalent impérial de véhicules-kilomètres. En élargissant ce concept pour d'autres mesures de l'exposition, on obtient l'Équation 1.1.

$$\text{Taux d'incidence} = \frac{\text{Évaluation du niveau de sécurité}}{\text{Nombre de collisions (décès, blessures, etc.)}} \div \frac{\text{Mesure de l'exposition (trajets, distance, durée, etc.)}}{\text{Évaluation du niveau de sécurité}} \quad (1.1)$$

Adaptée de Robitaille et al. (2016, p. 9)

Cependant, le manque de comptages de cyclistes et de données d'exposition signifie que le nombre de collisions impliquant au moins un cycliste et un conducteur peut difficilement se traduire en un taux d'incidence (AASHTO, 2012, p. 2.23; Garder, 1995, p. 2). L'information concernant ces collisions est en effet très limitée (Isaksson-Hellman & Werneke, 2017, p. 330). Selon Moeur et Bina (2002, p. 5), il n'existe aucune méthode fiable pour déterminer l'équivalent au nombre de véhicules-miles chez les cyclistes, soit les millions de miles à bicyclette (mbm).

Robitaille et al. (2016, p. 59) décrivent particulièrement bien la problématique dans le cadre de leurs travaux :

Un [...] défi des études portant sur la sécurité des cyclistes est lié au contrôle de l'exposition au risque. De nombreux indicateurs d'exposition peuvent être utilisés (distance parcourue, nombre de trajets, durée des trajets, volumes de circulation, conflits de la circulation, traumatismes). Les distances parcourues et la durée des trajets sont les meilleures mesures d'exposition au risque. [...] La plupart des études transversales [consultées] ont contrôlé pour l'exposition aux risques en utilisant diverses mesures directes et indirectes de volume de trafic ou l'utilisation de données sur les traumatismes

en général pour les cas des études portant sur la sévérité des traumatismes chez les cyclistes.

Selon Caltrans (2010, p. 107), les données liées aux blessures des piétons et des cyclistes sont moins fiables en raison de la sous-déclaration. L'auteur rapporte d'ailleurs que sa base de données de collisions (SWITRS) sous-déclare significativement le nombre total de cyclistes et de piétons impliqués dans des collisions. Les cyclistes et les piétons sont en effet moins portés que les autres usagers à déclarer les collisions (Cryer et al., 2001; Maas & Harris, 1984, cités par Watkins et al., 2016, p. 129).

Généralement, les collisions impliquant des cyclistes sont sous-déclarées, particulièrement celles qui n'entraînent que des blessures mineures (Stutts & Hunter, 1997, cités par AASHTO, 2012, p. 2.23; Elvik & Mysen, 1999, cités par Isaksson-Hellman & Werneke, 2017, p. 330). Cette problématique est connue dans plusieurs pays (Elvik & Mysen, 1999; Wegman et al., 2012; Veisten et al., 2007; Amoros et al., 2006; Aultman-Hall & Kaltenecker, 1999; Langley et al., 2003, cités par Isaksson-Hellman & Werneke, 2017, p. 330).

Selon Robitaille et al. (2016, p. 13), les données des autorités policières et de transport « [...] sous-estiment le nombre de blessés en particulier chez les cyclistes parce qu'elles ne recensent que les événements exigeants l'intervention des policiers ou des ambulanciers. » « En général, plus les conséquences (dommages corporels ou matériels) de la [collision] sont importantes, plus elles ont de chances d'être rapportées à la police ou que l'un des protagonistes soit admis à l'hôpital. Les chutes de cyclistes n'entraînant que des conséquences mineures sont les événements ayant le moins de chance d'être comptabilisés dans les statistiques sur les collisions et les traumatismes. » (Robitaille et al., 2016, p. 59).

En se basant sur les travaux de Stutts et Hunter (1997) qui comparent les données d'hôpitaux avec celles des corps policiers, Caltrans (2010, p. 107) rapporte que 43 % des blessures découlant de collisions impliquant au moins un conducteur et un cycliste ne sont pas déclarées. Ferrara (2001, p. 30) rapporte pour sa part qu'une étude en Caroline du Nord (Clack & Tracy, 1995) a conclu que seulement 10 % des collisions impliquant des cyclistes suffisamment

sérieuses pour justifier une visite à l'urgence étaient rapportées à la police, mais que ce nombre augmentait à 60 % lorsqu'un véhicule motorisé était également impliqué.

Quant à eux, Watkins et al. (2016, p. 129) se basent sur les travaux d'Elvik et Mysen (1999) en affirmant que le taux moyen de déclaration des collisions impliquant des cyclistes ou des piétons correspond à :

- 95 % pour les collisions mortelles;
- 70 % pour les blessures graves;
- 25 % pour les blessures légères;
- 10 % pour les blessures très légères.

Robitaille et al. (2016, p. 59) constatent que « La plupart des études s'appuient sur des données administratives incluant des données d'hospitalisation, des rapports de police et des registres nationaux. » Considérant qu'une partie des collisions impliquant des cyclistes n'est pas rapportée, les auteurs affirment que cela peut biaiser l'effet de certaines caractéristiques de l'environnement bâti et aménagé.

Puisque les données sur les collisions sont brouillées par le faible pourcentage d'événements rapportés à la police (Ferrara, 2001, p. 1), des sources de données inhabituelles comme les dossiers des hôpitaux utilisés par Isaksson-Hellman et Werneke (2017) peuvent aider à dresser un portrait plus complet des collisions à un site ou le long d'un corridor, mais demandent plus de temps à colliger et à analyser (Stutts & Hunter, 1997, cités par AASHTO, 2012, p. 2.23).

En raison de la nature des collisions impliquant des cyclistes, les statistiques sont variées et souvent difficiles à comparer (Ferrara, 2001, p. 30). La plupart des données causales trouvées dans les rapports de collision sont d'ailleurs moins pertinentes pour les usagers non-motorisés et disposent de lacunes informationnelles critiques (Karsch et al., 2012, cités par Watkins et al., 2016, p. 129).

L'absence de comptages de cyclistes est une limitation importante de toutes les études existantes sur la sécurité des cyclistes. À la différence de la circulation des véhicules motorisés pour lesquels les données sont systématiquement colligées, la circulation des cyclistes est généralement uniquement connue à travers des données déclarées par les utilisateurs et offrant peu d'information pour localiser cette circulation par tronçon (Watkins et al., 2016, p. 27).

Le type de données nécessaires au développement de facteurs de performance tels ceux du HSM pour les piétons et les cyclistes ne sont actuellement pas disponibles (Watkins et al., 2016, p. ix) et la mise en place d'un programme de récolte de données ne pourrait être mis en place et récolter suffisamment de données pour l'analyse immédiate de la sécurité des piétons et des cyclistes (Watkins et al., 2016, p. x).

De ce fait, Watkins et al. (2016, p. viii) sont d'avis que tant que les autorités compétentes n'auront pas répondu aux besoins fondamentaux de données pour les analyses quantitatives, la compréhension de l'effet sur la sécurité de divers aménagements cyclopiédestres sera au mieux ambiguë et pourra induire en erreur les décideurs quant au choix de ces aménagements. Schonfeld et al. (2016, p. 6) partagent cette opinion en affirmant que les données disponibles sur les collisions impliquant des cyclistes sont inadéquates pour comparer quantitativement les mérites des différentes alternatives d'aménagements.

Selon Watkins et al. (2016, p. 123), une naïve étude prépost sur la sécurité d'un aménagement pourrait trouver une augmentation du nombre de collisions ou aucun changement et conclure que l'aménagement est inefficace. Pourtant, sans connaître l'exposition des cyclistes à des situations potentiellement dangereuses impliquant des véhicules motorisés, il est impossible d'évaluer la variation du taux d'incidence. En effet, une augmentation du nombre de collisions peut-être plus que compensée par l'augmentation du nombre d'utilisateurs, ce qui se traduirait en réalité par une réduction du taux d'incidence, d'où l'importance de mesurer l'exposition.

À propos des routes à accès contrôlé, Moeur et Bina (2002, p. 5) affirment qu'on pourrait être porté à comparer le nombre de collisions impliquant au moins un cycliste et un conducteur sur

une de ces routes avec le taux observé sur toutes les routes d'un territoire donné. Une telle méthode ne prendrait toutefois pas en compte l'écart significatif entre le nombre de cyclistes circulant sur les routes à accès contrôlé et les autres routes. Garder (1995, p. 2) fait un constat similaire en comparant les routes à deux voies contiguës avec celle à plus de deux voies où le nombre de collisions est inférieur. L'auteur affirme que cela ne signifie pas que ces routes sont plus sécuritaires, mais plutôt que la plupart des cyclistes circule sur des routes à deux voies contiguës.

Le contrôle de l'exposition est donc primordial et constitue une limitation importante des études sur la sécurité des cyclistes. Les données à ce sujet sont rares et généralement peu fiables, ce qui peut induire en erreur. En l'absence d'un programme systématique et institutionnalisé, la collecte de nouvelles données ou l'extraction de données à partir de sources inhabituelles demande beaucoup de temps.

1.6 Risques de blessures sévères ou mortelles pour les cyclistes en cas de collision avec un véhicule motorisé

Le risque de blessures sévères ou mortelles pour les cyclistes en cas de collision avec un véhicule motorisé est d'abord lié au risque de collision, un sujet abordé à la section 1.5. Bien que ces sujets ne puissent pas être entièrement distingués, cette section aborde plus particulièrement la sévérité des blessures découlant de ces collisions. Cette section vise à établir l'envergure de la problématique et à identifier les facteurs influant sur la sévérité des blessures entraînées. En raison de leur similitude avec les cyclistes, particulièrement du point de vue de la vulnérabilité, et du plus grand nombre d'études à leur sujet, le risque pour les piétons est également abordé.

D'abord, Ferrara (2001, p. 31) aborde la situation aux États-Unis en se basant sur les travaux de Garder (1995) et de Hunter et al. (1995). L'auteur rapporte qu'environ 850 à 900 décès et 70 000 blessures, sans égard à la sévérité, y sont causés annuellement par des collisions impliquant au moins un cycliste et un véhicule motorisé. Ces collisions mortelles représentent près de 90 % des décès liés à la pratique du vélo. Dans l'ensemble du pays, 36 % de ces

collisions surviennent hors des régions urbaines, ce qui correspond à environ 240 décès prenant place annuellement sur des routes rurales, potentiellement sur leurs accotements revêtus (Ferrara, 2001, p. 31; Garder, 1995, p. 2). En posant comme hypothèse l'année de référence 1990 pour la population des États-Unis, soit 248,8 millions d'habitants (United States Census Bureau, 2016), on obtient un taux de décès d'environ 0,35 par 100 000 années-personnes. L'année 1990 correspond à la référence des données sur lesquelles se base l'étude de Garder (1995).

Ensuite, au Québec, Robitaille et al. (2016, p. 7) rapportent que 142 décès de cyclistes ont été comptabilisés de 2006 à 2011, soit une moyenne de 24 décès annuellement. Toujours selon ces auteurs, « Le taux de décès pour cette période est relativement stable variant de 0,2 à 0,4 par 100 000 années-personnes. » Pour la période de 2001 à 2011, Robitaille et al. (2016, p. 7) rapportent que 78,9 % des décès de cyclistes ont eu lieu sur une voie publique et impliquaient également un véhicule motorisé.

Selon ces données, on constate que le portrait des États-Unis est similaire à celui du Québec tant en ce qui a trait au nombre de décès de cyclistes par années-personnes qu'à la proportion de ces décès qui implique au moins un véhicule motorisé.

Quant à la gravité des blessures, Ferrara (2001, p. 33) tire les données suivantes des travaux de Klop et Khattak (1999), lesquels étaient basés sur des données de 3 600 kilomètres de route sur lesquelles 1 025 collisions ont été rapportées. Ces collisions ont été classées selon les catégories de sévérité suivantes :

- Aucune douleur ressentie : 1,8 %;
- Douleur ressentie : 24,4 %;
- Blessure non incapacitante : 42,5 %;
- Blessure incapacitante : 25,5 %;
- Décès : 5,9 %.

Comme mentionné à la section 1.5.6, la population n'est pas l'unique, ou la meilleure, mesure d'exposition. En se basant sur les données susmentionnées, soit 856 décès en 1990, et sur la distance parcourue par les cyclistes en 1990, soit $5,5 \times 10^9$ km (Zegeer et al., 1994), Garder (1995, p. 5) établit le taux de décès de cyclistes à environ 0,15 décès par million de kilomètres parcourus à vélo, ou 0,24 décès par mbm. L'auteur note cependant que d'autres références (Komanoff et al., 1993) ont plutôt estimé ce nombre à 22×10^9 km, ce qui réduirait le taux d'incidence à 0,04 décès par million de kilomètres parcourus à vélo, ou 0,06 décès par mbm. Cet écart significatif montre l'importance du choix de la mesure d'exposition.

Au même titre que pour l'analyse du risque de collision, Nie, Li, et Yang (2015, p. 82) rappellent que la sous-déclaration des collisions sans blessure ou avec blessure mineure entraîne une surestimation du taux d'incidence des collisions mortelles. En effet, si toutes les collisions mortelles sont déclarées, mais que ce n'est pas le cas des collisions mineures, la part des collisions mortelles par rapport à l'ensemble des collisions sera plus grande. Les auteurs notent également que les disparités d'un pays à un autre en ce qui a trait à l'accès aux soins de santé peuvent fausser ces données.

Les travaux de Nie et al. (2015, p. 82) comparent la mortalité des collisions impliquant alternativement des piétons ou des cyclistes ainsi que des véhicules motorisés, et ce, en Chine. Ils constatent d'abord que la vitesse d'impact, soit le différentiel de vitesse entre les parties impliquées, a un lien significatif avec le risque de décès des piétons et des cyclistes. Ils notent également que ce risque est légèrement moins élevé chez les cyclistes que chez les piétons, ce qui pourrait s'expliquer par une distance de projection, soit la distance entre le point d'impact et la victime après l'impact, plus courte pour les cyclistes en raison de l'absorption d'énergie par la bicyclette au moment de l'impact. Les auteurs affirment que ces résultats corroborent ceux de Maki et al. (2003), dont l'étude portait sur le Japon.

La relation entre la vitesse d'impact avec un véhicule motorisé et le risque de blessures graves ou de décès chez les piétons et les cyclistes fait consensus dans la littérature (Kim et al., 2007, Schepers et al., 2011, cités par Bil et al., 2016, p. 395; Fortier, 2009, p. 15; Nie et al., 2015, p.

76; Raslavicius et al., 2017, p. 233; Leaf & Preusser, 1999, cités par Watkins et al., 2016, p. 9). Malgré ce consensus, le profil exact de la courbe du risque par rapport à la vitesse d'impact diffère selon la référence. Cela s'explique probablement par l'incertitude liée à la vitesse d'impact, de même qu'en raison des enjeux de sous déclaration susmentionnés. La Figure 1.4 représente la probabilité de blessures graves d'un piéton en fonction de l'âge du piéton et de la vitesse d'impact d'un véhicule motorisé. La Figure 1.5 présente quant à elle la probabilité de blessures graves ou de décès d'un piéton en fonction de la vitesse d'impact d'un véhicule motorisé.

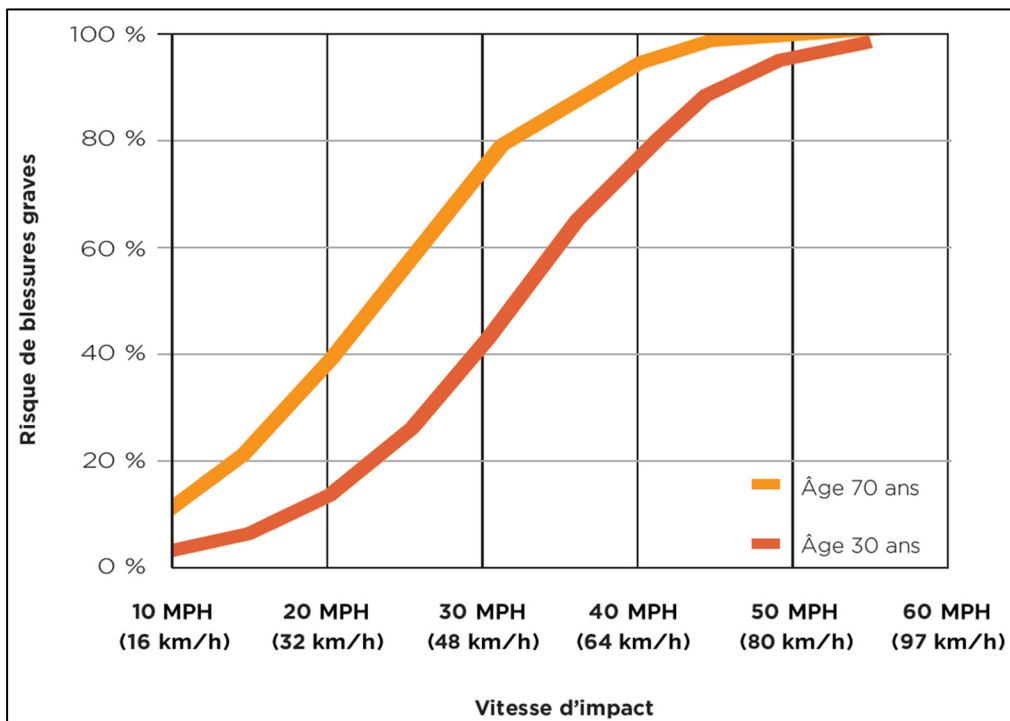


Figure 1.4 Probabilité de blessures graves d'un piéton en fonction de l'âge et de la vitesse d'impact d'un véhicule motorisé
Adaptée de SAAQ (2015, p. 13) qui cite Tefft (2011)

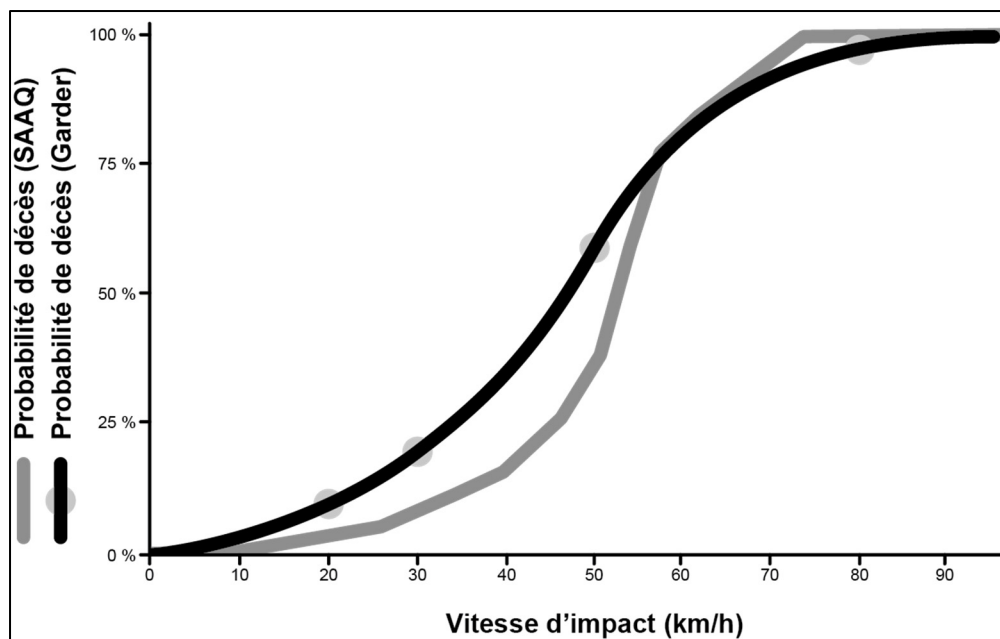


Figure 1.5 Probabilité de décès ou de blessures graves d'un piéton en fonction de la vitesse d'impact d'un véhicule motorisé
Adaptée de Garder (1995, p. 5) qui cite Teichgraber (1983)
et de SAAQ (2016, p. 4) qui cite Ashton (1981)

Selon Fortier (2009, p. 15) qui cite Lee-Gosselin et al. (2002), 46 % des collisions mortelles au Québec impliquant au moins un véhicule routier et un cycliste survenues entre 1994 et 1999 sont survenues sur des routes où la vitesse affichée était supérieure à 60 km/h.

La SAAQ (2015, p. 12) qui cite Ashton (1982) décrit la plage de vitesse d'impact entre 30 et 50 km/h comme celle où la probabilité de décès chez les piétons augmente subitement. Conformément à la figure 1.4, la probabilité de décès passe effectivement de 10 à 75 % entre 30 et 50 km/h. L'auteur poursuit en affirmant que la probabilité de décès frôle 100 % dès une vitesse d'impact de 70 km/h.

Chez les cyclistes, Raslavicius et al. (2017, p. 230) concluent à partir de tests en laboratoire qu'une vitesse d'impact de 60 km/h ou plus ne laisse aucune chance de survie aux cyclistes en raison des forces d'accélération subies. Selon Nie et al. (2015, p. 76), le risque de blessure mortelle pour un impact à 67,6 km/h est toutefois de 50 % chez les cyclistes. Cet écart peut par exemple s'expliquer par les différences entre l'environnement simulé par Raslavicius et al.

(2017) et les cas réels étudiés par Nie et al. (2015), de même que par l'incertitude liée à la vitesse d'impact dans les cas réels.

Nie et al. (2015, p. 79) est la seule référence repérée comparant spécifiquement les risques de décès des cyclistes avec celui des piétons. Les auteurs proposent les Équations 1.2 et 1.3 permettant respectivement de déterminer la probabilité de décès chez les piétons et les cyclistes en fonction de la vitesse d'impact. Il est à noter que ces Équations sont basées sur des collisions ayant toutes eu lieu à des vitesses inférieures à 90 km/h, et ce, en Chine. Ces Équations ont été utilisées afin de produire la Figure 1.6.

Risque de blessure mortelle pour les piétons

$$P(v) = \frac{1}{1 + e^{6,576 - 0,092 * V(km/h)}} \quad (1.2)$$

Adaptée de Nie et al. (2015, p. 79)

Risque de blessure mortelle pour les cyclistes

$$P(v) = \frac{1}{1 + e^{6,929 - 0,095 * V(km/h)}} \quad (1.3)$$

Adaptée de Nie et al. (2015, p. 79)

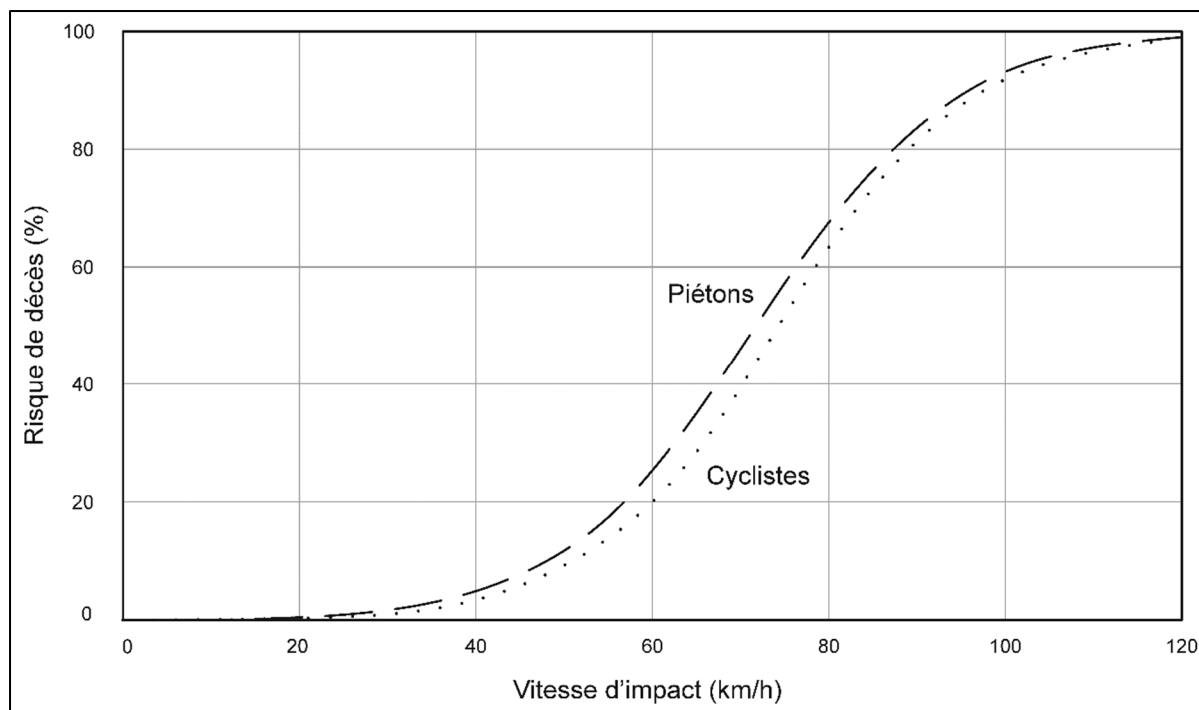


Figure 1.6 Probabilité de décès d'un piéton et d'un cycliste en fonction de la vitesse d'impact d'un véhicule motorisé
Adaptée de Nie et al. (2015, p. 79)

La vitesse d'impact n'est pas le seul facteur influençant la sévérité des impacts impliquant au moins un cycliste et un véhicule routier. Le type de véhicule impliqué et le type de collision jouent également un rôle significatif. Les travaux de Nie et al. (2015) et de Raslavicius et al. (2017) abordent respectivement ces enjeux, soit l'influence du type de véhicule et du type de collision. Selon Nie et al. (2015, p. 81), l'angle d'impact de la tête des cyclistes et des piétons est lié au risque de décès et est notamment influencé par la taille des victimes, la forme de l'avant du véhicule motorisé impliqué et la vitesse d'impact. L'étude de Raslavicius et al. (2017, p. 230) est basée sur un seul type de véhicule, mais conclut que parmi les différents scénarios de collision analysés, l'impact arrière lors d'un dépassement est le plus dangereux pour les cyclistes, et ce, à une vitesse d'impact de 60 km/h, soit la vitesse la plus élevée considérée.

Fortier (2009, p. 15) ajoute, en se basant sur les travaux de Gardner et Gray (1998), que la sévérité est également fonction de la masse des véhicules motorisés impliqués dans la collision.

En effet, la sévérité des blessures augmente de 30 à 50 % lorsque la collision implique un véhicule lourd en comparaison avec un véhicule de promenade.

La configuration de la route sur laquelle circulent les cyclistes a également été identifiée comme un facteur influent. Selon les travaux de Klop et Khattak (1999, p. 84) portant sur les routes de deux voies contiguës de la Caroline du Nord, la présence de pentes longitudinales en tronçon rectiligne ou courbé augmente la sévérité des collisions, alors que la présence de courbes saillantes ou rentrantes, de même que la présence de courbes en l'absence de pente longitudinale, n'ont pas montré d'influence significative.

Toujours selon cette étude, une augmentation du DJMA est liée à une réduction de la sévérité des collisions. Pour expliquer cela, l'auteur suggère une réduction de la vitesse pratiquée et une augmentation de la vigilance des cyclistes. L'étude ne fait pas état d'une augmentation de la sévérité des collisions à proximité d'intersections, dont des entrées charretières. Les auteurs proposent comme explication la réduction de la vitesse pratiquée à proximité d'intersections. La présence d'éclairage artificiel a également été identifiée comme étant liée à une réduction de la sévérité des collisions.

Puisqu'il y a un lien direct entre la vitesse d'impact et la probabilité de décès chez les cyclistes et les piétons, Caltrans (2010, p. 15) qui cite Leaf et Preusser (1999) affirme que toute réduction de la vitesse pratiquée améliore la sécurité de ces usagers. Pourtant, l'étude de Klop et Khattak (1999, p. 84) constate une réduction significative de la sévérité des collisions lorsque la largeur de l'accotement revêtu et la vitesse affichée augmentent, en raison de l'interaction entre les deux variables : les accotements revêtus sont généralement plus larges lorsque la vitesse affichée est plus élevée.

Cela est conforme aux données relevées par Ferrara (2001, p. 137) qui indiquent que les collisions sur les autoroutes impliquant au moins un cycliste et un véhicule motorisé entraînent des blessures et, occasionnellement, en un décès. Sur 41 collisions étudiées en détail, seulement 7 % ont entraîné un décès et 85 % des blessures, et ce, bien que la vitesse affichée sur les

autoroutes soit significativement plus élevée que la vitesse critique de 60 km/h identifiée par Raslavicius et al. (2017, p. 230) ou de 70 km/h identifiée par SAAQ (2015, p. 12). Ces données contredisent également l'Équation 1.3 adaptée de Nie et al. (2015, p. 79).

Malgré l'importance statistique de la vitesse d'impact, et donc de la vitesse affichée et pratiquée, ce facteur ne peut pas expliquer à lui seul les probabilités liées à la sévérité des collisions. Les données liées aux collisions sur les routes où la vitesse affichée est élevée montrent une disparité entre les probabilités de décès ou de blessures graves attendues et celles observées en réalité. Celle-ci ne peut être expliquée seulement par la sous-représentation des collisions sans blessure ou avec blessure mineure.

CHAPITRE 2

REVUE DE LA LITTÉRATURE – PARTIE 2 CARACTÉRISTIQUES ROUTIÈRES

2.0 Introduction

Ce Chapitre présente la seconde partie de la revue de littérature, soit le survol et l'évaluation des ouvrages ayant servi à établir l'état des connaissances relatives aux aménagements routiers pertinents à la circulation des cyclistes sur les accotements revêtus des autoroutes. Cette revue de littérature a également permis de formuler les bases méthodologiques des analyses présentées subséquemment.

Ce Chapitre aborde les caractéristiques du profil en travers des routes; l'effet de l'implantation de bandes rugueuses; l'effet des différents types de grilles de puisard; les caractéristiques des systèmes de détection des cyclistes et d'affichage y étant reliés; les aménagements cyclables sur les ponts et dans les tunnels routiers; l'intersection des passages à niveau; ainsi que les éléments à considérer pour la circulation des cyclistes dans les échangeurs autoroutiers.

2.1 Profil en travers

Le profil en travers des routes où circulent les cyclistes est étroitement lié à leur positionnement, comme abordé à la section 1.2, et à l'effet de leur présence sur les conducteurs, dont leur propension à effectuer un dépassement sécuritaire comme abordé à la section 1.4. À cet égard, la donnée cruciale est la largeur de la voie de circulation extérieure et de l'accotement revêtu ou de la bande cyclable, s'il y a lieu.

En excluant les aménagements dotés de séparation physique ou de délinéateurs, trois aménagements se retrouvent couramment dans la littérature : les chaussées désignées; les larges voies extérieures (*wide curb lanes*) et les bandes cyclables ou les accotements revêtus. Les bandes cyclables et les accotements revêtus se distinguent par leur séparation visuelle, soit

une ligne de délimitation de voie, et par la présence occasionnelle de bandes rugueuses, lesquelles sont spécifiquement abordées à la section 2.1.1.

Les chaussées désignées se distinguent couramment des larges voies extérieures par leur relative étroitesse. Comme en fait état le NACTO (s.d.), sur une chaussée désignée, il est préférable de positionner les pictogrammes de vélo avec chevron au centre de la voie de circulation lorsque la vitesse affichée est de 40 km/h (25 MPH) ou moins. Skene et Jacobson (2012, p. 71) suggèrent également ce positionnement, dans le contexte des voies de moins de 4,0 m de largeur où la vitesse affichée ne dépasse pas 50 km/h. Le MTO (2021, p. 99) va plus loin en affirmant que l'approche par défaut pour le partage de la chaussée devrait être de concevoir des voies de circulation plus étroites et d'utiliser un marquage et une signalisation incitant les cyclistes à circuler au centre de la voie. Pour sa part, le MTQ (s.d.-e, DN 7.033) ne prescrit le marquage des pictogrammes au centre de la voie que sur les « vélorues », lesquelles se distinguent des chaussées désignées, et ne spécifie aucune largeur pour les chaussées désignées (MTQ, s.d.-b, § 15.4.2.1).

Dans le cas des larges voies extérieures, on positionne plutôt les pictogrammes, s'il y a lieu, à l'extrême droite de la chaussée. Le NACTO (s.d.) cite le MUTCD (s.d.) pour recommander un positionnement des pictogrammes de vélo avec chevron à un minimum de 3,4 m (11 pi) de la bordure en présence de stationnement sur rue et à un minimum de 1,2 m (4 pi) de la bordure lorsque ce n'est pas le cas. Skene et Jacobson (2012, pp. 69-70) font la même recommandation en présence de stationnement, soit à 3,4 m de la bordure, mais recommandent plutôt un positionnement centré à 1,0 m de la bordure en l'absence de stationnement. Pour sa part, le MTQ (s.d.-e, DN 7.028) prescrit un positionnement en présence de stationnement sur rue de 3,3 à 3,5 m de la bordure lorsqu'il n'est pas marqué et à 0,75 m du marquage lorsqu'il est marqué. En l'absence de stationnement, une distance de 1,0 m de la bordure est prescrite.

Les larges voies extérieures ont typiquement une largeur de 4,0 à 4,6 m (Hunter, Stewart, Stutts, Huang, & Pein, 1999, p. 5), ce qui vise à permettre un dépassement à l'intérieur de la voie, bien qu'un tel dépassement ne soit pas nécessairement considéré sécuritaire comme défini

à la section 1.2, et ce, en évitant que les conducteurs circulent côte à côte à l'intérieur de la voie. En effet, lorsque les voies ont une largeur de 4,9 m (16 pi) ou plus, les conducteurs peuvent tendre à circuler côte à côte dans la même voie (AASHTO, 2012, p. 4.3; Ferrara, 2001, p. 50).

Les larges voies extérieures où le partage de la chaussée se fait côte à côte (Jacobson, Skene, Davidson, & Rawsthorne, 2009, p. 3) existent notamment dans le contexte où la voie n'est pas assez large pour mettre en place une bande cyclable de pleine largeur, soit 1,5 m ou plus. Néanmoins, dans sa déclinaison la plus large, soit 4,6 m (15 pi), on peut envisager la mise en place d'une bande cyclable avec une voie de 3,0 m (10 pi) en combinaison avec une bande cyclable de 1,5 m (5 pi). Comme mentionné à la section 1.2, il est à noter que les voies de circulation des routes des États-Unis ont généralement une largeur de 3,0 m (10 pi) à 3,7 m (12 pi) (Hess & Peterson, 2015, p. 2).

Dans ce contexte, Hunter et al. (1999, p. 1) mentionnent une problématique de longue date pour la communauté cycliste à savoir si les bandes cyclables sont préférables aux larges voies extérieures. Les auteurs concluent que les deux types d'aménagements ont parfois leur place, bien qu'ils notent une préférence des cyclistes pour les bandes cyclables.

Deux décennies après les travaux de Hunter et al. (1999), la prévalence des bandes cyclables et des accotements revêtus dans les normes et guides, par rapport aux larges voies extérieures, indique néanmoins que la question a été tranchée, puisque ces aménagements y sont recommandés. L'AASHTO (2012, p. 4.3) est d'ailleurs sans équivoque : lorsque l'espace le permet, les bandes cyclables et les accotements revêtus sont à préférer aux larges voies extérieures. Quant au MTO (2021, p. 100), il décourage l'usage des larges voies extérieures et affirme que celles-ci ne sont pas adéquates pour un usage par les cyclistes de tout âge et toute habileté. Ferrara (2001, p. 50) précise pour sa part qu'avec une large voie extérieure, il est important de séparer l'accotement revêtu de la voie de circulation par une ligne de rive.

En ce qui a trait aux bandes cyclables, une largeur minimale de 1,5 m est généralement recommandée dans la littérature (MTQ, s.d.-b, § 15.4.2.2; AASHTO, 1999, p. 23; AASHTO, 2012, p. 4.14; Chiu et al., 2017c, p. 12; MTO, 2014, p. 61; MTO, 2021, p. 75; Vélo Québec, 1992, p. 39). Ce n'est toutefois pas le cas des accotements revêtus où la largeur minimale recommandée est souvent inférieure à 1,5 m et varie notamment en fonction du DJM, de la vitesse affichée, de la présence de véhicules lourds, des abords de la chaussée, et de la visibilité.

Le Tableau 2.1 présente la plage de conception des accotements revêtus proposée par Chiu et al. (2017c, p. 31)

Tableau 2.1 Largeur minimale et recommandée des accotements revêtus
Adapté de Chiu et al. (2017c, p. 31)

Paramètre	Limite pratique inférieure	Limite recommandée inférieure	Limite recommandée supérieure	Limite pratique supérieure
Largeur	1,5 m	1,8 m	3,0 m	3,0 m

Le Tableau 2.2 présente la largeur minimale et désirée des accotements revêtus proposés par le MTQ (s.d.-b, p. 15.13).

Tableau 2.2 Largeur minimale des accotements revêtus
en fonction de la vitesse affichée et du DJME
Adapté de MTQ (s.d.-b, p. 15.13)

Vitesse affichée	DJME < 2000 véhicules	DJME > 2000 véhicules
70 km/h ou moins	1,0 m	1,5 m
Plus de 70 km/h	1,5 m	1,75 m

Le Tableau 2.3 présente la largeur minimale et souhaitable des accotements revêtus proposée par le Ministère des Transports et des Infrastructures de la Colombie-Britannique (MOTI, 2019, p. D82).

Tableau 2.3 Largeur minimale des accotements revêtus en fonction de la vitesse affichée
Adapté de MOTI (2019, p. D82)

Vitesse affichée	Largeur souhaitable (m)	Largeur minimale (m)
≤ 50 km/h	1,8	1,5
50 à 70 km/h	2,5	1,5
> 70 km/h	3,0	2,0

Le Tableau 2.4 présente la largeur minimale et désirée des accotements revêtus proposée par le MTO (2014, p. 52).

Tableau 2.4 Largeur minimale et désirée des accotements revêtus en fonction du DJMA¹⁴
Adapté de MTO (2014, p. 52)

DJMA (véh./j)	Largeur désirée (m)	Largeur minimale suggérée (m)
≤ 700	s.o.	0,0
701 à 1 500	1,5	1,2
1 501 à 3 000	1,5	1,2
3 001 à 4 500	1,5	1,2
> 4 500	2,0	1,2

Le MTO (2014, p. 52) précise que lorsqu'une largeur de 2,0 m ou plus est fournie, le marquage de l'accotement revêtu devrait maintenir une largeur de 1,5 m en aménagement une zone tampon avec l'espace résiduel. Inversement, sur les routes à faible débit, un accotement revêtu de toute largeur pourrait être considéré. Chiu et al. (2017c, p. 31) recommandent également de fournir une zone tampon de 0,5 m lorsque l'accotement revêtu a une largeur de 2,0 m.

Selon l'AASHTO (1999, p. 16), les accotements revêtus devraient avoir une largeur d'au moins 1,2 m (4 pi) afin d'accommoder la circulation des cyclistes. L'organisme (2012, p. 4.7)

¹⁴ Le Tableau 2.4 s'applique aux routes où 25 cyclistes ou plus circulent ou sont attendus chaque jour, de même qu'aux routes faisant partie de plans de mobilité active. Il est souhaitable de mettre en place une zone tampon de 1,0 m ou d'au minimum 0,5 m en présence d'une bande rugueuse, lorsque le débit horaire de véhicules lourds dépasse 30 ou lorsque la visibilité est limitée.

précise que cette largeur s'applique aux routes sans bordures ni obstructions verticales au bord de la chaussée. Afin d'offrir une largeur d'opération supplémentaire, puisque les cyclistes respectent généralement une distance de confort à l'objet, une largeur de 1,5 m (5 pi) est recommandée en présence d'une bordure, d'une barrière de sécurité ou d'un obstacle similaire. L'AASHTO (1999, p. 16; 2012, p. 4.7) précise en outre qu'il est souhaitable d'augmenter cette largeur lorsque :

- Des débits cyclistes élevés sont attendus;
- Là où la vitesse pratiquée dépasse 80 km/h (50 MPH);
- L'usage de véhicules lourds est considérable;
- Des obstacles permanents se trouvent en bordure de la route.

Selon l'AASHTO (1999, p. 16), là où la largeur minimale ne peut pas être atteinte, toute largeur d'accotement revêtu est préférable à son absence. Compte tenu du gabarit des cyclistes décrit à la section 1.1.1, un accotement d'une largeur inférieure à 1,2 m peut toutefois être insuffisant à la circulation des cyclistes, ce qui pourrait causer l'empiètement des cyclistes sur la voie de circulation adjacente. Comme mentionné à la section 1.2, un tel positionnement pourrait encourager des dépassements ne respectant pas une distance sécuritaire, ce qui ne serait pas bénéfique pour la sécurité des cyclistes. Aucune des références consultées ne corrobore cette affirmation de l'AASHTO (1999, p. 16). Le MTO (2014, p. 52) affirme d'ailleurs qu'une largeur de moins de 1,2 m devrait être considérée seulement lorsque la visibilité est bonne et que le débit de véhicules lourds est faible.

En ce qui concerne les échangeurs, Schonfeld et al. (2016, p. 33) se basent sur les travaux de BC Recreation and Parks Association (2010) et de l'ATC (1999) pour affirmer qu'une voie cyclable d'au moins 1,5 m de largeur devrait toujours être fournie. Selon les auteurs, cette largeur devrait augmenter à 2,0 m lorsque la vitesse affichée est de 70 à 80 km/h et que le DJM est de 5 000 à 10 000 véh./j; et à 2,5 m lorsque la vitesse affichée dépasse 80 km/h et que le DJM est supérieur à 10 000 véh./j.

Enfin, les bénéfices de revêtir les accotements routiers ne se limitent pas à la sécurité des piétons et des cyclistes. Selon Ferrara (2001, p. 45) qui cite Khan (1995), ces bénéfices incluent la sécurité des conducteurs; la réduction des coûts d'entretien des accotements; le potentiel de leur usage lors de travaux sur les voies de circulation ou pour la circulation de machinerie agricole; l'amélioration du drainage, des opérations de déneigement et de l'apparence; ainsi que le sentiment de sécurité autoroutière. Ils incluent aussi le maintien de l'intégrité structurale de la chaussée (Khan, 1995, cité par Ferrara, 2001, p. 45), ce qui permet en définitive une réduction du coût d'entretien de la route (Zegeer & Council, 1991, cités par Garder, 1995, p. 2).

2.1.1 Bandes rugueuses

« [Les] bandes rugueuses sont essentiellement implantées sur les accotements des autoroutes en milieu rural. » (MTQ, s.d.-b, § 10.4.1). Leur présence sur les accotements revêtus « [...] constitue une mesure de sécurité éprouvée pour réduire les sorties de route et protéger les cyclistes qui circulent sur l'accotement. » (MTQ, 2021b).

Les bandes rugueuses sont des « Rainures dans la surface [revêtue] qui provoquent un bruit ou une vibration qui avertit un conducteur que son véhicule a quitté la voie de circulation. » (Chiu et al., 2017a). Elles consistent en des protubérances ou des dépressions dans la chaussée (Watkins et al., 2016, p. 24). Toutefois, en raison des contraintes imposées par l'entretien hivernal, les bandes rugueuses formées de protubérances ne sont pas adéquates là où de la neige est attendue (MTQ, s.d.-c, § 10.4.2.1).

Selon l'ATC (2001, p. 12), les bandes rugueuses, sans égard à la circulation des cyclistes, devraient présenter les caractéristiques géométriques suivantes :

- Largeur de 300 à 500 mm;
- Profondeur de 8 mm (± 2 mm);
- Espacement de 150 mm (± 40 mm) c/c.

Pour sa part, l'AASHTO (2012, p. 4.9) qui cite Torbic (2009) prévoit les caractéristiques géométriques suivantes là où la circulation des cyclistes est attendue :

- Largeur de 127 mm (5 po);
- Profondeur de 10 mm (3/8 po);
- Espacement de 280 à 305 mm (11 à 12 po) c/c.

Cette différence témoigne d'enjeux d'arrimage entre les bénéfices pour les conducteurs et les inconvénients pour les cyclistes. Schonfeld et al. (2016, p. 24) rapportent que certaines études (Bucko & Khorashadi, 2001; Elefteriadou et al, 2000; Outcalt, 2001) ont montré que les bandes rugueuses les plus efficaces pour les conducteurs, du point de vue du bruit et des vibrations, sont également les moins confortables pour les cyclistes. Les auteurs affirment d'ailleurs qu'il n'y a pas de consensus quant au compromis qui devrait être visé pour sélectionner une configuration de bandes rugueuses répondant aux besoins de tous les groupes d'utilisateurs de la route. Cette section vise à établir les critères à rechercher et les enjeux sous-jacents.

2.1.1.1 Fonction des bandes rugueuses et impact sur la sécurité des usagers

Les bandes rugueuses sont typiquement utilisées afin d'alerter par une rétroaction sensorielle les conducteurs somnolents ou distraits qu'ils ont dévié des voies de circulation (ATC, 2001, p. 2; Garder, 1995, p. 2; Torbic, 2009, cités par Schonfeld et al., 2016, p. 24; Watkins et al., 2016, p. 24). Garder (1995, p. 2) précise qu'un conducteur inattentif peut être notifié de son empiètement sur l'accotement de manière visuelle, auditive ou tactile (vibratoire) et qu'il a été démontré que les signaux tactiles permettent la réponse la plus rapide. Les bandes rugueuses utilisent néanmoins une rétroaction tant tactile qu'auditive (Watkins et al., 2016, p. 24).

On considère que ce traitement réduit l'occurrence des sorties de route n'impliquant qu'un seul véhicule (SVROR), ce qui est bénéfique pour la sécurité des usagers de la route (Torbic, 2009, cité par Schonfeld et al., 2016, p. 24). Moeur (2000, p. 93) affirme que les bandes rugueuses peuvent réduire l'occurrence des sorties de route jusqu'à 80 % sur certaines routes rurales.

La menace la plus importante pour les cyclistes est l'empiétement involontaire des conducteurs somnolents ou distraits sur l'accotement. L'inattention peut être causée par une discussion avec des passagers, la lecture d'une carte routière ou regarder le paysage (Garder, 1995, p. 2). Il est à noter qu'à ces causes de distraction s'ajoutent l'usage d'un appareil électronique au volant, ce qui était n'était pas commun au moment de cette publication.

Afin de rendre un accotement revêtu sécuritaire, les conducteurs somnolents doivent être alertés avant d'empiéter sur l'accotement. Des bandes rugueuses ininterrompues peuvent atteindre cet objectif. Conséquemment, elles peuvent réduire le nombre de sorties de route et améliorer la sécurité des cyclistes et des autres usagers des accotements revêtus. Une bande rugueuse étroite qui laisse la majorité de l'accotement revêtu aux cyclistes est souhaitable. (Garder, 1995, p. 1).

Selon Khan et Bacchus (1995), cités par la FHWA (2001), la présence de bandes rugueuses sur les accotements revêtus est également bénéfique pour la sécurité des cyclistes qui y circulent. En se basant sur les travaux de Garder (1995), Moeur (2000) et de l'AASHTO (2012), Watkins et al. (2016, p. 23) en arrivent à la même conclusion. Les auteurs notent toutefois que les études auxquelles ils réfèrent n'ont pas tenté d'établir l'effet de l'implantation de bandes rugueuses sur la sécurité des cyclistes en comparaison avec des accotements revêtus qui n'en sont pas dotés.

2.1.1.2 Interruption de la bande rugueuse

Bien que les bandes rugueuses réduisent l'occurrence des sorties de route sur les routes à haute vitesse, leur traversée peut être inconfortable pour les cyclistes (AASHTO, 2012, p. 4.9). En effet, certaines situations peuvent demander aux cyclistes de traverser une bande rugueuse (Moeur, 2000, p. 98). Par exemple, les accotements sont fréquemment entravés par des obstacles tels des véhicules stationnés, du sable, du gravier, du verre brisé ou d'autres débris (Moeur, 2000, p. 94).

Selon la FHWA (2001), deux méthodes permettent actuellement de gérer les débris sur l'accotement. La première est le balayage routinier de l'accotement par les équipes d'entretien. La seconde est d'interrompre les bandes rugueuses ponctuellement afin de permettre aux cyclistes de contourner les débris. La FHWA (2001) ajoute néanmoins que cela ne garantit pas que les débris ne se trouveront pas à l'emplacement de cette interruption. Il est donc primordial que cet espace résiduel soit libre de débris afin d'éviter que les cyclistes soient forcés de circuler sur la bande rugueuse ou dans la voie de circulation adjacente (Garder, 1995, p. 1).

Les bandes rugueuses ininterrompues posent le risque qu'un cycliste ou un motocycliste perde le contrôle en raison du contact entre les roues et le bord de la bande rugueuse. Néanmoins, aucune statistique de collision ne justifie cette crainte. Les motocyclistes circulent depuis des années sur des routes *Interstate* dotées de bandes rugueuses, et ce, sans que cela ait posé problème (Garder, 1995, p. 6).

Garder (1995, p. 6) a d'ailleurs effectué un essai routier avec 20 élèves et employés dont l'âge variait de 16 à 65 ans, et ce, avec différents types de bicyclettes sur différents types de bandes rugueuses et aucun participant n'a rapporté une tendance à perdre le contrôle de sa bicyclette. Les participants ont toutefois unanimement rapporté avoir été dérangés par le passage sur les bandes rugueuses.

Le MTO (2014, p. 56) affirme néanmoins que les bandes rugueuses peuvent compromettre le contrôle des cyclistes, ce qui est particulièrement dangereux lorsque ceux-ci circulent près de conducteurs de véhicules lourds ou de véhicules circulant à haute vitesse. Il poursuit en soulignant qu'en restreignant les manœuvres des cyclistes devant contourner des obstacles sur l'accotement revêtu, les bandes rugueuses pourraient pousser les cyclistes vers la voie de circulation extérieure ou hors de la surface revêtue.

De ce fait, lorsque la mise en place de bandes rugueuses est envisagée sur des accotements revêtus destinés aux cyclistes, leur conception devrait prendre en compte la circulation de ces derniers. Conséquemment, une telle bande rugueuse devrait inclure une interruption ponctuelle

permettant aux cyclistes de dépasser des véhicules immobilisés ou d'autres cyclistes, de même que des débris (AASHTO, 2012, p. 4.9; MTO, 2014, p. 56; Moeur, 2000, p. 93).

À la différence des bandes rugueuses conventionnelles, lesquelles sont ininterrompues, sauf exception, les bandes rugueuses adaptées aux cyclistes sont intermittentes (ATC, 2001, pp. 10-11; Chiu et al., 2017b, p. 27). Le MTQ (s.d.-c, § 10.4.2.2) prescrit néanmoins des bandes rugueuses ininterrompues et ne prévoit que des exceptions à proximité des ponts, des boucles de détection, des bretelles d'entrée et de sortie ainsi que dans certaines situations concernant les accotements du côté intérieur de la chaussée. Le MTQ (s.d.-b, s.d.-c) ne fait ni mention des cyclistes dans le chapitre sur les dispositifs d'alerte ni des bandes rugueuses dans le chapitre sur les voies cyclables.

Moeur (2000, p. 94) explique que l'interruption des bandes rugueuses devrait être suffisamment longue pour permettre au cycliste moyen de les croiser sans circuler sur la partie rugueuse, mais pas longue au point de permettre à un véhicule routier de quitter la route à un angle typique sans que ses pneus croisent la partie rugueuse.

À l'exception du MTO (2014, p. 56) et du MTQ (s.d.-c, § 10.4.2.2), les références consultées s'accordent sur le patron d'interruption à privilégier, à une décimale près : l'interruption devrait mesurer 3,7 m (12 pi) de longueur et se répéter à un intervalle de 12,2 à 18,3 m (40 à 60 pi) de longueur (AASHTO, 2012, p. 4.9; Moeur, 1991, cités par Schonfeld et al., 2016, p. 3; Moeur, 2000, p. 93). Cela dit, l'AASHTO (2012, p. 4.9) et Moeur (2000, p. 93) précisent que la longueur de l'interruption devrait être plus grande en pente descendante en raison de la vitesse plus élevée des cyclistes.

Dans le cas du MTO (2014, p. 56), comme le montre la Figure 2.1, plutôt que de prévoir un intervalle de 18,3 m, il est prévu de répéter l'interruption de façon telle que les bandes rugueuses mesurent au plus 18,3 m de longueur. Ce faisant, l'intervalle de répétition est plutôt de 22,0 m.

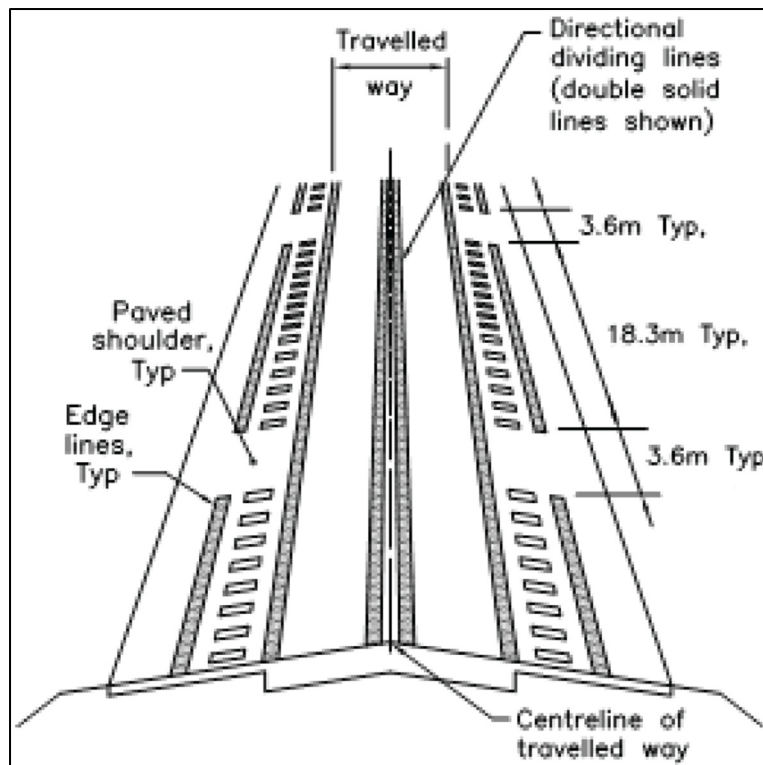


Figure 2.1 Bandes rugueuses adaptées
pour les cyclistes (MTO)
Adaptée de MTO (2014, p. 58)

Moeur (2000, p. 98) justifie de la façon suivante la longueur de 3,7 m (12 pi) : avec un angle de départ typique de 3° , il est impossible pour un véhicule routier d'éviter complètement une bande rugueuse d'une largeur de 200 ou 300 mm (8 ou 12 po). En prenant compte de la largeur typique d'un pneu d'automobile, soit 200 mm (8 po), l'auteur affirme qu'il serait même impossible d'éviter entièrement une bande rugueuse de 125 mm (5 po) de largeur ou moins.

L'ATC (2001, p. 19) retient pour sa part qu'une ouverture de 3,7 m avec un intervalle de 18,3 m offre une couverture de la bande rugueuse de 80 %, ou de 70 % pour un intervalle de 12,2 m. Cela ne signifie pas pour autant qu'un conducteur pourrait quitter la route sans croiser la bande rugueuse 20 ou 30 % du temps, respectivement.

En ce qui a trait aux autoroutes à accès contrôlé, Moeur (2000, p. 98) ouvre cependant la porte à ce que des bandes rugueuses ininterrompues puissent être justifiées, soit lorsque la largeur

revêtue de l'accotement suffit à la circulation des cyclistes après l'implantation de bandes rugueuses. L'auteur justifie cette position par le fait que les cyclistes ne peuvent pas circuler dans les voies de circulation en Arizona, soit l'état sur lequel portent ses travaux.

Enfin, lorsque la bande rugueuse est discontinue, le MTO (2014, p. 56) recommande d'interrompre la ligne de délimitation des voies située le plus près de l'extrémité de la chaussée aux endroits où se trouvent les interruptions dans la bande rugueuse. Cela contribue à alerter les cyclistes de l'espacement dans la bande rugueuse. La Figure 2.2 présente un tel marquage au sol.

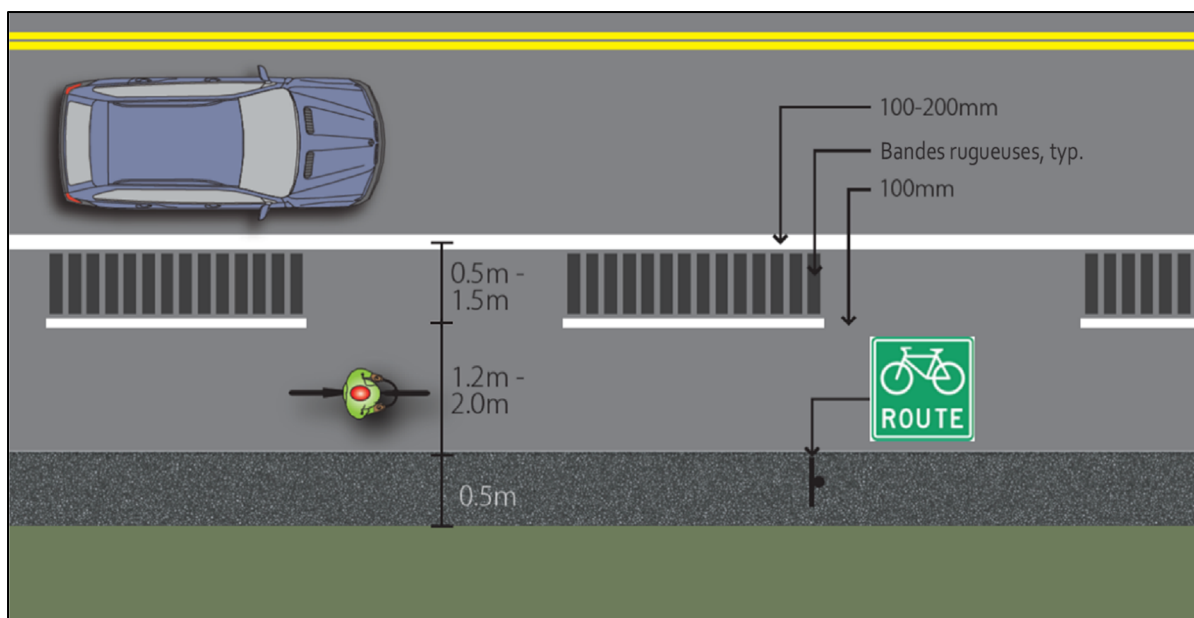


Figure 2.2 Bandes rugueuses adaptées pour les cyclistes (MTO)
Adaptée de MTO (2014, p. 55)

2.1.1.3 Largeur résiduelle de l'accotement revêtu

Comme discuté à la section 1.5.3.4, la largeur des accotements revêtus influence la sécurité des cyclistes. Considérant que l'implantation de bandes rugueuses se fait à l'intérieur de cet espace, elle peut réduire la largeur effective de l'accotement revêtu. L'AASHTO (2012, p. 4.9) affirme même qu'elles peuvent rendre indésirables certains itinéraires cyclables pourtant utiles et populaires.

Afin de limiter cette réduction et ses effets négatifs, la Colombie-Britannique a testé en 2000 et 2001 la mise en place de bandes rugueuses sous la ligne de rive ou empiétant sur la ligne de rive (ATC, 2001, p. 19). Toutefois, dans le cadre de la présente analyse, cette pratique n'a pas été relevée ailleurs dans la littérature.

Afin d'éviter que des cyclistes circulent à gauche de la bande rugueuse, potentiellement dans la voie de circulation, Garder (1995, p. 6) recommande de limiter l'usage des bandes rugueuses aux accotements revêtus d'au moins 0,9 m de façon à laisser minimalement une largeur de 0,45 m où peuvent circuler les cyclistes. Toutefois, comme discuté aux sections 1.1.1 et 1.2, une telle largeur minimale est impropre à la circulation des cyclistes.

Lors de l'implantation de bandes rugueuses sur les accotements revêtus destinés à la circulation des cyclistes, les autres références consultées proposent plutôt de considérer les dimensions minimales suivantes :

- 0,3 m (1 pi) depuis le bord de la voie de circulation (AASHTO, 1999, p. 17);
- 1,2 m (4 pi) jusqu'au bord du revêtement (AASHTO, 1999, p. 17; AASHTO, 2012, p. 4.9);
- 1,5 m (5 pi) d'un obstacle tel une bordure ou une glissière de sécurité (AASHTO, 1999, p. 17; AASHTO, 2012, p. 4.9);
- 1,8 m incluant la bande rugueuse (FHWA, 2001; Wilkinson & Moran, 1986, p. 14).

De plus, selon le MTO (2014, p. 51), lorsqu'un accotement revêtu de 2,0 m ou plus est destiné aux cyclistes, celui-ci devrait inclure une zone tampon de 0,5 m ou plus. Celle-ci peut être constituée de marquage au sol ou d'une bande rugueuse, sur des routes rurales. Sur les routes dont la vitesse affichée et le débit sont élevés dans la voie de circulation extérieure, la largeur de l'accotement peut être augmentée afin d'offrir une plus grande séparation entre les conducteurs et les cyclistes.

2.1.2 Grilles de puisards

En milieu rural ou périurbain, le drainage est généralement en surface (drainage ouvert) plutôt qu'en conduites (drainage fermé), ce qui réduit la nécessité de puisards. Cela étant dit, on trouve tout de même dans ces milieux des puisards sur les ponts ainsi que sur certains ponceaux, sans s'y limiter. Comme ils posent un danger évident et bien documenté pour les cyclistes, ces éléments doivent être pris en compte dans la conception d'aménagements où peuvent circuler ces usagers (Wilkinson & Moran, 1986, p. 18).

En effet, « Les grilles de drainage dont les ouvertures sont parallèles à la bordure peuvent permettre aux roues de bicyclettes étroites de tomber dans leurs ouvertures et ainsi causer de graves chutes. Une attention devrait être portée afin que les grilles de drainage soient compatibles avec les bicyclettes, avec des ouvertures suffisamment petites pour empêcher une roue de bicyclette de tomber dans les ouvertures de la grille. » [Traduction libre] (AASHTO, 2012, p. 4.55).

Le MTQ (s.d.-b, § 15.7.3) effectue la même recommandation. L'AASHTO (2012, p. 4.55) offre toutefois plus de détails en proposant une dimension de 25 mm (1 po) ou moins. Pour sa part, le MTQ (s.d.-c, § 3.6.3) précise que « Les barreaux des grilles doivent être perpendiculaires à l'axe de la chaussée. » et que « [...] lorsque les barreaux des grilles sont disposés en chevrons, les grilles doivent être installées [...] » de façon à ce que les chevrons pointent en sens inverse de la circulation, parallèlement à la bordure. Le MTO (2014, p. 165) préconise d'ailleurs l'usage de ces grilles disposées en chevrons lorsqu'elles sont positionnées dans la trajectoire des cyclistes.

Les couverts d'équipements de services publics souterrains peuvent également représenter un danger pour les cyclistes. Ceux-ci devraient donc être conçus de manière à être compatibles avec les bicyclettes et être positionnés adéquatement (AASHTO, 1999, p. 18).

En plus de posséder une forme compatible avec les bicyclettes, les puisards doivent être positionnés de manière à minimiser le passage des cyclistes sur leur grille. Si possible, toutes les grilles devraient être positionnées hors de la trajectoire attendue des cyclistes (MTO, 2014, p. 165). Lorsque de nouvelles infrastructures sont construites, les grilles verticales intégrées à la bordure devraient être priorisées (AASHTO, 1999, p. 18).

Enfin, « Il faut [...] ajuster le niveau des équipements de services publics (tels que couvercles de regards, puisards et chambres à vannes) de manière qu'ils arrivent à égalité avec la surface de la chaussée. » (MTQ, s.d.-b, § 15.7.3).

2.2 Ponts et tunnels routiers

Les ponts et les tunnels routiers présentent des caractéristiques pouvant limiter la convivialité pour les cyclistes. Notamment, ces ouvrages sont couramment plus étroits que leurs approches. De ce fait, il peut être plus difficile d'y aménager des voies cyclables, particulièrement dans le cas des ouvrages existants, car il peut s'avérer complexe de les élargir (AASHTO, 2012, p. 4.28).

L'AASHTO (2012, p. 4.41) affirme que les ponts, les viaducs et les tunnels devraient accommoder la circulation des cyclistes. Bien que les structures se situant sur des routes où l'accès est interdit aux cyclistes n'aient généralement pas besoin d'y être adaptées, on trouve de nombreux exemples de routes à accès limité traversant des barrières physiques majeures, comme de larges cours d'eau, lesquels incorporent des pistes cyclo-pédestres.

Sur les ponts et tunnels, le type d'aménagement dédié aux cyclistes devrait être déterminé en prenant compte de la fonction de la route; de la longueur de l'ouvrage et donc du besoin potentiel d'accueillir des véhicules en panne; ainsi que de la conception de la chaussée à ses approches. Néanmoins, l'absence d'aménagements cyclables sur ces approches, le cas échéant, ne devrait pas justifier à elle seule l'absence d'aménagement sur un pont ou dans un tunnel (AASHTO, 2012, p. 4.41).

En milieu urbain et périurbain, le type d'aménagement cyclable le plus courant sur ces ouvrages est la bande cyclable. En milieu rural, il s'agit plutôt de l'accotement revêtu. Dans la plupart des cas, les aménagements cyclables sont séparés des aménagements pédestres, soit des trottoirs (AASHTO, 2012, p. 4.42).

Il est à noter que, comme la circulation des cyclistes est interdite sur les autoroutes du Québec (CQLR c C-24.2 § 479), le MTQ (s.d.-b, § 15.6.5) affirme que « Sur une autoroute, il faut séparer la piste cyclable et les voies de circulation par une barrière infranchissable [...] qui doit se prolonger jusqu'à ce que la piste soit séparée d'une distance d'au moins 15 m de la ligne de rive. »

Sur les ponts dont la portée est ininterrompue sur plus de 0,8 km (0,5 mi) de longueur et où la vitesse de base excède 70 km/h (45 MPH), l'AASHTO (2012, p. 4.42) affirme qu'on devrait considérer l'aménagement d'une piste séparée de la chaussée par une glissière de béton, et ce, préféablement de part et d'autre du pont. En effet, l'aménagement d'une piste d'un côté seulement amène les cyclistes à circuler à contresens sur une certaine distance aux extrémités de l'aménagement bidirectionnel. Lorsqu'un aménagement est pourvu d'un seul côté, des aménagements permettant aux cyclistes de traverser du côté opposé devraient se trouver aux extrémités du pont afin que ceux-ci puissent poursuivre leur route légalement. Au besoin, ces aménagements peuvent être séparés de la chaussée verticalement.

Lorsque le tablier d'un pont est trop étroit pour permettre l'aménagement d'accotements revêtus de largeur adéquate pour la circulation des cyclistes, il peut être possible d'élargir un trottoir existant de manière à créer une piste cyclo-pédestre, par exemple en réduisant la largeur des voies de circulation ou en aménageant une structure en porte-à-faux. Le cas échéant, une rampe d'accès doit être prévue entre le niveau du trottoir et de la chaussée aux extrémités du pont afin de permettre aux cyclistes de poursuivre leur route (AASHTO, 2012, p. 4.42). Dans une telle situation, en plus d'une structure en porte-à-faux, le MTQ (s.d.-b, § 15.6.5) suggère l'aménagement d'une passerelle indépendante.

Dans les tunnels existants, l'AASHTO (2012, p. 4.42) souligne que les options d'intégration d'aménagements cyclables incluent l'élargissement d'un trottoir existant ou la destruction d'un trottoir existant qui serait trop étroit. L'organisme précise toutefois que cette seconde option pourrait ne pas s'avérer souhaitable lorsque ledit trottoir sert de bordure décourageant les véhicules lourds de circuler trop près des extrémités du tunnel ainsi que là où ce trottoir sert de corridor d'urgence. Dans les tunnels étroits où les cyclistes partagent la chaussée avec les conducteurs, il est possible de mettre en place une signalisation de danger activée par les cyclistes et informant les conducteurs de leur présence. Un tel dispositif devrait clignoter pendant une période correspondant au temps nécessaire pour qu'un cycliste moyen traverse le tunnel. La détection de la présence des cyclistes et l'affichage de leur présence sont abordés plus en détail à la section 2.4.1.6.

Un facteur à considérer pour permettre aux cyclistes de circuler sur les ponts est la hauteur des systèmes de retenue bordant la chaussée. Leur hauteur minimale doit être telle qu'il soit impossible pour un cycliste de chuter de l'autre côté en cas de collision. Les systèmes de retenue doivent également être ininterrompus afin d'empêcher les cyclistes et les piétons de chuter à travers ceux-ci (Ferrara, 2001, p. 144).

Selon l'AASHTO (2012, p. 4.42), là où les cyclistes se déplacent à grande proximité d'un système de retenue, celui-ci devrait mesurer au moins 1,05 m (42 po) de hauteur. Lorsque la hauteur du système de retenue est inférieure, une main courante le surmonte généralement afin d'atteindre une hauteur de 1,05 m (42 po). Sur les ponts où la vitesse des cyclistes peut être plus élevée, par exemple en pente descendante ou là où un cycliste serait à risque d'entrer en collision avec le système de retenue à un angle de 25° ou plus, par exemple dans une courbe, une surélévation du système de retenue à 1,2 m (48 po) devrait être envisagée.

Pour sa part, Ferrara (2001, p. 43), qui cite Forester (1977), affirme qu'une hauteur de 1,2 m (48 po) devrait être assurée en tout temps, dès que les cyclistes circulent à proximité des systèmes de retenue d'un pont. Il précise qu'une hauteur inférieure placerait le centre de gravité des cyclistes au-dessus du système de retenue en cas de collision, ce qui ferait chuter le cycliste

de l'autre côté plutôt que de l'arrêter. Dans le contexte où l'accotement revêtu est suffisamment large pour permettre aux cyclistes de circuler loin du système de retenue, l'AASHTO (2012, p. 4.42) affirme qu'une hauteur inférieure à 1,05 m (42 po) est acceptable.

Selon le MTQ (s.d.-b, § 15.6.5), la hauteur minimale des systèmes de retenue est plutôt de 1,4 m, et ce, dès qu'un pont comporte une voie cyclable. Une exception s'applique toutefois si un trottoir sépare la voie cyclable du système de retenue.

Pour leur part, Chiu et al. (2017d, p. 78) recommandent l'installation de systèmes de retenue dont la membrure supérieure est située à 1,4 m au-dessus du niveau de la chaussée lorsque cela est justifié par les débits de cyclistes. Dans le cas de ponts où les cyclistes doivent circuler sur le trottoir, cette hauteur devrait être calculée à partir du trottoir. Lorsqu'un trottoir est présent, mais que les cyclistes ne doivent pas y circuler, les auteurs notent que cette hauteur peut être réduite à 1,0 m.

Chiu et al. (2017d, p. 82) précisent que, dans un contexte où la vitesse affichée est de plus de 60 km/h, un trottoir devrait être séparé de la chaussée par une glissière de sécurité combinée et que, dans ce cas, la hauteur de la membrure supérieure est mesurée depuis la surface sur laquelle les cyclistes circulent, soit la chaussée ou le trottoir.

Il est à noter qu'en plus de la hauteur, « Plusieurs facteurs doivent être pris en considération dans le choix d'une glissière pour un même niveau d'essai, notamment le [DJMA], la facilité d'entretien, le déneigement, l'intégration au milieu et le respect des distances de visibilité. » (MTQ, s.d.-a, § 2.12.1.3). Ces éléments dépassent le cadre de la présente analyse.

Selon Ferrara (2001, p. 143), les facteurs suivants devraient influencer l'occurrence des collisions impliquant des cyclistes sur les ponts :

- Longueur du pont;
- Largeur des voies de circulation;
- Largeur de l'accotement revêtu;

- Débit de circulation véhiculaire;
- État du revêtement;
- Caractéristiques des pentes;
- Géométrie des dispositifs de retenue.

Par rapport au revêtement, il est à noter que les joints d'expansion du tablier d'un pont sont une source de danger pour les cyclistes (MTQ, s.d.-b, § 15.6.5). Ceux-ci doivent donc être recouverts ou modifiés de façon telle qu'un pneu étroit ne puisse pas s'y coincer (Ferrara, 2001, p. 144).

Spécifiquement quant aux tunnels, l'AASHTO (2012, p. 4.43) et Ferrara (2001, p. 43), qui cite Forester (1977), soulignent l'importance de l'éclairage artificiel dans les tunnels afin que les conducteurs puissent voir et réagir à la présence des cyclistes circulant devant eux à une distance appropriée en fonction de la vitesse de base du tunnel.

En se basant sur les données compilées dans le cadre de ses travaux, Ferrara (2001, p. 119) constate que les ponts et les tunnels où la circulation des cyclistes est permise ne présentent pas une fréquence de collision impliquant des cyclistes plus élevée que sur les routes où ils se situent.

En somme, les collisions impliquant des cyclistes sur les ponts et dans les tunnels surviennent rarement. Néanmoins, une attention particulière devrait être portée sur ces ouvrages afin d'assurer une largeur suffisante à la circulation des cyclistes, notamment en présence d'obstacles aux abords de la voie cyclable ou lorsque l'ouvrage mesure plus de 0,8 km. Sur les ponts, la hauteur des systèmes de retenue doit empêcher les cyclistes de chuter par-dessus ceux-ci et les joints d'expansion du tablier doivent être tels qu'un pneu de bicyclette étroit ne puisse pas s'y coincer. Dans les tunnels, un éclairage artificiel doit assurer la visibilité entre les conducteurs et les cyclistes.

2.3 Passages à niveau

« Les passages à niveau présentent un danger indéniable pour les cyclistes, particulièrement lorsque les rails ne sont pas perpendiculaires à la route. » (MTQ, s.d.-b, § 15.6.3). Des rails croisant un aménagement cyclable de façon oblique peuvent nuire à la capacité des cyclistes de maintenir leur direction (AASHTO, 2012, p. 4.38).

En effet, « Les voies [ferrées] ne sont pas toujours à niveau avec la surface de la chaussée, et il se crée des espaces de chaque côté de la voie dans lesquels les roues de vélo peuvent rester coincées. De plus, les rails de métal peuvent être très glissants lorsqu'ils sont mouillés. » (Chiu et al., 2017c, p. 75). Des relevés par vidéo (Cherry, 2017) réalisés dans le cadre des travaux de Ling, Cherry, et Dhakal (2017) illustrent très bien ces problématiques. En raison de ces enjeux bien documentés, un traitement correctif est justifié dès que ceux-ci sont constatés (Wilkinson & Moran, 1986, p. 18).

L'angle de croisement entre une voie cyclable et un chemin de fer devrait idéalement être perpendiculaire, puisqu'il s'agit de l'angle où le risque de chute est le plus faible (AASHTO, 1999, p. 60; AASHTO, 2012, p. 4.38). Le MTQ (s.d.-b, § 15.6.3) et l'AASHTO (2012, p. 4.38) établissent l'angle minimal d'intersection à 60 degrés.

« Lorsque les voies [ferrées] ne traversent pas à angle droit, l'élargissement de la chaussée à l'approche de celles-ci peut procurer un meilleur angle pour traverser. Ainsi, les cyclistes peuvent positionner leur vélo perpendiculairement aux voies sans interférer avec la circulation automobile. » (Chiu et al., 2017c, p. 75) En effet, à défaut d'un tel élargissement, les cyclistes doivent ralentir et tourner afin de croiser les voies à angle droit, une trajectoire qui peut entrer en conflit avec celle des conducteurs (Chiu et al., 2017c, p. 75). La configuration d'un passage à niveau adapté aux cyclistes, dans le contexte d'un accotement revêtu, est présentée aux Figures 2.3 et 2.4.

En ce qui a trait aux enjeux liés au changement de niveau, le MTQ (s.d.-b, § 15.6.3) propose de remplir l'espace entre les rails en continuité avec le reste de l'aménagement. Quant à l'espace laissé de part et d'autre des rails, l'AASHTO (2012, p. 4.38) souligne les facteurs à considérer en lien avec le type de trafic ferroviaire, soit lourd ou léger, de même que la densité et la vitesse de circulation. En fonction du type de trafic, différentes solutions sont possibles, lesquelles doivent servir à minimiser la largeur de l'ouverture le long des rails. Le détail de ces dispositifs dépasse cependant le cadre de la présente analyse.

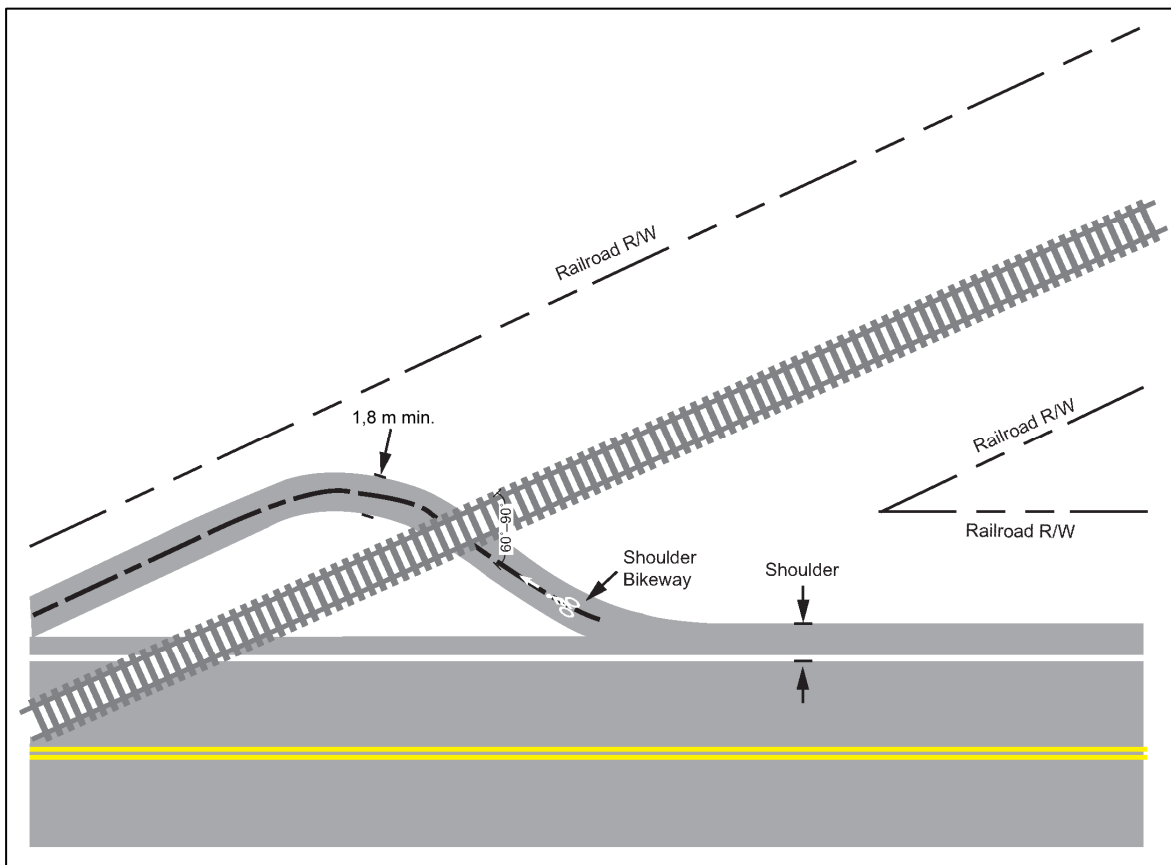


Figure 2.3 Passage à niveau adapté aux cyclistes (AASHTO)
Adaptée de AASHTO (2012, p. 4.39)

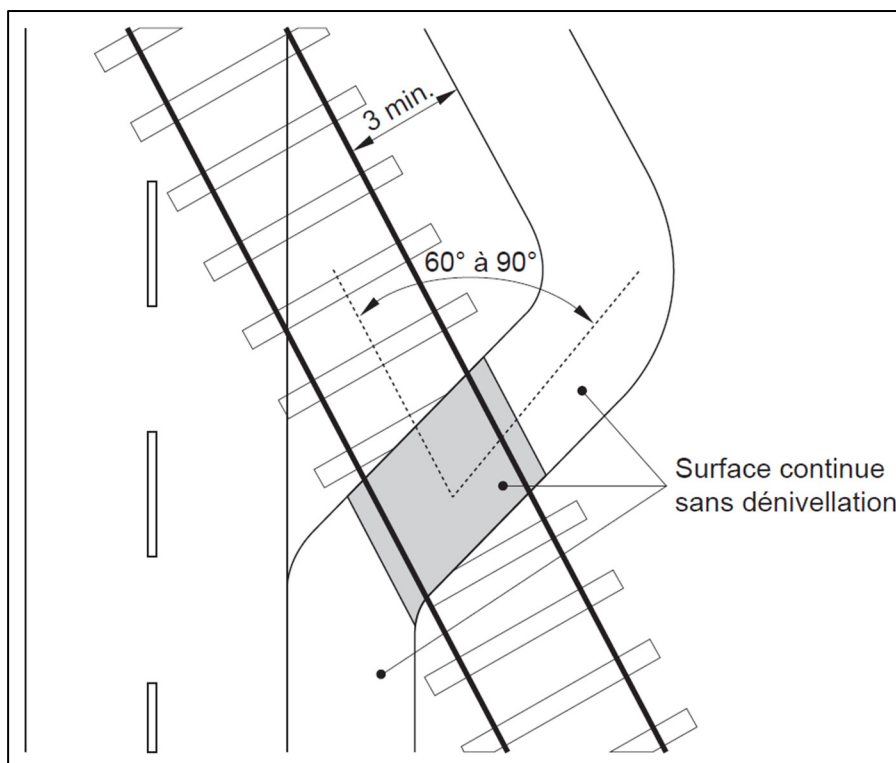


Figure 2.4 Passage à niveau adapté aux cyclistes (MTQ)
Adaptée de MTQ (s.d.-b, p. 15.30)

2.4 Échangeurs

Comme rapporté à la section 1.5, les intersections constituent un endroit dangereux pour les cyclistes. Dans le contexte autoroutier, ces intersections prennent la forme d'échangeurs. Ces aménagements peuvent être difficiles à traverser pour les cyclistes lorsque les débits de circulation véhiculaire sont élevés ou lorsque leur aménagement est déficient (AASHTO, 2012, pp. 4.56-4.57).

Quelle que soit la forme qui soit retenue, l'AASHTO (2012, p. 4.62) souligne que des indications claires devraient être données aux cyclistes dans les échangeurs, notamment lorsque leur configuration est inhabituelle. L'organisme met d'ailleurs en garde contre certains aménagements qui pourraient être ignorés par les cyclistes, les poussant ainsi à tenter de traverser l'échangeur là où aucun aménagement n'est présent.

Dans le contexte de la circulation des cyclistes sur les autoroutes, il convient donc d'étudier les échangeurs de manière approfondie, soit les critères de conception et de justification des aménagements à niveau et séparés verticalement.

2.4.1 Aménagements à niveau

Les caractéristiques géométriques des intersections à niveau de bretelles autoroutières se distinguent des intersections typiquement abordées dans les normes et guides en place. Cette section porte d'abord sur la géométrie du point de croisement de la bretelle, puis sur l'aménagement de la bretelle dans sa globalité. Elle porte ensuite sur la vitesse des véhicules routiers à l'approche du point de croisement susmentionné et sur la manœuvre de traversée des cyclistes, de même que sur la gestion de la priorité entre ces usagers. Enfin, l'affichage et la détection des cyclistes sont abordés.

2.4.1.1 Géométrie de l'intersection d'une bretelle autoroutière

En raison du différentiel de vitesse significatif et de la longue distance de traversée, les sections d'entrecroisement des bretelles autoroutières peuvent intimider les cyclistes et les collisions y sont souvent fatales en raison du différentiel de vitesse. Les zones critiques des bretelles, en ce qui a trait aux risques de collisions et à la convivialité pour les cyclistes, sont leurs extrémités du côté de l'autoroute (Clark & Tracy, 1995, cités par Ferrara, 2001, p. 49; AASHTO, 2012, pp. 4.57-4.60).

Il n'y a pas consensus quant au traitement à appliquer à ces endroits. Il apparaît toutefois que les meilleurs traitements prévoient un endroit spécifique où les cyclistes peuvent traverser. En effet, il est difficile pour les cyclistes de traverser la section d'entrecroisement, parce que l'angle aigu entre les mouvements réduit la visibilité. L'endroit où peuvent traverser les cyclistes devrait assurer de bonnes distances de visibilité entre les usagers et se trouver là où l'attention des conducteurs n'est pas dirigée uniquement vers la circulation véhiculaire dans laquelle ils doivent s'insérer (Clark & Tracy, 1995, cités par Ferrara, 2001, p. 49; AASHTO,

2012, pp. 4.57-4.60). L'objectif d'un tel aménagement est d'accroître la prévisibilité des manœuvres des conducteurs et des cyclistes (Chiu et al., 2017c, p. 72).

Selon l'AASHTO (2012, p. 4.57), les concepts fonctionnels de passages pour cyclistes encouragent généralement un ralentissement des cyclistes ou requièrent aux conducteurs de ralentir ou d'arrêter. Au contraire, les aménagements qui encouragent les mouvements véhiculaires à haute vitesse ou en écoulement libre sont les plus difficiles à négocier pour les cyclistes.

Dans le contexte des échangeurs, l'AASHTO (2012, p. 4.57) précise néanmoins que les intersections à angle droit sont celles qui servent le mieux les cyclistes. De tels aménagements leur permettent de maintenir leur vitesse, minimisent la zone de conflit et promeuvent une bonne visibilité. Ainsi, les conflits entre les conducteurs et les cyclistes sont gérés d'une manière similaire à celle que l'on retrouve à la plupart des intersections urbaines.

Chiu et al. (2017c, p. 72) affirment également qu'afin de fournir une plus grande visibilité entre les cyclistes et les automobilistes sur les bretelles d'entrée ainsi que sur les bretelles de sortie, la voie cyclable doit rejoindre la bretelle de l'autoroute à un angle quasiment perpendiculaire (entre 65° et 75°). Bruneau et al. (2004) ainsi que Bruneau et Houle (2012) ajoutent que les passages à angle droit réduisent la durée d'exposition.

Il est à noter que le MTQ (s.d.-b, § 7.11) applique le même principe aux intersections routières en spécifiant que l'angle de croisement « [...] ne doit jamais être inférieur à 70° à cause de l'effort supplémentaire requis pour regarder vers la gauche ou la droite. »

De plus, la fréquence et la conception des bretelles autoroutières doivent faire l'objet de considération. Par exemple, les bretelles à deux voies peuvent être difficiles à traverser pour les cyclistes. Il en va de même pour les bretelles situées du côté gauche de la chaussée. Les cyclistes ne devraient pas avoir à traverser une voie de circulation pour atteindre une bretelle

divergente ou rejoindre une voie cyclable depuis une bretelle convergente (AASHTO, 2012, p. 4.56).

Nonobstant ces bonnes pratiques, l'AASHTO (2012, p. 4.57) souligne que les débits de circulation sont généralement faibles en région rurale et que la plupart des cyclotouristes sont suffisamment expérimentés pour traverser un échangeur. Cela dit, la largeur des accotements revêtus devrait être suffisante pour accommoder la circulation des cyclistes (Caltrans, 2006, cité par Schonfeld et al., 2016, p.6; AASHTO, 2012, p. 4.57).

2.4.1.2 Géométrie des bretelles autoroutières aménagées pour les cyclistes

Schonfeld et al. (2016, p. 4) présentent deux approches : l'intersection d'une bretelle avec un passage parallèle ainsi que celle d'une bretelle avec un passage perpendiculaire. Ces aménagements sont respectivement représentés aux Figures 2.5 et 2.6. Les bénéfices et inconvénients de chacun de ces traitements, selon cet auteur, sont rapportés au Tableau 2.5.

Selon Skene et Jacobson (2012, p. 87), « L'importante différence de vitesse entre les véhicules à moteur et les cyclistes donne lieu à un conflit important lorsqu'une bande cyclable se poursuit tout droit en croisant la bretelle d'une voie rapide (avec ou sans voies d'accélération ou de décélération), car les automobilistes ne s'attendent probablement pas à devoir céder le passage à des cyclistes. »

Pour le croisement perpendiculaire des bretelles divergentes, Skene et Jacobson (2012, p. 87) affirment que « Il existe deux façons de permettre aux cyclistes de traverser une bretelle de sortie : [grâce] à une signalisation indiquant un endroit plus loin où traverser; [ou grâce] à un désaxement de la voie cyclable. » Dans ce premier cas, les auteurs affirment qu'il est souhaitable d'élargir l'accotement de 3,5 m afin d'offrir aux cyclistes un endroit où attendre. Ces configurations, citées par le MTO (2014, pp. 150-152), sont représentées aux Figures 2.7 et 2.8. La seconde configuration, adaptée à une bretelle convergente, est représentée à la Figure 2.9.

Selon Schonfeld et al. (2016), l'aménagement présenté à la Figure 2.7, soit la surlargeur de l'accotement revêtu, comporte toutefois plusieurs faiblesses, incluant notamment :

- Une zone de croisement triangulaire, laquelle rend moins prévisible la trajectoire des cyclistes;
- La surlargeur de l'accotement complique son entretien, notamment en ce qui a trait au déneigement.

Chiu et al. (2017c, p. 74) recommandent plusieurs caractéristiques géométriques pour l'intersection des bretelles autoroutières. Celles-ci sont rapportées aux Figures 2.10 et 2.11. Selon l'abaque du MTQ (s.d.-b, p. 15.16) présenté à la Figure 2.12, avec sa profondeur d'au plus 6 m, même en présence d'un devers positif, la vitesse de conception de l'anse pour cyclistes serait inférieure à 20 km/h, soit le seuil minimal de cet abaque.

En ce qui concerne les bretelles convergentes, l'AASHTO (1999, p. 63) propose une configuration similaire à celle de l'ATC (2012, cité par MTO, 2014, p. 152). Celle-ci est présentée à la Figure 2.13.

Spécifiquement dans le cas des échangeurs en trompette, Caltrans (2010, p. 96) cite Valley Transportation Authority (2007) pour recommander de mettre en place des voies cyclables de contournement, comme illustré à la Figure 2.14.

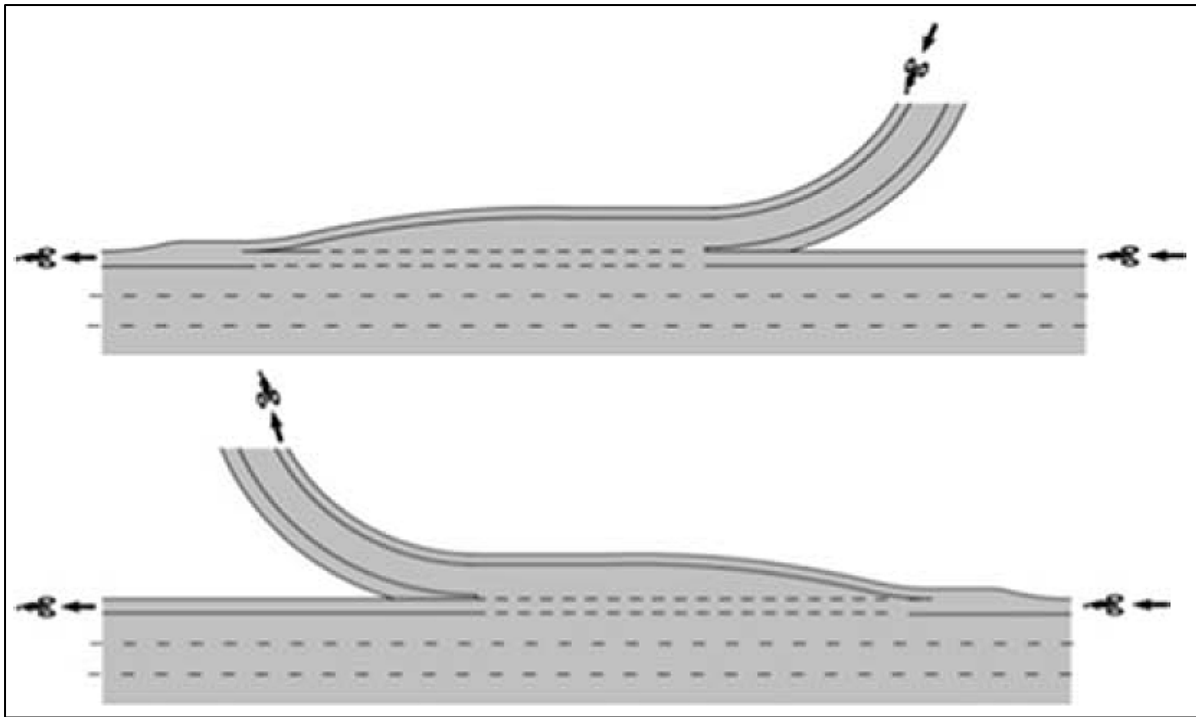


Figure 2.5 Bretelles d'autoroutes avec passage parallèle (Schonfeld et al.)
Adaptée de Schonfeld et al. (2016, p. 4)

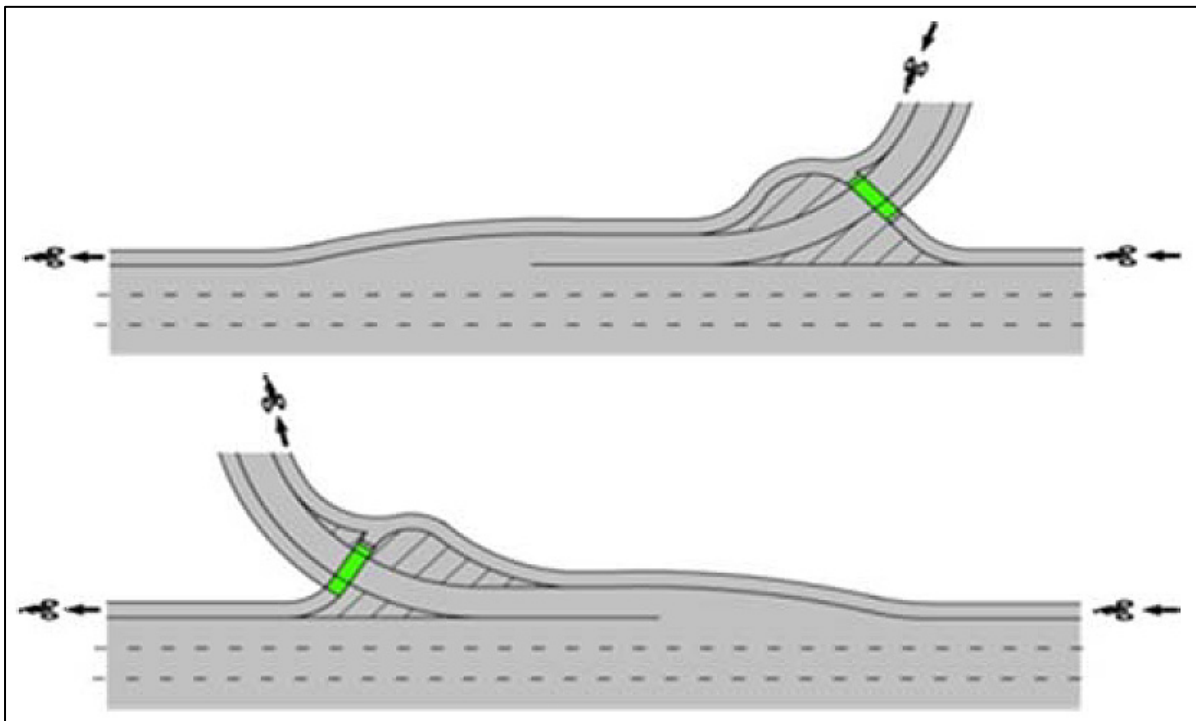


Figure 2.6 Bretelles d'autoroutes avec passage perpendiculaire (Schonfeld et al.)
Adaptée de Schonfeld et al. (2016, p. 4)

Tableau 2.5 Bénéfices et inconvénients des types de traitement de bretelles autoroutières
Adapté de Schonfeld et al. (2016, p. 5)

		Avantages	Désavantages
Passage parallèle	Bretelle convergente	<ul style="list-style-type: none"> • Les cyclistes ont la flexibilité de choisir leurs propres manœuvres d'entrecroisement, de traversée ou de convergence, flexibilité qui est préférée par les cyclistes expérimentés 	<ul style="list-style-type: none"> • L'angle aigu réduit la visibilité • Les conducteurs en accélération pourraient ne pas céder le passage aux cyclistes • Le différentiel de vitesse est élevé • Les conducteurs pourraient être distraits par l'attention portée aux autres véhicules pendant la manœuvre de convergence
	Bretelle divergente	<ul style="list-style-type: none"> • Les cyclistes peuvent continuer tout droit à travers l'échangeur • Les conducteurs devraient céder le passage aux cyclistes avant d'accéder à la bretelle 	<ul style="list-style-type: none"> • L'angle aigu réduit la visibilité • Les cyclistes amateurs pourraient ne pas posséder les capacités ou la confiance pour utiliser ce type d'aménagement • Inapproprié aux milieux ruraux où la vitesse pratiquée est comparativement élevée
Passage perpendiculaire	Bretelle convergente	<ul style="list-style-type: none"> • La distance de traversée est courte et presque à angle droit • La distance de visibilité est supérieure et la vitesse pratiquée est inférieure, par rapport à l'aval de la bretelle • Peut être déneigé, puisque la plupart des manuels indiquent que la zone hachurée à la Figure 2.6 est pavée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les cyclistes doivent attendre un créneau pour effectuer leur traversée, ce qui représente un délai supplémentaire • Les cyclistes doivent s'arrêter, puis accélérer à nouveau si un dispositif de contrôle renversant l'ordre de priorité habituel est utilisé
	Bretelle divergente	<ul style="list-style-type: none"> • La distance de traversée est courte et presque à angle droit • La distance de visibilité est supérieure et la vitesse pratiquée est inférieure, par rapport à l'amont de la bretelle • Les conducteurs ne sont pas distraits par d'autres véhicules • Peut être déneigé, puisque la plupart des manuels indiquent que la zone hachurée à la Figure 2.6 est pavée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les cyclistes doivent attendre un créneau pour effectuer leur traversée, ce qui représente un délai supplémentaire • Les cyclistes doivent s'arrêter, puis accélérer à nouveau si un dispositif de contrôle renversant l'ordre de priorité habituel est utilisé • Les cyclistes doivent parcourir une distance totale plus élevée pour traverser l'échangeur

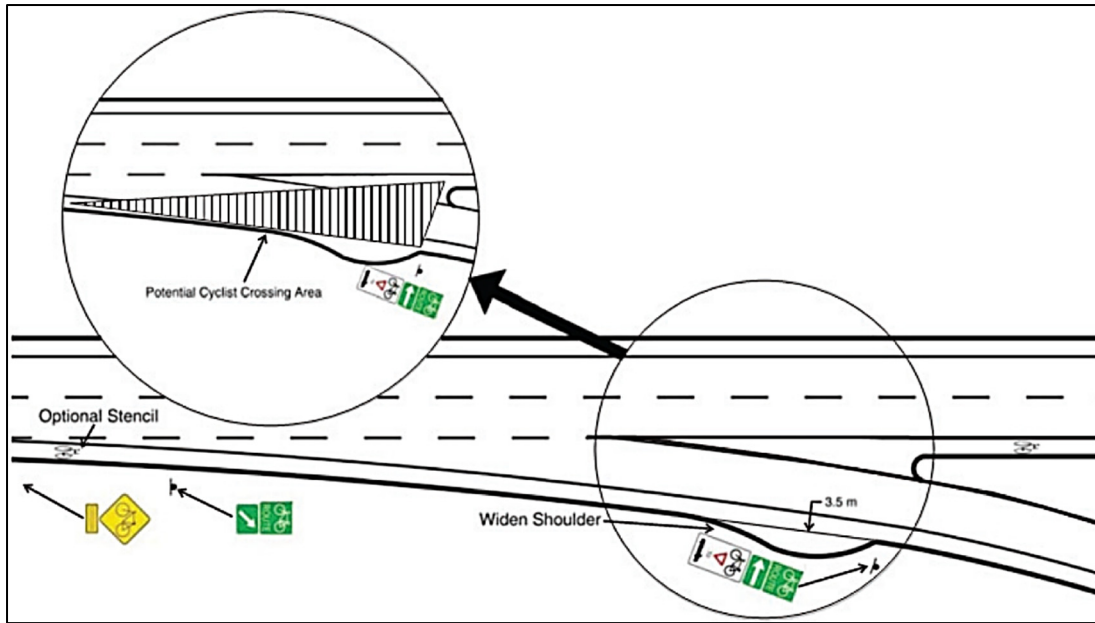


Figure 2.7 Signalisation à une bretelle autoroutière divergente (MTO)
Adaptée de MTO (2014, p. 150) qui cite ATC (2012)

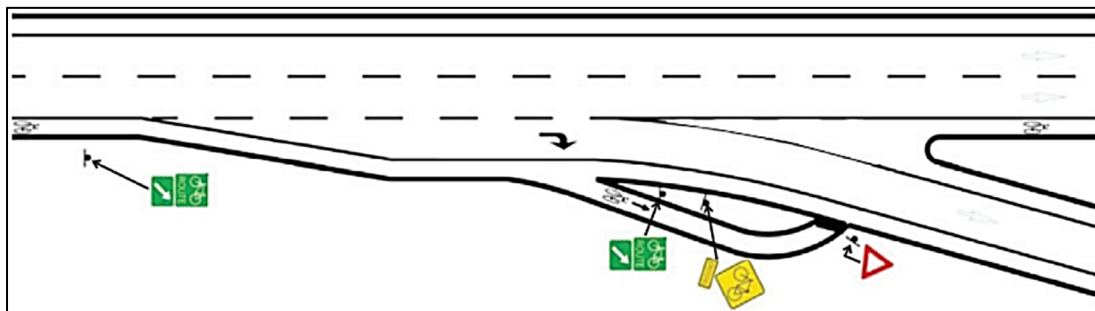


Figure 2.8 Signalisation à une bretelle autoroutière divergente (MTO)
Adaptée de MTO (2014, p. 151) qui cite ATC (2012)

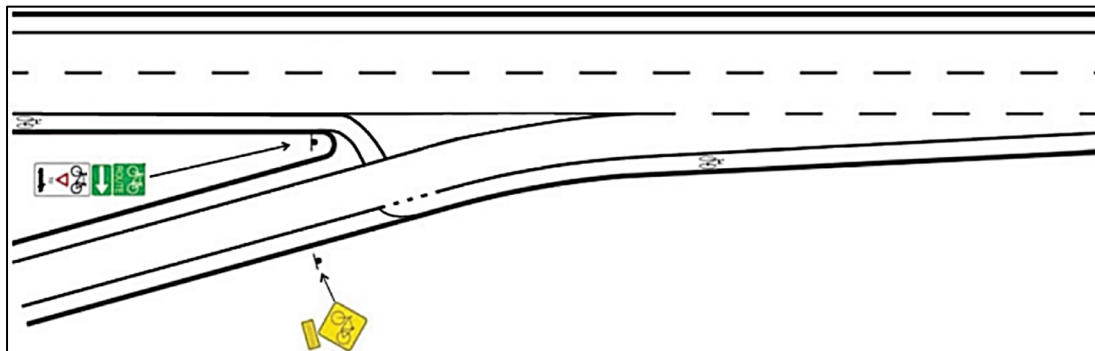


Figure 2.9 Signalisation à une bretelle autoroutière convergente (MTO)
Adaptée de MTO (2014, p. 152) qui cite ATC (2012)

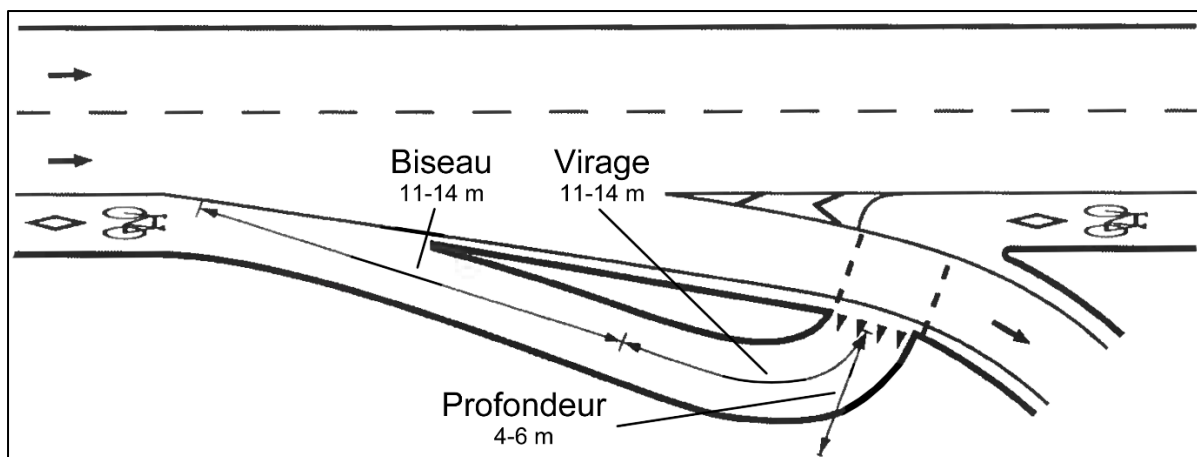


Figure 2.10 Bretelle d'autoroute divergente (ATC)
Adaptée de Chiu et al. (2017c, p. 74)

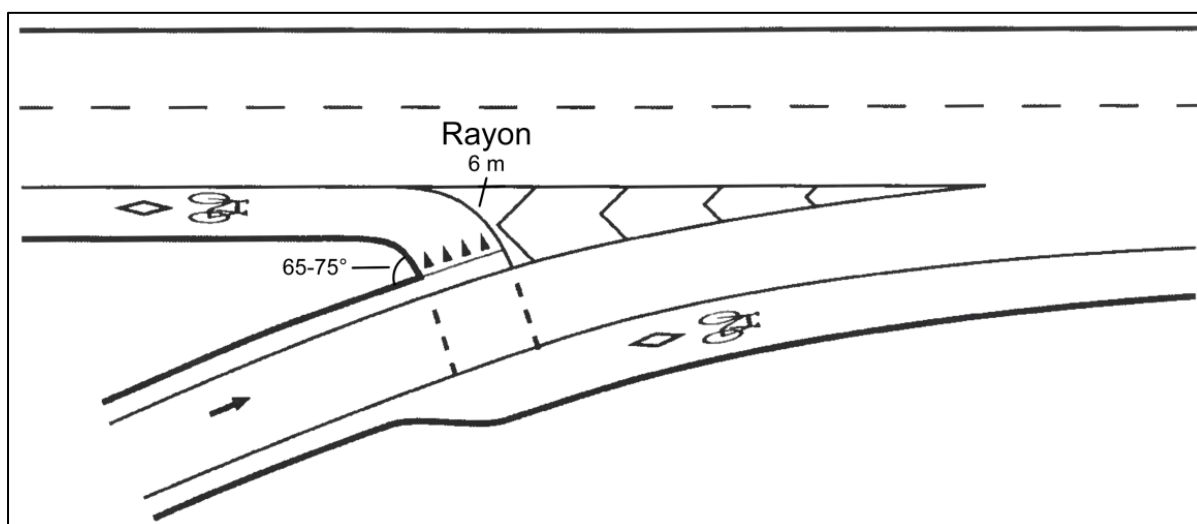


Figure 2.11 Bretelle d'autoroute convergente (ATC)
Adaptée de Chiu et al. (2017c, p. 74)

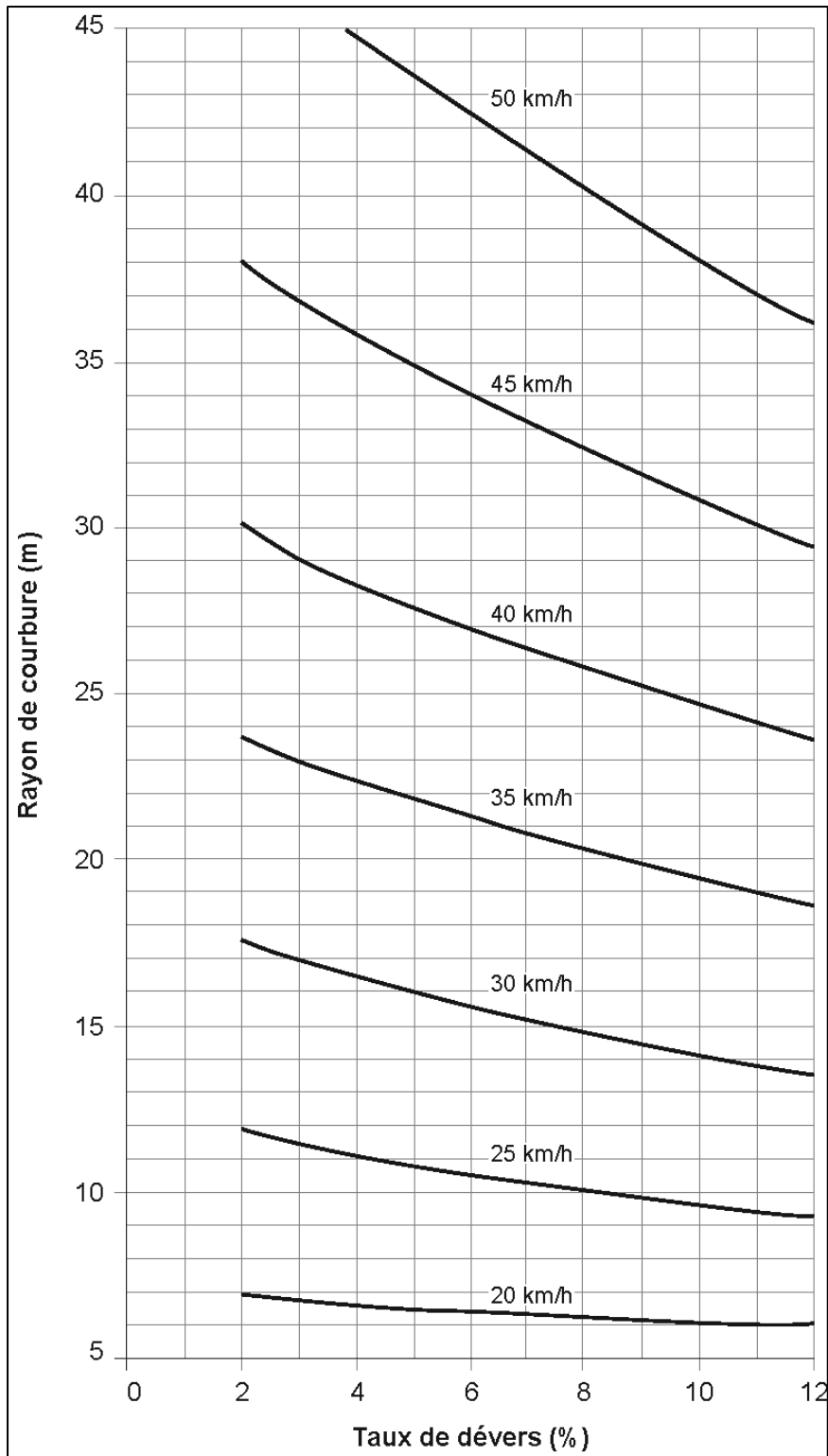


Figure 2.12 Rayon de courbure en fonction du dévers pour différentes vitesses de conception
Reproduite avec la permission de MTQ (s.d.-b, p. 15.16)

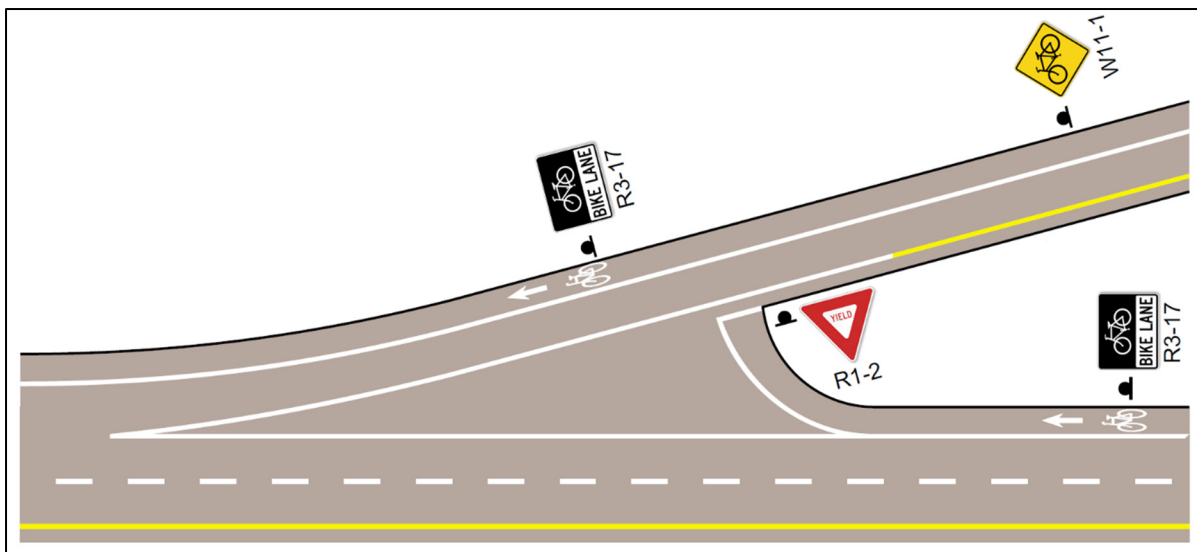


Figure 2.13 Signalisation à une bretelle autoroutière convergente (AASHTO)
Adaptée de AASHTO (1999, p. 63)

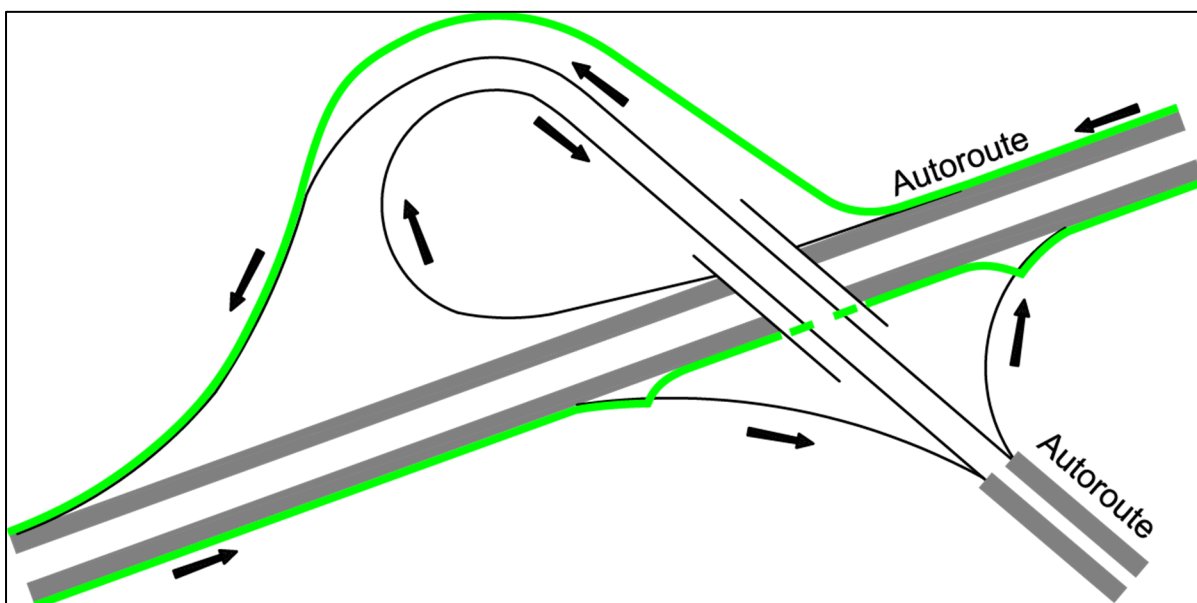


Figure 2.14 Voie cyclable de contournement dans un échangeur en trompette (Caltrans)
Adaptée de (MTQ, s.d.-b, p. 9.14)

2.4.1.3 Vitesse des véhicules dans une bretelle

Selon Chiu et al. (2017e, p. 33), le domaine de définition de la vitesse de base d'une bretelle est de 60 à 100 km/h pour une route dont la vitesse de base est de 110 km/h. Chiu et al. (2017e, p. 42) poursuivent toutefois en affirmant qu'une vitesse de sortie au musoir fixée à 80 % de la vitesse de base de l'approche, soit l'autoroute, dans le cas à l'étude, est représentative de ces véhicules. Une telle affirmation « [...] suppose que le reste de la décélération se fait uniformément le long de la spirale. »

En ce qui a trait aux bretelles des échangeurs majeurs, le MTQ (s.d.-b, § 9.4.2) affirme que « Les bretelles directes permettent les virages à droite ou à gauche, comportent de longs rayons et les vitesses de base qui y sont pratiquées sont de l'ordre de 70 à 80 % de la vitesse de base des autoroutes. » Toujours selon cette référence, « Les bretelles semi-directes assurent [quant à elles] certains mouvements de virage à gauche au moyen de boucles dont la vitesse de base est moindre. »

2.4.1.4 Manœuvre de traversée

Un conducteur arrêté désirant traverser une route principale doit disposer d'un créneau suffisant pour effectuer sa manœuvre (MTQ, s.d.-b, § 7.11.4), c'est-à-dire qu'elle doit pouvoir être effectuée sécuritairement sans perturber le trafic sur la route principale. Un tel conducteur doit donc disposer de la visibilité nécessaire afin de s'assurer que ce créneau soit disponible. Cette distance correspond à la distance de visibilité de traversée (DVT). Les véhicules sur chaque approche doivent quant à eux disposer de la visibilité requise pour s'immobiliser, advenant qu'un obstacle se trouve dans l'intersection (MTQ, s.d.-b, § 7.12). Cette distance correspond à la distance de visibilité d'arrêt (DVA). Pour la conception, la plus grande des deux distances est retenue.

Les travaux de Bruneau et al. (2004) appliquent ces principes à la traversée d'une route par des cyclistes provenant d'un aménagement cyclable faisant office, dans le contexte, de route

secondaire. L'AASHTO (1999, p. 51) rapporte en effet que la DVT peut être appliquée aux cyclistes, malgré les différences entre les bicyclettes et les véhicules motorisés.

En ce qui a trait à la DVA des conducteurs de véhicules routiers, leur capacité à s'immobiliser (MTQ, s.d.-b, § 7.4) et la distance en découlant (MTQ, s.d.-b, § 7.7) sont bien documentées. Cette dernière est fonction du temps de perception-réaction (PIEV) des conducteurs et des caractéristiques de la chaussée : dévers, déclivité, rayon de courbure et coefficient de frottement, de même que des conditions environnementales. En effet, on suppose une chaussée mouillée pour le calcul du coefficient de frottement (MTQ, s.d.-b, § 7.4). Les Équations 2.1 à 2.3 détaillent le calcul de la DVA des véhicules routiers. Dans ces Équations, la constante « 3,6 » résulte de la conversion d'unité entre m/s et km/h alors que les constantes « 127 » et « 254 » résultent de la conversion d'unité entre m/s² et km/h², arrondie sans décimale (Garber & Hoel, 2014, p. 77; Whyte & Paul, 1997, p. 292).

Coefficient de frottement longitudinal d'un véhicule motorisé

$$f = 1,0371 * V_{(km/h)}^{-0,2729} \quad (2.1)$$

Adaptée de MTQ (s.d.-b, § 7.4)

Distance de visibilité d'arrêt d'un véhicule motorisé sans l'effet des courbes

$$DVA_{(m)} = \frac{PIEV_{(s)} * V_{(km/h)}}{3,6} + \frac{V_{(km/h)}^2}{254 * (f \pm p)} \quad (2.2)$$

Adaptée de MTQ (s.d.-b, § 7.7)

Distance de visibilité d'arrêt d'un véhicule motorisé

$$DVA_{(m)} = \frac{PIEV_{(s)} * V_{(km/h)}}{3,6} + \frac{V_{(km/h)}^2}{254 * \left(\left[f^2 - \left(\frac{V_{(km/h)}^2}{127 * R_{(m)}} - e \right) \right]^{0,5} \pm p \right)} \quad (2.3)$$

Adaptée de MTQ (s.d.-b, p. 7.5)

Pour le PIEV, le MTQ (s.d.-b, § 7.3) recommande généralement l'usage de 2,5 s, soit le PIEV de 95^e centile de tous les conducteurs. Cette valeur s'applique aux stimuli simples en conditions normales, mais peut être augmentée pour les stimuli complexes ou lorsque des manœuvres inattendues ou inhabituelles sont requises. Par exemple, pour un arrêt en milieu rural, le MTQ (s.d.-b, § 7.9) recommande d'augmenter cette valeur à 3,0 s. Bruneau et al. (2004, p. 19) rapportent quant à eux que Gittings et al. (1994) croient que le PIEV devrait être ajusté à 3,0 ou 4,0 s, puisqu'une traverse est rarement anticipée par le conducteur en milieu rural. Cela étant dit, ils utilisent tout de même une valeur de 2,5 s dans leurs travaux, soit le PIEV prescrit par le MTQ (1998).

En ce qui concerne les cyclistes à l'arrêt, l'AASHTO (2012, p. 4.44) recommande un PIEV de 1 s. En référant aux travaux de Gittings et al. (1994), Bruneau et al. (2004, p. 19) rapportent en outre que les barèmes du CROW recommandent l'usage d'un PIEV de 1 s pour un cycliste immobile. Ceux-ci concluent toutefois que « [...] cette valeur ne procure pas au cycliste une marge de manœuvre sécuritaire. ». Ils suggèrent plutôt l'usage d'un PIEV de 2,5 s.

Quant à la distance de visibilité de traversée (DVT) des cyclistes, Bruneau et al. (2004, p. 23) citent CROW (1993, cité par Gittings et al., 1994) en proposant « des seuils de visibilité de traversée basés sur la vitesse d'approche 85^e [centile] du véhicule, la longueur de la traverse (largeur de la chaussée et une longueur de bicyclette) et la capacité du cycliste à accélérer en partant d'une position stationnaire. Pour qu'un cycliste puisse facilement traverser après un arrêt complet, la distance de visibilité doit tenir compte de l'accélération et de la vitesse du cycliste en relation avec la longueur de la traverse. »

En effet, un cycliste en mouvement a besoin d'un créneau inférieur pour effectuer une traversée, puisque sa vitesse moyenne est plus élevée. Corollairement, il peut être souhaitable, afin de minimiser le temps de traversée, de maintenir les cyclistes en mouvement. Bruneau et al. (2004, p. 13) affirment d'ailleurs que « [...] après s'être immobilisé, le cycliste peut avoir de la difficulté à accélérer rapidement. » Néanmoins, Bruneau et al. (2004, p. 104) soulignent que « Malgré la propension des cyclistes à garder le rythme et à céder plutôt qu'à arrêter, il

faut toujours calculer la DVT en présupant que le cycliste s'engagera à partir d'une position stationnaire. »

Toujours selon Bruneau et al. (2004, p. 10), qui citent MnDOT (1996), « Dans le design, il faut toujours considérer qu'un cycliste s'immobilise rarement de façon complète, afin de repartir au plus vite [...], à moins que les véhicules ne représentent un danger immédiat. » Considérant le désir des cyclistes de conserver leur élan, l'AASHTO (1999, p. 51) indique que l'on doit mesurer la DVA des cyclistes, soit la distance à laquelle les cyclistes décident ou non de s'arrêter, en fonction de leur capacité à voir les véhicules à l'approche, mesurée depuis le bord de la chaussée. Chiu et al. (2017c, p. 72) résumant bien la situation en affirmant que « Une distance de visibilité adéquate doit être assurée [...] afin de permettre aux automobilistes et aux cyclistes de se voir mutuellement et de freiner au besoin. »

Le MTQ (s.d.-b, p. 15.19) propose un abaque permettant de déterminer la DVA des cyclistes en ligne droite, ajustée en présence d'une pente longitudinale. Cet abaque est rapporté à la Figure 2.15.

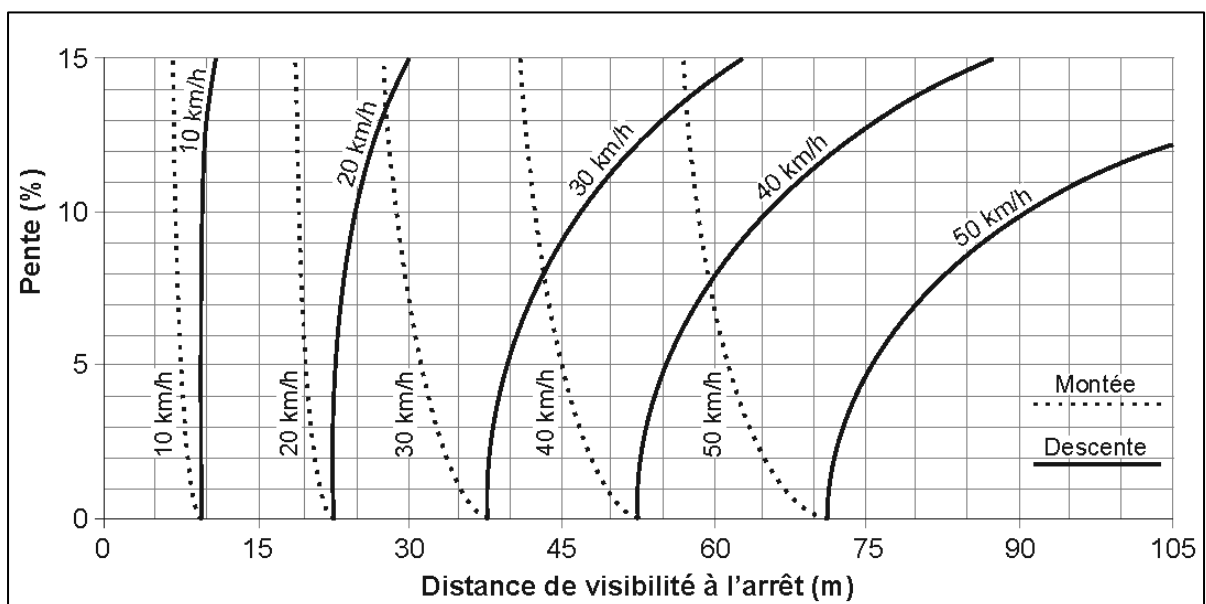


Figure 2.15 Distance de visibilité d'arrêt des cyclistes
Reproduite avec la permission de MTQ (s.d.-b, p. 15.19)

Quant à la vitesse de traversée, « Pour accommoder l'ensemble des usagers, il faut supposer une vitesse qui représente le plus grand nombre d'utilisateurs. Sur un même site, le temps de traversée varie en fonction du type d'usager. » (Bruneau et al., 2004, p. 19). L'AASHTO (2012, p. 4.45) recommande une vitesse de 16 km/h pour les cyclistes adultes circulant sur une surface dont la pente n'est pas appréciable. En section courante, cette vitesse peut être significativement plus élevée, tel que rapporté à la section 1.1.2. Dans d'autres conditions, notamment si une pente est présente, une valeur modifiée peut être appropriée.

Pour les Équations 2.4 à 2.6, l'AASHTO (2012, pp. 4.44-4.46) recommande une longueur de bicyclette typique de 1,8 m ainsi que des taux d'accélération et de décélération (sur chaussée mouillée) de respectivement 0,5 m/s² et 1,5 m/s². Dans ces Équations, la constante « 3,6 » résulte de la conversion d'unité entre m/s et km/h.

En ce qui a trait à l'accélération des cyclistes à l'arrêt, Bruneau et al. (2004, p. 18) mentionnent quant à eux une accélération moyenne de 0,43 m/s² sur une distance de 18 m. Cette moyenne est basée sur 12 valeurs variant de 0,03 m/s² à 0,91 m/s². Ces valeurs sont rapportées au Tableau 1.1.

Temps de traversée d'un cycliste à l'arrêt

$$TTC_{arrêt (s)} = PIEV_{(s)} + \frac{V_{(km/h)}/3,6}{2a_{(m/s^2)}} + \frac{L_{traversée (m)} + L_{bicyclette (m)}}{V_{(km/h)}/3,6} \quad (2.4)$$

Adaptée de AASHTO (2012, p. 4.44)

Distance de visibilité d'arrêt d'un cycliste

$$DVA_{bicyclette (m)} = PIEV_{(s)} * \frac{V_{(km/h)}}{3,6} + \frac{(V_{(km/h)}/3,6)^2}{2a_{(m/s^2)}} \quad (2.5)$$

Adaptée de AASHTO (2012, p. 4.46)

Temps de traversée d'un cycliste en mouvement

$$TTC_{mouvement} (s) = \frac{DVA_{bicyclette} (m) + L_{traversée} (m) + L_{bicyclette} (m)}{V_{(km/h)}/3,6} \quad (2.6)$$

Adaptée de AASHTO (2012, p. 4.46)

Quant à la longueur de traversée, soit la longueur du passage pour cyclistes, Bruneau et al. (2004, p. 58) spécifient qu'elle correspond à la largeur de la chaussée, c'est-à-dire que la largeur des accotements est exclue, qu'ils soient revêtus ou non. Cela dit, pour les passages de véhicules hors route, un type de véhicule dont les bicyclettes ne font pas partie, le MTQ (s.d.-b, § 7.12.1) prescrit d'inclure la largeur de chaque accotement revêtu. Nonobstant la largeur réelle, cette valeur doit toutefois être comprise entre 1 m et 3 m. En n'incluant pas une telle distance, la position de la bicyclette est supposée à la limite de la voie de circulation. La Figure 2.16 montre ces distances et leur position. De plus, comme pour les véhicules routiers (MTQ, s.d.-b, p. 7.14), le MTQ (s.d.-b, p. 7.25) prescrit de mesurer la DVT depuis la position du conducteur, soit la distance derrière le nez du véhicule. Bruneau et al. (2004, p. 24), en citant Gittings et al. (1994), mesurent quant à eux à partir de l'avant de la bicyclette.

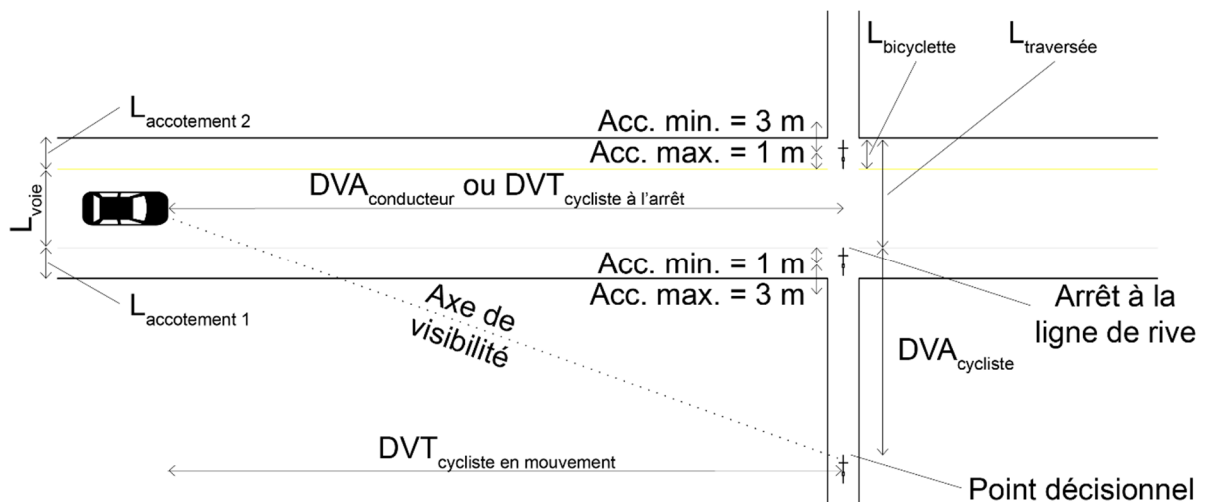


Figure 2.16 DVA et DVT au passage pour cyclistes

Bien que la DVA et la DVT soient suffisantes, le débit de circulation peut nuire à la manœuvre de traversée. En milieu rural, là où la priorité est accordée aux véhicules routiers, Bruneau et al. (2004, p. 102) rapportent, en se basant sur une analyse des créneaux disponibles pour traverser, « [...] qu'avec au-delà de 10 000 véhicules par jour le cycliste fait face à des difficultés réelles de passage, et ce, indépendamment de son comportement. Avec un faible débit, inférieur à 5 000 véhicules par jour, le cycliste dispose d'assez de temps pour traverser sans attendre trop longtemps. »

Bruneau et al. (2004, p. 102) rapportent aussi que la moitié des cyclistes s'impatientent et traversent après avoir attendu 40 secondes, et ce, même s'il y a des véhicules dans la zone de DVA du conducteur. Lorsque ce délai atteint 60 secondes, tous les cyclistes observés par cet auteur traversent en dépit de la circulation véhiculaire.

2.4.1.5 Priorité des usagers

La gestion de la priorité des usagers à un passage pour personnes ne peut pas être abordée de la même façon en milieu urbain et rural (Bruneau et al., 2004, p. 8). Selon Chiu et al. (2017c, p. 71), lorsque la vitesse affichée est d'au plus 50 km/h, « [...] la conception de bretelles dotées de bandes cyclables devrait reposer sur le droit de passage des cyclistes en obligeant les automobilistes à leur céder le passage. » C'est par exemple le traitement que recommande le MTO (2021, p. 222) aux îlots déviateurs de virage à droite.

En citant Davies (1996), Bruneau et al. (2004, p. 10) identifient trois critères clefs pour octroyer la priorité aux cyclistes à un passage : la visibilité au passage, la vitesse pratiquée et le débit véhiculaire. On devrait procéder ainsi seulement lorsque ces caractéristiques sont satisfaisantes. En discutant de l'usage de panneaux « cédez » plutôt que d'arrêts, Bruneau et al. (2004, p. 110) précisent qu'en milieu rural, le critère de débit susmentionné correspond à un DJMA d'au plus 500 véh./j.

Dans le cas des routes dont la vitesse affichée dépasse 50 km/h, Chiu et al. (2017c, p. 71) affirment que les croisements « [...] devraient donner le droit de passage aux automobilistes et exiger des cyclistes qu'ils traversent en utilisant les créneaux disponibles dans le flux de circulation. » C'est également la position de Bruneau et al. (2004, p. 37) qui affirment que lorsque la vitesse affichée est de 80 km/h ou plus, il semble logique de considérer que la route est plus importante, puisque les cyclistes n'escomptent pas que les conducteurs leur cèdent le passage.

Sur les routes rurales à haute vitesse, un conducteur immobilisant son véhicule sans raison apparente, sans engager ses feux de détresse, risque d'être victime d'une collision par l'arrière ou d'être dépassé alors qu'un cycliste traverse la chaussée, ce qui pourrait entraîner une collision avec le cycliste (Bruneau & Houle, 2012, p. 33; Bruneau et al., 2004, p. 85). Conséquemment, dans ce contexte, un geste de courtoisie envers les cyclistes, soit de leur céder le passage, n'est pas souhaitable.

Selon Schonfeld et al. (2016, p. 2), qui citent Mitman et Rideway (2014), requérir aux cyclistes de céder le passage aux conducteurs permet de sécuriser le croisement d'une bretelle autoroutière, en plus des considérations géométriques.

Dans le cadre de leurs travaux, Bruneau et al. (2004, p. 85) constatent que les conflits de trajectoire entre les cyclistes et les conducteurs sont rares, soit un peu plus de 1 % des cas de traversée. Il définit ces conflits comme une situation où le cycliste cherche à occuper le même espace que le conducteur, une situation qui entraîne le conducteur à pratiquer une manœuvre d'évitement. Les auteurs (2004, p. 101) rapportent en outre qu'aux passages pour cyclistes en région rurale, 95 % des cyclistes repèrent les véhicules routiers avant de traverser.

Pour sa part, Bruneau et Houle (2012, p. 34) rapportent d'importants conflits lors de leur étude sur un passage en milieu rural au croisement d'une route nationale dont la vitesse affichée est de 90 km/h. Les auteurs relèvent trois quasi-collisions et donnent en exemple des crissements de pneus ainsi que des déviations de trajectoire pour éviter une collision par l'arrière, de même

qu'une altercation où un automobiliste est sorti de son véhicule. Pour expliquer ces conflits, les auteurs avancent les pistes d'explication suivantes :

- « Plus grande proportion de [conducteurs] en provenance de l'extérieur;
- Mauvaise connaissance de la signalisation et des règles de priorité;
- Habitudes de conduite différentes la semaine et la fin de semaine;
- De plus nombreux groupes d'usagers volumineux;
- Plus grand nombre de familles. »

Parmi ces pistes d'explication, la méconnaissance du milieu et des règles de priorité ou de signalisation y étant associée pourrait représenter un enjeu dans le cadre des croisements de bretelles autoroutières.

En somme, dans le contexte du croisement de bretelles autoroutières, la priorité aux conducteurs fait consensus dans la littérature. L'alternative poserait des enjeux de sécurité dépassant les considérations géométriques pour l'aménagement de tels passages. Une attention particulière devrait être portée à la conception de la signalisation transmettant ce message aux usagers.

2.4.1.6 Détection et affichage de la présence de cyclistes

De nombreuses technologies sont disponibles afin de détecter la présence des cyclistes, dont les boutons d'appel, les systèmes à micro-ondes, les systèmes à ultrasons, la vidéo-détection, les boucles d'induction et les magnétomètres (AASHTO, 2012, p. 4.47; MTO, 2014, p. 193). Comme le rapporte l'AASHTO (2012, p. 4.47), les systèmes à boucle d'induction et à magnétomètre détectent le champ magnétique des bicyclettes. BikeWalk NC (s.d.) rapporte cependant que les bicyclettes en carbone sont difficilement détectables par de tels systèmes. L'AASHTO (2012, p. 4.47) reconnaît d'ailleurs, sans égard aux matériaux composant les bicyclettes, que certains types de systèmes à boucle d'induction sont mieux adaptés à la détection des bicyclettes. Les détails techniques liés aux systèmes de détection dépassent le cadre de la présente analyse. Néanmoins, il convient de souligner que certains types de

détecteurs sont mieux adaptés aux cyclistes que d'autres. À cet égard, l'AASHTO (2012, p. 4.48) souligne que les boutons d'appel sont inappropriés en tant que détecteurs principaux sur les routes, car ils requièrent que les cyclistes s'arrêtent près d'eux pour les activer.

Les détecteurs de cyclistes devraient se trouver sur la trajectoire attendue des cyclistes (AASHTO, 2012, p. 4.48). Dans le cas des détecteurs automatiques, du marquage au sol devrait être utilisé pour indiquer aux cyclistes où ils doivent circuler pour être détectés (MTO, 2014, p. 193). Alors que le MTQ (s.d.-d) prévoit uniquement un symbole pour indiquer la présence d'un détecteur de véhicules, soit le Marq-10 rapporté à la Figure 2.17, la FHWA (s.d.) prévoit l'utilisation d'un symbole spécifique aux cyclistes, lequel est rapporté à la Figure 2.18.

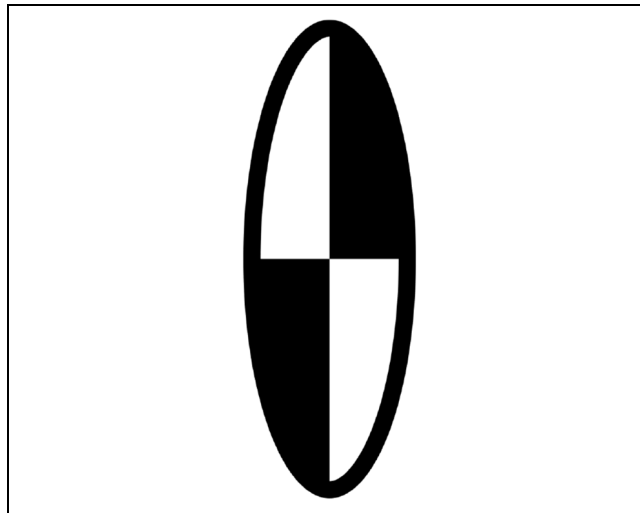


Figure 2.17 Marquage au sol pour détecteurs
de véhicules (MTQ)
Adaptée de MTQ (s.d.-d)

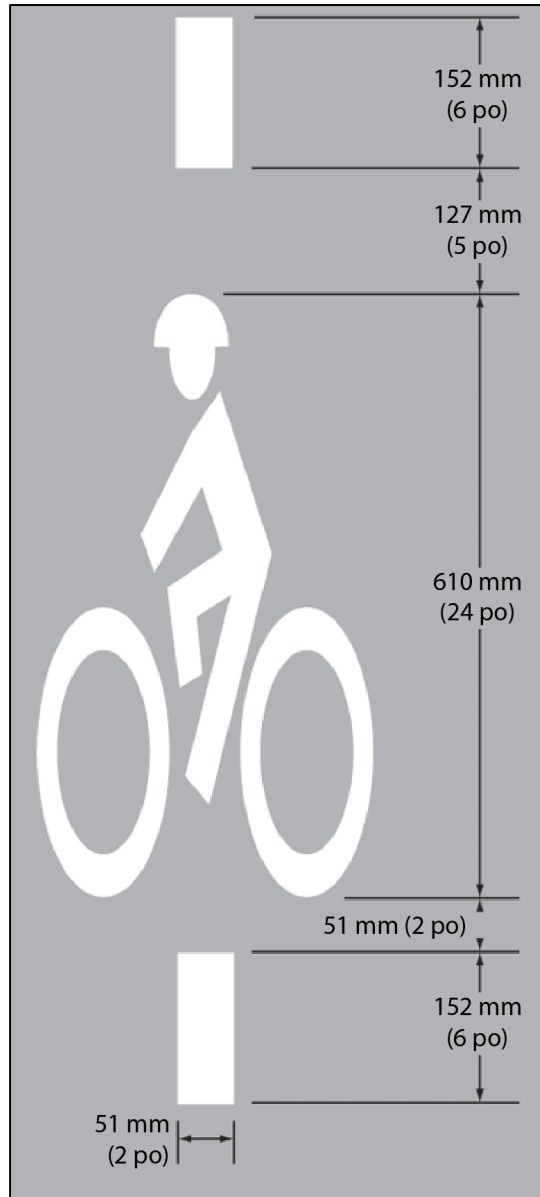


Figure 2.18 Marquage au sol pour détecteurs de bicyclette (MUTCD)
Adaptée de FHWA (s.d.)

Quel que soit le mode de détection, plusieurs dispositifs sont couramment utilisés pour afficher de façon dynamique la présence de cyclistes. Ces dispositifs incluent notamment les feux rectangulaires à clignotement rapide (FRCR); les feux clignotants renforçant le message d'un panneau; ainsi que les panneaux équipés de DEL clignotantes. Les Figures 2.19 à 2.21 représentent chacun de ces dispositifs.

Les FRCR sont des dispositifs de signalisation de danger développés afin d'améliorer la sécurité aux passages pour personnes non contrôlés (Watkins et al., 2016, p. 46). Ils sont actionnés sur demande ou activés par détection automatique (ITE, 2016, p. 8; MTQ, s.d.-e, § 8.19). L'usage des FRCR est un moyen efficace de faire céder les conducteurs aux piétons (FHWA, s.d., cité par Caltrans, 2010, p. 103; ITE, 2016, p. 8; Watkins et al., 2016, p. 53).

Les feux clignotants servent à renforcer le message des panneaux de danger et de prescription (MTQ, s.d.-e, § 8.6.2.2). La FHWA (s.d.) donne spécifiquement l'exemple de feux clignotants servant à mettre l'accent sur des passages pour personnes en tronçon. Ces dispositifs peuvent être activés par détection de piétons, de cyclistes ou d'autres usagers (FHWA, s.d.; MTQ, s.d.-e, § 8.6.2.2).

L'utilisation de DEL clignotantes sur le contour des panneaux sert à augmenter la perception de ces panneaux (MTQ, s.d.-e, § 8.17). Selon le MTQ (s.d.-e, § 1.7), seuls les panneaux « arrêt » ou « cédez le passage » peuvent être équipés de DEL clignotantes. Pour sa part, la FHWA (2009, p. 1) prévoit leur usage sur la signalisation de danger et de prescription aux intersections non contrôlées, sans s'y limiter. Ces dispositifs de signalisation peuvent clignoter en tout temps, pendant une période de la journée ou être activés par détection (FHWA, 2009, p. 1; MTQ, s.d.-e, § 8.17).



Figure 2.19 Feux rectangulaires à clignotement rapide
Adaptée de Lee Engineering, LLC. (s.d.),
cité par ITE (2015)



Figure 2.20 Feux clignotants renforçant le message d'un panneau
Adaptée de Vanasse Hangen Brustlin, Inc. (s.d.),
cité par ITE (2015)



Figure 2.21 Panneaux équipés de DEL clignotantes
Adaptée de Vanasse Hangen Brustlin, Inc. (s.d.),
cité par ITE (2015)

2.4.2 Aménagements dénivelés

Les aménagements dénivelés au croisement des bretelles autoroutières permettent d'assurer une séparation physique entre les cyclistes et les conducteurs. Selon le Scottish Development Department (1989, cité par Bruneau et al., 2004, p. 46), ils constituent le moyen le plus sécuritaire de traverser une route achalandée. Toutefois, ceux-ci peuvent prendre différentes formes, soit des tunnels ou des passerelles.

La présente section vise à définir les conditions justifiant la mise en place d'aménagements dénivelés à l'intersection de bretelles autoroutières, les critères déterminant le choix d'un passage inférieur ou supérieur, de même que les caractéristiques géométriques des aménagements dénivelés, le cas échéant.

2.4.2.1 Justification

Aux échangeurs particulièrement complexes où les conflits entre la trajectoire des cyclistes et celle des conducteurs circulant à haute vitesse ne peuvent pas être évités, un aménagement dénivelé devrait être considéré (AASHTO, 2012, p. 4.62).

Selon Bruneau et al. (2004, p. 38), « La règle d'ensemble est de justifier [la dénivellation d'un passage] en fonction d'un débit et d'une vitesse élevés. De même, un fort achalandage cycliste doit être observé sur le site. »

Ferrara (2001, p. 8) recommande par exemple d'interdire aux cyclistes l'accès aux bretelles où le débit horaire dépasse 500 véhicules en période de pointe de manière répétée, de même qu'aux bretelles où la distance de visibilité est insuffisante. En l'absence d'aménagement dénivelé, aux bretelles où le passage des cyclistes n'est pas sécuritaire, Ferrara (2001, p. 8) propose l'usage de panneaux de signalisation prescrivant aux cyclistes de quitter l'autoroute.

Néanmoins, en contraignant les cyclistes à quitter l'autoroute, généralement pour les diriger vers un carrefour à niveau, il convient alors de considérer également les enjeux de sécurité propres à ces aménagements, lesquels sont abordés à la section 1.5.3.2.

Bruneau et al. (2004, pp. 34, 35, 110) se sont intéressés à la question de la vitesse affichée. En citant des travaux de MnDOT (1996) et de Gittings et al. (1994), ils relèvent l'existence de plusieurs seuils justifiant la dénivellation d'un passage, soit 70, 80 et 90 km/h. Les auteurs constatent toutefois que « [...] les recommandations d'experts relevées dans la littérature ne semblent pas appuyées de justifications scientifiques. ».

Bruneau et al. (2004, p. 110) affirment que, plus que la vitesse affichée, c'est le débit de circulation qui détermine la difficulté d'un cycliste à traverser. Les auteurs justifient ainsi cette affirmation : « La problématique de la vitesse est fonction de la distance de visibilité. En contrepartie, le volume de circulation ne peut pas être mis en relation avec une autre variable

qui amenuise son impact. Un débit élevé reste toujours un débit élevé; il s'agit d'une contrainte indépendante de la vitesse affichée. »

Là où des aménagements dénivelés sont pourvus, ceux-ci génèrent des détours pour les cyclistes. Ceux-ci ne seront pas utilisés si la longueur de ces détours est trop grande. Selon l'AASHTO (2012, p. 4.62), une telle situation peut augmenter le risque de collision lorsque des cyclistes ignorent l'aménagement dénivelé et tentent de traverser l'échangeur à niveau sans aménagement dédié à cette fin.

En somme, on relève deux critères permettant d'éviter l'aménagement de passages dénivelés : 1) un débit de circulation favorisant la capacité des cyclistes à obtenir un créneau pour traverser; 2) une distance de visibilité, en fonction de la vitesse affichée, permettant aux cyclistes de valider que le créneau est suffisant pour traverser. Ces éléments sont abordés à la section 2.4.1. Dans le contexte où ces critères ne sont pas respectés, un passage dénivelé pourrait être justifié. Le cas échéant, le débit attendu de cyclistes et les caractéristiques du détour généré par l'interdiction pour les cyclistes de traverser la bretelle, le cas échéant, devraient guider la décision d'aménager ou non un passage dénivelé.

2.4.2.2 Choix d'un passage supérieur ou inférieur

Le choix du type de passage dénivelé découle d'un ensemble de facteurs dont, principalement, l'effort demandé aux usagers et leur sécurité ainsi que le coût de construction et la complexité technique de l'aménagement.

En ce qui a trait à l'effort demandé aux usagers, l'avantage est nettement du côté du passage inférieur, car la pente descendante à l'entrée facilite la remontée du côté opposé (Vélo Québec, 1992, p. 105). Au contraire, l'ascension et la descente du côté opposé qu'implique un passage supérieur le rendent moins attrayant (Bruneau & Houle, 2012, p. 6). De surcroît, le dénivelé est plus important dans le cas des passages supérieurs en raison de la plus grande hauteur libre exigée sur les routes, par rapport aux voies cyclables. La hauteur libre sous les passerelles

dépasse la portée des présents travaux, mais Bruneau et al. (2004, p. 51) résume en affirmant que « [...] le ratio de la dénivellation passerelle / tunnel est d'environ 2 : 1. » Pour Bruneau et al. (2004, p. 45), la question de l'effort demandé aux usagers ne fait aucun doute : « Peu importe le design de l'aménagement, un tunnel est toujours plus facile à emprunter qu'une passerelle. »

En ce qui a trait à la sécurité des usagers, le bilan est toutefois nettement à la faveur des passages supérieurs (AASHTO, 2012, p. 5.27). D'abord, selon le MTQ (s.d.-b, § 15.6.4), comme les tunnels sont des espaces clos, ceux-ci peuvent susciter une sensation d'inconfort chez les cyclistes. Ensuite, les tunnels doivent nécessairement être rectilignes afin de pouvoir voir de l'autre côté et offrir une bonne visibilité aux deux bouts pour assurer la sécurité des usagers (Davies, 1996; MnDOT, 1996; MTQ, 1998; Vélo Québec, 1992, cités par Bruneau et al., 2004, p. 29). Enfin, Fortier (2009, p. 50) qui cite Scherder et Pearcey (1996) rapporte que « [...] les tunnels sont proscrits par la [Société canadienne d'hypothèques et de logement] afin de prévenir tout incident ou événement de nature criminelle (voie de fait, vol, agression physique). » L'auteur souligne néanmoins que des conditions favorables peuvent permettre l'aménagement de tunnels, soit un tunnel très court et relativement large.

En ce qui a trait aux coûts de construction et aux enjeux techniques, aucune analyse spécifique n'a été effectuée. Néanmoins, les références consultées dans le cadre de l'analyse sur les aménagements dénivelés indiquent que les passages inférieurs sont économiquement avantageux (Bruneau et al., 2004, p. 45; Vélo Québec, 1992, p. 105) et que les tunnels posent des enjeux particuliers en ce qui a trait au drainage (AASHTO, 2012, p. 5.27), à l'éclairage et au déplacement d'infrastructures souterraines (MnDOT, 1996; Bowman et al., 1989, cités par Bruneau et al., 2004, p. 45). Il est à noter que les enjeux d'éclairage artificiel et de drainage peuvent être exacerbés par l'implantation des passages inférieurs en milieu rural ou périurbain.

Pour mitiger les impacts négatifs des passages inférieurs, Bowman et al. (1989, cités par Bruneau et al., 2004, p. 45) suggèrent la surélévation de la route à l'emplacement du passage inférieur. Cette solution permet de minimiser le dénivelé auquel font face les cyclistes, de

favoriser l'éclairage naturel, de minimiser les enjeux de drainage et d'atténuer le sentiment d'insécurité des usagers en leur permettant de voir de part et d'autre du tunnel. Spécifiquement pour réduire les coûts de construction, Vélo Québec (1992, p. 105) suggère pour sa part la mise en place de tunnels lors des travaux de construction de la route à franchir.

Le Tableau 2.6 résume les avantages et inconvénients des passages inférieurs (tunnels) et supérieurs (passerelles).

Tableau 2.6 Avantages et inconvénients des tunnels et des passerelles
Adapté de Bruneau et al. (2004, p. 44)

	Tunnel		Passerelle	
	Avantage	Inconvénient	Avantage	Inconvénient
Coût de l'infrastructure	✓			✓
Sécurité personnelle (criminalité)		✓	✓	
Dégagement vertical	✓			✓
Pente pour le cycliste	✓			✓
Temps total de traversée	✓			✓
Sensation de vertige	✓			✓
Drainage		✓	✓	
Éclairage pendant 24 h		✓	✓	

2.4.2.3 Critères de conception

Les aménagements dénivelés, notamment les passages inférieurs, devraient être conviviaux et disposer d'une bonne visibilité favorisant leur utilisation par les cyclistes. La sécurité des individus est un élément important à considérer sur les aménagements dénivelés, car ceux-ci peuvent comporter de longs tronçons ne pouvant pas être facilement atteints en cas d'urgence. Un éclairage adéquat est primordial à ces endroits, mais la sécurité des individus ne saurait être assurée uniquement par celui-ci (AASHTO, 2012, p. 4.62).

Dans le cas d'un tunnel, un dégagement vertical de 3,0 m (10 pi) devrait être assuré selon l'AASHTO (2012, p. 5.26), alors que le MTQ (s.d.-b, § 15.6.4) exige une hauteur libre de seulement 2,75 m. En ce qui a trait au dégagement latéral, le MTQ (s.d.-b, § 15.6.4) exige une surface de roulement de 3,5 m. Le MTQ (s.d.-b, p. 15.31) présente plusieurs profils de tunnels respectant leurs exigences. Ces profils sont rapportés à la Figure 2.22.

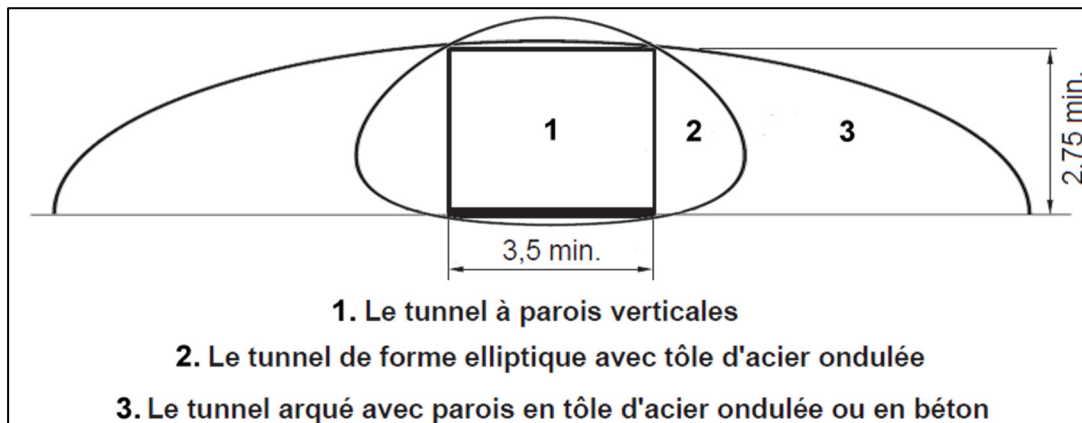


Figure 2.22 Gabarit de passage pour cyclistes en tunnel (MTQ)
Adaptée de MTQ (s.d.-b, p. 15.31)

Bruneau et al. (2004, p. 45) qui citent MnDOT (1996) affirment que les tunnels en forme d'arche sont préférables à ceux de forme cylindrique ou rectangulaire en raison de leurs meilleurs dégagement vertical et distance de visibilité. Il souligne également l'importance de prévoir un évasement aux extrémités du tunnel pour améliorer l'éclairage et la visibilité.

Les exigences minimales du MTQ (s.d.-b, § 15.6.4) ne répondent pas nécessairement aux besoins des usagers en ce qui a trait à leur distance de confort à l'objet. Par exemple, dans le cas d'une piste cyclo-pédestre bidirectionnelle, une largeur de 3,5 m serait insuffisante. La distance de confort à l'objet est abordée spécifiquement à la section 1.2.

En ce qui a trait aux passages supérieurs, on doit également considérer la distance de confort à l'objet par rapport aux garde-corps latéraux. Conséquemment, on doit envisager que la largeur souhaitable de ces aménagements serait également plus large que celle d'un aménagement en espace ouvert au niveau du sol.

CHAPITRE 3

MÉTHODE D'ANALYSE

3.0 Introduction

Ce Chapitre présente la méthode utilisée pour chacune des cinq analyses proposées. Ces analyses incluent : la réglementation en vigueur concernant la circulation des cyclistes sur l'accotement revêtu des autoroutes au Canada et aux États-Unis; les normes de conception routière de certains états et provinces; la capacité de réaction des usagers de la route; l'impact sur les cyclistes du phénomène d'aspiration véhiculaire; ainsi que l'impact de cette circulation sur le bilan routier.

3.1 Réglementation en vigueur

Déterminer la réglementation en vigueur dans chaque état, province et territoire du Canada et des États-Unis permet de dresser le portrait actuel de la situation des cyclistes concernant leur circulation sur les autoroutes. Dans le cadre de la revue de littérature, il a été déterminé que la circulation des cyclistes est autorisée sur les autoroutes de certaines régions, mais qu'elle est parfois interdite.

Au total, on compte 50 états aux États-Unis, en plus du District de Columbia, ainsi que 10 provinces et 3 territoires au Canada. Parmi ceux-ci, seuls le Nouveau-Brunswick, le Québec, le Manitoba, l'Ontario et les territoires canadiens publient leurs lois en français, alors que toutes les juridictions les publient en anglais. Conséquemment, qu'une version française soit disponible ou non, utiliser la version anglaise est préférable pour des fins d'uniformité.

Tout d'abord, il est nécessaire de déterminer les lois et règlements applicables à consulter. Au Canada, le moteur de recherche CanLII (s.d.) permet de consulter les lois et règlements de chaque province et territoire. Aux États-Unis, ce service est offert par de nombreuses

entreprises distinctes. L'outil Casetext (2019) a été retenu pour les présents travaux, en ce qui a trait aux États-Unis. Une recherche contextuelle a été effectuée à l'aide de ces engins.

Pour les lois et règlements canadiens, les expressions « Traffic Safety » et « Motor vehicle » ont été utilisées, alternativement en combinaison avec les termes « Act » et « Regulation ». De plus, l'expression « Code de la route » a été utilisée et les résultats, le cas échéant, ont été consultés dans leur version anglaise. Pour les résultats obtenus, les règlements liés aux textes de loi, tels que rapportés par CanLII (s.d.), ont également été consultés.

Pour les lois et règlements états-uniens, les termes « Highway », « Transport », « Vehicle » et « Road » ont été utilisés. De plus, une liste des règlements sur le traitement des bicyclettes comme des véhicules, publiée par la LAB (s.d.), ainsi que le sommaire des lois sur la vitesse des états des États-Unis, publié par le NHTSA (2007), ont été consultés pour identifier les lois et règlements à consulter.

Un premier survol de la réglementation en vigueur a permis d'identifier certaines caractéristiques clefs permettant de déterminer, en somme, s'il est légal ou non de circuler sur les autoroutes à bicyclette. En premier lieu, on détermine si la bicyclette est considérée comme un véhicule et, le cas échéant, comme un véhicule motorisé. En second lieu, on détermine si le conducteur d'une bicyclette détient les mêmes droits et devoirs que le conducteur des autres véhicules.

Ensuite, on détermine si une limite de vitesse minimale est applicable sur certaines routes et, le cas échéant, si une telle limite s'applique aux véhicules à propulsion humaine, dont les bicyclettes. Par la suite, on détermine si des règlements entourent spécifiquement la circulation à bicyclette sur les routes à accès limité, dont les autoroutes.

Finalement, l'interaction des différents articles applicables a été analysée afin de dresser le portrait de la réglementation en vigueur et, s'il y a lieu, de tirer des conclusions. D'autres références ont également été utilisées afin de confirmer la validité des résultats aux États-Unis,

soit : PBIC (s.d.) et Schonfeld et al. (2016). Au Canada, des relevés *in situ* sur des autoroutes de chaque province et territoire, si applicable, ont permis de confirmer la validité des résultats.

3.1.1 Statut de véhicule

Une bicyclette n'est pas nécessairement un véhicule selon les différents règlements et lois. Conséquemment, afin de déterminer quels articles s'appliquent aux cyclistes et à leur bicyclette, on doit déterminer si celle-ci est un véhicule. Pour ce faire, on effectue d'abord une recherche contextuelle dans la table des matières des documents identifiés d'emblée, si applicable. Les termes recherchés sont : « General provisions », « Interpretation », « Definitions » et « Defined ». Ensuite, une recherche par mot-clef est effectuée dans les articles obtenus pour les termes : « Vehicle » et « Bicycle ». Si aucun article n'est obtenu ou si une table des matières n'existe pas, cette même recherche est effectuée dans le document entier.

Enfin, les articles obtenus sont analysés afin de déterminer si une bicyclette est un véhicule ou un véhicule motorisé et à quels articles cette définition s'applique, le cas échéant. Pour les états des États-Unis, l'information obtenue est comparée avec celle de la LAB (s.d.). Il est à noter que la Louisiane est omise dans cette liste.

3.1.2 Droits et devoirs

Là où la bicyclette est un véhicule, les cyclistes n'ont pas nécessairement les mêmes droits et devoirs que les autres conducteurs de véhicule motorisé. Quoi qu'il en soit, là où la bicyclette n'est pas un véhicule, on accorde parfois aux cyclistes les mêmes droits et devoirs que les conducteurs de véhicule motorisé.

Il convient donc, nonobstant le statut de véhicule de la bicyclette, de déterminer si les cyclistes ont les mêmes droits et devoirs que les conducteurs de véhicule motorisé. Pour ce faire, une recherche contextuelle dans la table des matières des documents identifiés d'emblée est effectuée, si applicable. Les termes recherchés sont : « General provisions », « Interpretation »

et « Bicycle ». Ensuite, une recherche par mot-clef est effectuée dans les articles obtenus pour les termes : « Rights and duties », « All of the rights » et « All the rights ». Si aucun article n'est obtenu ou si une table des matières n'existe pas, cette même recherche est effectuée dans le document entier.

Enfin, les articles obtenus sont analysés afin de déterminer si les cyclistes disposent des mêmes droits et devoirs que les automobilistes de même que si des conditions ou exceptions s'appliquent. Pour les états des États-Unis, l'information obtenue est comparée avec celle de la LAB (s.d.). Il est à noter que la Louisiane est omise de cette liste.

3.1.3 Limite de vitesse minimale

Certains états et provinces limitent l'accès à certaines routes aux véhicules qui ne sont pas en mesure d'atteindre une vitesse minimale déterminée ou appliquent des vitesses minimales en écoulement libre et lorsque les conditions météorologiques le permettent. Ces limitations, le cas échéant, peuvent s'appliquer aux bicyclettes et il est donc nécessaire de les relever.

D'abord, une recherche contextuelle dans la table des matières des documents identifiés d'emblée est effectuée, si applicable. Les termes recherchés sont : « Minimum speed », « slow moving vehicle », « Slow driving » et « Low-speed vehicle ». Ensuite, une recherche par mot-clef est effectuée dans les articles obtenus pour les mêmes termes. Si aucun article n'est obtenu ou si une table des matières n'existe pas, cette recherche est effectuée dans le document entier. Si on n'obtient toujours aucun résultat, on cherche le mot-clef « at least » dans le document entier.

Enfin, les articles obtenus sont analysés afin de déterminer si des limites de vitesse minimales existent et si elles s'appliquent aux bicyclettes. Pour les états des États-Unis, l'information obtenue est comparée avec celle fournie dans le sommaire des lois sur la vitesse publiée par le NHTSA (2007).

3.1.4 Circulation sur les autoroutes

Certains états et provinces disposent de règlements entourant spécifiquement les autoroutes. Les étapes précédentes ont permis de relever les termes suivants qui rapportent à ces dernières dans la réglementation en vigueur :

- « Interstate »;
- « Freeway »;
- « Expressway »;
- « Controlled access »;
- « Controlled-access »¹⁵;
- « Limited access »;
- « Limited-access »¹⁵.

Une recherche contextuelle dans la table des matières des documents identifiés d'emblée est donc effectuée avec ces termes, si applicable. Si aucun résultat n'est obtenu avec cette première liste, la suivante est également utilisée :

- « Access controlled »;
- « Access-controlled »¹⁵;
- « Bicycle »;
- « Access ».

Si aucun article n'est obtenu ou si une table des matières n'existe pas, la recherche est effectuée avec la première liste dans le document entier. Si aucun résultat n'est obtenu avec la première liste, la seconde est également utilisée.

Enfin, les articles obtenus sont analysés afin de déterminer s'il est interdit de circuler spécifiquement sur les autoroutes et si des conditions ou exceptions s'appliquent. Pour les états

¹⁵ Il est à noter que l'outil Casetext (2019) ignore la présence d'un trait d'union, mais que ce n'est pas le cas du moteur de recherche CanLII (s.d.).

des États-Unis, l'information obtenue est comparée avec celle de la LAB (s.d.). Il est à noter que la Louisiane est omise de cette liste.

3.1.5 Analyse composée

Les étapes précédentes permettent de déterminer si la bicyclette est considérée comme un véhicule et, le cas échéant, comme un véhicule motorisé; si le conducteur d'une bicyclette détient les mêmes droits et devoirs que le conducteur des autres véhicules; si une limite de vitesse minimale est applicable sur certaines routes et, le cas échéant, si une telle limite s'applique aux véhicules à propulsion humaine, dont les bicyclettes; et si des règlements entourent spécifiquement la circulation à bicyclette sur les routes à accès limité, dont les autoroutes.

On doit ensuite établir l'interaction de ces différents règlements afin d'en arriver à un constat. Pour les états des États-Unis, cette conclusion est d'abord comparée avec l'information disponible sur le site du PBIC (s.d.), puis avec celle rapportée par Schonfeld et al. (2016). Là où les résultats indiquent que la circulation peut être interdite et où le PBIC rapporte que la circulation est généralement interdite, cette conclusion est retenue. Là où les résultats indiquent que la circulation est généralement autorisée, ceux-ci sont comparés avec les informations affichées sur la carte du réseau cyclable du DoT, si disponible.

Pour obtenir cette carte, une recherche est effectuée sur le moteur de recherche Google (Google Inc., 2019a) avec les mots-clefs suivants : « “[Nom de l'État]” bicycle map DoT ». Seules les deux premières pages de résultats sont consultées.

Pour les provinces et territoires du Canada, cette conclusion est comparée avec les notes obtenues lors de relevés *in situ* effectués de 2016 à 2018 et en 2020. Il est à noter qu'aucun relevé n'a été effectué au Nunavut, puisque le Nunavut ne dispose pas d'un réseau routier développé. Il est aussi à noter qu'on ne trouve pas d'autoroutes à l'Île-du-Prince-Édouard, aux Territoires-du-Nord-Ouest ainsi qu'au Yukon.

Advenant que les résultats soient inconcluants, les autorités locales peuvent être consultées afin d'adapter la méthode. Advenant une modification à la méthode utilisée, la recherche est effectuée à nouveau selon la nouvelle méthode afin d'assurer que les résultats sont constants entre chaque état, province et territoire.

3.1.6 Autres analyses

Tel que mentionné précédemment, PBIC (s.d.) et Schonfeld et al. (2016) offrent une liste des états des États-Unis où la circulation à bicyclette est autorisée sur les autoroutes. Pour PBIC (s.d.), la méthode utilisée pour déterminer ces informations ou leur provenance n'est pas indiquée. De plus, ces informations sont uniquement accessibles depuis les archives de leur site web. Quant à Schonfeld et al. (2016), la liste est dressée à partir de discussions avec les coordinateurs de plusieurs états en matière cyclable et pédestre, ainsi que des guides de conception cyclable produits par différents états. Dans les deux cas, ces recherches excluent le Canada.

Afin de compléter le portrait de la réglementation en vigueur, un relevé de la vitesse affichée sur les autoroutes est effectué. Pour les provinces du Canada disposant d'autoroutes, cette information est d'abord relevée selon les lois et règlements analysés précédemment à l'aide des mots-clefs suivants : « speed limit » et « maximum speed ». Si nécessaire, une recherche est effectuée sur le site web des différents DoT avec les mots-clefs précédents. De même, certaines références consultées dans le cadre des présents travaux offrent des informations pertinentes sur la vitesse affichée sur les autoroutes, soit Hunt et al. (2004, p. 2) ainsi que Alberta Ministry of Transportation (2018, p. 34). Aux États-Unis, cette information est tirée de Insurance Institute for Highway Safety (2019).

3.2 Normes de conception routière

À partir des résultats obtenus avec la méthode détaillée à la section 3.1, une liste d'états, provinces et territoires où la circulation est autorisée, parfois autorisée ou non autorisée a été

dressée. Les normes de conception routière ne sont pas les mêmes à chacun de ces endroits. Il est conséquemment nécessaire de les définir pour établir leurs ressemblances et différences afin de les comparer plus précisément. Ces normes sont disponibles sur les plateformes des différents DoT. Seules les normes concernant les routes en milieu rural ont été relevées.

Au Canada, les quatre provinces les plus peuplées ont été retenues, soit, dans l'ordre, l'Ontario, le Québec, la Colombie-Britannique et l'Alberta (Statistique Canada, 2022). Aucun territoire n'a été retenu, puisque ceux-ci ne disposent pas d'un réseau autoroutier, tel que rapporté à la section 3.1.5. Parmi ces provinces, les deux premières n'autorisent pas la circulation à bicyclette sur les autoroutes, alors que celle-ci est autorisée au moins en partie sur le territoire des deux dernières.

Aux États-Unis, trois études concernant la circulation des cyclistes sur les autoroutes ont été consultées. Celles-ci concernent la Californie (Ferrara, 2001), l'Arizona (Moeur & Bina, 2002) et la Floride (FDOT, 2015). Seuls les deux premiers états ont été retenus, puisque la circulation des cyclistes sur les autoroutes est interdite en Floride, sauf exception.

Pour ces six provinces et états, les normes en vigueur ont été consultées pour relever la largeur des voies, la largeur des accotements revêtus et la présence de bandes rugueuses, le cas échéant, et ce, pour les autoroutes ainsi que les routes « nationales » ou leur équivalent afin de dresser une comparaison entre ces aménagements pour chaque province et état. Les routes « nationales » sont définies dans la norme du MTQ (s.d.-b, p. 1.8). Notamment, ces routes ont une vitesse de base variant de 80 à 110 km/h en milieu rural et ont principalement une vocation de transit. Celles-ci peuvent être à chaussée unique ou à chaussées séparées.

3.3 Capacité de réaction des usagers

Toute chose étant égale par ailleurs, la capacité des usagers à réagir afin d'éviter une collision sur une autoroute, en comparaison avec une route « nationale » ou équivalent, varie en fonction de la vitesse relative et de la distance de visibilité. En déterminant certaines configurations, on

peut comparer la distance de visibilité d'arrêt (DVA) et la distance de visibilité de traversée (DVT) pour ces dernières afin de mieux définir les problématiques attendues en section courante ainsi qu'aux intersections avec les aménagements cyclables.

3.3.1 Vitesse

En supposant une vitesse de marche équivalente à la vitesse de base, soit 10 km/h plus élevée que la vitesse affichée conformément aux constats du Ministère des Transports de l'Alberta (2018, p. 34), on peut déterminer la vitesse à utiliser pour la comparaison. Pour déterminer la vitesse affichée des autoroutes, les Tableaux A I-1 et A II-1 ont été utilisés.

Pour les routes « nationales » ou équivalent, la vitesse retenue est celle des autoroutes, réduite de 10 km/h, ce qui représente la situation typique du Québec, soit 90 km/h sur les routes nationales à chaussée unique en milieu rural. Cette simplification est conservatrice, puisque certaines routes « nationales » ou leur équivalent ont une vitesse affichée égale à celle des autoroutes, soit 100 km/h. C'est par exemple le cas de sections de la R-175, au Québec. Il est cependant à noter que ces sections sont à chaussées séparées, ce qui n'est pas le cas de toutes les routes « nationales ». La situation du Québec a été retenue pour l'application de la méthode, mais celle-ci peut être appliquée à tout ensemble de vitesses affichées.

Spécifiquement en ce qui a trait aux bretelles de sortie autoroutières, Chiu et al. (2017^e, p. 42) rapportent que, au musoir, la vitesse de sortie est de 80 % de la vitesse de base de l'approche, soit l'autoroute. Cela dit, la décélération menant à cette vitesse de sortie est effectuée dans la zone située immédiatement avant la bretelle de sortie. On ne peut donc pas additionner la capacité de freinage à celle qui aurait mené à cette décélération. Conséquemment, il est conservateur de poser l'hypothèse qu'à l'endroit où une manœuvre de freinage doit être entamée, la vitesse équivaut à 100 % de la vitesse de base. Pour les bretelles d'entrée, on pose l'hypothèse d'une bretelle directe d'échangeur majeur, dont la vitesse de base correspond à 80 % de celle de l'autoroute (MTQ, s.d.-b, § 9.4.2).

3.3.2 Distance de visibilité

En section courante, la distance de visibilité d'arrêt (DVA) des conducteurs peut être comparée pour les deux types d'aménagements. Les Équations 2.1 et 2.2 sont utilisées pour les calculer. On pose l'hypothèse que seule une manœuvre de freinage complet peut éviter une collision et que le cycliste est immobile au centre de la voie de circulation extérieure où circule le conducteur. Comme recommandé par le MTQ (s.d.-b, § 7.3), le temps de perception-réaction (PIEV) est fixé à 2,5 s. Quant à la pente, celle-ci est fixée entre 0 et 12 %, en pente ascendante ou descendante, par incrément de 3 %, soit les valeurs proposées par le MTQ (s.d.-b, p. 7.6).

Aux passages non contrôlés, la distance de visibilité de traversée (DVT) peut être comparée entre plusieurs situations. Pour l'aménagement de type route nationale, on utilise les profils en travers de type B, C et D du MTQ (s.d.-b, DN 5.002-5.004). Pour ces profils, il est considéré que la moitié de la largeur de l'accotement des routes ayant un DJMA supérieur à 2 000 véh./j est revêtu, en respectant une largeur minimale de 1,0 m (MTQ, s.d.-b, § 5.6). Pour le croisement d'une bretelle autoroutière, l'accotement est revêtu sur toute sa largeur (MTQ, s.d.-b, § 5.6). En ce qui a trait au profil des bretelles divergentes, une voie de 5,0 m est utilisée, avec des accotements de 1,0 et 2,0 m, respectivement du côté du musoir et du côté extérieur, ce qui correspond au profil en milieu rural (MTQ, s.d.-b, DN 9.011). Pour les bretelles convergentes, une voie de 4,25 m est plutôt utilisée, avec des accotements de 0,0 et 2,0 m, respectivement du côté du musoir et du côté extérieur, ce qui correspond au profil en milieu rural (MTQ, s.d.-b, DN 9.011).

Bien que Bruneau et al. (2004, p. 58) excluent la largeur de l'accotement revêtu dans leurs travaux, il est conservateur de la considérer afin de prendre en compte le risque que des cyclistes s'immobilisent en retrait de la ligne de rive. Conformément aux normes entourant les passages de véhicules hors route (s.d.-b, § 7.12.1), dont les bicyclettes ne font pas partie, cette largeur doit être d'au moins 1,0 m et d'au plus 3,0 m. Cela étant dit, l'accotement du bord opposé est ici ignoré, comme dans les travaux de Bruneau et al. (2004, p. 58), puisque cette exclusion ne positionne pas les cyclistes sur la chaussée à la fin de leur traversée. La longueur

de traverse est présentée à l'Équation 3.1. Dans cette dernière, la longueur de la bicyclette est exclue, puisqu'elle est déjà prise en compte aux Équations 2.4 à 2.6. Celle-ci est de 1,8 m, conformément aux recommandations de l'AASHTO (2012, pp. 4.44-4.46).

Longueur de traverse

$$L_{traversée (m)} = L_{accotement1 (m)} + L_{chaussée (m)} \quad (3.1)$$

Adaptée de MTQ (s.d.-b, § 7.12.1)

Pour le calcul de la DVT, on utilise les Équations 2.4, 2.6 et 3.2, sans s'y limiter. Un PIEV de 2,5 s y est retenu pour les cyclistes (Bruneau et al., 2004, p. 19). De plus, la vitesse des cyclistes y est fixée à 16 km/h (AASHTO, 2012, p. 4.45) et l'accélération ainsi que la décélération y sont respectivement fixées à 0,5 m/s² et 1,5 m/s² (AASHTO, 2012, pp. 4.44-4.46). On détermine de cette façon le créneau nécessaire à la traversée, soit le « TTC », lequel est rapporté à l'Équation 3.2. Cette Équation, où la vitesse est celle du conducteur, telle que définie précédemment, permet de calculer la DVT d'un cycliste à l'arrêt ou en mouvement.

Afin de déterminer la position du point décision représenté à la Figure 2.16, on calcule la DVA d'un cycliste conformément à l'Équation 2.5.

Distance de visibilité de traversée

$$DVT_{(m)} = \frac{V_{(km/h)} * TTC_{(s)}}{3,6} \quad (3.2)$$

Adaptée de MTQ (s.d.-b, § 7.11.1)

Pour chacune des configurations ci-haut mentionnées, on effectue les calculs de DVA d'un conducteur, de DVA d'un cycliste, de DVT d'un cycliste à l'arrêt et de DVT d'un cycliste en mouvement. La situation du Québec a été retenue pour l'application de la méthode, mais celle-ci peut être appliquée à tout ensemble de profils en travers.

3.4 Phénomène d'aspiration

Le phénomène d'aspiration est fonction de la vitesse du véhicule motorisé, de sa vitesse ainsi que de sa distance avec la bicyclette. Les forces aérodynamiques créées par le passage de véhicules lourds sont typiquement plus grandes que celles créées par le passage d'un véhicule léger tel un véhicule de promenade, seules celles-ci sont donc étudiées. La Figure 3.1 présente un abaque permettant de déterminer la force latérale exercée sur le cycliste et sa bicyclette.

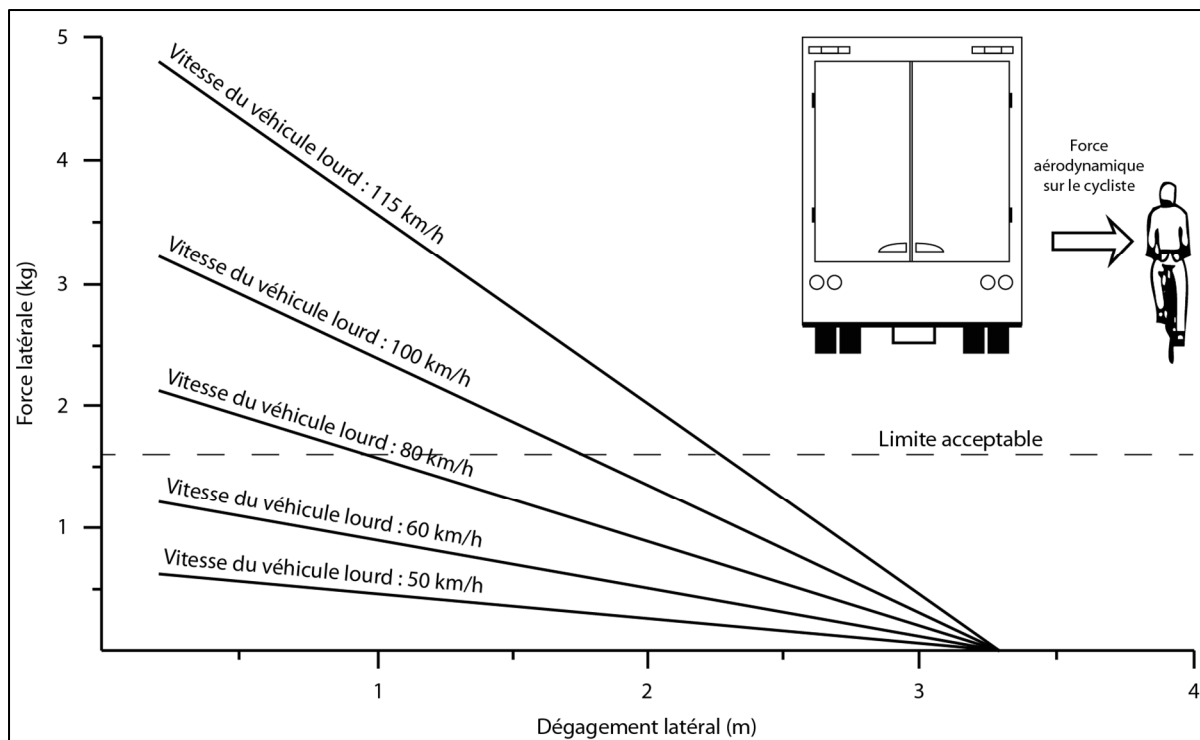


Figure 3.1 Forces aérodynamiques causées par le passage de véhicules lourds
Adaptée de Australia State Bicycle Committee (1987), cité par Vélo Québec (1992, p. 19)

À partir des normes de conception routière obtenues avec la méthode détaillée à la section 3.2, le profil en travers d'une route « nationale » ou de son équivalent et d'une autoroute typique peut être dressé pour ces provinces et états. Le gabarit d'un semi-remorque de type WB-20 (MTQ, s.d.-b, p. 8.21) et d'un cycliste (MTQ, s.d.-b, p. 15.9) ont été utilisés pour déterminer le dégagement latéral. Ceux-ci ont été positionnés respectivement au centre de la voie de droite et au centre de l'accotement revêtu. En présence d'une bande rugueuse sur l'accotement, le centre a été calculé à partir de l'extrémité droite de cette bande.

En supposant une vitesse de marche équivalente à la vitesse de base, soit 10 km/h plus élevée que la vitesse affichée, conformément aux constats du Ministère des Transports de l'Alberta (2018, p. 34), on peut déterminer la vitesse à utiliser pour la comparaison. Pour déterminer la vitesse affichée des autoroutes, les Tableaux A I-1 et A II-1 ont été utilisés. Si plusieurs vitesses affichées y sont rapportées, la plus élevée a été retenue.

Pour les routes « nationales » ou leur équivalent, la vitesse retenue a été réduite de 10 km/h, ce qui représente la situation typique du Québec, soit une vitesse affichée de 100 km/h sur les autoroutes et de 90 km/h sur les routes nationales à chaussée unique en milieu rural. Cette estimation est conservatrice, puisque certaines routes « nationales » ou leur équivalent ont une vitesse égale à celle des autoroutes, comme la R-175, au Québec. Il est cependant à noter que cette dernière est à chaussées séparées, ce qui n'est pas le cas de toutes les routes « nationales ».

Une comparaison des forces aérodynamiques causées par le passage de véhicules lourds sur les cyclistes a ensuite été dressée pour chaque aménagement dans chaque province et état, et ce, par rapport à une limite acceptable de 1,6 kg (Smith, 1976, cité par Ferrara, 2001, p. 27).

3.5 Bilan routier

Cette analyse vise à estimer l'effet sur le bilan routier de la circulation des cyclistes sur l'accotement revêtu des autoroutes, là où celle-ci est autorisée, ainsi que les tendances pouvant être identifiées en ce qui a trait à ces collisions.

Dans le cadre de la revue de littérature, trois ouvrages pertinents ont été identifiés. Ceux-ci portent sur des autoroutes de la Californie et de l'Arizona ainsi que sur des routes à accès limité en Floride. Il est à noter que dans le cas de la Floride, l'étude porte sur un projet pilote et que la circulation des cyclistes sur l'accotement revêtu des autoroutes n'y est pas autorisée.

En ce qui a trait au Québec, où la circulation des cyclistes n'est pas autorisée sur l'accotement revêtu des autoroutes, aucune analyse n'a été identifiée dans le cadre de la revue de littérature. Conséquemment, une méthode spécifique à cette province a été formulée.

3.5.1 Californie

Ferrara (2001) a analysé le bilan routier en Californie à partir de deux bases de données, d'abord le *Statewide Integrated Traffic Records System* (SWITRS) et ensuite le *Traffic Accident Surveillance and Analysis System* (TASAS).

3.5.1.1 Statewide Integrated Traffic Records System

L'étude de Ferrara (2001, pp. 12, 53) à partir des données du SWITRS vise à identifier des tendances dans les données de collision. Spécifiquement, l'analyse concerne le comté de Santa Clara pour la période de 1990 à 1998. Les segments d'autoroute analysés ont été sélectionnés à la suite de consultations auprès de professionnels pertinents et familiers avec la région. L'auteur note que la lecture des rapports du SWITRS pourrait clarifier des ambiguïtés ou des contradictions contenues dans les données compilées. Il note également que ces données permettraient de produire des diagrammes de collision, lesquels pourraient aider à détecter des tendances pour les collisions observées.

Les autoroutes à accès contrôlé Montague, San Tomas, Lawrence et Central ont été retenues en raison de leurs caractéristiques autoroutières et l'autoroute à accès limité Page Mill a été retenue en raison de sa popularité auprès des cyclistes.

Afin de contrôler l'exposition, des comptages de cyclistes ont été effectués en juin de l'an 2000 sur des périodes de trois jours pendant les périodes de pointe (7 h 30 à 9 h 30, 11 h à 14 h et 16 h 30 à 18 h 30) sur les autoroutes analysées. Les emplacements retenus se situaient à proximité d'un échangeur et permettaient d'observer toutes les voies de l'autoroute, dont les bretelles (Ferrara, 2001, p. 54).

À partir de ces comptages, Ferrara (2001, p. 65) a posé plusieurs hypothèses. D'abord, que ces comptages étaient représentatifs pour tous les jours de la période de 1990 à 1998, et ce, sur l'ensemble des tronçons analysés. Ensuite, qu'on pouvait estimer le débit journalier moyen (DJM) de cyclistes en multipliant par 10 le débit calculé pendant la pointe journalière.

Le DJM obtenu a ensuite été utilisé pour calculer le taux de collisions impliquant un cycliste, conformément à l'Équation 3.3 où « L » est la longueur du tronçon analysé mesuré en miles et où « T » est le temps mesuré en années. Le nombre de collisions est quant à lui tiré directement des données du SWITRS.

L'Équation 3.4 est adaptée de l'Équation 3.3 où les distances en miles (mbm) sont remplacées par des distances en kilomètres, ce qui permet d'obtenir un taux de collisions par million de kilomètres parcourus à vélo.

Taux de collisions impliquant un cycliste

$$\text{Taux d'incidence} = \frac{\text{Collisions}_{\text{vélos}} * 10^6_{mi}}{\text{DJM}_{\text{vélos/jour}} * L_{mi} * T_{\text{années}} * 365_{\text{jours/année}}} \quad (3.3)$$

$$\text{Taux d'incidence} = \frac{\text{Collisions}_{\text{vélos}} * 10^6_{km}}{\text{DJM}_{\text{vélos/jour}} * L_{km} * T_{\text{années}} * 365_{\text{jours/année}}} \quad (3.4)$$

Adaptées de Ferrara (2001, p. 66)

3.5.1.2 Traffic Accident Surveillance and Analysis System

Ferrara (2001, pp. 12, 70) a effectué trois analyses distinctes à partir des données du TASAS. La première porte sur les districts 1, 2 et 3 de la Californie, lesquels ont été sélectionnés en raison de la disponibilité des rapports liés aux collisions. Celle-ci vise à dégager de nouvelles perspectives par rapport à la localisation des collisions et aux mouvements les ayant précédés, et ce, en fonction du type de collision.

La seconde analyse vise à déterminer si des constats peuvent être établis sur la sécurité, la conception et l'opération de certains ouvrages d'art, en lien avec la circulation des cyclistes. Elle porte sur quatre ponts et cinq tunnels de Californie où la circulation des cyclistes est autorisée sur l'accotement extérieur ou dans la voie de circulation extérieure. Elle porte également sur le pont Richmond-San Rafael, en Californie, où la circulation des cyclistes n'est pas autorisée. Il est à noter que deux ponts situés hors de la Californie ont également été analysés par Ferrara (2001, p. 108). Les ouvrages d'art ont été sélectionnés selon les conseils du comité de pilotage et de professionnels pertinents. L'historique de collision sur ces ponts et tunnels ainsi que leurs caractéristiques géométriques ont été étudiés afin de détecter des éléments qui pourraient jouer un rôle dans ces collisions (Ferrara, 2001, p. 12).

La troisième analyse porte sur les districts 5 et 6 de la Californie. Elle porte sur les données de collisions du TASAS ainsi que sur les données de géométrie routière et de débit de circulation. Elle vise à déterminer s'il existe une corrélation entre le taux de collisions et l'autorisation de circuler sur les autoroutes pour les cyclistes (Ferrara, 2001, p. 12).

Dans le cadre de l'analyse des districts 1, 2 et 3, Ferrara (2001, p. 70) a également analysé les données de chaque rapport de collision identifiée dans le TASAS afin de déterminer d'abord si la collision a eu lieu sur l'autoroute ou sur ses accès, par exemple sur les bretelles d'accès, du côté de la route traversant un échangeur mineur, ainsi que le patron de collision. L'analyse de ces rapports a également servi à valider les informations du TASAS.

Les données du TASAS incluent notamment :

- Année;
- Catégorie d'utilisateur impliqué (cycliste, piéton, conducteur de véhicule motorisé);
- Partie en cause;
- Facteur primaire de la collision;
- Localisation de la collision;
- Type de collision (pour les collisions impliquant des cyclistes);
- Sévérité des blessures, le cas échéant;

- Revêtement de la route;
- Condition du revêtement de la route;
- Nombre de voies (Ferrara, 2001, pp. 70-71).

À ces éléments, deux données ont été ajoutées à partir des rapports de collision :

- Localisation de la collision sur l'autoroute (oui, non);
- Patron de collision (Ferrara, 2001, p. 71).

3.5.2 Arizona

Les données de collision contenues dans la base de données de l'ADOT ont été analysées par Moeur et Bina (2002, p. 1) pour la période du 1^{er} janvier 1991 au 30 juin 2002. Les auteurs ont analysé chaque collision individuellement par rapport aux informations suivantes :

- Type de collision;
- Sévérité de la collision;
- Période de la journée (conditions d'ensoleillement);
- Localisation de la collision :
 - Présence d'une intersection;
 - Environnement rural ou urbain;
 - Autorisation de circuler à bicyclette.
- Facultés affaiblies du conducteur ou du cycliste impliqué;
- Âge du cycliste;
- Partie en cause.

Moeur et Bina (2002, p. 5) n'ont identifié aucune mesure de contrôle de l'exposition pertinente et disponible dans cette analyse.

3.5.3 Floride

Un projet a eu lieu en Floride du 1^{er} mars 2013 au 28 février 2015 sur les trois corridors décrits au Tableau 3.1. Ces corridors ont été retenus parmi 10 corridors analysés, lesquels traversaient tous un plan d'eau. Les trois corridors sélectionnés ont été retenus en fonction des attributs suivants :

- Population urbaine à moins de 5 miles (8 km) de distance du pont;
- Viabilité des itinéraires alternatifs;
- Connectivité avec le réseau cyclable et les destinations régionales;
- Débit et vitesse de circulation des véhicules motorisés;
- Débit de véhicules lourds;
- Interaction avec les bretelles et les zones d'entrecroisement;
- Distance de visibilité;
- Sécurité et impacts opérationnels;
- Coût de mise à niveau des infrastructures routières;
- Éclairage artificiel (FDOT, 2015, p. 5).

Tableau 3.1 Caractéristiques des routes à accès limité utilisées dans le cadre du projet pilote du FDOT (2013-03-01 à 2015-02-28)
Adapté de FDOT (2015, p. 7)

Route	Nom	Accotement revêtu	Vitesse affichée
SR 404	Pineda Causeway	7 à 8 pi (2,1 à 2,4 m)	55 MPH (89 km/h)
SR 856	William Lehman Causeway	10 pi (3,0 m)	45 MPH (72 km/h)
I-195	Julia Tuttle Causeway	10 pi (3,0 m)	55 MPH (89 km/h)

Les corridors retenus faisaient déjà l'objet d'une circulation de cyclistes avant leur autorisation et étaient appuyés par des groupes d'intérêt locaux (FDOT, 2015, p. 3).

Les travaux de mise à niveau des infrastructures routières incluait :

- Marquage au sol de voie réservée aux cyclistes;
- Panneaux de signalisation le long de l'itinéraire cyclable;
- Marquage au sol des zones d'entrecroisement entre les cyclistes et les conducteurs de véhicules motorisés;
- Augmentation de la hauteur des systèmes de retenue;
- Modification des grilles de puisards (FDOT, 2015, p. 7).

Les analyses de collision ont été effectuées à l'aide du système *Signal Four Analytics* pour toute la période du projet pilote. Ce système contient les informations pertinentes sur chaque collision, dont un diagramme la représentant.

Pour cette même période, le bilan routier d'aménagements similaires situés à proximité où la circulation des cyclistes est autorisée a également été analysé. Sur les trois aménagements retenus, le bilan routier des deux années précédant le projet pilote a également fait l'objet d'une analyse.

Parallèlement, des observations comportementales ont été effectuées dans certaines zones d'entrecroisement des tronçons à l'étude pendant le projet pilote.

3.5.4 Québec

Dans le cadre de l'analyse du bilan routier au Québec, comme la circulation des cyclistes sur le réseau autoroutier n'est pas permise actuellement, une sélection a été effectuée de façon à obtenir des paires de tronçons du réseau routier national et du réseau autoroutier pouvant être analysées comme des trajets alternatifs pour les mêmes déplacements.

Cinq tronçons ont été considérés :

- R-132 entre la rue de Montbrun (Boucherville) et la route des Rivières (Lévis);
- R-138 entre le boulevard Louis-Philippe-Picard (Repentigny) et le chemin Denys-Baron (Trois-Rivières) ainsi qu'entre la montée Sainte-Marthe (Trois-Rivières) et la rue du Brome (Saint-Augustin-de-Desmaures);
- R-175 entre la sortie 167 (kilomètre 59, Stoneham-et-Tewkesbury) et le chemin du Portage-des-Roches (Saguenay);
- A-20 entre la sortie 95 (boulevard de Montarville, Boucherville) et la sortie 311 (route des Rivières, Saint-Nicolas);
- A-40 entre la sortie 106 (boulevard Louis-Philippe-Picard, Repentigny) et la sortie 192 (chemin des Petites Terres, Trois-Rivières) ainsi qu'entre la sortie 205 (rue des Prairies, Trois-Rivières) et la sortie 302 (route Jean-Gauvin, Québec).

Respectivement, la R-132 et la R-138 sont considérées comme des alternatives à l'A-20 et à l'A-40. Dans le cas de la R-175, aucune alternative n'est considérée. Toutefois, de 2005 à 2013, cette route a fait l'objet d'améliorations l'ayant fait passer d'une chaussée unique à des chaussées séparées (Radio-Canada, 2013). Sauf exception, la vitesse affichée y est désormais de 100 km/h (Le Soleil, 2011), comme sur les autoroutes rurales québécoises, mais aucune vitesse minimale n'est prescrite.

Selon Wilkinson et Moran (1986, p. 51), l'occurrence des sorties de route n'impliquant qu'un seul véhicule (SVROR) est l'indicateur quantitatif le plus efficace pour déterminer la fréquence avec laquelle les conducteurs tendent à quitter la chaussée. Selon les auteurs, l'occurrence des SVROR est associée au risque qu'un cycliste fasse l'objet d'une collision par l'arrière. En effet, il s'agit d'une situation où un conducteur circule momentanément sur l'accotement revêtu, où la circulation des cyclistes est attendue.

Aux fins de cette analyse, le MTQ (2020a, 2021a) a fourni sur demande des ensembles de données pertinentes. Les données de 2000 à 2019, inclusivement, ont été fournies pour la R-132 et la R-138 ainsi que l'A-20 et l'A-40. Toutefois, afin de prendre compte de la situation

précédant les améliorations à la R-175, les données de 1990 à 2019 ont été fournies spécifiquement pour cette route. Sur les tronçons de routes nationales susmentionnés, puisque l'ensemble de données provient du MTQ, seuls ceux qui sont sous gestion du MTQ sont considérés. De ce fait, tout tronçon sous gestion municipale est exclu.

L'analyse consiste d'abord à déterminer l'occurrence des SVROR en fonction du DJME, soit pour les mois de juin à septembre, inclusivement. Pour la R-132 et la R-138 ainsi que l'A-20 et l'A-40, la période complète est considérée, soit inclusivement de 2000 à 2019. Toutefois, pour la R-175, trois périodes sont considérées, soit inclusivement de 1990 à 2004; de 2005 à 2013; et de 2013 à 2019. Celles-ci correspondent respectivement à la période précédant les améliorations susmentionnées, à la période de travaux, et à la période suivant les améliorations susmentionnées.

L'analyse consiste ensuite à déterminer, sur les tronçons analysés, l'occurrence des collisions impliquant au moins un cycliste et ayant entraîné des blessures légères, des blessures graves ou des décès. À cette fin, les périodes d'analyse sont les mêmes que celles décrites au paragraphe précédent. Aucune mesure de contrôle de l'exposition pertinente et disponible n'a été identifiée pour cette analyse. Comme la circulation des cyclistes est actuellement interdite sur les autoroutes, des comptages de cyclistes ne permettraient pas d'obtenir des données pertinentes, à l'exception des routes nationales.

CHAPITRE 4

DISCUSSION

4.0 Introduction

Ce Chapitre discute d'abord des méthodes proposées afin d'évaluer l'effet d'autoriser la circulation des cyclistes sur l'accotement revêtu des autoroutes en milieu rural ou périurbain au Canada et aux États-Unis, notamment de leurs limites. Celui-ci porte ensuite les autres éléments à considérer dans l'analyse de ces accotements revêtus en vue de leur utilisation par les cyclistes, puis d'une méthode d'évaluation permettant de déterminer les circonstances où cette utilisation est favorable, le cas échéant. Enfin, ce Chapitre présente les recommandations formulées.

4.1 Méthode d'analyse

Les cinq méthodes d'analyse présentées au Chapitre 3 sont discutées dans les sous-sections suivantes, soit l'analyse de la réglementation en vigueur, l'analyse des normes de conception routière, l'analyse de la capacité de réaction des usagers, l'analyse du phénomène d'aspiration ainsi que l'analyse du bilan routier.

4.1.1 Réglementation en vigueur

L'analyse de la réglementation en vigueur vise uniquement à dresser le portrait de la situation actuelle. L'analyse proposée ne se substitue pas à un avis légal sur l'ensemble des lois et règlements en vigueur dans les états, provinces et territoires du Canada.

Malgré les importantes limitations liées au niveau d'analyse, celle-ci permet de formuler une comparaison sur des thèmes précis : statut de véhicule d'une bicyclette, droits et devoirs des

cyclistes, limite de vitesse minimale applicable et circulation sur les autoroutes. Elle permet d'identifier les caractéristiques des lois et règlements en vigueur pour chaque juridiction.

Ainsi, bien que les résultats puissent être globalement inconcluants, la situation pour certains états, provinces et territoires disposant de lois règlements applicables spécifiquement à la circulation sur les autoroutes est hautement pertinente aux travaux subséquents.

4.1.2 Normes de conception routière

D'abord, le choix des six provinces et états comparés est somme toute arbitraire. Toutefois, les provinces retenues rassemblent 86,5 % de la population canadienne (Statistique Canada, 2022). On peut donc conclure que les routes de ces provinces sont plutôt représentatives de celles que l'on retrouve au pays. Quant aux états des États-Unis, il s'agit de ceux où des données pertinentes sont disponibles. Leur considération dans l'analyse est donc nécessaire.

Ensuite, utiliser les normes comme base de comparaison pour les aménagements routiers de différentes juridictions ne produit pas nécessairement une représentation fidèle des aménagements routiers existants. En effet, les aménagements routiers ne sont pas nécessairement conformes aux normes en vigueur. De plus, les normes évoluent dans le temps, et ce, plus rapidement que les aménagements en place.

Il s'agit néanmoins d'une méthode plus accessible que d'effectuer des relevés sur un nombre représentatif de tronçons routiers dans chacun des états et provinces analysés. Celle-ci permet également de valider ou non l'uniformité des normes auxquelles devraient ressembler ces aménagements.

4.1.3 Capacité de réaction des usagers

L'analyse de la capacité de réaction des usagers permet de déterminer si la circulation des cyclistes sur l'accotement des autoroutes respecte les modèles théoriques actuellement en

vigueur pour assurer la sécurité des usagers sur le réseau routier. Cette analyse permet de déterminer de façon objective si cette circulation répond aux critères de sécurité établis *a priori*.

Ultimement, elle permet de renforcer les analyses complémentaires, considérant qu'une des limitations fréquentes des études concernant la sécurité des cyclistes est la mesure de l'exposition et que le résultat de l'analyse ne dépend pas de ce facteur. Toutefois, un résultat négatif ne signifierait pas nécessairement que la circulation des cyclistes sur l'accotement revêtu des autoroutes n'est pas sécuritaire. En effet, les normes en vigueur sont nécessairement conservatrices. De même, les présents travaux ont montré que certaines valeurs utilisées, comme le temps de perception-réaction (PIEV) des cyclistes recommandé par le MTQ (s.d.-b, § 7.3), sont plus élevées que ce qui est recommandé par d'autres références, comme l'AASHTO (2012, p. 4.44).

4.1.4 Phénomène d'aspiration

L'analyse du phénomène d'aspiration partage plusieurs similarités avec celle de la capacité de réaction des usagers (voir section 4.1.3). Celle-ci vise également à analyser la situation projetée selon les modèles théoriques en place afin de dresser un portrait objectif de la situation.

Dans le cas de cette analyse, on doit toutefois noter l'incertitude liée audit modèle. En effet, toutes les références relevées présentent ultimement une figure très similaire (voir Figure 3.1), mais la provenance du matériel original n'a pas pu être déterminée. Par exemple, Ferrara (2001, p. 27) cite Smith (1976) en soulignant que les données analytiques, si elles existent, ne sont pas identifiées dans ses travaux. Pour sa part, Lubitz et Bryan (2018, p. 5) soulignent des enjeux similaires, tout en affirmant que la figure constitue une approximation raisonnable de la réalité. Enfin, Vélo Québec (1992, p. 19) réfère à Australia State Bicycle Committee (1987), également sans préciser le fondement ayant mené à la production de cette figure.

Malgré cette incertitude, l'omniprésence de cette figure dans la littérature, dans ses différentes déclinaisons, et la conclusion de Lubitz et Bryan (2018, p. 5) indiquent qu'il n'est pas malavisé de s'y fier dans le cadre d'une analyse à haut niveau comme celle qui est ici prévue.

4.1.5 Bilan routier

L'analyse des bilans routiers constitue la pierre angulaire des travaux projetés. Alors que tous les éléments abordés dans le cadre du présent mémoire et les autres analyses susmentionnées visent à servir de fondation permettant d'expliquer les résultats observés dans le cadre de ces bilans ou d'encadrer l'autorisation pour les cyclistes de circuler sur les accotements revêtus des autoroutes, l'analyse des bilans routiers est l'élément qui pourrait mener à invalider l'hypothèse selon laquelle l'accotement revêtu des autoroutes est un endroit relativement sécuritaire où circuler à vélo.

Les trois études relevées dans le cadre des présents travaux présentent toutes des méthodes permettant de guider l'analyse des données recueillies pour le Québec. En ce qui a trait à la situation de la R-175 avant et après les travaux l'ayant transformée, on pourrait sommairement la comparer à un projet-pilote pour la circulation des cyclistes sur des aménagements autoroutiers au Québec, ce qui représente une grande opportunité.

La plus grande limitation de l'analyse des données québécoises est, comme dans le cas des analyses en Arizona et en Californie, la mesure de l'exposition. Il s'agit d'ailleurs d'un risque significatif quant au portrait de la R-175. Selon Vélo Québec (2021, p. 5), le nombre de cyclistes est en constante croissance au Québec, comme le nombre de véhicules routiers sur les routes. Conséquemment, il est tout à fait possible que derrière d'éventuels résultats négatifs se cache une augmentation significative du débit de cyclistes sur le tronçon utilisé pour l'analyse.

4.2 Autres éléments à considérer

En plus des éléments mentionnés dans les Chapitres précédents, d'autres éléments ne peuvent être négligés afin d'envisager une circulation par les cyclistes sur l'accotement revêtu des autoroutes.

Les éléments suivants sont dignes de mention : les mesures de mitigation à mettre en place; la circulation en présence de travaux autoroutiers; l'usage de l'accotement par des véhicules routiers; l'effet du profil longitudinal; les restrictions complémentaires à envisager; la circulation en conditions hivernales; et le potentiel d'application en milieu urbain.

4.2.1 Mesures de mitigation

Les mesures de mitigation faisant l'objet de cette discussion concernent les aménagements en tronçon, les échangeurs, les ponts et les tunnels, ainsi que les passages à niveau, et ce, advenant l'autorisation de la circulation des cyclistes sur les accotements revêtus des autoroutes. En complément, des modifications à la signalisation pourraient être nécessaires ou souhaitables.

4.2.1.1 Aménagements en tronçon

En tronçon, les mesures de mitigation consistent notamment à assurer la largeur suffisante des accotements revêtus. La prémisse de base des présents travaux est cependant que ces accotements sont généralement plus larges que sur les alternatives non autoroutières (voir section 2.1). Ce n'est toutefois pas toujours le cas, comme le montre la Figure 4.1 qui représente pourtant une autoroute où peuvent actuellement circuler les cyclistes.



Figure 4.1 Voie auxiliaire pour véhicules lents sur la route 5 (Colombie-Britannique)
Adaptée de Google Inc. (2019c)

Advenant qu'une autoroute ne dispose pas de larges accotements revêtus et que leur amélioration ne soit pas justifiée par d'autres critères, on doit nécessairement se questionner à savoir s'il serait préférable de mettre en place des mesures permettant d'améliorer la sécurité des cyclistes sur les alternatives susmentionnées. En effet, toutes choses étant égales par ailleurs, la vitesse affichée inférieure d'un tracé non autoroutier en ferait une alternative préférable.

Parmi les autres aménagements en tronçon à considérer, on peut penser aux bandes rugueuses. On constate que celles-ci peuvent tant contribuer au confort et à la sécurité des cyclistes qu'y nuire. Néanmoins, en assurant d'abord une largeur suffisante des accotements revêtus, il apparaît que l'aménagement de bandes rugueuses est un traitement ayant un impact positif sur le confort et la sécurité des cyclistes. Nonobstant le fait que le MTQ (s.d.-c, § 10.4.2.2) prescrive des bandes rugueuses ininterrompues, la revue de littérature (voir section 2.1.1.2) montre que ces bandes rugueuses devraient présenter des interruptions ponctuelles permettant aux cyclistes de les croiser sans circuler sur la partie rugueuse.

En complément, bien que le drainage soit généralement à ciel ouvert en milieu rural et périurbain, on trouve des ponts, tunnels et ponceaux où le drainage s'effectue par conduites fermées. De ce fait, là où des grilles de puisard sont présentes, celles-ci doivent être adaptées à la circulation des cyclistes afin de l'y autoriser (voir section 2.1.2). Par exemple, dans le cadre du projet pilote de FDOT (2015, p. 7), les grilles des puisards avaient été remplacées à cette fin.

4.2.1.2 Aménagement des échangeurs

Une multitude de mesures de mitigation spécifiques aux échangeurs a été identifiée dans le cadre du présent mémoire (voir section 2.4). Ces mesures incluent notamment des aménagements sous la forme d'anses pour cyclistes ou d'aménagements dénivelés. De telles mesures de mitigation sont toutefois rarement implantées au Canada et aux États-Unis et la définition des anses pour cyclistes dans les guides et normes en vigueur est au mieux sommaire. Dans le cadre des présents travaux, les rares exemples de telles anses cyclables ayant été relevés se situent d'ailleurs du côté de la route croisant l'autoroute plutôt que du côté de l'autoroute elle-même, comme le montrent les Figures 4.2 et 4.3.

Il peut en effet être difficile de justifier la mise en place de telles mesures de mitigation pour un bassin de cyclistes limité (voir section 1.1.4). Il convient d'ailleurs de se questionner à savoir si de tels investissements constitueraient le meilleur moyen de protéger les cyclistes, considérant que ces sommes pourraient servir ailleurs. Fortier (2009, p. 19) souligne d'ailleurs que dans la Politique sur le vélo produite par MTQ et SAAQ (1995), on affirme qu'une analyse coûts-bénéfices devrait « [...] maximiser les bénéfices en termes de réduction des traumatismes ou de gain à la mobilité par rapport aux investissements publics consentis. »

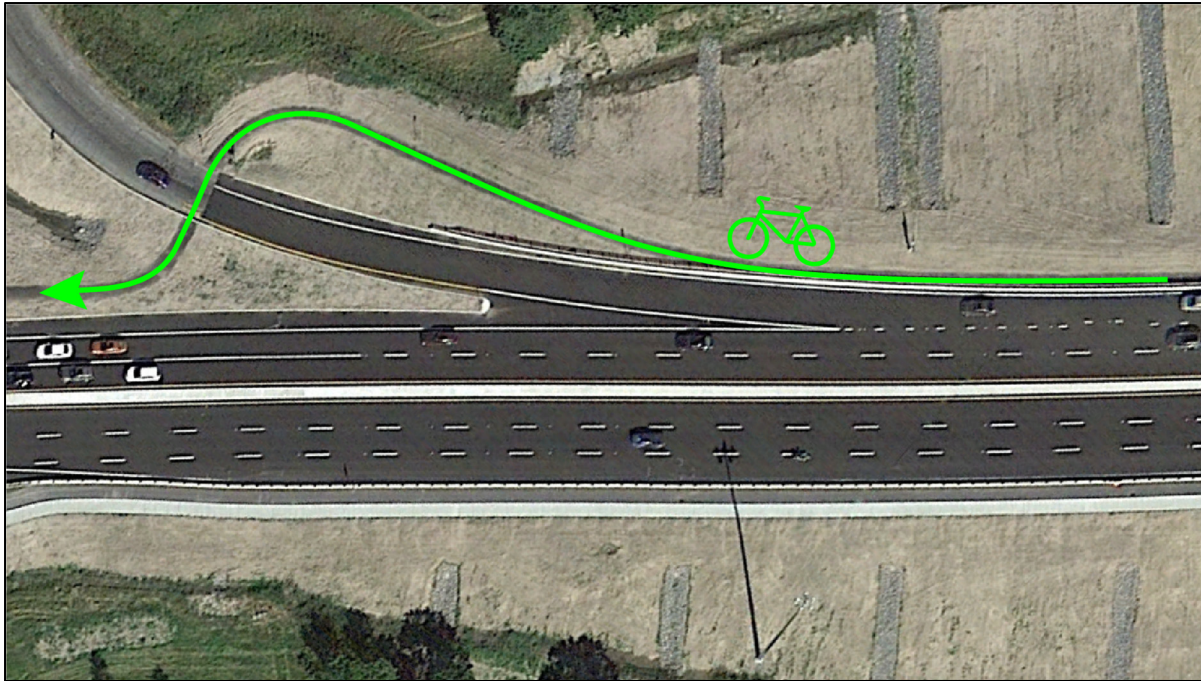


Figure 4.2 Anse pour cyclistes de la R-137 (Québec)
Adaptée de Google Inc. (2019b)



Figure 4.3 Anse pour cyclistes du boulevard King George (Colombie-Britannique)
Adaptée de Google Inc. (2019c)

Dans le contexte d'une circulation à travers un échangeur majeur, de tels aménagements constituent vraisemblablement l'unique alternative au statu quo. Toutefois, en ce qui a trait aux échangeurs mineurs, on peut également envisager de contraindre les cyclistes à emprunter la bretelle divergente puis la bretelle convergente afin d'éviter d'avoir à croiser ces bretelles. Le cas échéant, on doit toutefois prendre en compte la conception et les caractéristiques de la circulation à l'intersection entre ces bretelles et la route croisant l'autoroute, laquelle n'est pas nécessairement plus sécuritaire pour les cyclistes que de croiser les bretelles à leur intersection avec l'autoroute.

Une stratégie similaire, soit d'exiger aux cyclistes de quitter l'autoroute, pourrait être envisagée dans le cas d'un échangeur majeur advenant que des échangeurs mineurs soient disposés à proximité de part et d'autre. Le détour ainsi généré permettrait d'éviter de circuler à travers l'échangeur majeur. Néanmoins, un tel itinéraire alternatif ne devrait pas être retenu d'emblée et devrait être analysé entre ses deux extrémités, en comparaison avec l'itinéraire nécessitant la traversée de l'échangeur majeur.

En somme, bien que des aménagements puissent bénéficier les cyclistes, la présence d'échangeurs non aménagés ne suffit généralement pas à justifier l'interdiction ponctuelle de la circulation des cyclistes là où ceux-ci peuvent circuler sur les autoroutes. L'absence d'aménagement, le cas échéant, constitue cependant un élément négatif à considérer dans l'analyse de l'autoroute comme itinéraire cyclable.

4.2.1.3 Aménagement des ponts et des tunnels autoroutiers

La revue de littérature a permis de révéler de nombreux critères de conception en ce qui a trait à l'aménagement des ponts et des tunnels routiers en vue de la circulation des cyclistes (voir section 2.2).

Dans le contexte d'ouvrages existants, certains éléments permettant d'améliorer la convivialité pour les cyclistes comme augmenter la hauteur des garde-corps, adapter les joints de tablier et

améliorer l'éclairage artificiel nécessitent des investissements d'envergure limitée. Toutefois, d'autres présentent des coûts d'envergure importante, par exemple élargir le tablier d'un pont, ou même prohibitive, par exemple élargir un tunnel.

Il est à noter que, bien qu'on ne trouve aucun tunnel autoroutier en milieu rural au Québec (MTQ, 2023), on en trouve ailleurs au Canada, par exemple en Colombie-Britannique. Les Figures 4.4 et 4.5 représentent respectivement un tunnel non autoroutier en milieu rural au Québec et un tunnel autoroutier en milieu rural en Colombie-Britannique (pare-avalanches), deux aménagements où peuvent actuellement circuler les cyclistes.

Comme le souligne Ferrara (2001, p. 119), la présence des ponts et de tunnels ne se traduit pas par une augmentation significative de la fréquence de collisions impliquant au moins un cycliste et un conducteur, par rapport aux routes où se situent ces ouvrages. De ce fait, leur présence ne devrait pas disqualifier d'emblée un itinéraire autoroutier par rapport à ses alternatives. Dans les circonstances où un ouvrage présente des déficiences par rapport à la circulation des cyclistes, son amélioration devrait être envisagée de prime abord. À défaut, il convient d'évaluer les caractéristiques du tronçon autoroutier dans sa globalité, incluant l'impact négatif dudit ouvrage, en comparaison avec l'utilisation par les cyclistes d'itinéraires alternatifs.



Figure 4.4 Tunnel de Franquelin (Québec)
Félix-Antoine Tremblay (2016)



Figure 4.5 Pare-avalanches avec voie auxiliaire pour
véhicules lents sur la route 5 (Colombie-Britannique)
Adaptée de Google Inc. (2019c)

4.2.1.4 Aménagement des passages à niveau autoroutiers

Bien que relativement rares, on trouve plusieurs passages à niveau autoroutiers à l'échelle du Canada et des États-Unis. Au Canada, ceux-ci sont notamment présents sur des autoroutes à accès limité dans les provinces de la région des Prairies, mais on en trouve également sur des autoroutes à accès contrôlé, par exemple à Saint-Hyacinthe, au Québec.

Lorsque la circulation des cyclistes est autorisée, nonobstant la largeur de l'accotement revêtu, la configuration des passages à niveau devrait être adaptée à la circulation des cyclistes, et ce, par la mise en place d'altérations géométriques et de signalisation pertinente comme celles présentées à la section 2.3.

4.2.1.5 Signalisation

Plusieurs éléments de signalisation doivent être adaptés à la circulation des cyclistes. La plupart de ces éléments font partie intégrante de l'aménagement des échangeurs. Toutefois, on trouve également des éléments de signalisation en tronçon devant être pourvus, soit notamment une signalisation de danger rappelant la présence potentielle de cyclistes.

Cette signalisation de danger et de prescription devrait être complétée par une signalisation de destination adaptée aux cyclistes, laquelle vise à les guider le long de leur itinéraire, notamment à l'approche de points de décision comme des échangeurs majeurs où certains itinéraires pourraient diverger de ceux affichés pour les conducteurs. La Figure 4.6 présente une telle signalisation, à une bretelle d'autoroute britanno-colombienne.

En complément, des systèmes de détection de cyclistes et d'affichage dynamique de leur présence existent sur le réseau routier. Ceux-ci sont abordés à la section 2.4.1.6. On les retrouve notamment aux approches de sites où les conditions de cohabitation sont sous-optimales, par exemple dans un tunnel ou sur un tronçon où l'accotement revêtu est plus étroit, comme on peut le voir à la Figure 4.7. Dans le contexte d'échangeurs, l'intersection des

bretelles convergentes et divergentes constituerait un potentiel emplacement pour de tels systèmes. Considérant que la priorité est accordée aux conducteurs à ces intersections, la mise en place d'un système de détection de cyclistes et d'affichage dynamique à ces endroits devrait faire l'objet d'une analyse approfondie afin de déterminer d'abord si leur présence pourrait contribuer à éviter des collisions, notamment compte tenu des distances de visibilité d'arrêt que cela implique, et ensuite si cela pourrait causer de la confusion quant au comportement à adopter par les conducteurs.

Enfin, bien qu'on puisse imaginer étendre de tels systèmes à l'ensemble des tronçons autoroutiers où la circulation des cyclistes est autorisée, on doit considérer leur absence sur la quasi-totalité du réseau routier. Corollairement, s'il est considéré que la circulation des cyclistes sur l'accotement revêtu d'une autoroute est préférable aux alternatives, on peut difficilement justifier leur installation dans ce contexte alors qu'on ne le fait pas actuellement sur ces dernières.

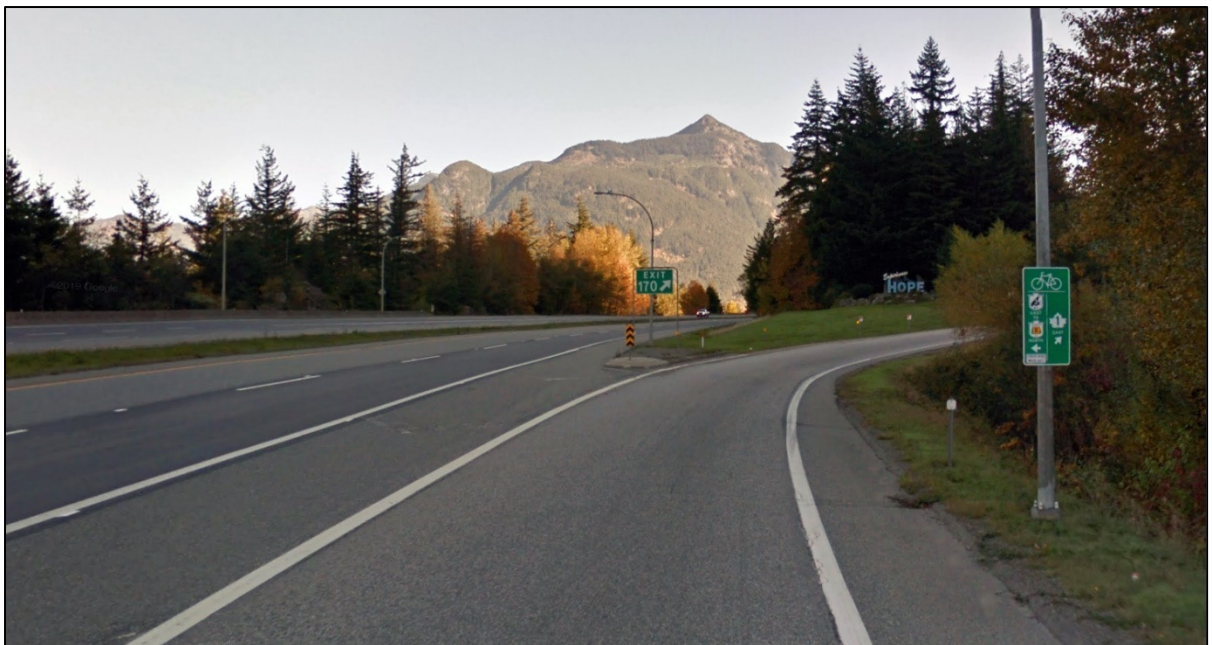


Figure 4.6 Signalisation de destination destinée aux cyclistes sur la route 1 (Colombie-Britannique)
Adaptée de Google Inc. (2019c)



Figure 4.7 Feux clignotants accompagnant une signalisation de danger
(Colombie-Britannique)
Félix-Antoine Tremblay (2018)

4.2.2 Présence de travaux autoroutiers

Le présent mémoire n'a pas permis de relever quelque information que ce soit par rapport à l'impact de travaux routiers sur le réseau autoroutier en présence de cyclistes. Cependant, l'éventualité de travaux sur les autoroutes est inévitable.

Dans les circonstances où la circulation sur l'accotement revêtu n'est plus possible ou sécuritaire en raison de la présence de travaux, plusieurs avenues semblent possibles :

- Contraindre les cyclistes à quitter l'autoroute en amont de la zone de travaux;
- Employer une voiture-pilote pour transporter les cyclistes à travers la zone de travaux;
- Aménager un corridor de circulation sécuritaire pour les cyclistes.

Advenant que la circulation des cyclistes soit autorisée sur une autoroute, cet enjeu devrait préalablement faire l'objet d'une étude approfondie. Des dessins normalisés comme ceux que

l'on retrouve au chapitre 4 du tome V de la norme sur les ouvrages routiers du MTQ (s.d.-e) devraient être produits afin de déterminer les mesures à mettre en place dans les circonstances.

4.2.3 Circulation sur l'accotement par des véhicules routiers

Avant de considérer l'usage de l'accotement revêtu des autoroutes par de nouveaux usagers, notamment les cyclistes, il convient d'établir son usage actuel. D'abord, l'accotement constitue une bande d'arrêt d'urgence où peuvent s'immobiliser les véhicules en cas de nécessité, par exemple en raison d'un bris mécanique (CQLR c C-24.2 § 384; CQLR c C-24.2 § 386). De même, cet espace est utilisé par les véhicules d'urgence lors de leurs opérations sur le réseau autoroutier, par exemple pour remorquer un véhicule en panne.

L'accotement est également utilisé par des véhicules lents, comme des véhicules agricoles, notamment pour des fins d'accès sur les autoroutes à accès limité. Il convient donc d'envisager la possibilité de manœuvres de dépassement de véhicules à l'arrêt par les cyclistes ou de cyclistes par des véhicules lents dans le cadre de l'analyse d'un corridor autoroutier pour la circulation des cyclistes.

Enfin, l'utilisation de l'accotement par les autobus (UAB) est parfois autorisée (MTQ, 2020b), notamment en milieu urbain et périurbain, et ceux-ci sont parfois utilisés comme voies réservées (Agence métropolitaine de transport, 2016). Sans s'y limiter, ces voies sont réservées à l'usage des autobus, des taxis, des véhicules électriques ou du covoiturage (MTQ, 2022).

Les présents travaux n'ont pas permis de relever des informations pertinentes au sujet d'une éventuelle cohabitation entre ces véhicules routiers et les cyclistes sur les accotements revêtus autoroutiers. Néanmoins, un tel partage de l'accotement revêtu pourrait être assimilé à la circulation sur une chaussée désignée plutôt que sur l'aménagement cyclable conventionnellement nommé « accotement revêtu ». Conséquemment, une telle cohabitation, si elle devait être envisagée, devrait faire l'objet d'une analyse distincte.

4.2.4 Effet du profil longitudinal

Le profil longitudinal d'une route, en opposition au profil transversal, réfère aux pentes dans le sens des voies de circulation. En descente, les cyclistes peuvent atteindre des vitesses élevées, lesquelles nécessitent de l'espace de manœuvre supplémentaire pour effectuer des corrections à leur trajectoire (Vélo Québec, 1992, p. 50) ou pour freiner (MTQ, s.d.-b, p. 15.19). De même, en montée, les cyclistes tendent à louvoyer pour maintenir leur équilibre (Vélo Québec, 1992, p. 50), ce qui représente également un espace de manœuvre supplémentaire. Les pentes nécessitent donc une largeur supérieure à celle prévue en section courante sur une surface plane (MTQ, s.d.-b, § 15.4.5.2). Les pentes ont également une influence négative sur la sécurité des usagers. Watkins et al. (2016, p. 24) affirment en référant aux études de Klop et Khattak (1999) et de Teschke et al. (2012) que les routes avec des pentes prononcées sont significativement plus dangereuses pour les cyclistes.

L'AASHTO (1999, p. 39) recommande de conserver le gradient de pente au minimum, notamment sur les longues inclinaisons. Selon cette référence, les gradients de plus de 5 % sont indésirables, puisque les ascensions sont difficiles pour plusieurs cyclistes et que les descentes peuvent les amener à circuler à des vitesses dépassant leurs capacités ou leur niveau de confort. Fortier (2009, p. 48) cite le MTQ (2008) lorsqu'il recommande plutôt de ne pas dépasser un gradient de 6 %.

Néanmoins, il y a un consensus apparent dans la littérature quant à la nécessité d'adapter le gradient d'une pente en fonction de sa longueur. Par exemple, l'AASHTO (1999, p. 39) recommande des gradients maximaux en fonction de la longueur horizontale de la pente :

- 5 à 6 % jusqu'à 240 m (800 pi);
- 7 % jusqu'à 120 m (400 pi);
- 8 % jusqu'à 90 m (300 pi);
- 9 % jusqu'à 60 m (200 pi);
- 10 % jusqu'à 30 m (100 pi);
- 11 % et plus jusqu'à 15 m (50 pi).

Vélo Québec (1992, p. 49) qui cite Balshone (1975) fait de même en proposant des gradients de pente « normaux » et « idéaux » en plus des gradients « maximaux », comme le montre la Figure 4.8.

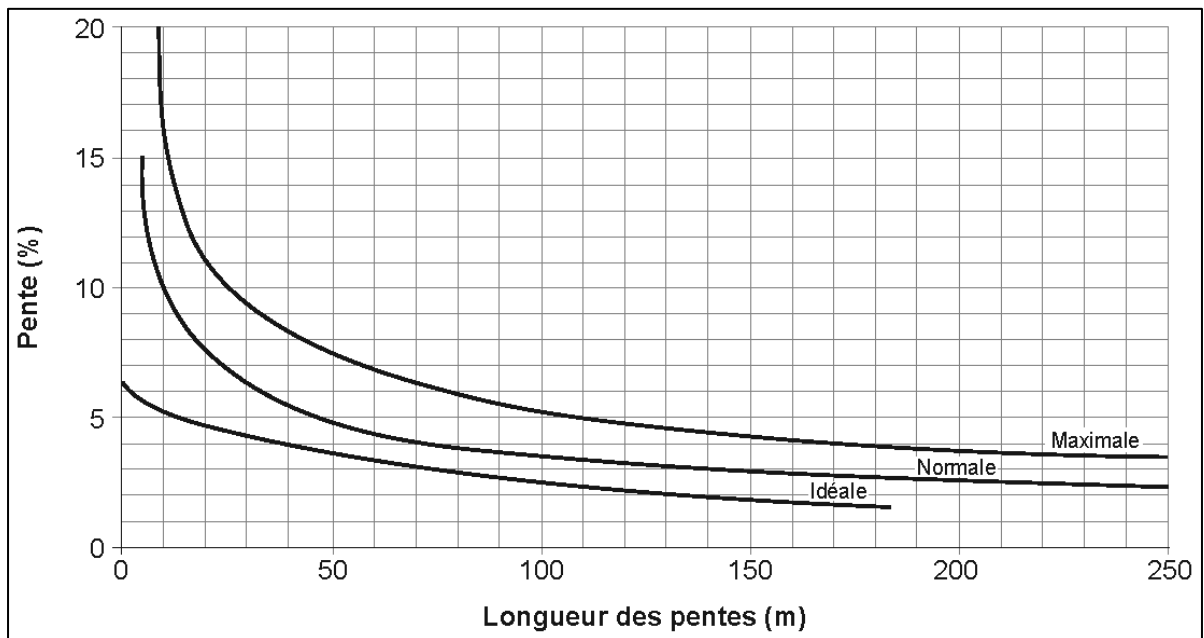


Figure 4.8 Acceptabilité des pentes en fonction de leur longueur et de leur pourcentage
Adaptée de Balshone (1975), cité par Vélo Québec (1992, p. 49),
et de MTQ (s.d.-b, p. 15.18)

Dans le contexte d'accotements revêtus, le contrôle des pentes est impossible sans modifier l'entièreté de la route, ce qui n'est pas viable, notamment lorsqu'on considère que la construction d'une piste cyclable est moins coûteuse que celle d'une route. Le gradient des pentes existantes sur le réseau routier doit donc être pris en compte dans le choix des liens à privilégier comme itinéraire cyclable.

4.2.5 Restrictions d'accès complémentaires

Dans le contexte où serait autorisée la circulation des cyclistes sur l'accotement revêtu des autoroutes, on pourrait envisager certaines restrictions visant à assurer leur sécurité. Dans le cadre des présents travaux, les restrictions identifiées concernent notamment l'âge des cyclistes. On pourrait néanmoins envisager des restrictions nocturnes ou saisonnières, à la

manière dont certaines pistes cyclables traversant des parcs sont fermées la nuit ou dont certaines voies réservées aux cyclistes ne sont pas en vigueur l'hiver.

En ce qui concerne l'âge des cyclistes, plusieurs juridictions réglementent d'emblée la circulation des jeunes cyclistes non accompagnés sur le réseau routier. Par exemple, au Québec, en vertu de l'article 491 du Code de la sécurité routière du Québec (CQLR c C-24.2), les « [...] cyclistes de moins de 12 ans qu'ils doivent être accompagnés d'un adulte pour pouvoir circuler à bicyclette sur un chemin public sur lequel la vitesse maximale affichée est supérieure à 50 km/h. » (MTQ, s.d.-e, § 7.8.10). Bien qu'un tel règlement s'appliquerait également aux autoroutes, d'autres juridictions disposent de règlements de ce type s'appliquant spécifiquement aux autoroutes. C'est par exemple le cas de la Pennsylvanie où les cyclistes de moins de 18 ans circulant sur les autoroutes doivent être accompagnés par un cycliste de 18 ans ou plus (75 Pa. C.S. § 3511(b)(2)(i)).

Au sujet de l'âge des cyclistes, l'AASHTO (2012, p. 2.4) explique que les adultes peuvent généralement s'arrêter et repartir plus rapidement, qu'ils sont plus visibles, qu'ils peuvent interpréter la direction des sons avec une plus grande précision et qu'ils sont plus aptes à identifier les conflits potentiels. L'organisme ajoute que la plupart des adultes peuvent également conduire un véhicule routier, ce qui présente l'avantage de comprendre les « règles de la route » selon la perspective d'un conducteur.

Pour Ferrara (2001, p. 6), plutôt que l'âge, c'est la possession d'un permis de conduire qui devrait constituer la restriction d'accès aux autoroutes. L'auteur note néanmoins que l'âge fait partie des conditions exigées pour l'obtention d'un permis de conduire. Il suggère également que, en raison de la plus grande sévérité des collisions ayant lieu sur des autoroutes, les cyclistes devraient être tenus de porter un casque pour y circuler.

En ce qui a trait à la circulation des cyclistes la nuit, aucune restriction spécifique à ce sujet n'a été identifiée dans le cadre du présent mémoire. La noirceur et la présence de brouillard ont cependant été identifiées comme augmentant la sévérité des collisions (Klop & Khattak,

1999, cités par Ferrara, 2001, p. 34). Selon le MTQ (2008b, p. 16), bien que seulement 1 % des collisions impliquant au moins un cycliste se produisent la nuit, la probabilité qu'une telle collision soit mortelle est 10 fois plus grande que le jour, soit 7 % contre 0,7 %. Il est à noter qu'au Québec, les cyclistes circulant la nuit sont tenus de munir leur bicyclette d'un phare ou d'un feu blanc à l'avant et d'un feu rouge à l'arrière (CQLR c C-24.2 § 233).

Quant à la circulation des cyclistes en hiver, aucune restriction spécifique à ce sujet n'a été identifiée dans le cadre des présents travaux. Les enjeux particuliers liés à une telle circulation font néanmoins l'objet d'une analyse distincte à la section 4.2.6.

Bien que des restrictions existent, ou puissent être envisagées, une réflexion visant à renforcer les restrictions d'accès pour les cyclistes, s'il y a lieu, ne devrait pas concerner uniquement les autoroutes, mais l'ensemble des aménagements routiers dont la vitesse affichée est relativement élevée. En effet, dans l'optique où l'on conclut que la circulation des cyclistes sur un accotement autoroutier est préférable aux alternatives, on doit également considérer la sécurité des cyclistes en conditions nocturnes ou enneigées ainsi que celle des jeunes cyclistes sur ces alternatives.

4.2.6 Circulation en conditions hivernales

Selon Vélo Québec (2021, p. 4), des dizaines de milliers de cyclistes circulent l'hiver au Québec. Ailleurs au Canada, certains cyclistes circulent même sur des autoroutes pendant cette saison, comme le montre la Figure 4.9.

Le déneigement de routes disposant de plusieurs voies par direction nécessite des techniques de déneigement adaptées. Celles-ci consistent notamment à former un convoi de chasse-neige, comme représenté à la Figure 4.10. Les véhicules du convoi déplacent progressivement la neige vers l'accotement extérieur, où circuleraient les cyclistes. Cette situation entraîne la formation d'un andain de neige de grande dimension. Le danger causé par cette situation est d'autant plus grand que les chasse-neige circulent à une vitesse relativement élevée sur les autoroutes.

Dans le cadre du présent mémoire, aucune mention de l'adaptation des méthodes de déneigement n'a été relevée. Toutefois, contourner les cyclistes circulant sur l'accotement revêtu pose un enjeu fonctionnel, puisque l'andain de neige pourrait alors empiéter sur les voies de circulation.

Il est à noter qu'on retrouve un enjeu similaire sur plusieurs routes nationales ou régionales dotées d'une configuration similaire où la vitesse affichée atteint couramment jusqu'à 90 km/h. Il s'agit donc d'une problématique qui dépasse la circulation des cyclistes spécifiquement sur l'accotement revêtu des autoroutes, de même que le cadre des présents travaux.

Le déneigement des autoroutes devrait néanmoins s'effectuer en portant une attention particulière à maintenir dégagée l'entière largeur de l'accotement revêtu. De même, advenant la mise en place d'aménagements dédiés aux cyclistes, par exemple des anses pour cyclistes, ceux-ci devraient être déneigés. Le déneigement de tels aménagements est d'ailleurs un enjeu soulevé par Schonfeld et al. (2016, p. 5).



Figure 4.9 Cycliste circulant sur l'accotement revêtu d'une autoroute en conditions hivernales (Terre-Neuve-et-Labrador)
Félix-Antoine Tremblay (2020)



Figure 4.10 Convoi de chasse-neige sur une autoroute (Ontario)
Adaptée de The City of Toronto (2014)

4.2.7 Potentiel d'application en milieu urbain

Comme mentionné en introduction, le présent mémoire se limite aux milieux ruraux et périurbains. Toutefois, dans le cadre de ses travaux, Ferrara (2001, p. 10) pose les questions suivantes : « Est-ce que la sécurité est la même sur les autoroutes à accès contrôlé urbaines et rurales? Devraient-elles être évaluées différemment? » [Traduction libre] Tout compte fait, l'auteur n'y répond malheureusement pas spécifiquement.

En établissant le cadre de la recherche, le choix des milieux rural et périurbain était d'abord motivé par l'hypothèse que des alternatives préférables étaient généralement présentes en milieu urbain. Selon la FHWA (2018), certaines routes *Interstate* en milieu urbain ont d'ailleurs été construites avec des pistes cyclables. Ensuite, les autoroutes en milieu urbain possèdent plusieurs caractéristiques qui peuvent leur être défavorables, telles que des débits de circulation plus élevés, une distance plus courte entre leurs échangeurs ainsi que des caractéristiques géométriques sous-optimales (accotements étroits, courbes serrées, grilles de puisard, etc.). L'AASHTO (1999, p. 61) résume ainsi la situation : « Normalement, les autoroutes à accès contrôlé en milieu urbain possèdent des caractéristiques qui nuisent grandement à l'autorisation de la circulation des cyclistes.

Néanmoins, les présents travaux n'ont pas permis d'identifier des éléments particuliers qui puissent disqualifier spécifiquement les autoroutes en milieu urbain en ce qui a trait à la circulation des cyclistes sur leurs accotements revêtus. En effet, toutes choses étant égales par ailleurs, l'évaluation d'aménagements possédant les mêmes caractéristiques défavorables devrait se conclure par le même résultat négatif, qu'ils se trouvent en milieu rural, périurbain ou urbain. Pour les raisons précédentes, on peut cependant anticiper que les probabilités soient plus faibles, en milieu urbain, de trouver une autoroute dont les caractéristiques sont satisfaisantes et où aucun itinéraire alternatif n'est préférable.

4.3 Méthode d'évaluation de l'accotement revêtu des autoroutes en vue d'y autoriser la circulation des cyclistes

Wilkinson et Moran (1986, p. 49) rapportent que l'Arizona Department of Transportation (ADOT) a adopté une politique permettant essentiellement l'usage de bicyclettes sur l'accotement revêtu des autoroutes à accès contrôlé, à moins qu'une alternative raisonnable et sécuritaire existe. Il note aussi que l'Association des Gouvernements de Pima, en Arizona, a quant à elle développé une méthode permettant de déterminer où de telles alternatives existent, afin de déterminer sur quelles sections d'autoroute à accès contrôlé l'usage de bicyclettes devait être interdit.

Toujours selon Wilkinson et Moran (1986, p. 49) cette méthode est basée sur celle qui a été utilisée par le Colorado Department of Transportation¹⁶ (CDOT) pour effectuer l'évaluation de son réseau *Interstate*. Celle-ci combine des facteurs de « sécurité » et de « commodité raisonnable » en se basant sur des données quantitatives.

Wilkinson et Moran (1986, p. 49) décrivent cette méthode comme ayant deux niveaux. Si une route alternative à l'autoroute à accès contrôlé est déterminée comme étant plus sécuritaire et commode des suites de l'analyse de premier niveau, une analyse plus poussée, c'est-à-dire de second niveau, doit être effectuée. Si cette seconde analyse indique toujours que cette alternative est plus sécuritaire et commode, la circulation à bicyclette sur l'autoroute à accès contrôlé doit être interdite. Au contraire, si aucune alternative n'existe ou si les alternatives ne sont pas plus sécuritaires ou ne sont pas raisonnablement commodes, cette circulation doit être autorisée.

Cette méthode pouvant être adaptée au contexte québécois est rapportée en détails à l'Annexe III.

¹⁶ Le *Colorado Department of Transportation* était nommé le *Colorado Department of Highways* à cette époque.

4.4 Élaboration de recommandations

Pour donner suite aux travaux précédemment exposés, trois recommandations peuvent être formulées, lesquelles concernent le comptage des cyclistes, les normes entourant les bandes rugueuses au Québec ainsi que la configuration des échangeurs où peuvent actuellement circuler les cyclistes.

4.4.1 Comptage des cyclistes

Le manque de données concernant les débits de cyclistes est un enjeu récurrent dans la littérature, tout comme les recommandations visant à y remédier, et le présent mémoire n'y fait pas exception. Comme l'exprime parfaitement Watkins et al. (2016, p. 43), « Il est impératif que les agences de transport investissent dans la récolte et l'archivage de données de comptages des usagers actifs si l'on souhaite analyser les aménagements cyclables de manière rigoureuse et impartiale » [Traduction libre]. Ces données sont non seulement nécessaires pour établir un portrait juste de la sécurité des cyclistes, mais également pour évaluer l'efficacité des aménagements mis en place.

Conformément aux recommandations de Watkins et al. (2016, p. 144), il est recommandé aux gestionnaires de réseaux routiers d'installer des compteurs permanents sur les itinéraires populaires ainsi que des compteurs mobiles sur les sites où l'achalandage envisagé est moins élevé. Ces compteurs doivent mesurer le débit et la vitesse des usagers, de même que les conditions dans lesquelles circulent les usagers.

En complément, il est recommandé que les compteurs véhiculaires permanents et mobiles considèrent également les cyclistes, et ce, indépendamment afin de pouvoir en extraire les données spécifiques. Il est également recommandé aux gestionnaires de réseaux routiers (villes, municipalités régionales de comté, ministères, etc.) de diffuser ces données au même titre que les données de comptage véhiculaire, par exemple sur la plateforme Données Québec (Gouvernement du Québec, 2023).

4.4.2 Modification à l'article 10.4 du tome II et ajout d'une référence à cet article au chapitre 15 du tome I de la norme sur les ouvrages routiers du MTQ

Le présent mémoire a permis de déterminer que les bandes rugueuses peuvent nuire au confort des cyclistes (Bucko & Khorashadi, 2001; Elefteriadou et al, 2000; Outcalt, 2001, cités par Schonfeld et al., 2016, p. 24). Néanmoins, on sait que leur présence réduit l'occurrence des sorties de route n'impliquant qu'un seul véhicule (SVROR) (Torbic, 2009, cité par Schonfeld et al., 2016, p. 24; Moeur, 2000, p. 93; MTQ, 2021b) et que la menace la plus importante pour les cyclistes est l'empiétement involontaire des conducteurs somnolents ou distraits sur l'accotement (Garder, 1995, p. 2).

Malgré le consensus observé en ce qui a trait à l'interruption des bandes rugueuses au bénéfice du confort des cyclistes (AASHTO, 2012, p. 4.9; MTO, 2014, p. 56; Moeur, 2000, p. 93), le MTQ (s.d.-c, § 10.4.2.2) prescrit actuellement leur ininterruption, sauf exception. Parallèlement, dans sa norme sur les ouvrages routiers, le MTQ (s.d.-b, s.d.-c) ne fait ni mention des cyclistes dans le chapitre sur les dispositifs d'alerte ni des bandes rugueuses dans le chapitre sur les voies cyclables. Cette situation pose également un enjeu en ce qui a trait à la largeur résiduelle de l'accotement revêtu en présence de bandes rugueuses, laquelle peut être impropre à la circulation des cyclistes (AASHTO, 2012, p. 4.9).

Dans les circonstances, il est recommandé au MTQ de modifier l'article 10.4 du tome II (MTQ, s.d.-c, § 10.4) de façon à prévoir des interruptions aux bandes rugueuses afin de les adapter à la circulation des cyclistes, lorsque leur présence est envisagée. De même, il est recommandé d'ajouter un article au chapitre 15 du tome I (MTQ, s.d.-b) afin de référer à l'article susmentionné et d'y ajouter des compléments d'information, au besoin.

4.4.3 Étudier l'aménagement des échangeurs majeurs où les cyclistes peuvent actuellement circuler

Les présents travaux ont permis d'établir que les échangeurs peuvent être difficiles à traverser pour les cyclistes lorsque les débits de circulation véhiculaire sont élevés ou lorsque leur aménagement est déficient (AASHTO, 2012, pp. 4.56-4.57).

Bien que la circulation des cyclistes soit actuellement interdite sur les autoroutes au Québec (CQLR c C-24.2 § 479), cela ne signifie pas que les cyclistes ne peuvent ou ne doivent pas circuler dans certains échangeurs majeurs au Québec. Deux de ces échangeurs ont été identifiés dans le cadre du présent mémoire : 1) l'échangeur de la R-169 et de la R-175, un échangeur en « T »; 2) l'échangeur de l'A-31 et de la R-158¹⁷, un échangeur en trèfle. La vitesse affichée des routes formant ces échangeurs est de 90 et 100 km/h.

Bien que les cyclistes puissent y circuler, aucun aménagement ou dispositif de signalisation leur étant dédié ou signalant leur présence n'est actuellement présent. De même, le MTQ (s.d.-e) ne propose aucun dessin normalisé pour la conception d'échangeurs accessibles aux cyclistes.

Il est donc recommandé au MTQ d'identifier les échangeurs majeurs où peuvent actuellement circuler les cyclistes et d'étudier leur aménagement en considérant spécifiquement la circulation des cyclistes afin de déterminer si des améliorations peuvent ou doivent être apportées à ces échangeurs afin d'y faciliter leur cheminement ainsi que d'y augmenter leur sécurité et leur confort

¹⁷ Puisque l'A-31 est une autoroute, les cyclistes ne peuvent actuellement circuler que sur la R-158 à travers cet échangeur

CONCLUSION

Le présent mémoire a pour objectif de formuler une méthode d'analyse permettant d'évaluer la possibilité d'autoriser les cyclistes à circuler sur l'accotement des autoroutes en milieu rural et périurbain ainsi que d'identifier les paramètres et les mesures de mitigation à considérer.

Pour y arriver, une revue de la littérature a été effectuée au sujet de deux thèmes distincts : 1) les caractéristiques et les interactions des usagers de la route; 2) les caractéristiques routières et leurs interactions avec le premier thème. Ce portrait de l'état des connaissances a permis de caractériser les enjeux soulevés par la circulation des cyclistes sur l'accotement des autoroutes, de même que par l'utilisation des alternatives. Il a également permis d'identifier les aménagements mis en place, ou pour le moins envisagés, afin d'accommoder la circulation des cyclistes sur l'accotement des autoroutes.

Sans s'y limiter, ces mesures incluent la mise en place de bandes rugueuses intermittentes; l'aménagement d'anses pour cyclistes ou l'élargissement de l'accotement revêtu à l'approche du point de croisement d'une bretelle autoroutière; la mise en place de passages dénivelés; l'obligation de quitter l'autoroute à l'approche de bretelles; et la mise en place de signalisation d'indication.

En consultant les différents documents de référence disponibles, notamment de trois études portant spécifiquement sur la circulation des cyclistes sur l'accotement des autoroutes, de nouveaux questionnements ont surgi, alors que d'autres se sont précisés. Ceux-ci incluent notamment les difficultés liées au contrôle de l'exposition et l'absence généralisée de mesures de mitigation sur les autoroutes où peuvent circuler les cyclistes.

Ces constats et questionnements ont permis de tracer les bases d'une méthode permettant ultimement d'analyser l'effet de cette circulation. Une partie de cette méthode visant d'ailleurs à servir d'intrant aux analyses subséquentes.

Le premier élément de la méthode développée sert précisément cette fin. Il s'agit de caractériser le cadre légal entourant actuellement la circulation des cyclistes sur l'accotement revêtu des autoroutes, une information nécessaire à la détermination du cadre de comparaison pour les analyses subséquentes. Le second élément d'analyse, soit la caractérisation du cadre normatif, poursuit dans cette lignée en permettant d'identifier les valeurs à considérer dans les deux analyses suivantes : celle de la capacité de réaction des usagers et celle du phénomène d'aspiration.

Ces deux éléments permettent pour leur part de produire des résultats quantifiables concernant deux éléments clefs pour assurer la sécurité des cyclistes circulant sur l'accotement des autoroutes.

L'ultime analyse consiste à étudier le bilan routier présenté dans le cadre d'autres travaux, nommément en Floride, en Californie et en Arizona (FDOT, 2015; Ferrara, 2001; Moeur & Bina, 2002), en complément avec l'analyse de nouvelles données, soit celles du Québec, où la circulation des cyclistes sur l'accotement des autoroutes est actuellement interdite. Ces nouvelles données concernent deux paires de routes incluant une autoroute et une route nationale ainsi qu'une cinquième route, soit une route nationale dont le gabarit a été récemment modifié pour en faire une route à accès limité et à chaussées séparées où la vitesse affichée maximale est la même que sur les autoroutes québécoises, soit 100 km/h.

En somme, ces cinq analyses qui forment la méthode produite dans le cadre des présents travaux répondent au principal objectif visé, soit de guider l'évaluation de la possibilité d'autoriser les cyclistes à circuler sur l'accotement des autoroutes. Elles répondent également aux deux premiers sous-objectifs, soit de déterminer l'état des connaissances entourant la circulation des cyclistes sur les autoroutes d'identifier les aménagements mis en place en lien avec cette circulation, s'il y a lieu.

Le présent mémoire répond également à son troisième et dernier sous-objectif, soit d'identifier une méthode d'analyse applicable au Québec permettant de déterminer dans quel contexte

devrait être autorisée la circulation des cyclistes sur l'accotement des autoroutes en milieu rural et périurbain, s'il y a lieu. En effet, Wilkinson et Moran (1986, p. 48) rapportent une méthode utilisée par le CDOT, laquelle peut être adaptée au contexte québécois.

Cette méthode qui comporte deux niveaux d'analyse consiste à déterminer si une alternative raisonnable et sécuritaire à l'autoroute analysée existe. Une telle alternative est comparée à l'autoroute en fonction de la longueur du détour que son utilisation représente ainsi que d'un ensemble de facteurs mesurables influençant directement la sécurité des cyclistes sur les routes.

Dans le cadre de travaux subséquents, il apparaît souhaitable de procéder aux analyses formulées afin de répondre à la question sous-jacente : devrait-on autoriser les cyclistes à circuler sur l'accotement d'autoroutes en milieu rural et périurbain?

Advenant que la réponse à cette question soit positive, conformément aux recommandations de Wilkinson et Moran (1986, p. 49), la méthode susmentionnée d'évaluation de l'accotement revêtu des autoroutes en vue d'y autoriser la circulation des cyclistes devra être mise à jour et adaptée au contexte québécois afin de déterminer spécifiquement quels tronçons autoroutiers sont appropriés à la circulation des cyclistes.

RECOMMANDATIONS

Comptage des cyclistes

- Il est recommandé aux gestionnaires de réseaux routiers d'installer des compteurs de cyclistes permanents sur les itinéraires populaires ainsi que des compteurs mobiles sur les sites où l'achalandage envisagé est moins élevé;
- Il est recommandé que les compteurs véhiculaires permanents et mobiles considèrent également les cyclistes, et ce, indépendamment afin de pouvoir en extraire les données spécifiques;
- Il est recommandé aux gestionnaires de réseaux routiers de diffuser les données de comptages de cyclistes au même titre que les données de comptages véhiculaires.

Modification à l'article 10.4 du tome II et ajout d'une référence à cet article au chapitre 15 du tome I de la norme sur les ouvrages routiers du MTQ

- Il est recommandé au MTQ de modifier l'article 10.4 du tome II de sa norme sur les ouvrages routiers (MTQ, s.d.-c, § 10.4) de façon à prévoir des interruptions aux bandes rugueuses afin de les adapter à la circulation des cyclistes, lorsque leur présence est envisagée;
- Il est recommandé au MTQ d'ajouter un article au chapitre 15 du tome I de sa norme sur les ouvrages routiers (MTQ, s.d.-b) afin de référer à l'article susmentionné et d'y ajouter des compléments d'information, au besoin.

Étudier l'aménagement des échangeurs majeurs où les cyclistes peuvent actuellement circuler

- Il est recommandé au MTQ d'identifier les échangeurs majeurs où peuvent actuellement circuler les cyclistes et d'étudier leur aménagement en considérant spécifiquement la circulation des cyclistes afin de déterminer si des améliorations peuvent ou doivent être apportées à ces échangeurs afin d'y faciliter leur cheminement ainsi que d'y augmenter leur sécurité et leur confort.

ANNEXE I

VITESSE AFFICHÉE SUR LES AUTOROUTES DU CANADA

Tableau A I-1 Vitesse affichée maximale sur les autoroutes du Canada

Province ou territoire	Milieu rural	Référence
Alberta	110 km/h 100 km/h	RSA 2000, c T-6 § 106(a); RSA 2000, c T-6 § 108(1)(a); Alberta Ministry of Transportation (2018, p. 34)
Colombie-Britannique	Jusqu'à 120 km/h	RSBC 1996, c 318 § 146(2); British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure (2018)
Île-du-Prince-Édouard	s.o.	s.o.
Manitoba	110 km/h 100 km/h	CCSM c H60 § 94.3(3)
Nouveau-Brunswick	110 km/h 100 km/h	RSNB 1973, c M-17 § 140(1)(c); Government of New Brunswick (s.d.)
Nouvelle-Écosse	Jusqu'à 110 km/h	RSNS 1989, c 293 § 106(2); Nova Scotia Department of Transportation and Public Works (1997)
Ontario	110 km/h 100 km/h	Ministry of Transportation of Ontario (2019c)
Québec	100 km/h	CQLR c C-24.2 § 328(1)
Saskatchewan	110 km/h 100 km/h	Hunt et al. (2004, p. 2)
Terre-Neuve-et-Labrador	100 km/h	RSNL 1990, c H-3 § 110(2)(a)
Nunavut	s.o.	s.o.
Territoires du Nord-Ouest	s.o.	s.o.
Yukon	s.o.	s.o.

ANNEXE II

VITESSE AFFICHÉE SUR LES AUTOROUTES DES ÉTATS-UNIS

Tableau A II-1 Vitesse affichée maximale sur les routes à accès limité des États-Unis
Adapté de Insurance Institute for Highway Safety (2019)

État	<i>Routes Interstate rurales</i>	<i>Routes Interstate urbaines</i>	<i>Autres routes à accès limité</i>
Alabama	70 MPH (113 km/h)	65 MPH (105 km/h)	65 MPH (105 km/h)
Alaska	65 MPH (105 km/h)	55 MPH (89 km/h)	65 MPH (105 km/h)
Arizona	75 MPH (121 km/h)	65 MPH (105 km/h)	65 MPH (105 km/h)
Arkansas	75 MPH (121 km/h) 70 MPH (113 km/h) ¹⁸	65 MPH (105 km/h)	75 MPH (121 km/h) 70 MPH (113 km/h) ¹⁸
California	70 MPH (113 km/h) 55 MPH (89 km/h) ¹⁸	65 MPH (105 km/h) 55 MPH (89 km/h) ¹⁸	70 MPH (113 km/h) 55 MPH (89 km/h) ¹⁸
Colorado	75 MPH (121 km/h)	65 MPH (105 km/h)	65 MPH (105 km/h)
Connecticut	65 MPH (105 km/h)	55 MPH (89 km/h)	65 MPH (105 km/h)
Delaware	65 MPH (105 km/h)	55 MPH (89 km/h)	65 MPH (105 km/h)
District of Columbia	s.o.	55 MPH (89 km/h)	s.o.
Florida	70 MPH (113 km/h)	65 MPH (105 km/h)	70 MPH (113 km/h)
Georgia	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)	65 MPH (105 km/h)
Hawaii	60 MPH (97 km/h)	60 MPH (97 km/h)	55 MPH (89 km/h)
Idaho	80 MPH (129 km/h) 75 MPH (121 km/h) 70 MPH (113 km/h) ¹⁸	80 MPH (129 km/h) 75 MPH (121 km/h) 65 MPH (105 km/h) ¹⁸	70 MPH (113 km/h)
Illinois	70 MPH (113 km/h)	55 MPH (89 km/h)	65 MPH (105 km/h)
Indiana	70 MPH (113 km/h) 65 MPH (105 km/h) ¹⁸	55 MPH (89 km/h)	60 MPH (97 km/h)
Iowa	70 MPH (113 km/h)	55 MPH (89 km/h)	70 MPH (113 km/h)
Kansas	75 MPH (121 km/h)	75 MPH (121 km/h)	75 MPH (121 km/h)

¹⁸ Vitesse maximale applicable aux poids lourds (voir Figure A II-2)

Tableau A II-1 Vitesse affichée maximale sur les routes à accès limité des États-Unis (suite)
Adapté de Insurance Institute for Highway Safety (2019)

État	Routes <i>Interstate</i> rurales	Routes <i>Interstate</i> urbaines	Autres routes à accès limité
Kentucky	70 MPH (113 km/h) 65 MPH (105 km/h)	65 MPH (105 km/h)	65 MPH (105 km/h)
Louisiana	75 MPH (121 km/h)	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)
Maine	75 MPH (121 km/h)	75 MPH (121 km/h)	75 MPH (121 km/h)
Maryland	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)
Massachusetts	65 MPH (105 km/h)	65 MPH (105 km/h)	65 MPH (105 km/h)
Michigan	75 MPH (121 km/h) 70 MPH (113 km/h) 65 MPH (105 km/h) ¹⁸	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)
Minnesota	70 MPH (113 km/h)	65 MPH (105 km/h)	65 MPH (105 km/h)
Mississippi	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)
Missouri	70 MPH (113 km/h)	60 MPH (97 km/h)	70 MPH (113 km/h)
Montana	80 MPH (129 km/h) 70 MPH (113 km/h) ¹⁸	65 MPH (105 km/h)	70 MPH (113 km/h) ¹⁹ 65 MPH (105 km/h) ²⁰
Nebraska	75 MPH (121 km/h)	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)
Nevada	80 MPH (129 km/h)	65 MPH (105 km/h)	70 MPH (113 km/h)
New Hampshire	70 MPH (113 km/h) 65 MPH (105 km/h)	65 MPH (105 km/h)	55 MPH (89 km/h)
New Jersey	65 MPH (105 km/h)	55 MPH (89 km/h)	65 MPH (105 km/h)
New Mexico	75 MPH (121 km/h)	75 MPH (121 km/h)	65 MPH (105 km/h)
New York	65 MPH (105 km/h)	65 MPH (105 km/h)	65 MPH (105 km/h)
North Carolina	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)
North Dakota	75 MPH (121 km/h)	75 MPH (121 km/h)	70 MPH (113 km/h)
Ohio	70 MPH (113 km/h)	65 MPH (105 km/h)	70 MPH (113 km/h)
Oklahoma	80 MPH (129 km/h) 75 MPH (121 km/h)	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)

¹⁹ Vitesse maximale applicable le jour (voir Figure A II-2)

²⁰ Vitesse maximale applicable la nuit (voir Figure A II-2)

Tableau A II-1 Vitesse affichée maximale sur les routes à accès limité des États-Unis (suite)
Adapté de Insurance Institute for Highway Safety (2019)

État	Routes <i>Interstate</i> rurales	Routes <i>Interstate</i> urbaines	Autres routes à accès limité
Oregon	70 MPH (113 km/h) 65 MPH (105 km/h) ¹⁸ 65 MPH (105 km/h) 55 MPH (89 km/h) ¹⁸	55 MPH (89 km/h)	65 MPH (105 km/h)
Pennsylvania	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)
Rhode Island	65 MPH (105 km/h)	55 MPH (89 km/h)	55 MPH (89 km/h)
South Carolina	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)	60 MPH (97 km/h)
South Dakota	80 MPH (129 km/h)	80 MPH (129 km/h)	70 MPH (113 km/h)
Tennessee	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)
Texas	85 MPH (137 km/h) 80 MPH (129 km/h) 75 MPH (121 km/h)	75 MPH (121 km/h)	75 MPH (121 km/h)
Utah	80 MPH (129 km/h) 75 MPH (121 km/h)	65 MPH (105 km/h)	75 MPH (121 km/h)
Vermont	65 MPH (105 km/h)	55 MPH (89 km/h)	50 MPH (80 km/h)
Virginia	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)	65 MPH (105 km/h)
Washington	75 MPH (121 km/h) 70 MPH (113 km/h) 60 MPH (97 km/h) ¹⁸	60 MPH (97 km/h)	60 MPH (97 km/h)
West Virginia	70 MPH (113 km/h)	55 MPH (89 km/h)	65 MPH (105 km/h)
Wisconsin	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)	70 MPH (113 km/h)
Wyoming	80 MPH (129 km/h) 75 MPH (121 km/h)	80 MPH (129 km/h) 75 MPH (121 km/h)	70 MPH (113 km/h)



Figure A II-1 Signalisation pour vitesse affichée spécifique aux poids lourds (Montana)
Félix-Antoine Tremblay (2017)



Figure A II-2 Signalisation pour vitesse affichée spécifique aux poids lourds et aux conditions nocturnes (Montana)
Félix-Antoine Tremblay (2017)

ANNEXE III

ÉVALUATION DE L'ACCOTEMENT DES AUTOROUTES À ACCÈS CONTRÔLÉ COMME AMÉNAGEMENT CYCLABLE

ANALYSE DE NIVEAU I

Méthodologie pour la détermination de la commodité raisonnable

Wilkinson et Moran (1986, p. 50) indiquent que la commodité raisonnable varie en fonction de la distance de parcours que chaque alternative implique. L'information du Tableau A III-1 permet de déterminer son envergure.

Tableau A III-1 Acceptabilité d'une route alternative
Adapté de Wilkinson et Moran (1986, p. 50)

Distance à parcourir sur l' <i>Interstate</i> (mi)	Distance à parcourir sur l' <i>Interstate</i> (km)	Ratio maximal ²¹	Temps de parcours ajouté (min) ²²
0 à 25	0 à 40	1,20	25
26 à 50	41 à 80	1,15	38
51 à 100	81 à 161	1,10	50
101 ou plus	161 ou plus	1,05	Variable

Les données du Tableau A III-1 posent un problème aux changements de ratio. Par exemple, lorsque la distance à parcourir sur l'*Interstate* passe de 161 et à 162 km, la longueur d'une alternative viable est réduite de 177 km à 170 km. Cette variation est représentée à la Figure A III-1 et n'apparaît pas conforme à l'objectif de la méthode.

En utilisant les ratios proposés au Tableau A III-1 pour des distances à parcourir sur l'*Interstate* de 20, 60, 120, 200 et 300 km, on peut générer l'abaque de la Figure A III-2. Celle-ci ne présente pas la variation précédemment mentionnée et devrait donc être priorisée lors de l'application de la méthode de Wilkinson et Moran (1986, p. 50).

²¹ Longueur de la route alternative par rapport à la longueur de l'autoroute à accès contrôlé

²² Basé sur une vitesse de 12 MPH (19 km/h)

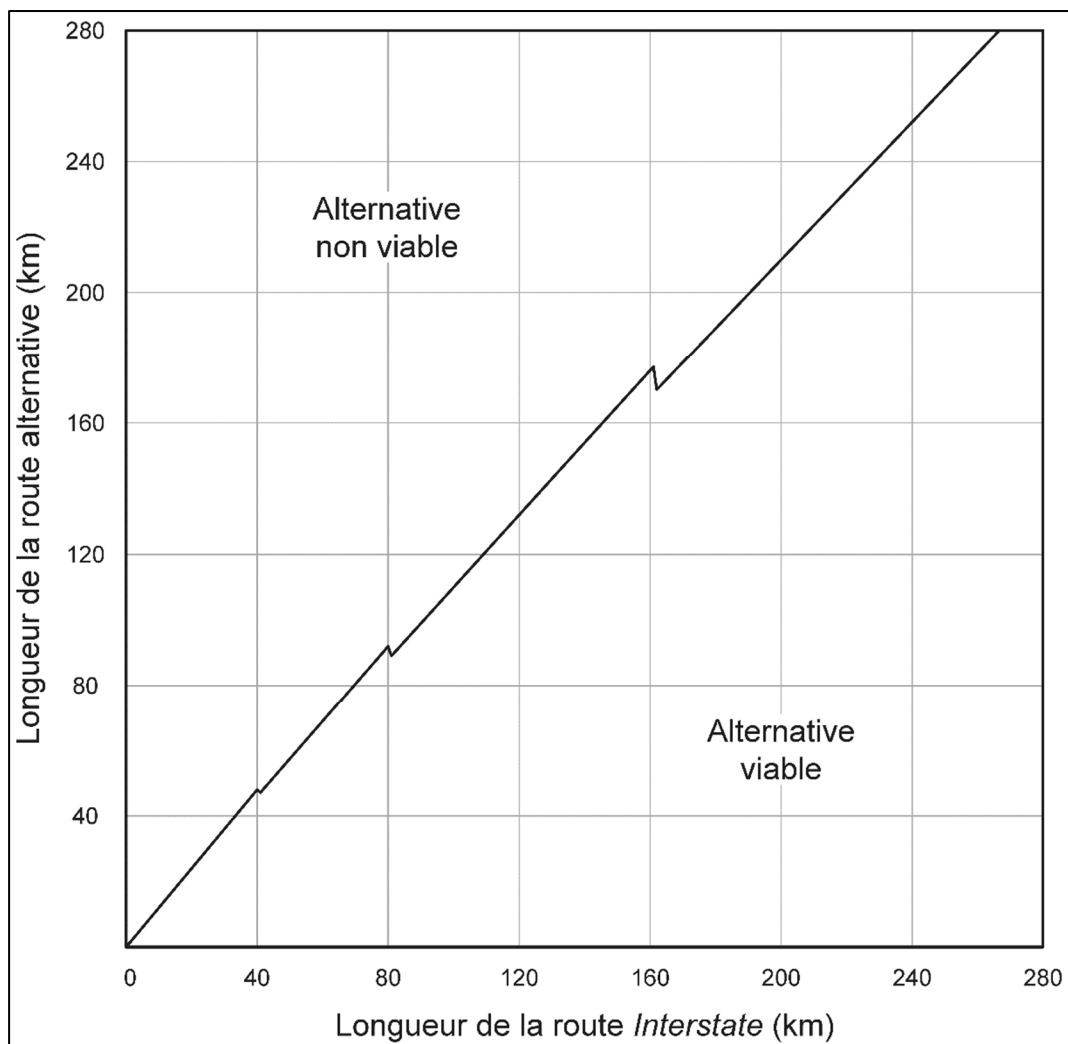


Figure A III-1 Longueur de l'alternative viable (Wilkinson et Moran)
Adaptée de Wilkinson et Moran (1986, p. 50)

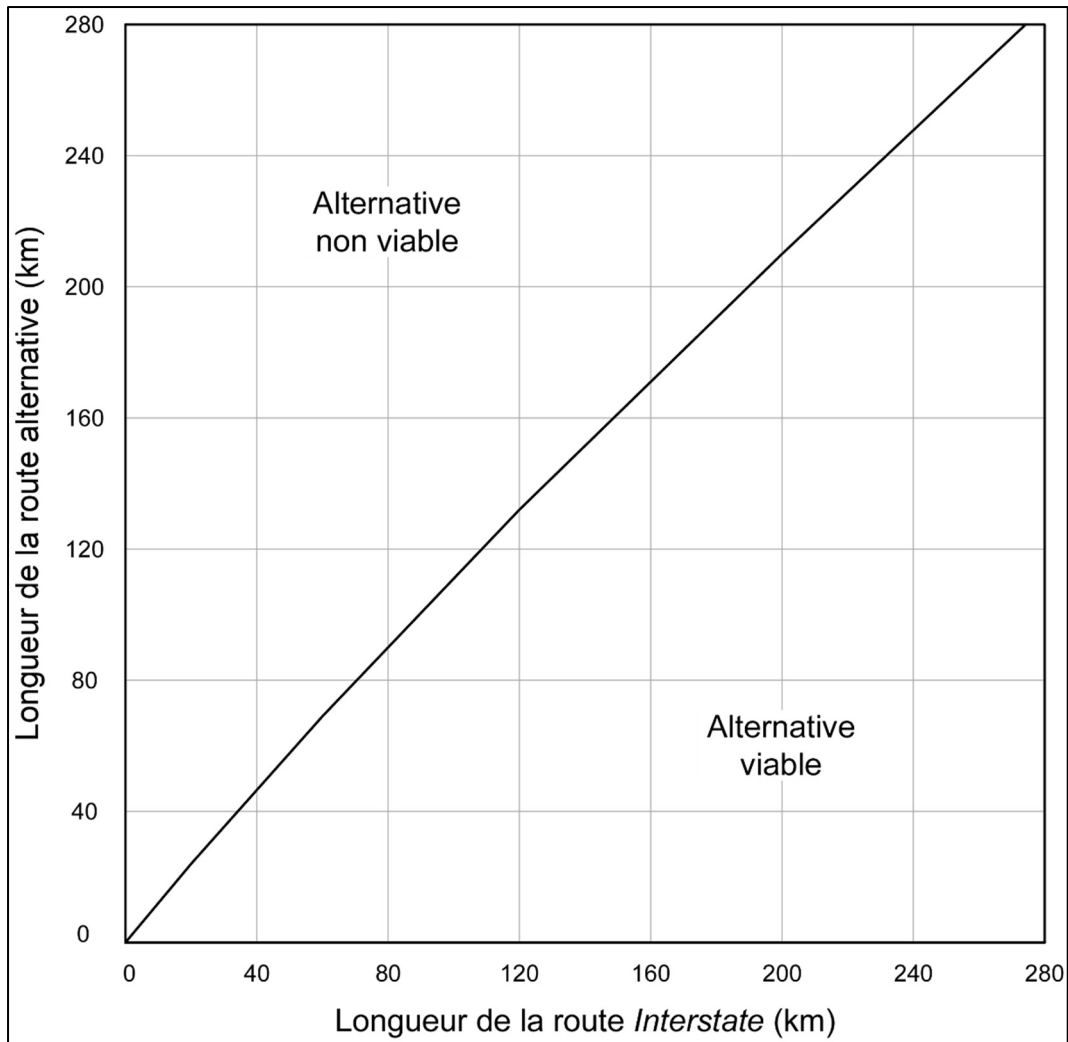


Figure A III-2 Longueur de l'alternative viable (proposée)
Adaptée de Wilkinson et Moran (1986, p. 50)

Méthodologie pour la détermination de la sécurité

Wilkinson et Moran (1986, p. 50) se basent sur des travaux du CDOT pour déterminer une liste de facteurs mesurables influençant directement la sécurité des cyclistes sur les routes. Ceux-ci incluent, sans ordre particulier : la distance de visibilité; le pourcentage de véhicules lourds; les pentes; le stationnement sur rue; la largeur des voies, dont l'accotement revêtu; le débit journalier; les obstacles divers, comme les barrières canadiennes et les passages à niveau; la condition de la chaussée, dont l'accotement revêtu; les flux croisés; la vitesse affichée; et le taux de sorties de route n'impliquant qu'un seul véhicule (SVROR).

Parmi ces facteurs, on retient : la vitesse affichée par rapport à la largeur des voies; le débit journalier par rapport à la largeur des voies; ainsi que le taux de SVROR, puis on effectue les comparaisons suivantes entre les routes alternatives et la route *Interstate*. Le pointage le moins élevé représente l'aménagement le plus sécuritaire.

Comparaison entre les taux de SVROR :

Le taux de SVROR est exprimé en fonction du nombre de véhicules-kilomètres. La route ayant le taux le plus faible obtient « 0 » points alors que celle ayant le taux le plus élevé obtient « 5 » points. Les autres routes analysées obtiennent un pointage déterminé par interpolation linéaire entre la route au taux le plus élevé et la route au taux le plus faible.

Comparaison entre les débits journaliers par rapport à la largeur des voies :

Un pointage est attribué à chaque route, conformément à la Figure A III-3.

Comparaison entre les débits journaliers par rapport à la largeur des voies :

Un pointage est attribué à chaque route, conformément à la Figure A III-4.

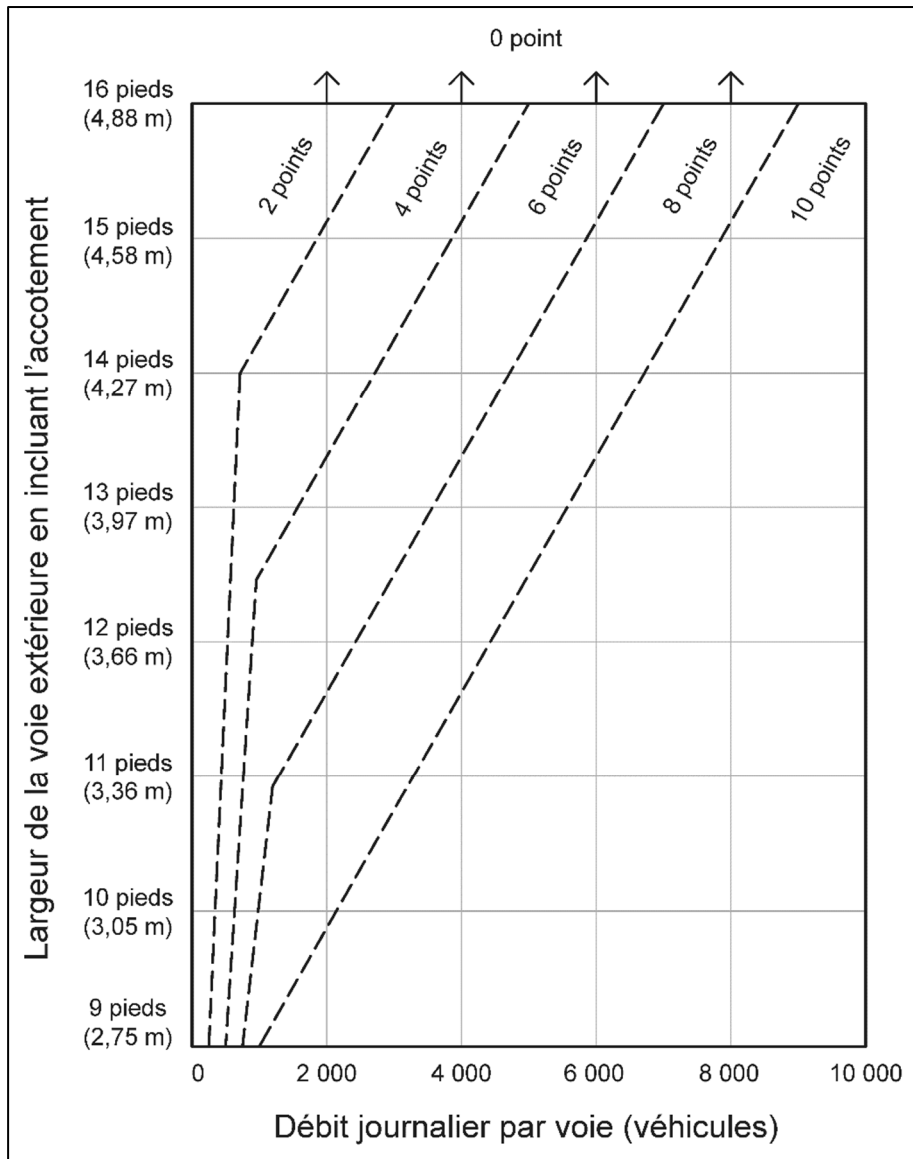


Figure A III-3 Évaluation de la largeur de la voie de circulation extérieure en fonction du débit journalier
Adaptée de Wilkinson et Moran (1986, p. 52)

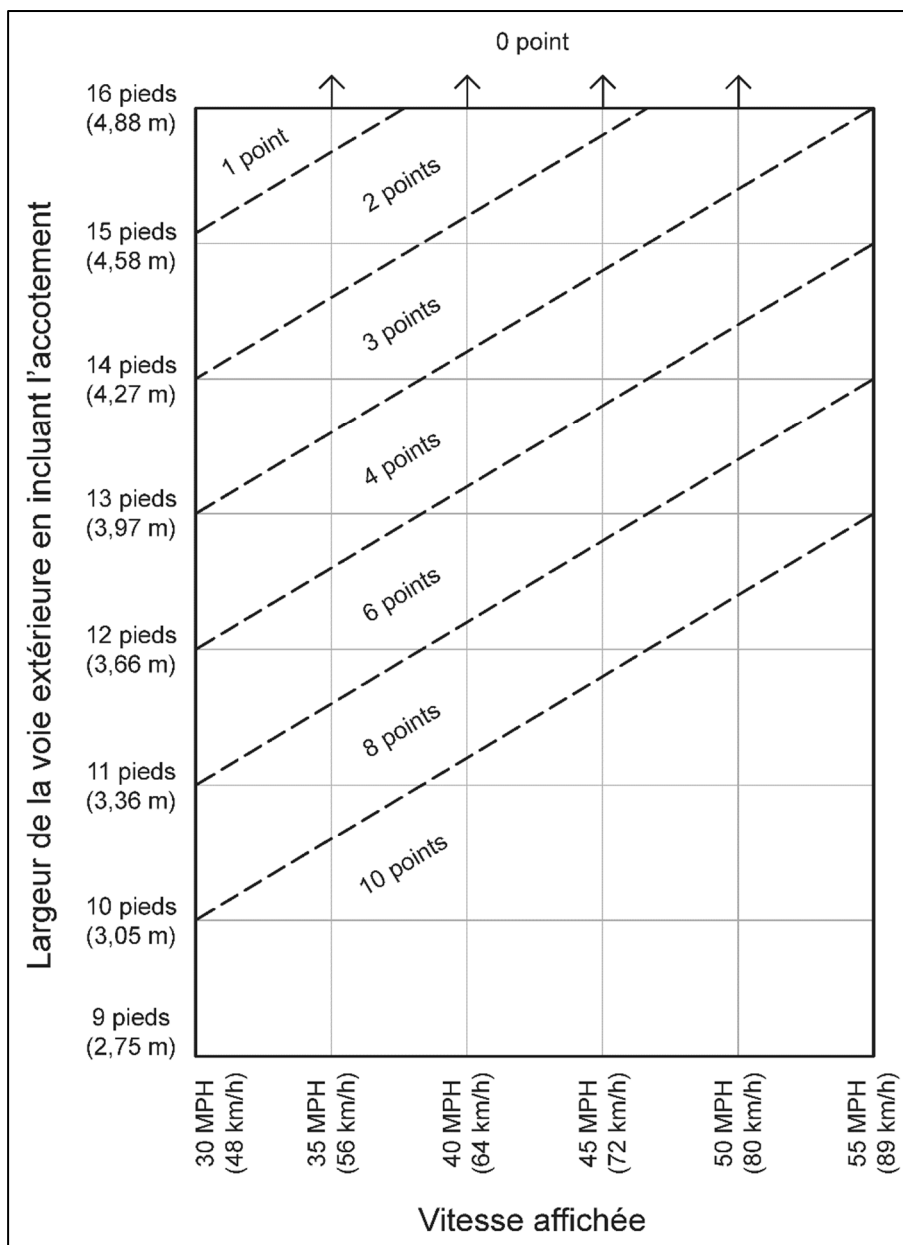


Figure A III-4 Évaluation de la largeur de la voie de circulation extérieure en fonction de la vitesse affichée
Adaptée de Wilkinson et Moran (1986, p. 54)

Méthodologie de l'analyse composée

Tout trajet analysé obtient un pointage de sécurité (la somme des pointages obtenus précédemment) et un statut de commodité raisonnable. Pour les alternatives dont le pointage est plus bas que celui de la route *Interstate* et dont la distance ne dépasse pas le ratio maximal déterminé au Tableau A III-1, on effectue une analyse de second niveau. Les autres routes ne constituent pas des alternatives viables.

Si aucune alternative viable à la route *Interstate* n'existe, aucune évaluation supplémentaire n'est nécessaire. L'usage de bicyclettes sur ces segments de route *Interstate* devrait être autorisé sans délai (Wilkinson & Moran, 1986, p. 57).

ANALYSE DE NIVEAU II

L'analyse de second niveau est justifiée lorsqu'une route alternative à la route *Interstate* répond aux conditions de l'analyse de premier niveau. Wilkinson et Moran (1986, p. 53) décrivent l'analyse de second niveau comme suit. Le pointage le moins élevé représente l'aménagement le plus sécuritaire.

Méthodologie pour la détermination de la sécurité

Condition de la chaussée, dont l'accotement (0 à 10 points) :

- Enrobé bitumineux lisse et continu : 0 point;
- Enrobé bitumineux ou béton avec craques ou joints verticaux : 4 à 6 points;
- Craques importantes, nids de poule et conditions pouvant causer des dommages aux roues des bicyclettes ou une perte de contrôle des cyclistes : 9 à 10 points;
- Bandes rugueuses continues : 6 à 8 points;
- Bandes rugueuses partiellement remplies pour le passage des cyclistes : 2 à 4 points;
- Bandes rugueuses conçues pour le passage des cyclistes : 0 point.

Stationnement sur rue (0 à 5 points) :

- Pas de stationnement sur rue : 0 point;
- Stationnement en parallèle : 2,5 points;
- Stationnement à angle : 5 points.

Pentes (0 à 5 points) :

Un pointage est attribué à chaque route, conformément à la Figure A III-5.

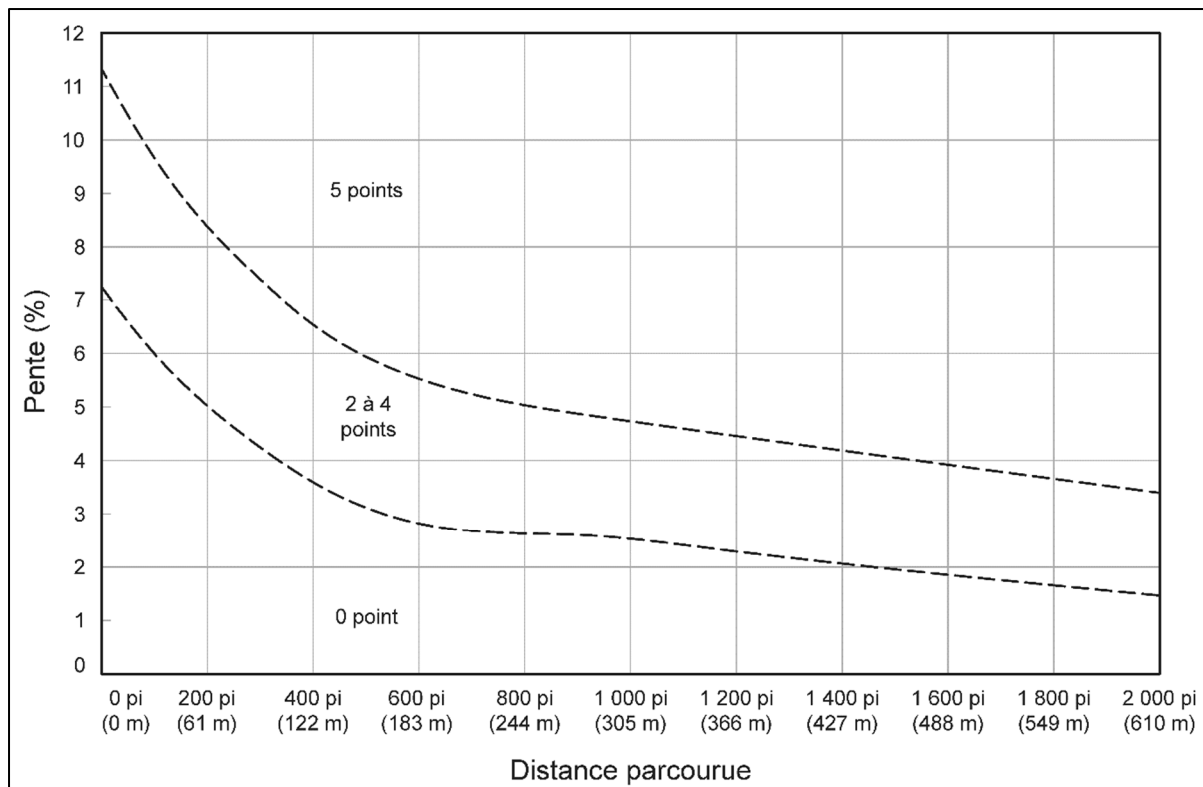


Figure A III-5 Évaluation d'une pente en fonction de sa longueur
Adaptée de Wilkinson et Moran (1986, p. 56)

Distance de visibilité (0 à 5 points) :

- Pas de problème de visibilité : 0 point;
- Problème de visibilité : jusqu'à 5 points.

Flux croisés (0 à 5 points) :

Évaluation des risques liés aux intersections avec des routes à haut débit, à la quantité d'intersections et la présence de secteurs commerciaux.

Obstacles divers (0 à 5 points) :

- Barrière canadienne : 5 points;
- Passage à niveau : 3 à 5 points;
- Puisards non-adapté aux bicyclettes : 5 points;
- Puisards non-adapté aux bicyclettes avec marquage : 1 point;
- Puisards adaptés aux bicyclettes : 0 point;
- Présence de gravier sur la chaussée : 3 à 5 points.

Pourcentage de véhicules lourds (0 à 5 points) :

Le pourcentage de véhicules lourds est la part du DJMA constituée de tels véhicules. Les véhicules récréatifs et les véhicules avec remorque sont assimilés aux véhicules lourds.

- Moins de 1 % : 0 point;
- 1 à 5 % : 1 point;
- 6 à 10 % : 3 points;
- Plus de 10 % : 5 points.

Méthodologie de l'analyse composée

Tout trajet analysé obtient un pointage de sécurité (la somme des pointages obtenus précédemment). La route ayant le pointage le plus bas est considérée la plus sécuritaire, mais si plusieurs routes se trouvent dans un intervalle de 5 points, celles-ci sont considérées équivalentes en termes de sécurité et la route la plus courte doit être retenue pour le transit cycliste.

APPENDICE A

LEXIQUE DES AMÉNAGEMENTS CYCLABLES

1) Chaussée désignée (*Shared roadway with sharrows*) :

Une chaussée désignée est un aménagement cyclable unidirectionnel, généralement dans le sens de la circulation des véhicules routiers. Il est cependant parfois conçu sous forme bidirectionnelle sur des rues à sens unique dont le débit et la vitesse affichée sont peu élevés. Le dessin normalisé V-7-028 du MTQ (s.d.-e) représente par exemple une chaussée désignée à contresens. La Figure AA.1 montre des chaussées désignées au nord de Saint-Aimé-des-Lacs (Québec).

« [Une] chaussée désignée est une route reconnue comme voie cyclable où les cyclistes et les automobilistes partagent la même chaussée et la même voie de circulation. » (INSPQ, 2013).
« [Elle] ne comprend aucun aménagement particulier, délinéateur ou autre séparateur physique, ni aucune bordure peinte. Sa signalisation [...] se résume à un marquage au sol et à une signalisation rappelant aux automobilistes la présence potentielle de cyclistes sur la chaussée. » (MTQ, s.d.-b, § 15.3.1).



Figure AA.1 Chaussée désignée
Félix-Antoine Tremblay (2022)

2) Accotement revêtu (*Paved shoulder*) :

L'accotement revêtu est un aménagement cyclable unidirectionnel constitué d'une sur largeur de la partie revêtue de l'accotement. Celui-ci est aménagé de part et d'autre de la route et les cyclistes doivent y circuler dans le même sens que les véhicules automobiles (MTQ, s.d.-b, § 15.3.2.1). Il s'agit d'un aménagement « conçu pour les itinéraires cyclables sur des routes en milieu rural » (INSPQ, 2013). La Figure AA.2 présente l'accotement revêtu du kilomètre 110 de la R-175 (Québec).



Figure AA.2 Accotement revêtu
Félix-Antoine Tremblay (2020)

3) Bande cyclable (*Bike lane*) :

La bande cyclable est une voie réservée à l'usage exclusif des cyclistes et est située à droite des voies de circulation automobile, sauf s'il s'agit d'une bande en sens inverse (MTQ, s.d.-b, § 15.3.2.1). Il s'agit d'un aménagement cyclable unidirectionnel, lequel est toutefois souvent conçu sous forme bidirectionnelle. Un tel aménagement bidirectionnel est déconseillé et a été retiré de la nomenclature du MTQ (Vélo Québec, 2003; CROW, 2007; Clarke & Tracy, 1995; AASHTO, 1999; Landis, Vattikuti & Brannick, 1997, cités par Fortier, 2009, p. 29).

3a) Sans délinéateurs :

Lorsqu'elle n'a pas de délinéateurs, la bande cyclable est uniquement délimitée par un marquage au sol (INSPQ, 2013). La Figure AA.3 montre la bande cyclable bidirectionnelle sans délinéateur de la rue Dunsmuir à Vancouver (Colombie-Britannique). Il est à noter que celle-ci comporte une zone tampon la séparant des voies de circulation, bien que plusieurs bandes cyclables n'en soient pas dotées.



Figure AA.3 Bande cyclable bidirectionnelle sans délinéateurs
Reproduite sous licence [CC BY 2.0](https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/) (Krueger, 2010)

3b) Avec délinéateurs :

« Des délinéateurs peuvent être installés sur la ligne de séparation lorsqu'il peut y avoir empiétement des véhicules sur la bande [cyclable]. » (MTQ, s.d.-b, § 15.3.2.1). S'ils ne sont pas installés sur toute la longueur de la bande cyclable, ceux-ci peuvent l'être spécifiquement là où ce risque est élevé, par exemple à proximité d'une intersection (MTQ, s.d.-b, § 15.3.2.1). La Figure AA.4 montre deux bandes cyclables unidirectionnelles avec délinéateurs sur la R-132 à Verchères (Québec).



Figure AA.4 Bande cyclable unidirectionnelle avec délinéateurs
Reproduite avec la permission de Dévelotech Inc. (s.d.)

4) Piste cyclable (*bicycle path*) :

« La piste cyclable se distingue des autres types de voies cyclables par le fait qu'elle est toujours séparée physiquement de la circulation automobile, qu'elle soit aménagée en site propre ou à l'intérieur d'une emprise routière. » (MTQ, s.d.-b, § 15.3.3).

4a) Dans l'emprise routière :

La piste cyclable dans l'emprise routière est un aménagement cyclable unidirectionnel et exceptionnellement bidirectionnel, bien que souvent observé avec une telle configuration, comme sur la 1^{ère} rue Nord à Ann Arbor (Michigan), tel que le montre la Figure AA.5. Un tel aménagement bidirectionnel pose des problèmes similaires à ceux des bandes cyclables bidirectionnelles et devrait être envisagé « [...] seulement dans des conditions extrêmes et sur de très courtes distances [...]. » (Fortier, 2009, p. 36). Lorsqu'elle se trouve dans l'emprise routière, « [...] on doit installer une séparation physique continue entre la piste cyclable et la chaussée (bordure, terre-plein ou système de retenue). » (MTQ, s.d.-b, § 15.3.3.2). Le long d'une route à profil rural, c'est-à-dire sans bordure, une piste cyclable peut être séparée par un espace gazonné ou doté d'un revêtement distinctif d'une largeur minimale de 1,0 m (MTQ, s.d.-b, § 15.3.3.2).



Figure AA.5 Piste cyclable bidirectionnelle dans l'emprise routière
Reproduite sous licence [CC BY-NC-ND 2.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/) (Ross, 2020)

4b) En site propre :

Une piste cyclable en site propre possède sa propre emprise, par exemple une emprise ferroviaire désaffectée ou un droit de passage sur une propriété privée. Elle est habituellement bidirectionnelle, mais peut être unidirectionnelle. Lorsque les piétons et les patineurs partagent la piste cyclable en site propre, celle-ci est plutôt un « sentier polyvalent » (MTQ, s.d.-b, § 15.3.3.1). Pour ce type d'aménagement dans un contexte urbain, le MTQ (s.d.-e, DN 7.008) fait également usage du terme « piste cyclo-pédestre ». La Figure AA.6 montre la promenade des Aînés à Victoriaville (Québec), laquelle est aménagée sous forme de piste cyclable bidirectionnelle en site propre.



Figure AA.6 Piste cyclable bidirectionnelle en site propre
Adaptée de Ville de Victoriaville (2016)

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence métropolitaine de transport. (2016). Mesures préférentielles pour autobus. Repéré le 7 décembre 2019 à <https://www.newswire.ca/fr/news-releases/mesures-preferentielles-pour-autobus---mise-en-service-dune-nouvelle-voie-reservee-sur-lautoroute-10-entre-la-30-et-la-35-600022901.html>
- Alberta Ministry of Transportation. (2018). *Highway Geometric Design Guide*. Repéré à http://www.transportation.alberta.ca/Content/docType233/Production/HGDG_chap-a.pdf
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1999). *Guide for the Development of Bicycle Facilities*. Washington, DC.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2012). *Guide for the development of bicycle facilities*.
- Association des transports du Canada. (1999). *Guide canadien de conception géométrique des routes*. Ottawa, ON.
- Association des transports du Canada. (2001). *Best Practices for the Implementation of Shoulder and Centreline Rumble Strips*. Ontario, Canada.
- BikeWalk NC. (s.d.). Bicycle Detection at Traffic Signals. Repéré le 5 mars 2023 à <https://www.bikewalknc.org/bicycle-detection-at-traffic-signals/>
- Bil, M., Bilova, M., Dobias, M., & Andrasik, R. (2016). Circumstances and causes of fatal cycling crashes in the Czech Republic. *Traffic Inj Prev*, 17(4), 394-399. doi: 10.1080/15389588.2015.1094183. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26507371>
- Bilodeau, M. (2015). *L'état du vélo au Québec en 2015*. Vélo Québec. Repéré à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/modes-transport-utilises/velo/Documents/etat-velo-2015.pdf>
- British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure. (2018). *The Rural Safety and Speed Review: from 2013 to today*. Repéré le 7 décembre 2019 à <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/driving-and-transportation/reports-and-reference/reports-and-studies/planning-strategy-economy/speed-review/rural-safety-and-speed-review-post-implementation-update-2018.pdf>
- Bruneau, J.-F., & Houle, P.-L. (2011). *Passages de piste cyclable en milieux rural et périurbain*. Université de Sherbrooke. Repéré à <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1134267.pdf>

- Bruneau, J.-F., & Houle, P.-L. (2012). *Passages de piste cyclable en milieux rural et périurbain*. Université de Sherbrooke Repéré à <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1134268.pdf>
- Bruneau, J.-F., Morin, D., & Pouliot, M. (2004). *Problématique d'aménagement des passages de pistes cyclables en milieu rural* (n° RTQ-03-01). Sherbrooke, QC: Ministère des Transports du Québec. Repéré à <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/0776978.pdf>
- California Department of Transportation. (2010). *Complete Intersection: A Guide to Reconstructing Intersections and Interchanges for Bicyclists and Pedestrians*.
- Canadian Legal Information Institute. (s.d.). Canadian Legal Information Institute. Repéré le 23 février 2019 à <https://www.canlii.org/>
- Casetext, I. (2019). Casetext. Repéré le 5 mars 2019 à <https://casetext.com/>
- Cherry, C. R. (réalisateur). (2017). *Single Bicycle Crashes at Skewed Rail Crossing*. Repéré à <https://youtu.be/YfeQvbIFBks>
- Chiu, M., Clayton, C., Milen, G., Dowel, J., Ward, J., Robinson, J., . . . Groulx, I. (2017a). *Guide canadien de conception géométrique des routes : Chapitre 1 - Philosophie de conception*. Ottawa, ON: Association des transports du Canada.
- Chiu, M., Clayton, C., Milen, G., Dowel, J., Ward, J., Robinson, J., . . . Groulx, I. (2017b). *Guide canadien de conception géométrique des routes : Chapitre 4 - Éléments des profils en travers*. Ottawa, ON: Association des transports du Canada.
- Chiu, M., Clayton, C., Milen, G., Dowel, J., Ward, J., Robinson, J., . . . Groulx, I. (2017c). *Guide canadien de conception géométrique des routes : Chapitre 5 - Conception intégrée pour vélos*. Ottawa, ON: Association des transports du Canada.
- Chiu, M., Clayton, C., Milen, G., Dowel, J., Ward, J., Robinson, J., . . . Groulx, I. (2017d). *Guide canadien de conception géométrique des routes : Chapitre 7 - Aménagements des abords de route*. Ottawa, ON: Association des transports du Canada.
- Chiu, M., Clayton, C., Milen, G., Dowel, J., Ward, J., Robinson, J., . . . Groulx, I. (2017e). *Guide canadien de conception géométrique des routes : Chapitre 10 - Échangeurs*. Ottawa, ON: Association des transports du Canada.
- Dévelotech Inc. (s.d.). Piste cyclable unidirectionnelle.

- Dill, J., & McNeil, N. (2013). Four Types of Cyclists?: Examination of Typology for Better Understanding of Bicycling Behavior and Potential. *Transportation Research Record*, 2387(1), 138. doi: 10.3141/2387-15. Repéré à <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2387-15>
- Doctor, M., Merritt, G., & Moler, S. (2009). Designing Complex Interchanges. Repéré le 22 novembre 2019 à <https://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/09novdec/01.cfm>
- Éditeur officiel du Québec. (2010). *Loi modifiant le Code de la sécurité routière et d'autres dispositions législatives*. Repéré à <https://www.canlii.org/fr/qc/legis/loisa/lq-2010-c-34/derniere/lq-2010-c-34.pdf>.
- Federal Highway Administration. (2001). Synthesis of Shoulder Rumble Strip Practices and Policies. Repéré le 6 février 2020 à https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/research/exec_summary.htm
- Federal Highway Administration. (2009). *Embedded LEDs in Signs*. (FHWA-SA-09-006). Repéré à <https://cdn.xwalk.com/app/uploads/2019/10/21185638/Embedded-LEDs-in-Signs.pdf>.
- Federal Highway Administration. (2010). *Interstate System Access : Informational Guide*. Repéré à <https://www.fhwa.dot.gov/design/interstate/pubs/access/access.pdf>
- Federal Highway Administration. (2014). Model Inventory of Roadway Elements. Repéré le 30 avril 2023 à https://safety.fhwa.dot.gov/tools/data_tools/mirereport/mire_elements.cfm
- Federal Highway Administration. (2016). Traffic Performance of Three Typical Designs of New Jersey Jughandle Intersections. Repéré le 26 janvier 2020 à <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/07032/>
- Federal Highway Administration. (2017). HPMS Field Manual. Repéré le 24 novembre 2019 à <https://www.fhwa.dot.gov/ohim/hpmsmanl/chapt2.cfm>
- Federal Highway Administration. (2018). Interstate Frequently Asked Questions. Repéré le 24 novembre 2019 à <https://www.fhwa.dot.gov/interstate/faq.cfm>
- Federal Highway Administration. (s.d.). Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways. Repéré le 5 mars 2023 à <https://mutcd.fhwa.dot.gov/index.htm>
- Ferrara, T. C. (2001). *Statewide Safety Study of Bicycles and Pedestrians on Freeways, Expressways, Toll Bridges, and Tunnels*. San Jose, CA: San José State University. Repéré à <https://transweb.sjsu.edu/research/statewide-safety-study-bicycles-and-pedestrians-freeways-expressway-toll-bridges-and>

- Fitzpatrick, K., Carlson, P., Brewer, M., & Wooldridge, M. (2001). Design Factors That Affect Driver Speed on Suburban Streets. *Transportation Research Record*, 1751(1), 8. doi: 10.3141/1751-03
- Florida Department of Transportation. (2015). *FDOT Bicycles on Limited Access Facilities*. Tallahassee, FL. Repéré à <https://spacecoasttpo.com/wp-content/uploads/2015/08/01-Bicycles-on-LA-Causeways-Pilot-2015-Report-FINAL.pdf>
- Fortier, D. (2009). *Les aménagements cyclables un cadre pour l'analyse intégrée des facteurs de sécurité*. Québec, QC: Institut national de santé publique du Québec. Repéré à https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/925_AmePisteCyclablecorr.pdf
- Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2014). *Traffic and Highway Engineering* (5 éd.). Stamford, CT: Nelson Education.
- Garder, P. (1995). Rumble Strips or Not Along Wide Shoulders Designated for Bicycle Traffic? *Transportation Research Record*, 1(1502), 7. Repéré à <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1995/1502/1502-001.pdf>
- Google Inc. (2019a). Google. Repéré le 31 octobre 2019 à www.google.ca
- Google Inc. (2019b). Google Earth Pro.
- Google Inc. (2019c). Google Maps. Repéré le 3 décembre 2019 à <https://www.google.ca/maps/>
- Gouvernement du Québec. (2023). Partenariat Données Québec. Repéré le 15 novembre 2023 à <https://www.donneesquebec.ca/>
- Government of New Brunswick. (s.d.). Transportation. Repéré le 7 décembre 2019 à https://www2.gnb.ca/content/gnb/en/gateways/about_nb/transportation.html
- Hess, G., & Peterson, M. N. (2015). "Bicycles May Use Full Lane" Signage Communicates U.S. Roadway Rules and Increases Perception of Safety. *PLoS One*, 10(8), 17. doi: 10.1371/journal.pone.0136973. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26317355>
- Hunt, P., Larocque, B., & Gienow, W. (2004). Analysis of 110 km/hr Speed Limit: Implementation on Saskatchewan Divided Rural Highways. Dans *Annual Conference of the Transportation Association of Canada* Repéré à <http://conf.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2004/docs/s16/p-hunt.pdf>
- Hunter, W. W., Stewart, J. R., Stutts, J. C., Huang, H. H., & Pein, W. E. (1999). *A Comparative Analysis of Bicycle A Comparative Analysis of Bicycle Lanes Versus Wide Curb Lanes: Final Report* (n° FHWA-RD-99-034). Federal Highway Administration. Repéré à <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/pedbike/99034/99034.pdf>

- Institut national de santé publique du Québec. (2001). *Projet de politique de sécurité dans les transports Volet routier* (pp. 53).
- Institut national de santé publique du Québec. (2013). *Le planificateur d'aménagement cyclable*. Repéré le 22 novembre 2019 à https://planificateur-cyclable.com/dev/index.php?&lang=fr_CA&path=guide-utilisateur/
- Institute of Transportation Engineers. (2015). *Unsignalized Intersection Improvement Guide*. Repéré le 19 mars 2023 à <https://toolkits.ite.org/uiig/mutcd.aspx>
- Institute of Transportation Engineers. (2016). *Recommended Design Guidelines to Accommodate Pedestrians and Bicycles at Interchanges*. Washington, DC.
- Insurance Institute for Highway Safety. (2019). *Maximum posted speed limits by state*. Repéré le 7 décembre 2019 à <https://www.iihs.org/topics/speed/speed-limit-laws>
- Isaksson-Hellman, I., & Werneke, J. (2017). Detailed description of bicycle and passenger car collisions based on insurance claims. *Safety Science*, 92, 330-337. doi: 10.1016/j.ssci.2016.02.008
- Jacobson, M., Skene, M., Davidson, G., & Rawsthorne, D. (2009). *An Overview of Shared Use Lane Pavement Markings for Cyclists* présentée à 2009 Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Vancouver, British Columbia.
- Klop, J. R., & Khattak, A. J. (1999). Factors Influencing Bicycle Crash Severity on Two-Lane, Undivided Roadways in North Carolina. *Transportation Research Record*, 1674(1), 78-85. doi: 10.3141/1674-11. Repéré à <https://doi.org/10.3141/1674-11>
- Krueger, P. (2010). *Dunsmuir Separated Bike Lanes 504*. Flickr.
- Le Soleil. (2011). *Route 175: la limite de vitesse haussée à 100 km/h*. Repéré le 23 juillet 2023 à <https://www.lesoleil.com/2011/05/13/route-175-la-limite-de-vitesse-haussee-a-100-km-h-1bd0ef5bbcc9dc511b51c7b88e713b7b/>
- League of American Bicyclists. (s.d.). *Bicycle Treatment as a Vehicle Laws*. Repéré à <https://www.bikeleague.org/sites/default/files/TreatmentasaVehicleforWeb.pdf>
- Ling, Z., Cherry, C. R., & Dhakal, N. (2017). Factors influencing single-bicycle crashes at skewed railroad grade crossings. *Journal of Transport & Health*, 7(A), 54-63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.01.004>
- Lubitz, W. D., & Bryan, R. (2018). Wind loads on cyclists due to passing vehicles. Dans *Canadian Society for Mechanical Engineering International Congress 2018* (pp. 5). Repéré à <https://yorkspace.library.yorku.ca/server/api/core/bitstreams/07fdd412-4fc9-49b2-8d4a-e03fe6101e88/content>

- Massicotte, B. (2016). *Étude de faisabilité technique et des coûts sur le cycle de vie d'un tunnel entre les villes de Lévis et de Québec*. Montréal, QC: Ministère des Transports du Québec.
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (2008a). L'hiver au Québec, on roule avec des pneus d'hiver!
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (2008b). Politique sur le vélo.
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (2019a). L'organisation et ses engagements. Repéré le 8 août 2019 à https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/ministere/role_ministere/pages/mission.aspx
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (2019b). *Lexique*. Ministère des Transports du Québec,. doi: 978-2-550-82869-3. Repéré à http://www3.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/produits/ouvrage_routier/normes/lexique.fr.html
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec, 2020a. Données d'accidents - Recherche ETS.
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (2020b). Utilisation de l'accotement par les autobus *Guide des consignes aux conducteurs et aux organismes formateurs* (pp. 11).
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec, 2021a. Données d'accidents - Recherche ETS.
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (2021b). Implantation de bandes rugueuses sur la route 170, à Saguenay – Mise en place d'un projet pilote pour améliorer la sécurité des cyclistes. Repéré le 5 février 2023 à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/salle-de-presse/nouvelles/Pages/bandes-rugueuses-route-170-saguenay.aspx>
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (2022). Voies réservées. Repéré le 9 décembre 2020 à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/securite-signalisation/regles-circulation/regle-circulation-vehicules-routiers/voies-reservees-autoroutes/Pages/voies-reservee.aspx>
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (2023). Inventaire et inspection des structures. Repéré le 28 octobre à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/projets-infrastructures/structures/Pages/inventaires-structures.aspx>

Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (s.d.-a). *Conception des ouvrages d'art*. Québec, QC: Les Publications du Québec. Repéré à http://www3.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/produits/ouvrage_routier/normes/norme7.fr.html

Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (s.d.-b). *Conception routière*. Québec, QC: Les Publications du Québec. Repéré à http://www3.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/produits/ouvrage_routier/normes/norme8.fr.html

Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (s.d.-c). *Construction routière*. Québec, QC: Les Publications du Québec. Repéré à http://www3.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/produits/ouvrage_routier/normes/norme7.fr.html

Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (s.d.-d). Répertoire des dispositifs de signalisation routière du Québec. Repéré le 3 février 2020 à <http://www.rsr.transports.gouv.qc.ca/>

Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec. (s.d.-e). *Signalisation routière*. Québec, QC: Les Publications du Québec. Repéré à http://www3.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/produits/ouvrage_routier/normes/norme6.fr.html

Ministry of Transportation and Infrastructure. (2019). British Columbia active transportation design guide (pp. 577): Government of British Columbia.

Ministry of Transportation of Ontario. (2014). Ontario Traffic Manual, Cycling Facilities.

Ministry of Transportation of Ontario. (2019a). Conduite sur l'autoroute. Repéré le 6 janvier 2020 à <https://www.ontario.ca/fr/document/guide-officiel-de-lautomobiliste/conduite-sur-lautoroute>

Ministry of Transportation of Ontario. (2019b). Freeway driving. Repéré le 10 novembre 2019 à <https://www.ontario.ca/document/official-mto-drivers-handbook/freeway-driving>

Ministry of Transportation of Ontario. (2019c). Ontario Launches Speed Limit Pilots and Consultations. Repéré le 7 décembre 2019 à <https://news.ontario.ca/mto/en/2019/09/ontario-launches-speed-limit-pilots-and-consultations.html>

Ministry of Transportation of Ontario. (2021). *Ontario Traffic Manual, Cycling Facilities*. Queen's Printer for Ontario.

- Moeur, R. C. (2000). Analysis of Gap Patterns in Longitudinal Rumble Strips to Accommodate Bicycle Travel. *Transportation Research Record*, 1705(1), 6. Repéré à <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.3141/1705-14>
- Moeur, R. C., & Bina, M. N. (2002). *Bicycle - Motor Vehicle Collisions on Controlled Access Highways in Arizona*. Arizona. Repéré à <https://azmemory.azlibrary.gov/digital/collection/statepubs/id/14691/>
- Morrison, C. N., Thompson, J., Kondo, M. C., & Beck, B. (2019). On-road bicycle lane types, roadway characteristics, and risks for bicycle crashes. *Accid Anal Prev*, 123, 123-131. doi: 10.1016/j.aap.2018.11.017. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30476630>
- National Association of City Transportation Officials. (s.d.). Shared Lane Markings. Repéré le 1 mai 2022 à <https://nacto.org/publication/urban-bikeway-design-guide/bikeway-signing-marking/shared-lane-markings/>
- National Highway Traffic Safety Administration. (2007). *Summary of State Speed Laws*. Repéré à <https://www.nhtsa.gov/staticfiles/nti/pdf/811457.pdf>.
- Nie, J., Li, G., & Yang, J. (2015). A study of fatality risk and head dynamic response of cyclist and pedestrian based on passenger car accident data analysis and simulations. *Traffic Inj Prev*, 16(1), 76-83. doi: 10.1080/15389588.2014.881477. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24571385>
- Nova Scotia Department of Transportation and Public Works. (1997). Speed Limits Increased. Repéré le 7 décembre 2019 à <https://novascotia.ca/cmns/msrv/viewRel.asp?relID=/cmns/msrv/nr-1997/nr97-06/97061702.htm>
- O'Mara, H., & Shanteau, R. M. (2014). Rethinking Bike Lane Design Standards, The Importance of an Operating Concept. Dans *Institute of Transportation Engineers Western District Annual Meeting* (pp. 16). Repéré à https://www.westernite.org/annualmeetings/14_Rapid_City/Papers/3A-O'Mara.pdf
- Office québécois de la langue française. (1998). Fiche terminologique. Repéré le 3 décembre 2019 à http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=1299950
- Pedestrian and Bicycle Information Center. (s.d.). State Resources. Repéré le 22 novembre 2019 à <http://www.pedbikeinfo.org/ARCHIVE/data/state.cfm?>
- Radio-Canada. (2013). Inauguration de la route 175. Repéré le 23 juillet 2023 à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/633297/175-parc-reserve-laurentides>

- Raslavicius, L., Bazaras, L., Kersys, A., Lukosevicius, V., Makaras, R., & Eidukynas, V. (2017). Assessment of bicycle-car accidents under four different types of collision. *Proc Inst Mech Eng H*, 231(3), 222-234. doi: 10.1177/0954411917690417. Repéré à <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28164747>
- Robertson, J., & Hawkins, G. (2013). Shared Roadway Implementation Guidance. doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000563. Repéré à <https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29TE.1943-5436.0000563>
- Robitaille, É., Bellingeri, F., & Nauroy, E. (2016). *Liens entre les caractéristiques de l'environnement bâti et la pratique sécuritaire du vélo : synthèse de connaissances*. Institut national de santé publique du Québec. Repéré à <http://www.santecom.qc.ca/Bibliothequevirtuelle/INSPQ/9782550763970.pdf>
- Ross. (2020). Protected Bike Lane. Flickr.
- Sanford, T., McCulloch, C. E., Callcut, R. A., Carroll, P. R., & Breyer, B. N. (2015). Bicycle Trauma Injuries and Hospital Admissions in the United States, 1998-2013. *Journal of the American Medical Association*, 314(9), 3. doi: 10.1001/jama.2015.8295. Repéré à <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84940781450&origin=inward&txGid=e56d2a7e61b3109c80960f7a8e2bebf6>
- Schonfeld, P., Miller-Hooks, E., Zhao, K., & Conrad, D. (2016). *Safe accommodation of bicyclists on high-speed roadways in Maryland*. College Park, MD: University of Maryland Repéré à https://www.roads.maryland.gov/OPR_Research/MD-16-SHA-UM-4-06_Bicycles-on-High-Speed-Roadways_report.pdf
- Services publics et Approvisionnement Canada. (2000). TERMIUM Plus. Repéré à <https://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-fra.html?lang=fra&i=&index=frt&srchtxt=BARRIERE%20CANADIENNE>
- Skene, M., & Jacobson, M. (2012). *Guide canadien de signalisation des voies cyclables* (2 éd.). Ottawa, ON.
- Société de l'assurance automobile du Québec. (2016). Detailed Profile of Facts and Statistics About Pedestrians (pp. 35).
- Société de l'assurance automobile du Québec. (2019). Ce que dit la loi. Repéré le 23 novembre 2019 à <https://saaq.gouv.qc.ca/securite-routiere/moyens-deplacement/velo/ce-que-dit-la-loi/>
- Société de l'assurance automobile du Québec. (2015). Profil détaillé des faits et des statistiques touchant la vitesse. Repéré le 2 avril 2019 à <https://saaq.gouv.qc.ca/fileadmin/documents/publications/espace-recherche/profil-detaille-statistiques-vitesse.pdf>

- Société de l'assurance automobile du Québec. (2021). Véhicule lourd. Repéré le 10 avril 2022 à <https://saaq.gouv.qc.ca/transport-biens/vehicule-lourd>
- St-Jacques, M. (2016). Comportement d'un conducteur québécois à proximité d'un panneau STOP. Dans Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines (Éd.), *INFRA 2016* (pp. 37).
- Statistique Canada. (2022, 2022-02-09). Chiffres de population et des logements : Canada, provinces et territoires. Repéré le 14 novembre 2023 à <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tb11/fr/tv.action?pid=9810000101>
- The City of Toronto. (2014). Toronto: snowplough: Flickr.
- Turcot, C. (2018). *Application d'une méthode d'élaboration d'un réseau cyclable utilitaire et fonctionnel en milieu urbain* (École de technologie supérieure, Montréal, PQ).
- United States Census Bureau. (2016). National Intercensal Datasets: 1990-2000. Repéré le 10 janvier 2021 à <https://www.census.gov/data/datasets/time-series/demo/popest/intercensal-1990-2000-national.html>
- Vélo Québec. (1992). *Technical handbook of bikeway design*. Montréal, QC.
- Vélo Québec. (2021). L'état du vélo au Québec en 2020 (pp. 17).
- Vélo Québec. (s.d.). Route verte. Repéré le 3 décembre 2019 à <https://www.routeverte.com/cartographie-route-verte/>
- Ville de Victoriaville. (2016). La Promenade des Aînés de Victoriaville, à l'automne. Flickr.
- Washington State Department of Transportation. (2013). *Guidelines for Amending Functional Classification in Washington State*. Repéré à https://www.wsdot.wa.gov/mapsdata/travel/hpms/pdf/GuidelinesForAmendingFunctionalClassification_WSDOT.pdf
- Washington State Department of Transportation. (s.d.). Glossary. Repéré le 6 janvier 2020 à <https://www.wsdot.wa.gov/engineering-standards/manuals/glossary>
- Watkins, K. E., Rodgers, M., Guensler, R., Xu, Y., DiGioia, J., Grossman, A., & Krishnan, A. (2016). *Bicycle and Pedestrian Safety in the Highway Safety Manual*. Repéré à https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/31152/dot_31152_DS1.pdf
- Whyte, W. S., & Paul, R. E. (1997). *Basic surveying* (4 éd.). New York, NY: Taylor & Francis.

- Wilkinson, W. C., & Moran, C. G. (1986). *Highway Designation Criteria For Bikes*. Bicycle Federation of America. Repéré à <http://www.pedbikeinfo.org/cms/downloads/HighwayDesignationCriteriaForBikes1986.pdf>
- Xu, Y., Zhu, S., Wang, H., Guan, J., Sun, Q., Liu, B., . . . Antoniou, C. (2008). Relationship between Weaving Length and Traffic Safety in Road Interchanges. Dans *Transportation and Development Innovative Best Practices 2008* (pp. 240-245). doi: 10.1061/40961(319)40
- Zegeer, C. V., Stutts, J., Pein, W. E., Hunter, B., Feske, C. D., Cheeney, D., . . . Geiger, C. (1994). The National Bicycling and Walking Study: Transportation Choices for a Changing America. Repéré à <https://rosap.nsl.bts.gov/view/dot/54129>

BIBLIOGRAPHIE

- Smith, D. T. Jr. (1974). Bikeways State of the Art: Final Report (no FHWA-RD-74-56). Federal Highway Administration. Repéré à https://www.pedbikeinfo.org/cms/downloads/Bikeways_StateOfTheArt1974.pdf
- Smith, D. T. Jr. (1975). Safety & Locational Criteria for Bicycle Facilities User Manuel Vol. I Bicycle Facility Criteria (no FHWA-RD-75-113). Federal Highway Administration. Repéré à https://www.pedbikeinfo.org/cms/downloads/LocationCriteria_Bike1975.pdf
- Smith, D. T. Jr. (1976). Safety & Locational Criteria for Bicycle Facilities User Manuel Vol. II Design and Safety Criteria (no FHWA-RD-75-114). Federal Highway Administration. Repéré à https://www.pedbikeinfo.org/cms/downloads/DesignSafetyCriteria_Bike1976.pdf
- Transport Association of Canada. 1999. Geometric Design Guide for Canadian Roads. Ottawa, ON.
- Transport Association of Canada. 2017. Geometric Design Guide for Canadian Roads. Ottawa, ON.
- Transportation Research Board. 2016. Highway Capacity Manual 6th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/24798>.
- Vélo Québec. (2003). Guide technique d'aménagement des voies cyclables. Montréal, QC.
- Vélo Québec. (2019). Aménager pour les piétons et les cyclistes: Guide technique. Montréal, QC.