

Passages de piste cyclable en milieu rural et périurbain (Rapport d'étape)

Présenté au
Ministère des Transports du Québec
et à la
MRC de La Haute-Yamaska

par

Pierre-Louis Houle, professionnel de recherche
et
Jean-François Bruneau, directeur de projet
Département de géomatique appliquée

Université de Sherbrooke
15 novembre 2011

©

COMITÉ DE SUIVI

Voici les membres du comité de suivi qui ont participé à cette phase du projet :

- Mme Johanne Gaouette, MRC de La Haute-Yamaska
- M. Dominique Desmet, MRC de La Haute-Yamaska
- M. Maxime Gagnon, MRC de La Haute-Yamaska
- M. André Delage, Ministère des Transports du Québec
- M. Marc Panneton, Ministère des Transports du Québec
- M. Yvan Gatien, Ville de Granby
- M. Louis Carpentier, Vélo Québec
- M. Claude Gosselin, C.A.R.T.H.Y.
- M. Pierre-Louis Houle, Université de Sherbrooke
- M. Jean-François Bruneau, Université de Sherbrooke

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION.....	1
2.	OBJECTIFS.....	1
3.	MÉTHODOLOGIE.....	2
3.1.	Sources d'information	2
3.2.	Mots-clés	2
3.3.	Grille des thématiques.....	3
4.	RÉSULTATS.....	3
4.1.	Facteurs de risque liés aux usagers.....	2
4.1.1.	Type d'utilisateur sur la piste	2
4.1.2.	Âge des usagers	2
4.1.3.	Manœuvres des cyclistes et des piétons	5
4.2.	Facteurs de risque liés à la route et à la piste.....	6
4.2.1.	Type de milieu	6
4.2.2.	Priorité.....	6
4.2.3.	Achalandage (piste cyclable).....	11
4.2.4.	Achalandage (route).....	11
4.2.5.	Circulation lourde sur la route.....	16
4.2.6.	Vitesse affichée et pratiquée sur la route.....	17
4.2.7.	Vitesse pratiquée sur la piste.....	18
4.2.8.	Longueur du passage.....	19
4.2.9.	Temps de traversée.....	19
4.2.10.	Distance de visibilité d'arrêt (DVA)	19
4.2.11.	Distance de visibilité de traversée (DVT)	21
4.2.12.	Axe du passage.....	21
4.2.13.	Créneaux de passage	21
4.3.	Grilles de priorisation des choix d'aménagement	23
4.3.1.	Passages cyclables en Australie	23
4.3.2.	Passages cyclables en Nouvelle-Zélande	23
4.3.3.	Passages cyclables au Royaume-Uni	24
4.3.4.	Passages cyclables aux États-Unis.....	25
4.3.5.	Grilles de priorisation des passages pour piétons.....	28
4.4.	Détails des solutions techniques d'aménagement.....	36
4.4.1.	Signal avancé de passage.....	36
4.4.2.	Marquage au sol.....	36
4.4.3.	Passage légèrement dénivelé	39
4.4.4.	Goulot d'étranglement	40
4.4.5.	Dos d'âne	40
4.4.6.	Feu clignotant.....	40

4.4.7. Îlot de protection.....	41
4.4.8. Délinéateurs et accès à la piste.....	42
4.4.9. Feu de circulation	43
4.4.10. Pente.....	53
4.4.11. Largeur du passage à niveau	55
4.4.12. Largeur du tunnel ou de la passerelle.....	55
4.4.13. Largeur de la route	57
4.4.14. Dégagement vertical du tunnel et de la passerelle	57
5. RÉFÉRENCES.....	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Caractéristiques des cyclistes et vitesse de conception	18
Tableau 2	Grille de priorisation d'Ove Arup & Partners	24
Tableau 3	Facteur d'exposition employé dans la méthode du WisDOT.....	25
Tableau 4	Grille de priorisation d'Austroroads (passages pour piétons en milieu urbain).....	28
Tableau 5	Grille de priorisation de Fehr & Peers (passages pour piétons en milieu urbain).....	33
Tableau 6	Marquage selon la configuration routière, le DJMA et la vitesse affichée	39
Tableau 7	Délai d'attente maximale pour un piéton ou cycliste à un feu de circulation.....	44
Tableau 8	Condition A (volume de véhicules)	48
Tableau 9	Condition B (interruption du trafic continu)	48

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Accidents et exposition des piétons selon leur groupe d'âge	4
Figure 2	Priorité de passage en fonction du volume de circulation et de la vitesse	8
Figure 3	Scénarios analysés par Phillips <i>et al.</i> (2011)	9
Figure 4	Profil de circulation urbain (MTQ)	12
Figure 5	Profil de circulation moyen (MTQ)	13
Figure 6	Profil de circulation récréatif (MTQ)	14
Figure 7	Profil de circulation récréotouristique (MTQ).....	15
Figure 8	Profil de circulation touristique (MTQ).....	16
Figure 9	Grille de priorisation de ViaStrada	24
Figure 10	Grille de priorisation du MnDOT (2007)	26
Figure 11	Grille de priorisation du MnDOT (1996)	26
Figure 12	Grille de priorisation de Fehr & Peers (passages pour piétons en milieu urbain)	32
Figure 13	Marquage "triple four" (Fehr & Peers, 2003)	34
Figure 14	Fréquence des accidents de piétons à différents types de passage	38
Figure 15	Facteurs affectant le non-respect des feux de circulation par les piétons	45
Figure 16	Méthode 2 : volume de trafic pour une période de quatre heures*	48
Figure 17	Méthode 3 : volume de trafic pour une période d'une heure*	49
Figure 18	Méthode 4 : volume de piétons et de véhicules pendant 4 heures*	50
Figure 19	Méthode 4 : volume de piétons et de véhicules pendant une heure*	50
Figure 20	Niveau d'acceptabilité des pentes (MTQ, 2010b)	54
Figure 21	Dégagement vertical et horizontal des tunnels (MTQ, 2010b)	56

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ASCE :	American Society of Civil Engineers
AASHTO :	American Association of State Highway and Transportation Officials
CaDOT :	California Department of Transportation
CERTU :	Centre d'études sur les réseaux, les transports et les constructions publiques
CUBIQ :	Réseau informatisé des bibliothèques du Québec
DfT :	Department for Transportation
DJMA	Débit journalier moyen annuel
DJME	Débit journalier moyen estival
FHWA :	Federal Highway Administration
FIDOT :	Florida Department of Transportation
IBSR :	Institut Belge pour la Sécurité Routière
INRETS :	Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
ITE :	Institute of Transportation Engineers
IIDOT :	Illinois Department for Transportation
MnDOT :	Minnesota Department of Transportation
MUTCD :	Manual on Uniform Traffic Control Devices
NCSA :	National center for statistics and analysis
NCUTC :	National Committee on Uniform Traffic Control
NTL :	National Transportation Library
ODOT :	Oregon Department of Transportation
TANSW :	Traffic Authority of New South Wales
TFL :	Transport for London
TRB :	Transportation Research Board
USDOT :	United States Department of Transportation
VAT :	Vermont Agency of Transportation
VDOT :	Virginia Department of transportation
WisDOT :	Wisconsin Department of Transportation
WsDOT :	Washington State Department of Transportation

AVANT-PROPOS

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) est fortement préoccupé par la sécurité des cyclistes qui empruntent les passages cyclables situés sur son réseau. Au début des années 2000, le MTQ a financé une étude complète sur le sujet, qui a abouti à la publication d'un Guide de priorisation des choix d'aménagement aux passages cyclables en milieu rural. Cette étude, réalisée par le Coopératif de recherche en sécurité routière de l'Université de Sherbrooke (Bruneau *et al.*, 2000) a permis de dresser un portrait complet de la situation, des facteurs de risque et des options d'aménagement à privilégier en fonction des paramètres retrouvés sur le site. Ce rapport fournit également des constats sur certains problèmes de sécurité observés lors d'une campagne de terrain.

C'est notamment le cas du passage Estriade – route 112, à Granby, où les auteurs notent un important taux de conflits et un risque accru en raison de la longueur de la traverse, des vitesses élevées et d'un achalandage important. Fortement interpellés par ces constats d'insécurité, la MRC de La Haute-Yamaska et le MTQ ont mené une série d'actions, inspirés des recommandations du rapport, qui ont abouti à la reconfiguration du passage cyclable. Le passage autrefois « oblique », une pratique récurrente au Québec sur les anciennes emprises ferroviaires, est maintenant redressé à « angle droit », ce qui réduit le temps de traverse et l'exposition des cyclistes aux risques de la route.

Toutefois, en dépit de cette intervention, le site préoccupe encore les intervenants régionaux et locaux, en raison de la vitesse pratiquée par les véhicules et de la croissance urbaine, qui aura des répercussions sur l'achalandage.

De cette préoccupation est né l'intérêt commun, pour le MTQ et la MRC de La Haute-Yamaska, de demander au Coopératif de réaliser un nouveau projet sur les passages cyclables. Il s'agit de vérifier si des gains de sécurité ont été apportés par le redressement de la traverse, et aussi de mettre à jour les connaissances scientifiques sur la question des passages cyclables. Ce projet vise donc deux objectifs, soit de vérifier la sécurité actuelle et future du passage cyclable, compte tenu des développements urbains projetés à Granby, et aussi de rafraîchir l'état des connaissances quant aux options d'aménagement qui s'offrent aux décideurs pour assurer la sécurité des usagers qui empruntent les réseaux cyclables.

Puisque ce projet est à la fois d'intérêt provincial et régional, le MTQ et la MRC de La Haute-Yamaska ont convenu de le financer en partenariat.

Deux rapports distincts seront présentés aux mandataires. Le présent rapport d'étape est entièrement consacré à la recension des écrits. Il fait le point sur les facteurs de risque et le cadre conceptuel des méthodes de priorisation des choix d'aménagement aux passages cyclables.

Le deuxième rapport (rapport final) livrera les résultats de la campagne de terrain réalisée en 2011 au passage Estriade – route 112. Il mettra ainsi en application les résultats de terrain dans les modèles conceptuels répertoriés dans le présent rapport.

1. INTRODUCTION

Le réseau cyclable québécois compte de nombreuses pistes en site propre, qui sillonnent forêts et campagnes et qui souvent empruntent d'anciennes emprises ferroviaires. Ces pistes attirent une clientèle sportive et familiale, et constituent pour les régions un important levier économique. À la fois infrastructure de transport actif et équipement récréotouristique, les pistes cyclables doivent offrir, en plus d'un environnement agréable, l'assurance que la pratique se fasse dans un cadre sécuritaire. Notamment la sécurité des clientèles vulnérables doit être placée au premier plan, car il s'agit souvent du principal facteur d'utilisation.

Dans les secteurs périurbains et ruraux, les pistes cyclables comptent généralement très peu de croisements avec le réseau routier. Cet isolement entraîne une problématique de sécurité bien particulière, où le risque d'accident n'existe pratiquement qu'aux passages cyclables, soit aux endroits où la piste croise le réseau routier à haute vitesse. Or, les cyclistes qui roulent de nombreux kilomètres, à l'écart du trafic motorisé, peuvent être moins vigilants aux intersections. Même chose pour les automobilistes et les camionneurs, qui ne s'attendent pas à devoir s'arrêter inopinément lorsqu'il circule à vitesse de croisière sur une route numérotée.

Pour protéger les usagers des voies cyclables, les aménagistes disposent de nombreux guides techniques qui exposent les normes d'aménagement en milieu urbain. Pour le milieu rural, des guides exposent les normes à prévoir en sections courantes, mais les choix à privilégier et les normes des croisements piste/route sont moins bien documentés. Les différentes solutions proposées par les agences de transport et les chercheurs font souvent état d'un choix laissé à la discrétion du planificateur, à savoir s'il privilégie l'option sécurité, ou l'option « acceptable ».

Nul ne peut nier que la coexistence des vélos et des véhicules dans un environnement à haute vitesse peut s'avérer périlleuse, en raison des vitesses pratiquées et du comportement des usagers. Aussi, pour faire la lumière sur les options les plus sécuritaires à considérer dans l'aménagement d'un passage cyclable, le ministère des Transports du Québec (MTQ) et la MRC de La Haute-Yamaska ont décidé d'unir leurs efforts. Ce projet, réalisé en partenariat par le Coopératif de recherche en sécurité routière de l'Université de Sherbrooke, la MRC et le MTQ, fait le point sur la sécurité des passages cyclables et sur les types d'aménagement à privilégier en milieu rural et en milieu périurbain.

2. OBJECTIFS

Ce projet de recherche vise les objectifs suivants :

- Répondre aux préoccupations du MTQ et de la MRC de La Haute-Yamaska;
- Analyser l'évolution du contexte au passage cyclable tenant compte de deux points de référence temporels (2000 et 2010);
- Mesurer le niveau de sécurité actuel du passage, et le comparer à celui qui prévalait en 2000, tenant compte des interventions récentes (réalignement du passage);
- Valider la situation actuelle en termes de sécurité routière;
- Vérifier les mesures potentielles applicables à la situation actuellement observée
- Proposer divers scénarios d'aménagement en fonction des développements urbains projetés dans la Ville de Granby

L'objectif spécifique de ce rapport d'étape est de compléter et de bonifier la recension des écrits réalisée par Bruneau *et al.* en 2000. Le présent rapport couvre la période 2000-2010, de même que les documents antérieurs qui n'avaient pas été répertoriés dans le rapport remis en 2000.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1. Sources d'information

Voici les sources d'information qui ont été consultées sur le cyclisme et la sécurité routière, en provenance de l'Amérique du nord, de l'Europe, de l'Australie, de l'Asie de même que de l'Afrique du Sud :

- ASCE – *American Society of Civil Engineers*;
- *Australasian College of Road Safety*;
- *Austrroads*;
- *Bicyclinginfo – Pedestrian and bicycle information center.*
- *Bikewalk.org – The National Center for Bicycling & Walking*;
- *Canadian Journal of Civil Engineering*;
- CERTU – Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques;
- CUBIQ – Réseau informatisé des bibliothèques gouvernementales du Québec;
- *Department for Transport (Cycling England)*;
- *Eastern Asia Society for Transportation Studies*;
- IBSR – Institut Belge pour la Sécurité Routière;
- INRETS – Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité;
- ITE – *Institute of Transportation Engineers*;
- MUARC – *Monash University Accident Research Centre*;
- NTL – *National Transportation Library*;
- *SafetyLit Archives*;
- *Safety Science*;
- *ScienceDirect*;
- *Scirus*;
- *Sociological abstracts*;
- *The Cochrane Library*;
- *Traffic injury prevention*;
- *Transports Canada*;
- TRB – *Transportation Research Board*;
- USDOT – *United States Department of Transportation*;

3.2. Mots-clés

Voici les mots-clés français utilisés lors des recherches, en partie ou en combinaison :

- Bicycle;
- Créneau;
- Cycliste;
- Passage;

- Piste;
- Sécurité;
- Traverse;
- Vélo;
- Voie cyclable.

Et voici les mots-clés anglais employés seuls ou de façon combinée :

- *Bike or bicycle;*
- *Bikepath or path;*
- *Conflict;*
- *Cyclist or cycling or cycli*;*
- *Gap;*
- *Intersection;*
- *Planning / facilit* / design / handbook;*
- *Safe or safety;*
- *Trail.*

3.3. Grille des thématiques

L'information contenue dans les ouvrages répertoriés a été placée dans une grille des thématiques, prévue dans un chiffrier, afin de classer chaque thème de façon logique. Une colonne est prévue pour chaque thématique et les ouvrages sont placés en lignes.

4. RÉSULTATS

La documentation recueillie dans les différentes sources de données est présentée en quatre sections. L'analyse des documents a été faite avec une considération supplémentaire pour les conditions particulières du passage Estriade – route 112, car ce passage cyclable sera scruté en détails dans le rapport final de ce projet. Pour cette raison, certaines sous-sections sont traitées avec plus de détails selon leur degré de convenance à la problématique de ce passage cyclable.

La première section porte sur les facteurs de risque liés aux usagers, et la deuxième traite des facteurs de risque propres à la route et aux aménagements cyclables. La troisième section présente les grilles de sélection utilisées par les diverses agences et praticiens. Ces grilles priorisent les options d'aménagement selon divers critères techniques. La quatrième et dernière section détaille les critères d'aménagements pour les solutions applicables. Il s'agit de critères quantitatifs avec des seuils ou encore de critères qualitatifs, qui sont soit des mises en garde ou des conseils.

L'accidentologie des cyclistes, pour laquelle il existe une volumineuse documentation, est une thématique qui revient dans plusieurs sections. Elle n'est pas traitée en bloc, dans une section à part, afin d'éviter les redondances.

Il faut également mentionner qu'à cause de la rareté des documents entièrement consacrés aux passages cyclables, la recension des écrits couvre également la thématique des passages piétonniers.

4.1. Facteurs de risque liés aux usagers

4.1.1. Type d'utilisateur sur la piste

La classification établie par l'American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 1999), soit cyclistes expérimentés, cyclistes occasionnels et enfants cyclistes, est toujours en vigueur dans les guides consultés.

Chang et Chang (2005) notent qu'il existe deux types d'usage sur les pistes cyclables, l'usage récréatif et l'usage touristique. Conformément aux trois A (Accessibilité, Activité et Attraction), il existe des différences entre les deux types de cycliste. Le touriste provient de l'extérieur, il est motivé par les percées visuelles et recherche des attractions touristiques. Le cycliste récréatif provient des environs. Il est motivé par l'exercice physique et/ou le loisir, et recherche des infrastructures cyclables de haute qualité. Les auteurs ont questionné les deux groupes d'utilisateurs pour connaître leur préférence par rapport à 21 facteurs environnementaux d'une piste cyclable. Les cyclistes étaient questionnés sur une piste de la région du *National North Coastline Scenic* et sur le réseau cyclable du *Hsin-chu City Coastline*, à Taiwan. Selon les auteurs, les gestionnaires et planificateurs de pistes cyclables s'adressant aux deux groupes d'utilisateurs devraient mettre l'accent, en ordre décroissant d'importance, sur la gestion du trafic (cyclable et routier), la planification touristique, l'aménagement paysager et la qualité des infrastructures.

La qualité des infrastructures d'une piste cyclable a une influence directe sur le type de clientèle et le volume d'utilisateurs qui l'empruntent. La ville de Toronto affirme que la perception de la sécurité et du confort affecte où et à quelle fréquence les cyclistes s'adonnent à cette activité (City of Toronto, 2001). Pour Turner *et al.* (2006) les pistes cyclables sont les endroits de prédilection pour les novices et les enfants. La demande pour ce type d'aménagement est généralement élevée par les cyclistes, les joggeurs, les piétons, les usagers vulnérables et les patineurs. Les sentiers multifonctionnels sont des infrastructures de transport et doivent être conçus pour accueillir une clientèle diversifiée.

4.1.2. Âge des usagers

Les enfants n'ont pas les mêmes caractéristiques et le même comportement que les adultes. Le FIDOT (1996) énumère les caractéristiques spécifiques aux enfants :

- profil plus bas sur la route;
- champ de vision plus étroit;
- difficulté à détecter la direction du son et à identifier sa source;
- difficulté à estimer la vitesse d'approche des véhicules;
- excès de confiance;
- difficulté à rester immobile;
- susceptibles de continuer (finaliser) un mouvement ou une action entreprise;
- témérité et perception erronée du risque;
- assomption que l'adulte assure sa sécurité;
- Incompréhension des situations complexes;
- ne peut se concentrer sur plusieurs choses à la fois et mélange la fiction à la réalité.

Turner *et al.* (2006) ajoutent que les enfants ont de la difficulté à discerner la gauche de la droite, comprennent mal le fonctionnement des feux de circulation et des marquages au sol et croient que les véhicules arrêteront instantanément en cas de danger.

Certaines recherches mettent en évidence des caractéristiques particulières aux enfants qui affectent le temps de traversée. Babu *et al.* (2011) affirment que les enfants évaluent les créneaux de passage avec la même méthode que les adultes, mais qu'ils mettent plus de temps à prendre l'initiative de traverser la route et qu'ils sont plus lents pour traverser. Cela est en partie dû au fait que les enfants ont de la difficulté à coordonner l'information visuelle avec la motricité. Plumert *et al.* (2010) ont observé que les jeunes enfants ont tendance à tourner leur guidon en direction où ils regardent. Cela augmente le temps de traversée puisque la course du vélo n'est pas unidirectionnelle.

Babu *et al.* (2011), à l'aide d'une simulation virtuelle, en arrivent à la conclusion que le comportement des enfants aux intersections est influencé par les gens qui l'accompagnent. Dans la simulation, des enfants âgés de 10 à 12 ans sont accompagnés d'enfants d'âge semblable (fille ou garçon, selon le candidat), à 12 intersections différentes. Les chercheurs ont procédé ainsi afin que les enfants puissent s'identifier à l'accompagnateur (ami-ami). L'accompagnateur virtuel doit montrer comment traverser de façon sécuritaire aux six premières intersections, puis laisser les enfants à eux-mêmes aux six dernières. La moitié des enfants observés avaient un compagnon à risque (traversant à des créneaux de passage serrés), l'autre moitié était de nature plus prudente. Les résultats montrent que les enfants ayant suivi le compagnon à risque sont beaucoup moins enclins à faire un arrêt complet avant de traverser les six dernières intersections, et ce, même si le compagnon virtuel leur demande de faire un arrêt complet avant de traverser les six premières.

Pour Retting *et al.* (2003) réduire la vitesse des véhicules est la meilleure méthode de prévention des accidents entre les enfants et les véhicules routiers. Dans ce type de collision, l'enfant est généralement en faute. Des vitesses réduites donnent plus de temps de réaction aux conducteurs et diminuent la gravité des accidents. Plusieurs enfants ne font pas d'arrêt avant de traverser la route et traverse de façon précipitée. En fait, 69 % des accidents entre véhicules et enfants surviennent aux traverses non signalées. Cette statistique s'explique en partie par le fait que les enfants ont de la difficulté à juger la distance et la vitesse d'approche des véhicules. Ces manques d'habileté et d'expérience entraînent de mauvaises décisions de leur part.

Les personnes âgées sont aussi considérées comme des usagers vulnérables. Selon le Florida Department of Transportation (FIDOT, 1996) ce groupe d'utilisateurs est en proie à la détérioration des sens (vision et ouïe) et la perte des capacités physiques. Les rapports d'accidents analysés par *Transport for London* (TFL, 2008), montrent que la proportion d'accidents mortels est beaucoup plus élevée chez ce groupe d'âge que chez les adultes d'âge moyen.

Dans une étude consacrée aux passages pour piétons, Zegeer *et al.* (2002) démontrent que les adolescents (13 à 18 ans) et les personnes âgées (65 ans et plus) sont les groupes d'âge les plus à risque (figure 1). Ce groupe d'âge a un pourcentage d'accidents supérieur au pourcentage d'exposition, étant donc plus à risque d'être impliqué dans un accident. Les auteurs expliquent que l'absence de surexposition chez les enfants (12 ans et moins) pour les traverses marquées est due à la méthodologie de l'étude qui s'est déroulée sur des routes collectrices et des artères où les enfants sont moins présents.

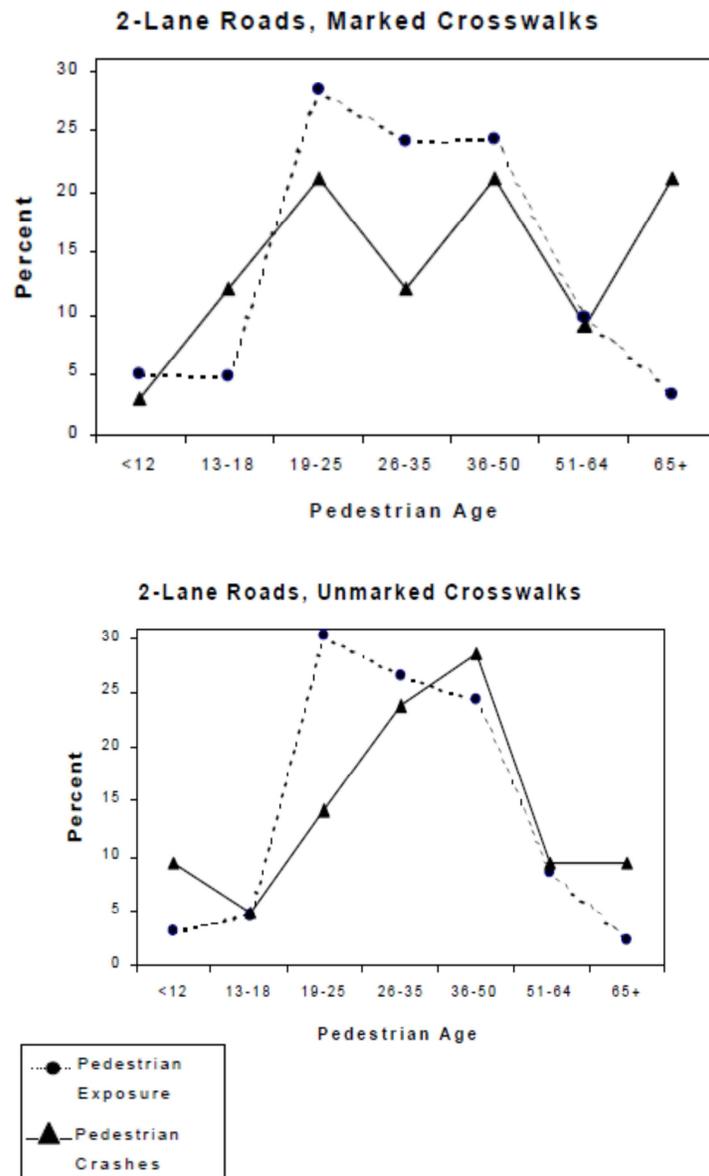


Figure 1 Accidents et exposition des piétons selon leur groupe d'âge

Tiré de : Zegeer et al. (2002) *Safety Effects of Marked versus Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Locations Executive Summary and Recommended Guidelines*.

Axler (1984) a étudié aux États-Unis, dans les années 70, les méthodes de priorisation des choix d'aménagement pour préconiser les passages piétonniers dénivelés ou les feux de circulation. Plusieurs de ces mandats accordent une importance particulière aux enfants de moins de 12 ans et aux personnes âgées (65 ans et plus). En conséquence, ces utilisateurs équivalent à 2,5 piétons lors des comptages effectués dans le cadre des études de circulation visant à sélectionner l'un ou l'autre de ces types d'aménagement.

4.1.3. Manœuvres des cyclistes et des piétons

Selon le *Vermont Agency of Transportation* (VAT, 2002) plusieurs facteurs peuvent influencer les manœuvres des cyclistes. Les roues et les pneus des vélos sont plus sensibles aux imperfections de la route que ceux des véhicules à moteur. Cette caractéristique les rends plus vulnérables aux crevasses, aux trous, aux surfaces glissantes (sable, poussière, petits cailloux, etc.) et aux objets coupant (métal, verre, roche, etc.). Également, il ne faut pas oublier que la surface de contact entre le pneu et la route est minime (aussi peu que 2 cm²). En réponse à une perte de contrôle ou un danger, le cycliste peut changer de direction ou faire une manœuvre non anticipée par les conducteurs. L'Agence rappelle qu'il est impossible, pour la majorité des cyclistes, de faire un changement de direction rapidement et qu'ils ont plus de difficulté à garder leur équilibre à faible vitesse. La configuration du vélo (poids, hauteur, remorque, bagages, etc.) a une incidence importante sur la stabilité et la manœuvrabilité du vélo. Certains cyclistes font des mouvements oscillatoires pour garder leur équilibre à faible vitesse. Ce type de manœuvre peut prendre plus d'un mètre de largeur.

Austroads (2001) identifie six facteurs importants à considérer chez les piétons et les cyclistes qui peuvent influencer leur comportement :

1. **Flexibilité** : les piétons et les cyclistes ont plus de flexibilité dans leurs manœuvres que les véhicules, ce qui peut être problématique pour les automobilistes, car il devient difficile de prévoir leur trajectoire ou leurs manœuvres.
2. **Instabilité** : les piétons et les cyclistes sont largement affectés par la qualité de la surface. Ainsi, une simple erreur ou un bris mécanique sur le vélo peut engendrer des blessures importantes, même si aucun véhicule n'est présent.
3. **Visibilité** : les piétons et les cyclistes sont parfois difficiles à voir pour les conducteurs de véhicules. Ceci s'ajoute aux problèmes de visibilité associés à l'environnement et à la configuration routière, la végétation, les bâtiments, etc.
4. **Habilité** : les piétons et les cyclistes ont des âges très variés et peuvent avoir beaucoup ou très peu d'expérience, ainsi qu'avoir une bonne ou une mauvaise condition physique.
5. **Effort** : contrairement aux véhicules, les déplacements actifs nécessitent un effort physique soutenu. Pour cette raison, les piétons et les cyclistes privilégient un trajet simple et direct, et conservent leur inertie en évitant de s'immobiliser.
6. **Détachement** : les piétons et les cyclistes ne sont pas toujours concentrés sur l'environnement routier. La nature de leur sortie peut les amener à se concentrer sur d'autres choses (discuter, observer, etc.).

Ces éléments sont soulevés en grande partie par le FIDOT (1996), qui ajoutent qu'à un passage cyclable, d'autres facteurs que la conservation du momentum ont trait aux cyclistes. Les manœuvres du cycliste sont influencées par son évaluation du créneau de passage, son repérage visuel et sa patience.

Le Minnesota Department of Transportation (MnDOT, 2007) précise que les manœuvres sont fonction du volume de trafic et de la vitesse pratiquée, de la longueur du passage et de l'espace disponible. Dans tous les cas, les cyclistes ont tendance à réduire leur vitesse à proximité des intersections, mais ce ralentissement ne se traduit pas nécessairement par un arrêt complet.

D'autre part, Sprinkle consulting (2007) rappelle qu'il est important de ne pas créer de détours, car les cyclistes et les piétons utiliseront davantage un passage non sécuritaire si sa localisation est plus pratique que celle d'un passage sécuritaire, mais mal localisé.

4.2. Facteurs de risque liés à la route et à la piste

4.2.1. Type de milieu

Aux États-Unis, la fréquence des accidents graves et mortels est plus élevée en milieu rural qu'en milieu urbain (Ivan *et al.*, 2001; National center for statistics and analysis, 2007). Donnell *et al.* (2010) précisent que les accidents urbains ne sont pas tous rapportés puisque certains sont sans gravité. Une tendance similaire est également observée en Australie où Austroads (2000a) a conduit une analyse temporelle et géographique des accidents entre véhicules et cyclistes. Les résultats montrent que ce sont les zones en périphérie et à l'extérieur de la ville durant la fin de semaine qui ont la fréquence d'accidents la plus élevée.

Le milieu rural est associé à une plus grande proportion d'accidents mortels à cause du facteur vitesse (Ivan *et al.*, 2001). Klop et Khattak (1999) notent que la majorité des accidents en milieu rural se produisent le jour. Mais leur analyse démontre que la limite de vitesse affichée, la présence de brouillard ou de noirceur, la linéarité de la route combinée à une dénivellation et les courbes avec dénivelés augmentent la gravité des accidents, peu importe le type de milieu.

Tel qu'indiqué par Bruneau *et al.* (2000), la problématique de sécurité aux passages cyclables est peu documentée. Le réseau supérieur présente des caractéristiques géométriques et environnementales très différentes de celles retrouvées en milieu urbain, où se concentrent la plupart des études. Les routes larges, les rayons de courbures élevés, le reculement des bâtiments et leur faible densité et le nombre limité d'accès sont caractéristiques du milieu rural. De même, le faible niveau d'activité en bordure de la route contribue à faire augmenter la vitesse pratiquée, dans un environnement où la vitesse affichée est déjà élevée. Dans ce contexte, le conducteur ne s'attend pas à devoir s'immobiliser soudainement. Pour des raisons similaires, les cyclistes qui se promènent en toute quiétude sur une voie cyclable récréative peuvent être surpris par le croisement soudain d'un environnement routier périlleux. Ces constats rappellent que les solutions d'aménagement proposées en milieu urbain ne peuvent s'appliquer de la même façon en milieu rural. Dans le premier cas, le risque est souvent omniprésent, et les cyclistes appelés à une constante vigilance, alors que dans le second, le risque est moins bien escompté.

4.2.2. Priorité

Il existe différentes stratégies pour attribuer la priorité aux traverses cyclables. Au Vermont et en Floride (VAT, 2002; FIDOT, 1996, 2000; Turner *et al.*, 2006) la priorité en milieu urbain est attribuée de la même façon que sur le réseau routier, c'est-à-dire que le vélo est considéré comme un véhicule de sorte que la priorité est établie en fonction du volume et de la vitesse. Par exemple, le FIDOT donne priorité aux cyclistes pour les routes résidentielles mineures où le volume de vélos est supérieur au volume de véhicules.

En Nouvelle-Zélande il n'est pas recommandé de donner priorité à la piste cyclable dès que la vitesse affichée excède 50 km/h. Pour donner priorité au vélo dans un environnement rural, il faut aménager une passerelle ou un tunnel (ViaStrada, 2010). Ivan *et al.* (2001) affirment que le taux de conformité de véhicules aux passages pour piétons diminue lorsque leur vitesse

pratiquée augmente. Chez le cycliste la conformité aux arrêts semble dépendre de l'âge et de l'expérience du cycliste. Plumert *et al.* (2004) ont observé les habitudes d'arrêts des cyclistes sur les routes à 40 et 56 km/h (25 et 35mph). Ils remarquent que les enfants de 10 ans sont plus susceptibles de faire un arrêt complet sur les routes rapides. Cette tendance n'est pas observée chez les enfants de plus de 12 ans et les adultes. De même, les cyclistes expérimentés sont moins enclins à faire un arrêt complet avant de traverser la route.

Plusieurs agences et organismes ont établi une démarche pour l'attribution des priorités. Le Wisconsin Department of Transportation (WisDOT, 2004) considère quatre points pour l'établissement des priorités aux passages, sans toutefois spécifier de seuils :

1. la vitesse des vélos et des véhicules;
2. le volume de cyclistes et de véhicules;
3. l'importance des axes de transport (piste et route);
4. l'angle du croisement piste – route.

Tout comme le WisDOT, le Federal Highway Administration (FHWA, 2009) propose une méthodologie qualitative. La démarche considère cinq facteurs dans l'établissement des priorités entre cyclistes et véhicules :

1. le volume de trafic motorisé, piéton et cyclistes pour tous les axes de circulation;
2. le nombre d'axes de circulation et leur angle de croisement;
3. les vitesses d'approche;
4. les distances de visibilité de chaque approche;
5. l'historique d'accidents.

La méthode utilisée par la Ville d'Atlanta (Sprinkle consulting, 2007) prend en compte la vitesse des usagers (vélos et véhicules), le volume d'usagers et l'importance de la piste cyclable et de la route (figure 2). On précise que la vitesse ne doit pas être le seul facteur considéré pour déterminer la priorité. Le volume de cyclistes, de même que l'importance de la piste cyclable sont des facteurs importants à prendre en compte dans l'attribution de la priorité. Le graphique fourni par la Ville d'Atlanta détermine quel axe aura la priorité sur une route à deux voies, la piste ou la route. Le graphe tient compte de la vitesse affichée et des volumes de véhicules et de vélos.

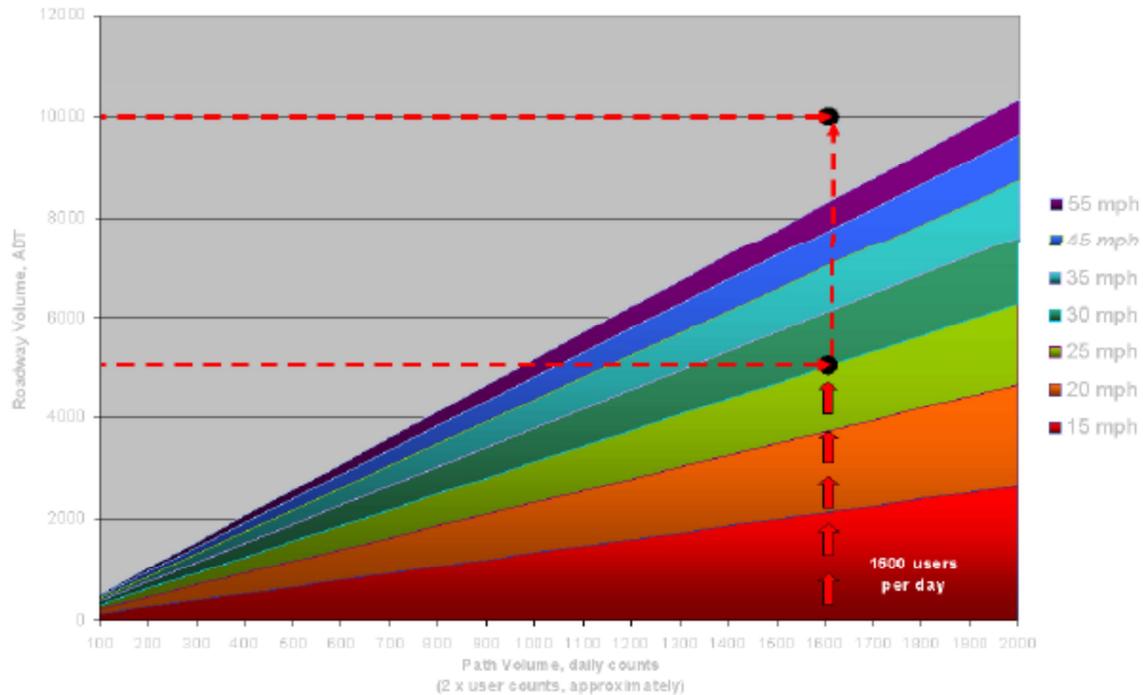


Figure 2 Priorité de passage en fonction du volume de circulation et de la vitesse

Tiré de : Sprinkle consulting (2007) *Atlanta region bicycle transportation and pedestrian walkways plan*.

En Angleterre, le Department for Transport (DfT, 2008) mentionne qu'il est possible de donner priorité aux cyclistes, mais cela doit être fait avec jugement, les conséquences du non-respect de cette priorité par les automobilistes étant grave de conséquences. La priorité peut être donnée aux cyclistes lorsque la piste cyclable croise une route mineure, dont le DJMA est inférieur à 2000 véhicules par jour, et où la visibilité est adéquate. Lorsque le DJMA est inférieur à 4000 véhicules par jour et la vitesse inférieure à 50 km/h (30mph), la priorité peut être attribuée au cycliste en dénivellant légèrement le passage cyclable (Cycling England, 2009).

En Australie, lorsque la piste cyclable croise une route locale peu achalandée du milieu urbain, il est recommandé de donner priorité aux cyclistes. Pour ce faire, le passage doit être légèrement dénivélé, signalé et marqué. De plus, les conditions suivantes sont requises (Austroads, 2011) :

- la vitesse pratiquée des véhicules est inférieure à la vitesse affichée;
- la visibilité est excellente;
- la route possède un maximum de deux voies;
- le passage est loin d'une intersection routière;
- le pourcentage de poids lourds est faible;
- l'aménagement est cohérent avec les autres passages environnants.

Au Québec, la priorité de passage est accordée aux véhicules sur la route principale. Lorsque la route est peu fréquentée et que la visibilité est excellente au croisement, un panneau « Cédez le passage » peut être placé sur la piste cyclable. Exceptionnellement, un arrêt peut-être installé sur la route, par exemple lorsque le volume d'utilisateurs sur la piste est beaucoup plus important que celui de la route ou lorsque la visibilité est mauvaise sur la route (Vélo Québec, 2009).

Certains auteurs notent des problématiques de sécurité dans l'établissement des priorités. Le FIDOT (1996) remarque un très mauvais taux de conformité des cyclistes aux arrêts situés sur des routes faiblement achalandées.

Davis et Hallenbeck (2008) affirment que les véhicules circulant sur une longue distance (au-delà de 4,8 km) sans arrêt sont moins enclins à céder le passage aux piétons. Leurs observations démontrent aussi que le taux de respect des passages pour piétons est faible et variable d'un endroit à l'autre, ce qui n'aide pas à améliorer le sentiment de sécurité des piétons. Pour les auteurs, la visibilité du passage joue un rôle important dans le respect des priorités.

En Norvège, Phillips *et al.* (2011) ont analysé les habitudes des conducteurs à l'endroit des cyclistes pour différents scénarios de droits de passage (figure 3). Dans tous les cas présentés (A à H), la priorité va premièrement aux véhicules sur la route principale, puis aux véhicules sur la route secondaire, et en dernier lieu, aux cyclistes.

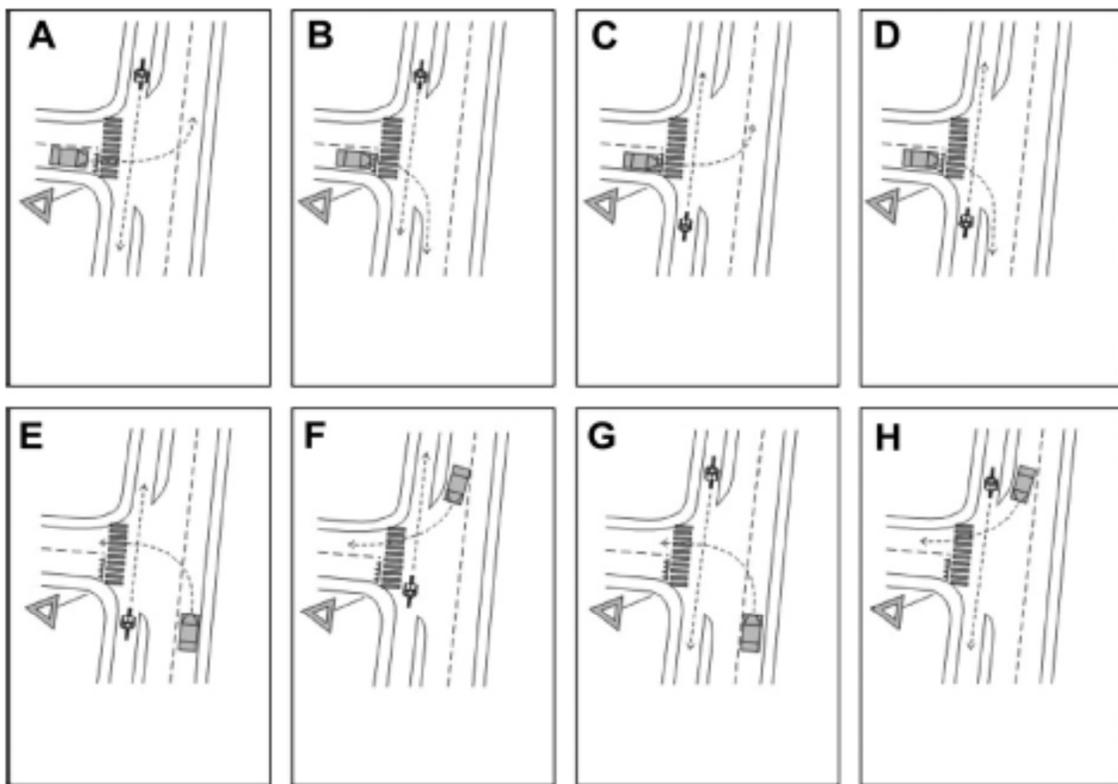


Figure 3 Scénarios analysés par Phillips *et al.* (2011)

Tiré de : Phillips *et al.* (2011) *Reduction in car-bicycle conflict at a road-cycle path intersection.*

Le comportement des cyclistes et des conducteurs a été capté sur vidéo sur trois périodes (2 mois, 4 ans et 10 ans). L'analyse des données montre que sur une période de 10 ans, les véhicules arrivant de la route secondaire étaient plus enclins à céder le droit de passage aux vélos, alors que le scénario contraire est observé pour les véhicules venant de la route principale. La prise de données, démontre que le respect du droit de passage a augmenté significativement de 0 à 4 ans, puis est demeuré stable entre 4 et 10 ans. Cette tendance s'est traduite par une diminution du nombre de conflits entre les cyclistes et les conducteurs. Les auteurs croient que les usagers se sont adaptés à l'intersection.

La Nouvelle-Zélande recommande certains aménagements sur la piste cyclable pour améliorer le taux d'arrêt des cyclistes (ViaStrada, 2010) :

- changer l'alignement de la piste cyclable avant l'arrêt pour ralentir les usagers;
- installer une signalisation claire et une ligne d'arrêt;
- traiter la surface de roulement (texture ou marquage);
- installer des bollards à l'entrée de la piste ou une porte d'entrée.

Turner *et al.* (2006) décrivent les étapes reliées aux manœuvres d'évitement d'accident par une approche globale s'appliquant à tout type d'utilisateur. En effet, que l'utilisateur soit un piéton, un cycliste ou un conducteur de véhicule routier, tous passent par le même processus pour éviter un accident. La séquence se décompose en cinq parties :

1. **recherche visuelle** - les utilisateurs observent leur environnement à la recherche d'un danger potentiel;
2. **contact visuel** - les utilisateurs se repèrent;
3. **évaluation** - le risque d'accident est reconnu et une action doit être entreprise pour l'éviter;
4. **décision** - le risque est évalué et l'action nécessaire pour l'éviter est choisie (évaluation de la vitesse, de la trajectoire, du comportement, amorce du freinage, changement de voie, etc.) et
5. **action** - la décision prise est mise en action et l'accident est évité si cette dernière est appropriée.

Selon Phillips *et al.* (2011), la majorité des accidents entre cyclistes et véhicules aux intersections sont dus à un manque d'attention et une méconnaissance des habitudes et actions des utilisateurs. Une intersection complexe et très achalandée demande plus d'analyse et de capacités cognitives de la part des utilisateurs, ce qui affecte leur comportement. Schepers *et al.* (2011) font un constat similaire. La plupart du temps, lors d'une collision entre un cycliste et un véhicule, le cycliste a remarqué le véhicule et croyait que celui-ci lui laisserait la priorité. Et dans bien des cas où la priorité était au cycliste, les conducteurs disaient ne pas voir vu le cycliste avant l'impact.

Aux États-Unis, l'analyse de 8 000 accidents entre cycliste et conducteur montre que 21,7 pourcent des véhicules et que 28,5 pourcent (11,7% pour les traverses entre intersections) des vélos n'ont pas respecté le droit de passage (FHWA, 2006). La majorité de ces accidents surviennent en milieu urbain. Dans certains cas, le cycliste circulait sur le trottoir et/ou en sens inverse ou a ignoré le feu de circulation pour garder son momentum ou dit ne pas avoir vu le signal d'arrêt. Le FHWA rappelle que les cyclistes n'ont pas tous le même degré d'expérience et que certains ont de la difficulté à évaluer l'environnement routier ou ont tendance à surestimer leur capacité. De plus, certains ne connaissent pas la réglementation routière. Pour diminuer le nombre d'accidents, le FHWA recommande d'améliorer l'éclairage des traverses et de réduire la longueur des passages cyclables.

4.2.3. Achalandage (piste cyclable)

Les volumes de piétons et de cyclistes sont des critères très souvent utilisés pour faire la sélection d'aménagements aux passages pour piétons et aux passages cyclables. Les guides et procédures consultés comptabilisent les piétons et les cyclistes ensembles.

En Angleterre, les piétons et les cyclistes sont séparés aux traverses très achalandées pour diminuer le risque de conflits (DfT, 2008). Ceci est surtout le cas en milieu urbain.

4.2.4. Achalandage (route)

Le débit journalier moyen annuel (DJMA) et le débit journalier moyen estival (DJME) sont des variables fréquemment utilisées dans la sélection des aménagements. Le volume de véhicules est un facteur de stress important pour le cycliste (Austroads, 2000b), surtout s'il doit traverser ce flot de circulation.

Plumert *et al.* (2010) ont étudié le comportement des enfants cyclistes aux intersections par le biais d'une simulation dans un environnement virtuel avec des volumes de circulation faibles et élevés. Sans préciser ces volumes, les auteurs ont remarqué que le risque de collision entre un véhicule et un enfant est beaucoup plus important lorsque le volume de véhicules est élevé.

Les analyses statistiques de Schepers *et al.* (2011) révèlent de leur côté une corrélation positive entre le nombre d'accidents vélos-véhicules et le volume de circulation. Toutefois, Ivan *et al.* (2001) apportent une précision très importante. Il semblerait que la fréquence d'accidents ne soit pas plus grande en période de pointe, que ce soit la pointe du matin, du midi ou du soir. En effet, Ivan *et al.* (2001) rapportent que les accidents entre piétons et véhicules sont plus fréquents le samedi, et uniformes les jours de semaine. De plus, l'après-midi et le début de soirée sont les périodes les plus dangereuses pour les piétons.

Par ailleurs, Klop et Khattak (1999) affirment qu'un DJMA élevé induit davantage de congestion, ce qui a pour effet de diminuer la vitesse pratiquée, et par conséquent la gravité des accidents.

Pour classer les routes en fonction de leur profil de circulation, le MTQ utilise cinq types de profil. Pour chacun de ces profils, un ratio entre le débit journalier moyen estival (DJME) et le débit journalier moyen annuel (DJMA) est établi pour chacun des sept jours de la semaine, et pour chacun des douze mois de l'année. En connaissant le DJMA actuel, il est donc possible, à l'aide des distributions théoriques, d'estimer quel sera le volume de véhicules pour une journée donnée, comme par exemple un dimanche de juin. Voici les cinq types de profils employés par le MTQ :

- Urbain
- Moyen
- Récréatif
- Récréotouristique
- Touristique

Le profil urbain présente une très faible variation journalière et mensuelle du trafic (figure 4). La circulation est stable, voire quasi uniforme, d'un mois à l'autre et d'un jour à l'autre. Seuls les jours de fin de semaine montrent une très légère diminution de l'achalandage global.

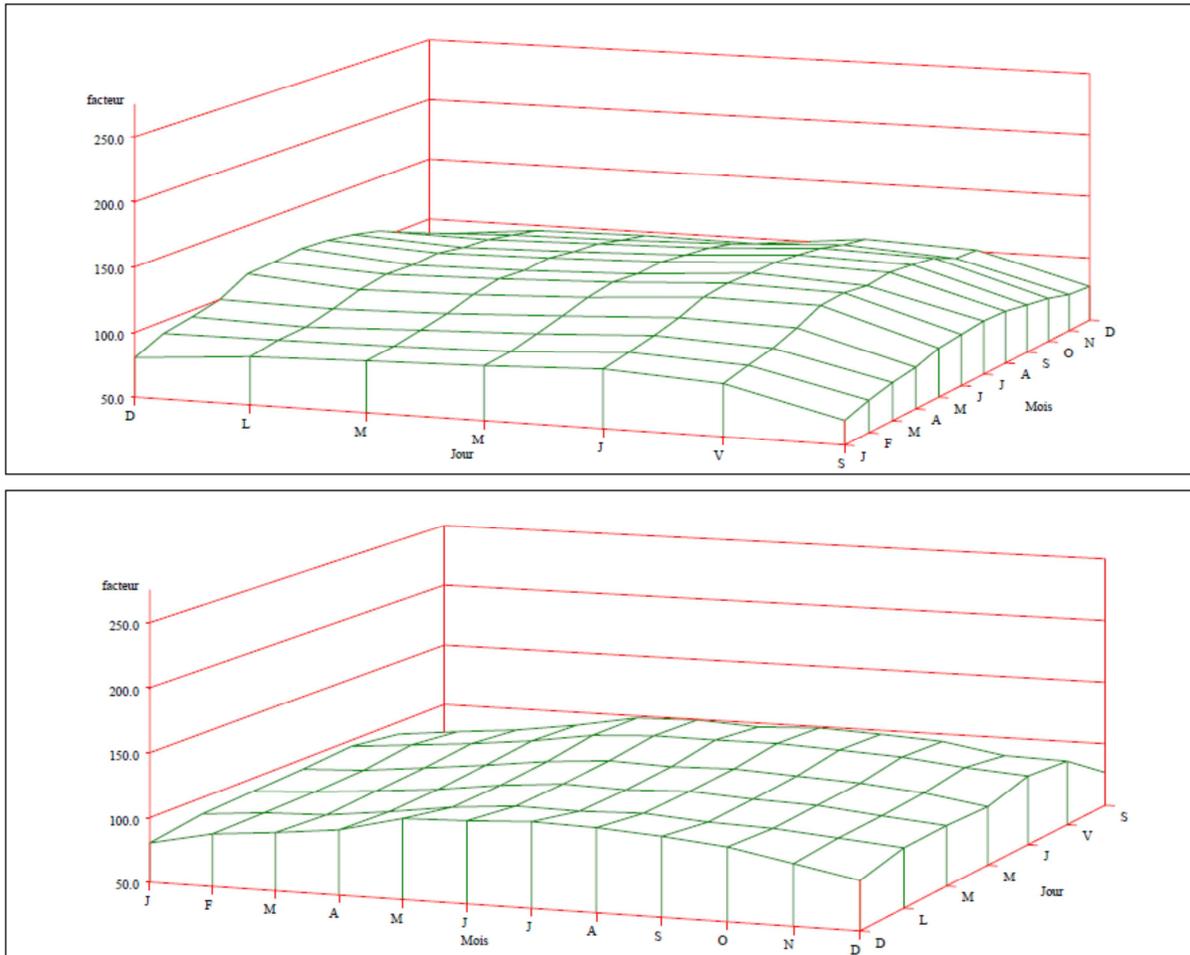


Figure 4 Profil de circulation urbain (MTQ)

Le profil moyen présente une légère variation hebdomadaire et mensuelle du trafic (figure 5). Le facteur de croissance augmente la fin de semaine et au cours de la saison estivale. En saison hivernale, le volume de trafic diminue et ne présente presque aucune variation hebdomadaire.

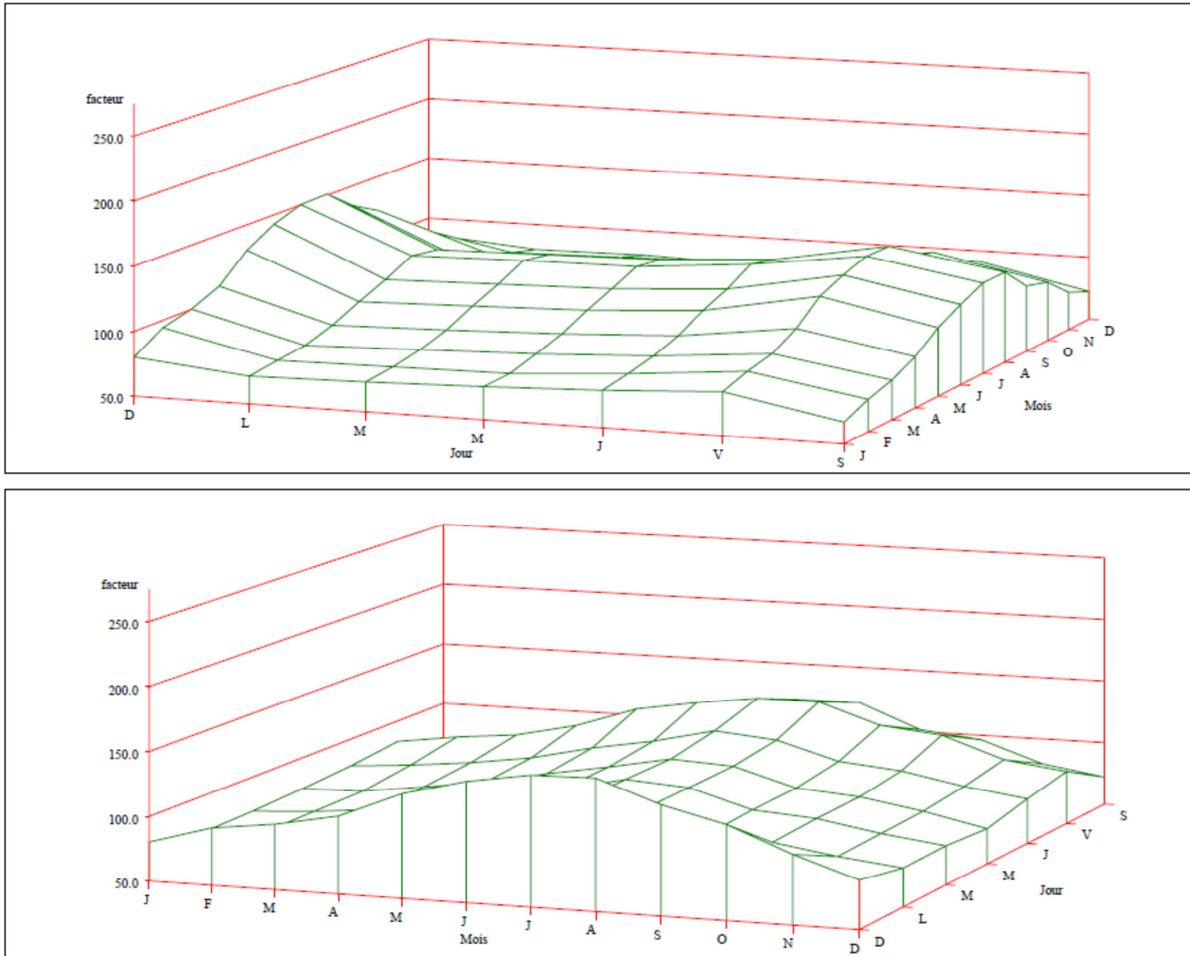


Figure 5 Profil de circulation moyen (MTQ)

Le profil récréatif présente une accentuation importante du trafic la fin de semaine et en période estivale (figure 6). En période hivernale, le volume de trafic diminue de façon importante, mais conserve le même type de profil qu'en période estivale.

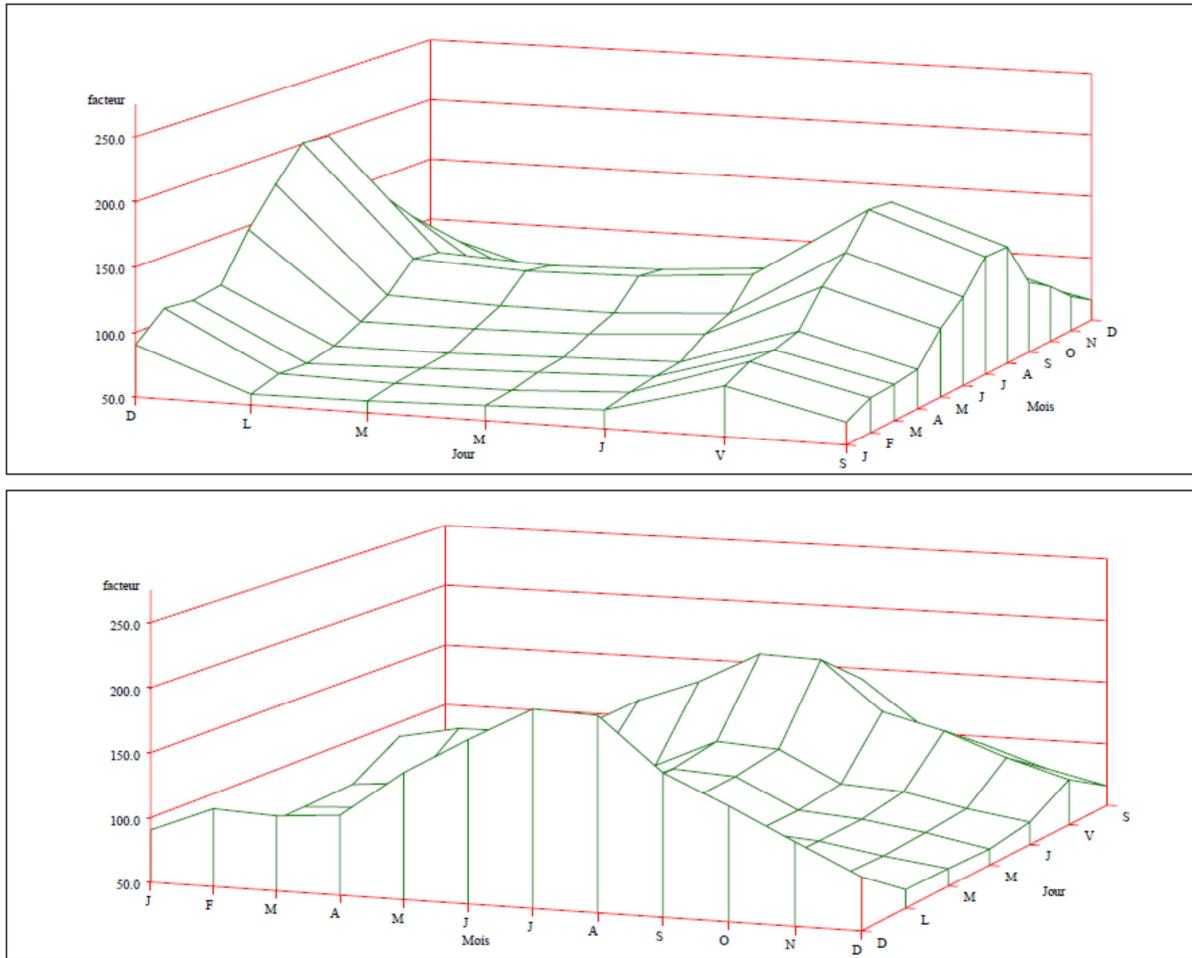


Figure 6 Profil de circulation récréatif (MTQ)

Le profil récréotouristique est caractérisé par une forte croissance du volume de trafic en saison estivale (figure 7). On remarque également que les jours de fin de semaine ont un facteur plus important que les jours de semaine. À l'hiver l'achalandage devient très faible, et ce peu importe la journée de la semaine.

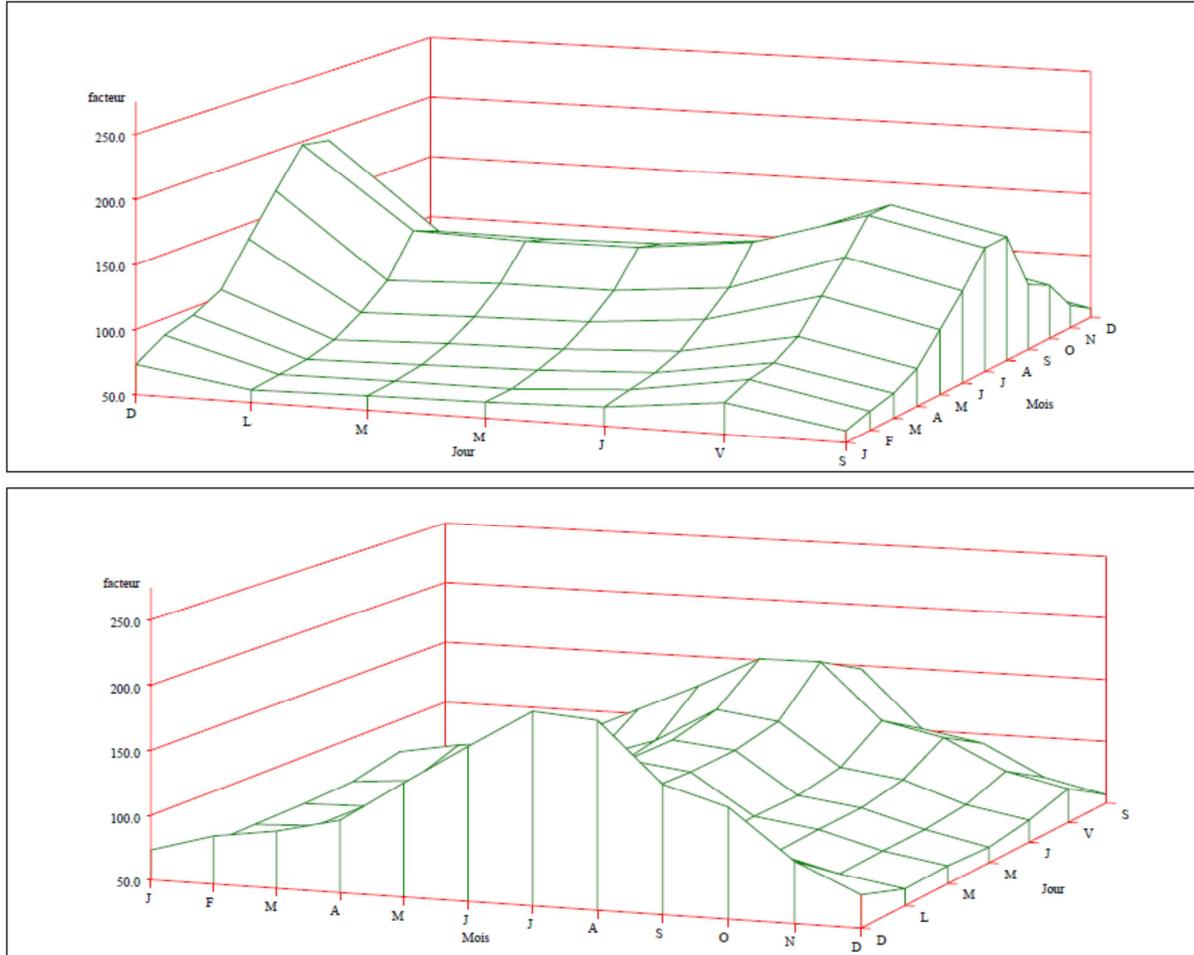


Figure 7 Profil de circulation récréotouristique (MTQ)

Le profil touristique est pratiquement identique au profil récréotouristique à la différence près que son volume de trafic estival ne présente pas de variation hebdomadaire importante (figure 8).

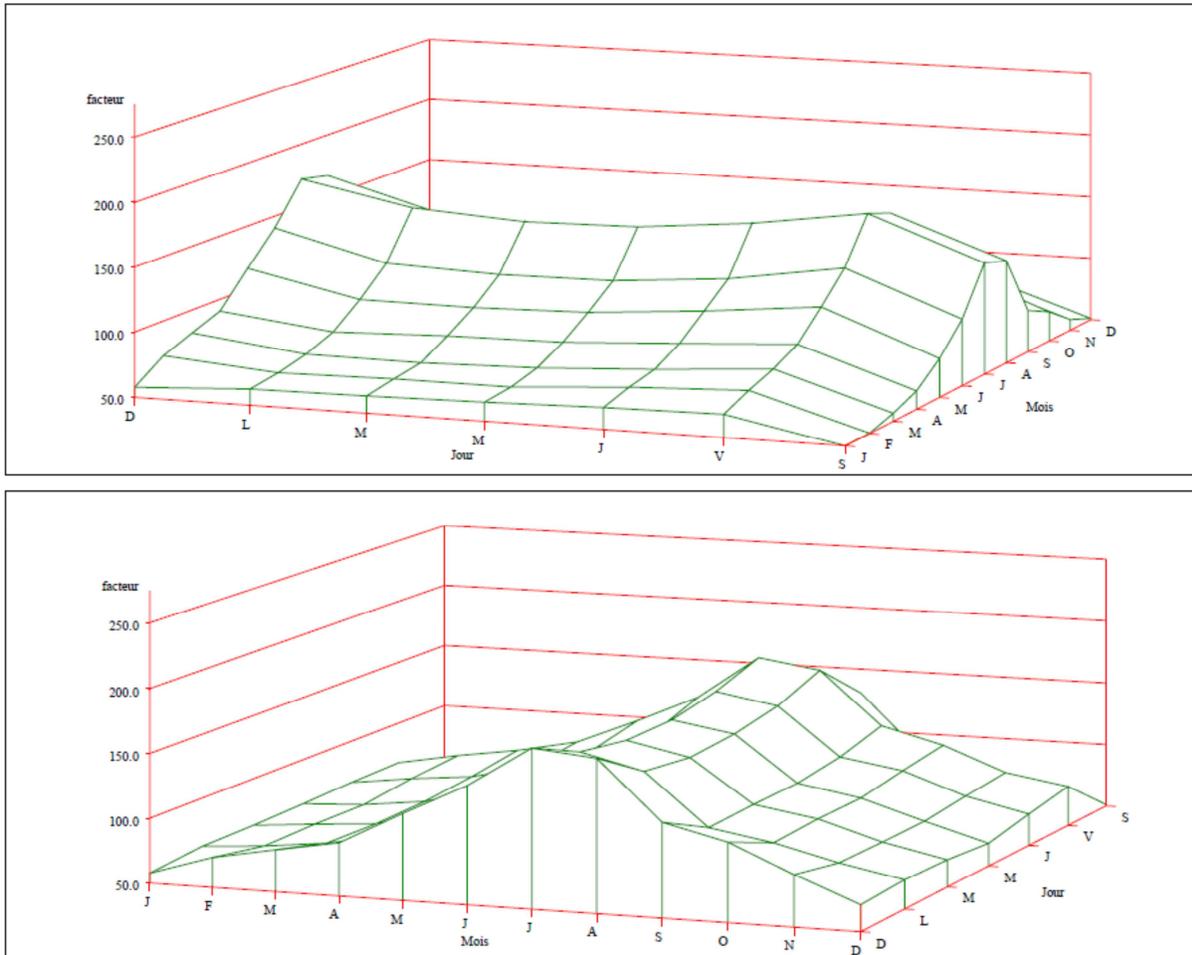


Figure 8 Profil de circulation touristique (MTQ)

4.2.5. Circulation lourde sur la route

Les guides techniques d'aménagement expriment des mises en garde relativement aux poids lourds, sans toutefois donner de seuils critiques. Ainsi, Zegeer *et al.* (2002) notent qu'il n'est pas approprié d'installer un passage pour piétons là où le volume de véhicules lourds est élevé. Toutefois, s'il est nécessaire de donner priorité au piéton à un passage où le volume de véhicules lourds est élevé, une considération particulière doit être apportée pour faire arrêter les véhicules lourds.

4.2.6. Vitesse affichée et pratiquée sur la route

La vitesse pratiquée a une grande incidence sur la sécurité des cyclistes. La majorité des guides utilisent la vitesse 85^e centile dans le choix de l'aménagement (Austroads, 2000b). Il existe une corrélation positive entre la vitesse et la proportion d'accidents mortels ainsi que la gravité des accidents (Ivan *et al.*, 2001; Klop et Khattak, 1999). Austroads (2001) donne plus de précision sur la vulnérabilité des cyclistes et des piétons par rapport à la vitesse des véhicules. À 45 km/h, les chances de survie sont inférieures à 50 pourcent, alors qu'à 30 km/h, elles sont de 90 pourcent. Ainsi, pour l'agence, la gestion de la vitesse est l'élément clé pour la sécurité des usagers vulnérables.

Zegeer *et al.* (2002), dans leur étude sur la sécurité des piétons aux passages marqués et non marqués, qui sont situées à des intersections non contrôlées, notent d'importants problèmes de sécurité lorsque la vitesse est élevée. En effet, les auteurs n'ont pu recenser de passage aménagé aux États-Unis sur des routes affichant plus de 64 km/h (40mph). Ils expliquent que les routes rapides sont problématiques pour les piétons, et qu'elles nécessitent de facto des aménagements spécifiques. Bien que les accidents aux passages non contrôlés sur routes à haute vitesse soient rares, la gravité de tels cas fait en sorte qu'il est nécessaire de fournir aux piétons des infrastructures sécuritaires. Les auteurs ajoutent que l'Allemagne, la Finlande et la Norvège n'autorisent pas les traverses sur les routes rapides. Encore une fois, tout ceci est attribuable au fait que le passage pour piétons implique à l'utilisateur en véhicule de céder au piéton.

Par ailleurs, Austroads (2000b) rappelle que la vitesse pratiquée des véhicules ne peut être diminuée par un simple changement du panneau d'affichage (diminuer la vitesse affichée). Pour qu'une vitesse réduite soit respectée, il est nécessaire que l'environnement routier soit cohérent avec la vitesse affichée. Les résultats d'un sondage mené auprès de diverses agences de transport par Bruneau (2011) sont catégoriques :

« Quant aux conditions propices au respect des limites de vitesse réduites, les agences se prononcent presque à l'unanimité : il faut qu'un ensemble de conditions soient réunies. Il faut que la rue soit étroite, qu'on y retrouve du stationnement sur rue, et qu'il y ait animation piétonnière. De plus, le conducteur doit sentir rapidement la vocation résidentielle ou la fonction locale de la rue en question. Si ces quatre facteurs se présentent isolément, ils ne sont pas en mesure de réduire la vitesse à des seuils aussi bas. »

L'auteur recueille également les propos de la ville de Lorient en France qui explique que la réduction de la vitesse pratiquée peut être atteinte par le biais de la répression policière et les campagnes de sensibilisation. Toutefois, la portée de ces actions est limitée, puisque les comportements d'origine réapparaissent quelques temps après le relâchement des contrôles policiers et la fin des campagnes de sensibilisation. Lorsque l'environnement routier n'est pas favorable à une réduction de la vitesse affichée et que la répression policière ne peut être soutenue continuellement, la seule option possible consiste en un réaménagement de la route ou l'aménagement de dispositif modérateur de vitesse (ex. dos d'âne).

4.2.7. Vitesse pratiquée sur la piste

Landis *et al.* (2004) ont mené une vaste enquête pour connaître les caractéristiques des usagers des sentiers multifonctionnels. Les engins les plus rapides sont les vélos couchés, avec une vitesse 85^e centile de 29 km/h. En contrepartie, le vélo à main est le plus lent avec une vitesse 15^e centile de 8 km/h. Chez les piétons, les usagers les moins rapides sont les poussettes et les chaises roulantes manuelles, avec des vitesses moyennes respectives de 4 et 5 km/h. Les auteurs ont également remarqué que les chaises roulantes manuelles sont les appareils qui décélèrent le moins vite, et que les patineurs sont les usagers qui nécessitent la plus longue distance de freinage.

La vitesse de marche des piétons varie en fonction du sexe et de la raison de la marche (VAT, 2002). La majorité des guides consultés leur attribue une vitesse moyenne de 1,2 m/s (Turner *et al.*, 2006; VAT, 2002; Fehr & Peers, 2003; Traffic Authority of New South Wales, 2006). Lorsque la traverse est utilisée par un grand nombre de personne âgée ou d'utilisateurs vulnérables, la vitesse utilisée est de 0,9 m/s (Otak, 1997; Fitzpatrick *et al.*, 2006; Fehr & Peers, 2003).

Pour ce qui est de la vitesse des cyclistes sur une traverse, l'AASHTO (1999) recommande une vitesse moyenne de 19 km/h (5,3 m/s) pour le cycliste expérimenté, de 13 km/h (3,6 m/s) pour le cycliste d'occasion et de 10 km/h (2,8 m/s) pour les enfants cyclistes. Le MnDOT (2007) et Austroads (2003) utilisent une vitesse de conception de 20 km/h pour les traverses. Le VAT (2002) donne ses recommandations dans le tableau 1.

Tableau 1 Caractéristiques des cyclistes et vitesse de conception

Caractéristiques de l'utilisateur	Hauteur (m)
Hauteur de visibilité	1,35
Centre de gravité	0,84 - 1,02
Type de cycliste	Vitesse (km/h)
enfant (4 à 8 ans)	10 - 14
Préadolescent (9 à 12 ans)	11 - 17
Adolescent (13 à 18 ans)	13 - 24
Adulte	13 - 24
Adulte expérimenté	19 - 38
Adulte âgé	13 - 24
Club cycliste	24 - 50
Vitesse de conception	Vitesse (km/h)
Passage (intersection)	15
Terrain plat (pavé)	30
Terrain plat (non pavé)	24
Gradient négatif	50
Gradient positif	8 - 19

Tiré de : VAT (2002) *Pedestrian and Bicycle Facility Design Manual*, chap. 4, «On-road bicycle facilities».

L'agence du Vermont précise que la décélération maximale d'un cycliste est de 17 km/h² et que lors de condition humide, l'efficacité du freinage est diminuée de 50 à 80 pourcent (VAT, 2002).

4.2.8. Longueur du passage

La longueur d'un passage détermine le temps de traversée des usagers. Le VAT (2002) recommande donc que la longueur du passage soit minimale. S'il n'est pas déjà à angle droit, le passage peut être raccourci par un réalignement. Il peut également être raccourci au moyen d'un îlot de protection, d'un rétrécissement de la chaussée ou d'un goulot d'étranglement. Des solutions d'aménagement telles qu'un îlot de protection sont toutefois peu utiles lorsque le passage est à angle droit et que la route n'a que deux voies de circulation contiguës, car dans ce cas la longueur du passage est déjà réduite au minimum. De plus, les mesures d'apaisement de la circulation de façon générale sont difficiles à appliquer en milieu rural, s'agissant surtout d'options disponibles ou envisageables en milieu urbain.

4.2.9. Temps de traversée

Le VAT (2002) considère que le temps de réaction d'un cycliste varie énormément selon l'individu. Cette agence utilise un temps de réaction de 2,5 ou 3 s pour une situation inhabituelle, en plus d'ajouter un délai supplémentaire de 1,5 s pour l'activation du mécanisme de freinage. Selon Landis *et al.* (2004), le temps de réaction au freinage des cyclistes est le même que celui des automobilistes (2,5 s).

En Angleterre le DfT (2008) assume que la vitesse moyenne d'un cycliste, à un passage plane et muni d'une signalisation, se situe entre 4 et 7 m/s. L'équation suivante permet de connaître le temps nécessaire à un cycliste pour traverser le passage (AASHTO, 1999) :

$$T = t_r + \frac{v}{2a} + \frac{l_c + l_v}{v}$$

Où :

T = temps de traversée (s)

t_r = temps de réaction (s)

v = vitesse du cycliste (m/s)

a = accélération du cycliste (m/s²)

l_c = largeur de la chaussée (m)

l_v = longueur du vélo (m)

4.2.10. Distance de visibilité d'arrêt (DVA)

Selon l'Institute of Transportation Engineers (ITE), la distance de visibilité d'arrêt comprend la distance parcourue entre l'instant où le conducteur aperçoit le cycliste et le moment où son véhicule devient immobile (Stover et Koepke, 2002). Il prend en compte le temps de réaction, la distance de freinage, la vitesse pratiquée et le gradient vertical de la route. Un gradient positif augmente la distance alors qu'un gradient négatif la diminue. Le temps de réaction du conducteur est composé de quatre étapes : la perception du danger, l'identification du danger, la prise de décision et l'amorce du freinage. Un temps de réaction de 2,5 secondes est couramment utilisé pour le calcul de la DVA, cependant une valeur supérieure peut être utilisée pour des situations inhabituelles. L'ITE propose d'utiliser une décélération de 3,4 m/s² dans le calcul de la DVA) :

$$DVA = 0,278Vt + 0,039 \frac{V^2}{a} \qquad DVA = 0,278Vt + \frac{V^2}{254 \left(\left(\frac{a}{9.81} \right) \pm g \right)}$$

Où :

V = Vitesse de conception (km/h)
 t = Temps de réaction au freinage (secondes)
 a = décélération (m/s²)
 g = gradient de la route (pourcentage)

Selon l'ITE, la distance de visibilité d'arrêt des camions est 50 % supérieure à celles des automobiles (Stover et Koepke, 2002). Les calculs du DVA sont basés sur une hauteur d'objet de 60 cm (2 pieds). Cette hauteur correspond à la lumière de frein d'un véhicule. Toutefois, la DVA peut être inadéquate. Premièrement, au niveau de la hauteur d'objet, car un cycliste pourrait être couché au sol après avoir fait une chute. Aussi, la DVA traditionnelle ne permet pas de juger de situations complexes ou surprenantes.

Au Québec, la DVA se calcule également avec un temps de réaction de 2,5 s, selon la formule suivante (MTQ, 2010b) :

$$DVA = \frac{2,5v}{3,6} + \frac{v^2}{254(f \pm p)}$$

Où :

v = Vitesse de conception (km/h)
 f = coefficient de frottement longitudinal
 g = déclivité en m/m

Le MTQ recommande également d'utiliser une vitesse de base de 10 km/h plus élevée que la vitesse affichée, ce qui dans le cas d'une route affichée à 90 km/h, porte la DVA à 200 m.

Chez le cycliste, la distance de visibilité d'arrêt prend en compte les mêmes paramètres, mais avec une décélération différente. En effet, cette valeur varie en fonction du type de freins et de leur qualité, de l'expérience du cycliste, du revêtement de la chaussée, des conditions météorologiques, des pneus, de la pente, du poids du cycliste et de son équipement ainsi que de sa vitesse. Pour ces raisons, la distance de visibilité d'arrêt peut varier grandement d'un cycliste à l'autre (MnDOT, 2007). Le calcul se fait selon les recommandations de l'AASHTO (1999) et du MTQ (2010b) considérant une hauteur de 1,4 m, un temps de réaction de 2,5 s, un coefficient de friction de 0,25 et une hauteur d'objet fixée à 0 m.

$$DVA_{AASHTO} = \frac{v^2}{254(\mu \pm g)} + \frac{v}{1,4} \qquad DVA_{MTQ} = \frac{v^2}{255(\mu \pm g)} + 0,694v$$

Où :

DVA = distance de visibilité d'arrêt (m)
 v = vitesse (km/h)
 μ = coefficient de friction
 g = gradient de la pente

Landis *et al.* (2004) ajoutent que la hauteur des yeux sur un vélo à main et couché (96 cm) est significativement inférieure à la moyenne des vélos conventionnelles (157 cm).

Enfin, Ivan *et al.* (2001) rappellent que bien que la distance de visibilité soit un paramètre de sécurité important, il n'en demeure pas moins que la majorité des accidents (71%) entre piétons et véhicules surviennent sur des routes droites où les distances de visibilité sont appropriées.

4.2.11. Distance de visibilité de traversée (DVT)

Stover et Koepke (2002) mentionnent que la distance de visibilité de traversée est complexe à évaluer. En effet, le cycliste doit regarder dans les deux directions et prendre le temps d'évaluer la vitesse et l'approche du véhicule (évaluer le créneau de passage). Selon les auteurs, il faut considérer entre 0,75 et 1,5 seconde pour tourner la tête et évaluer l'approche d'un véhicule. Ainsi, la traverse d'un chemin nécessite environ 2,25 à 4,5 secondes d'analyse.

4.2.12. Axe du passage

L'axe du passage influence sa longueur totale, et affecte la vision du cycliste. Pour plusieurs (Otak, 1997; Turner *et al.*, 2006; Austroads, 2011; Virginia Department of Transportation, 2001; MnDOT, 2007; ViaStrada, 2010) l'angle du passage doit être de 90°. En effet, les intersections à angles différents de 90° sont associées à une fréquence d'accidents plus élevée (Donnell *et al.*, 2010). Certains auteurs (VAT, 2002; FIDOT, 1996; Washington State Department of Transportation (WsDOT), 2010) acceptent un angle de 70 à 75°, puisque cela ne fait qu'augmenter la longueur de la traverse de quatre pourcent. Au Québec, la norme stipule que l'angle du passage doit être compris entre 75° et 105° (MTQ, 2010b).

4.2.13. Créneaux de passage

La traversée d'une route par un piéton ou un cycliste nécessite un créneau de passage adéquat. Il faut que la période de temps s'écoulant entre deux vagues de véhicules soit suffisamment longue pour permettre aux usagers de traverser, sans entrer en conflit avec les véhicules. Sprinkle consulting (2007) le définit comme étant l'intervalle de temps écoulé entre deux moments : celui où le pare-chocs arrière du véhicule le plus près de l'utilisateur soit passé, et celui où passe le pare-chocs avant du véhicule suivant. La longueur et la disponibilité des créneaux de passage dépendent de la vitesse des véhicules, du volume de trafic et du nombre de voies (TANSW, 2006). La prochaine équation permet de calculer le créneau nécessaire pour traverser une route (Sprinkle consulting, 2007) :

$$C = t_r + \frac{L_r \times N}{v}$$

Où :

C = temps du créneau (s)

t_r = temps de réaction (s)

L_r = largeur de la route (m)

N = nombre de voies

v = vitesse de l'utilisateur (m/s)

Plus les vitesses pratiquées sont élevées, plus il est difficile d'évaluer un créneau de passage (Stover et Koepke, 2002; Sprinkle consulting, 2007). Et de surcroît, des créneaux accrus sont nécessaires lorsque la route présente un gradient de pente et un DJMA importants. Plumert *et al.*, (2010) ont remarqué que le volume de circulation influence le choix du créneau de passage par les cyclistes. Plus le volume est élevé, plus l'utilisateur aura tendance à prendre des créneaux courts. Deux raisons peuvent expliquer ce constat. D'abord, le cycliste confronté à plusieurs passages consécutifs a tendance à accepter des créneaux plus courts pour traverser (Plumert *et al.*, 2010; Bruneau *et al.*, 2000). Selon les auteurs, cela est dû au fait que les cyclistes améliorent la rapidité de leur départ et leur évaluation des créneaux après plusieurs traverses. Par ailleurs, un volume de trafic accru diminue le nombre de créneaux disponibles, et il augmente le temps d'attente du cycliste. Or, les usagers qui attendent trop longtemps à une traverse ont tendance à s'impatienter et à accepter des créneaux de passage trop courts.

L'expérience du cycliste de même que son âge influencent le choix et l'évaluation des créneaux de passage. Selon Plumert *et al.* (2004) la majorité des gens évaluent les créneaux par rapport à la distance qui les sépare du véhicule plutôt qu'à la vitesse de celui-ci. Ceci est observé en particulier chez les jeunes enfants. Une autre recherche de Plumert *et al.* (2010) a démontré que les enfants sont généralement prudents aux passages, mais qu'ils acceptent parfois des créneaux trop courts, particulièrement les enfants en bas âge. Babu *et al.* (2011) donnent plus de détails sur le comportement des enfants cyclistes face aux créneaux de passage, au moyen d'une analyse simulée dans un environnement virtuel. Leurs résultats montrent qu'un enfant suivant un accompagnateur téméraire, qui traverse sur des créneaux plus serrés, a lui-aussi tendance à choisir des créneaux de passage plus réduits. Les enfants accompagnés d'un tuteur prudent traversent pour leur part sur des créneaux plus longs, et ils amorcent leur manœuvre plus tôt. Pour les auteurs, cela démontre que les enfants sont très influencés par le comportement des gens qui les accompagnent. De plus, ils notent que les enfants choisissent des créneaux plus serrés lorsqu'une personne les attend de l'autre côté de la traverse.

King (1977) dans Transplan Associates (1996) affirme que le temps moyen d'attente acceptable pour les piétons est de 30 secondes et que le temps d'attente maximal est d'une minute (95^e centile). Ces données corroborent celles de Bruneau *et al.* (2000) obtenues auprès des cyclistes et des patineurs. Dans la ville de Boulder, au Colorado, Transplan Associates (1996) évalue le temps d'attente moyen acceptable à 15 secondes, et le 85^e centile à 22 secondes. Une fois cette limite dépassée, les piétons choisissent des créneaux plus courts que ceux rejetés précédemment pour traverser. Ribbens (1985) observe également un temps d'attente moyen acceptable de 15 secondes, aux passages non contrôlés. Pour le MnDOT (2008), le temps moyen d'attente à un passage ne devrait pas dépasser 48 secondes par kilomètre. De plus, les cyclistes d'expérience sont plus intolérants et il est préférable de ne pas les faire arrêter plus d'une fois par 800 à 1600 mètres. Par ailleurs, certaines agences considèrent qu'un passage doit disposer d'au moins un créneau de passage adéquat par minute, à défaut de quoi l'installation d'un feu de circulation doit être envisagée (VAT, 2002; Illinois Department of Transportation, 2010; Otak, 1997). Transplan Associates (1996) utilise l'équation ci-dessous pour savoir si le site de passage requiert une étude approfondie des créneaux de passage. Un résultat supérieur à 200 indique que le site est potentiellement problématique, et qu'une étude de circulation doit être effectuée.

$$\frac{DJMA \times L}{1000} \geq 200$$

Où :

L = longueur de la traverse (pieds)

4.3. Grilles de priorisation des choix d'aménagement

Les grilles de priorisation des choix d'aménagement offrent généralement une hiérarchie de choix en fonction de divers paramètres, tels que le volume d'usagers (route et piste cyclable) et les vitesses affichée et pratiquée sur la route. Parmi les choix d'aménagement offerts dans les différentes grilles, il y en a six plus courantes : l'absence d'aménagement, le marquage au sol, le panneau de signalisation, l'îlot de protection, le feu de circulation et le passage dénivelé (tunnel ou passerelle). Les prochaines sections détaillent les grilles de priorisation par pays, en tenant compte de l'importance accordée aux cyclistes dans le processus décisionnel. Quelques grilles de priorisation consacrées exclusivement aux piétons sont aussi présentées à la fin de la section, à titre indicatif, même si le contexte ne s'applique pas entièrement à celui de l'étude.

4.3.1. Passages cyclables en Australie

Pour Austroads (2001), l'aménagement d'un passage cyclable est toujours une question de compromis entre la sécurité des usagers vulnérables et les délais occasionnés aux véhicules sur la route. En fait, il doit y avoir un lien entre les composantes et les fonctionnalités du réseau cyclable et la classification fonctionnelle de la route. Les infrastructures cyclables qui empruntent ou croisent un réseau routier doivent refléter le niveau fonctionnel de la route et de la piste cyclable. Il faut garder à l'esprit que le but d'un réseau cyclable est d'encourager la pratique du vélo (nouveaux utilisateurs) et d'accroître la sécurité et la facilité des trajets. Il est souhaitable, mais pas toujours possible, que le réseau offre un espace de manœuvre adéquat et des aménagements sécuritaire et efficace pour tous les utilisateurs.

Le type de passage doit être déterminé à l'aide de l'outil prévu pour les passages piétonniers, en prenant soin de combiner la demande cycliste avec la demande piétonne (Austroads, 2001). Il est toutefois impossible d'obtenir plus d'informations sur les seuils et critères à considérer.

4.3.2. Passages cyclables en Nouvelle-Zélande

En Nouvelle-Zélande, voici les facteurs à considérer lors de l'aménagement d'un passage cyclable (ViaStrada, 2010) :

- volume de trafic;
- pourcentage de poids lourds;
- vitesse affichée/pratiquée;
- distance de visibilité;
- longueur du passage;
- type de milieu (urbain ou rural) et
- disposition des traverses environnantes sur la piste cyclable (fréquence, distance entre les traverses et type d'aménagement).

La figure 9 illustre les choix d'aménagement préconisés en Nouvelle-Zélande en fonction du DJMA et de la vitesse affichée. Le document de ViaStrada précise qu'une marge de tolérance de 10 % est acceptable, et qu'il est préférable d'utiliser la vitesse du 85^e centile si cette dernière est connue. Lorsqu'un îlot de protection central est installé, la distance maximale pour s'y rendre doit être de 4,5 m, pour les zones de 60 km/h et moins, de 5,0 m pour les zones à 80 km/h, et de 5,5 m pour les zones à 100 km/h.

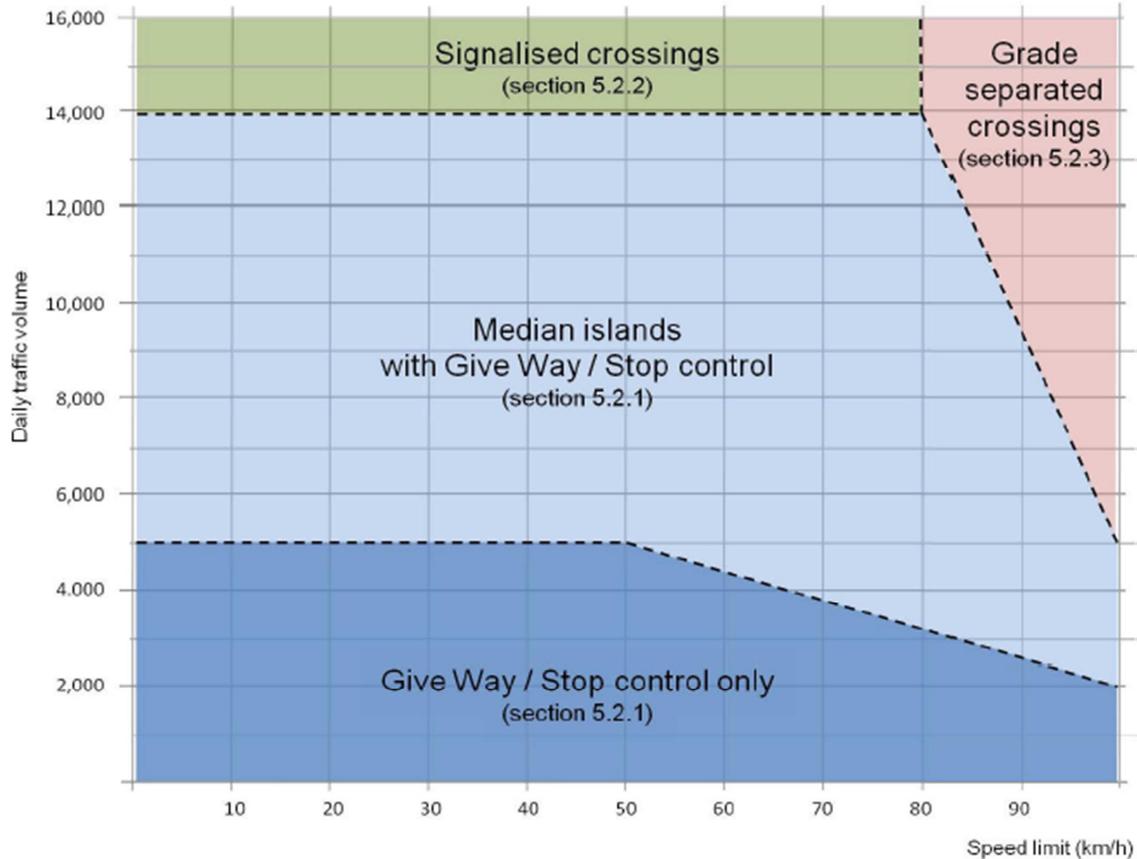


Figure 9 Grille de priorisation de ViaStrada

Tiré de : ViaStrada (2010) *Cycle trail design guide*.

4.3.3. Passages cyclables au Royaume-Uni

Au Royaume-Uni, Ove Arup & Partners (2009) proposent une grille décisionnelle basée sur la vitesse du 85^e centile et sur le DJMA d'une route à deux voies, et qui distingue les zones urbaines et rurales (tableau 2).

Tableau 2 Grille de priorisation d'Ove Arup & Partners

Vitesse (85 ^e centile)	DJMA	Type de traverse
< 32 km/h (20mph)	< 1 000	Priorité à la piste cyclable
< 48 km/h (30mph)	< 2 000	Priorité aux cyclistes - passage surélevé
< 80 km/h (50mph)	< 6 000	Priorité à la route
< 80 km/h (50mph)	< 8 000	Priorité à la route – îlot central (zone urbaine)
< 96 km/h (60mph)	< 10 000	Priorité à la route – îlot central surélevé (zone rurale)
< 80 km/h (50mph)	> 8 000	Feu de circulation
> 80 km/h (50mph)	> 8 000	Tunnel/passerelle (zone urbaine)
> 96 km/h (60mph)	> 10 000	Tunnel/passerelle (zone rurale)

Tiré de : Ove Arup & Partners (2009) *Infrastructure toolkit for cycling towns*.

La priorité est donnée à la piste lorsqu'il y a moins de 2 000 véhicules par jour, mais le passage doit être surélevé s'il y a plus de 1 000 véhicules par jour. De 2 000 à 10 000 véhicules par jour, la priorité est accordée à la route. Au-delà de ce seuil, un tunnel ou une passerelle doivent être envisagés en zone rurale.

4.3.4. Passages cyclables aux États-Unis

Au Wisconsin, une méthode spécifique aux environnements ruraux a été développée pour évaluer la pertinence de déniveler un passage cyclable (WisDOT, 2004). Tout d'abord, le site doit minimalement avoir un DJMA supérieur à 3 500 véhicules par jour et une vitesse affichée entre 64,4 et 88,5 km/h (40 et 55mph). Si ces critères sont rencontrés, le volume de véhicules sur la route et le volume de cyclistes sur la piste sont comptabilisés pour les mêmes heures, puis multipliés ensembles pour obtenir un facteur d'exposition. Les facteurs d'exposition sont ensuite placés en ordre croissant. La première et la quatrième valeur justifient la dénivellation du passage en fonction des conditions établies au tableau 3. Voici comment calculer le facteur d'exposition (WisDOT, 2004) :

$$E_{\max} = DHr_{\max} \times DHC_{\max} \quad E_4 = DHr_4 \times DHC_4$$

Où :

E_{\max} = facteur d'exposition maximal (heure la plus achalandée)

DHr_{\max} = débit horaire maximal de la route (heure la plus achalandée)

DHC_{\max} = débit horaire maximal de la piste cyclable (heure la plus achalandée)

E_4 = facteur d'exposition (4^{ième} heure la plus achalandée)

DHr_4 = débit horaire de la route (4^{ième} heure la plus achalandée)

DHC_4 = débit horaire de la piste cyclable (4^{ième} heure la plus achalandée)

Tableau 3 Facteur d'exposition employé dans la méthode du WisDOT

Facteur d'exposition (/1000)	Justification d'un passage dénivélé		
	Non applicable	Peut-être applicable	Applicable
E_4	<25	25-35	>35
E_{\max}	<40	40-60	>60

Modifié de : WisDOT (2004) *Wisconsin bicycle facility design handbook*.

Au Minnesota, la grille produite par le MnDOT (figure 10) et présentée dans Bruneau *et al.* (2000), a été révisée dans une nouvelle version du guide vélo, publiée en 2007. Cette nouvelle grille a de nouveaux seuils, offrant une plus grande flexibilité de choix (figure 11). L'ancienne grille propose uniquement le dénivélé comme option « sécuritaire » pour les routes qui affichent plus de 80 km/h, alors que la nouvelle offre le choix entre le dénivélé et le feu de circulation. De plus dans l'édition récente, les critères de DJMA justifiant le dénivélé, dans les zones de 60 km/h (7 000 véhicules par jours) et 50 km/h (9 000 véhicules par jours), ont été abaissés de 1000 véhicules par jour. La nouvelle grille offre donc plus de flexibilité à vitesse élevée et abaisse les seuils du passage dénivélé sur les routes à vitesse modérée.

Vitesse (km/h)	Critère de qualité	DJMA (véhicules par jour)			
		<5 000	5 000 à 7 000	7 000 à 9 000	>9 000
>80 km/h (>50mph)	Bon				
	Acceptable				
70 km/h (45mph)	Bon				
	Acceptable				
60 km/h (40mph)	Bon				
	Acceptable				
50 km/h (30mph)	Bon				
	Acceptable				

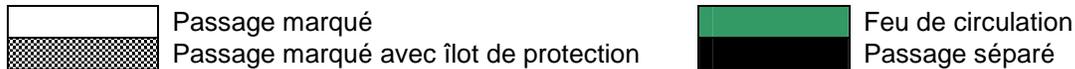


Figure 10 Grille de priorisation du MnDOT (2007)

Tiré de : MnDOT (2007) Bikeway facility design manual.

Vitesse (km/h)	Critère de qualité	DJMA (véhicules par jour)			
		<4500	4500 à 8000	8000 à 10000	>10000
>80 km/h (>50mph)		Toujours un tunnel ou une passerelle			
70 km/h (45mph)	Bon				
	Acceptable				
60 km/h (40mph)	Bon				
	Acceptable				
50 km/h (30mph)	Bon				
	Acceptable				

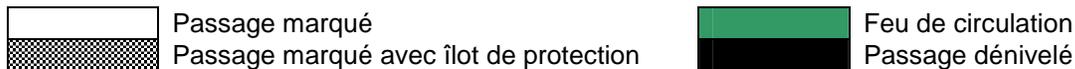


Figure 11 Grille de priorisation du MnDOT (1996)

Tiré de : MnDOT (1996) Minnesota Bicycle Transportation Planning and Design Guidelines.

Cette agence de transport a également apporté plus de détails à la définition du critère de qualité. L'aménagement «bon» est à prioriser lorsque :

- la piste est un trajet scolaire;
- il y a plusieurs utilisateurs vulnérables ou à risque;
- il y a un nombre élevé d'utilisateurs en période de pointe;
- la longueur du passage est grande;
- la piste cyclable fait partie d'un axe cyclable important ou
- des développements sont susceptibles d'augmenter le volume de véhicules et de vélos.

Toujours aux États-Unis, Birk et Hudson (s.d.) décrivent l'approche préconisée par la ville de Portland pour l'aménagement des passages du corridor cyclable de Springwater. Les passages sont divisés en quatre catégories, et possèdent les caractéristiques suivantes :

1) **Non protégé avec marquage** : comprend les passages entre intersections sur des rues locales, des collectrices et des artères. La priorité est aux véhicules (arrêt pour les vélos) et les passages ont les caractéristiques suivantes :

- Marquage au sol;
- DJMA <5 000 véhicules par jour (DH = 1 000 à 1 500);
- Vitesse du 85^e centile = 56 à 72 km/h (35-45mph);
- Largeur de chaussée <18,3 m;
- Distance de visibilité minimale respectée (zone 40 km/h = 31,5 m; zone 56 km/h = 61 m; zone 72 km/h = 91,4 m);
- Signal avancé de passage sur la route;
- Panneau d'arrêt avec aménagements modérateurs de vitesse (bollards, géométrie) sur la piste cyclable;
- Élimination des végétaux et obstacles obstruant la visibilité des cyclistes et véhicules;
- Îlot de protection pour les rues ayant un plus fort volume de trafic.

La ville ne rapporte aucun conflit entre les véhicules et les cyclistes, mais deux des trois îlots de protection construits ont été endommagés par des véhicules.

2) **Voies cyclables redirigées vers une intersection contrôlée** : lorsque la piste cyclable traverse une route près d'une intersection contrôlée, elle est redirigée vers celle-ci.

3) **Feux de circulation** : des feux de circulation sont installés sur les routes majeures ayant un grand volume de circulation et une vitesse élevée. Les caractéristiques de ces routes sont les suivantes :

- DJMA >15 000 véhicules par jour;
- Vitesse du 85^e centile >72 km/h (45mph);
- Longueur de la traverse >18,3 m;
- Intersection la plus proche : à plus de 107 m;
- Plus de 100 cyclistes par heure sur la piste cyclable;
- Distance de visibilité minimale respectée;
- Signal avancé de passage sur la route
- Panneau d'arrêt avec aménagements modérateurs de vitesse (bollards, géométrie) sur la piste cyclable;
- Élimination de la végétation et des obstacles obstruant la visibilité des cyclistes et des véhicules.

4) **Passage dénivelé** : la piste cyclable avait déjà trois passages dénivelés et deux nouveaux ont été ajoutés. Les deux nouveaux tunnels ajoutés croisent des routes à volume élevé et à vitesse élevée. Toutefois, le document ne précise pas quelles sont les caractéristiques de ces routes.

4.3.5. Grilles de priorisation des passages pour piétons

En Australie, Austroads (1995) hiérarchise les passages pour piétons en milieu urbain et propose des choix d'aménagement en fonction de la classification routière (tableau 4) :

- 1) **Aménagements généraux** : améliorent la sécurité des usagers par le biais de mesures visant à réduire les conflits ou à simplifier le processus décisionnel des usagers. Cette catégorie comprend l'îlot de protection, le goulot d'étranglement, la barrière et les dispositifs modérateurs de vitesse.
- 2) **Feu de circulation** : diminution des conflits en séparant l'accès à la route par un mécanisme de contrôle cyclique.
- 3) **Passage dénivelé** : élimination des conflits entre les usagers à l'aide d'un tunnel ou d'une passerelle.

Tableau 4 Grille de priorisation d'Austroads (passages pour piétons en milieu urbain)

	Passage dénivelé	Feu de circulation	Marquage	Ilot de protection
Autoroute	A	C	C	C
Artère primaire	C	A	C	B
Artère secondaire	C	A	B	B
Collectrice	C	C	B	A
Locale	Aucun aménagement nécessaire			

Tiré de : Austroads (1995) *Guide to traffic engineering practice part 13 – pedestrians*.

Où :

A : Approprié

B : Bon (vitesse réduite, volume modéré et excellente visibilité)

C : Inapproprié

Austroads préfère évaluer la pertinence d'aménager un passage séparé qualitativement plutôt que quantitativement. Selon eux, les inconvénients reliés à l'augmentation du trajet et à l'effort physique découragent leur utilisation. De plus, ces aménagements sont dispendieux, ne sont pas toujours alignés avec les trajets empruntés et nécessitent souvent des barrières pour forcer leur utilisation. Pour ces raisons, Austroads recommande que cet aménagement soit évalué en considérant les facteurs suivants :

- la convenance physique du site,
- la hiérarchie de la route (actuelle et future),
- les alternatives possibles,
- la probabilité d'utilisation,
- les effets sur la sécurité et les délais d'attente,
- la faisabilité technique et les coûts.

L'agence termine en spécifiant que là où il y a une demande permanente pour traverser une autoroute ou une autoroute (« high speed expressway ») le passage séparé est essentiel pour assurer la sécurité des usagers.

Ribbens (1985) décrit également le mandat utilisé en Australie-Méridionale. À cet endroit, le passage dénivelé est autorisé si les critères A, B, C et D sont rencontrés.

- A. la vitesse 85^e centile de l'autoroute ou de la route doit être supérieure à 80 km/h et il doit y avoir un besoin permanent de traverser;
- B. la traverse présente l'une des caractéristiques suivantes :
 - le feu de circulation occasionne trop de délais chez les automobilistes et les piétons ou;
 - le taux d'accidents au passage est supérieure à la moyenne d'accidents d'un passage similaire ou;
 - il y a une fréquence d'accidents de piétons anormalement élevée ou;
 - le passage est utilisé par un nombre anormalement élevé de piétons sur une courte période de temps et le passage sur rue ne peut suffire à la demande ou;
 - la distance de visibilité à la traverse est mauvaise ou l'environnement présente un élément de distraction rendant le passage non sécuritaire ou;
 - la topographie du terrain est favorable ou;
 - le passage traverse une route d'au moins trois voies;
- C. le passage dénivelé doit être justifié par une analyse coûts-bénéfices (sauf pour les autoroutes);
- D. sauf pour les autoroutes, le ratio du temps de traversée de la structure n'excède pas 0,75 : 1 pour une passerelle, ou 1 : 1 pour un tunnel (temps structure : temps à niveau).

En Nouvelles-Galles-du-Sud (TANSW, 1987), les passages dénivelés pour piétons sont autorisés lorsque les volumes de piétons et de véhicules sont élevés. Ceux-ci sont comptabilisés pour les trois heures les plus achalandées (consécutives ou non) d'une journée de semaine. Lorsque le pourcentage d'enfants et/ou de personnes âgées est inférieur à 40 %, le produit du nombre de piétons (P) et de véhicules (V) pour la période du comptage doit être :

- a) **route à voies contigües** : $V > 850$ et $P > 250$ pour un produit supérieur à 212 500 (préféablement $> 250\ 000$) ou;
- b) **route à chaussées séparées** : $V > 1\ 500$ et $P > 250$ pour un produit supérieur à 375 000 (préféablement $> 400\ 000$).

Pour les routes où le pourcentage d'enfants et/ou de personnes âgées est supérieur à 40 %, les critères sont :

- a) **route à voies contigües** : $V > 750$ et $P > 200$ pour un produit supérieur à 150 500 (préféablement $> 180\ 000$) ou;
- b) **route à chaussées séparées** : $V > 1\ 100$ et $P > 250$ pour un produit supérieur à 220 000 (préféablement $> 280\ 000$).

Par ailleurs, l'agence de transport précise qu'il existe certains sites où les problèmes de sécurité ne peuvent pas être résolus par les outils traditionnels de gestion du trafic. Dans ces cas, l'option du passage dénivelé doit tout de même être considérée. Ainsi, une attention particulière doit être portée sur les sites ayant une vitesse élevée (vitesse du 85^e centile > 80 km/h) et les sites ayant une distance de visibilité inappropriée. En plus de considérer les volumes de piétons et de véhicules, l'agence évalue (TANSW, 1987) :

- a) **Convenance physique du site** : caractéristiques topographiques du site, espace disponible, impact visuel, intégration de la structure au réseau routier et à sa classification fonctionnelle;
- b) **Pertinence de la solution proposée** : existe-t-il un passage signalé à proximité ? Une autre solution moins dispendieuse ferait-elle l'affaire ?
- c) **Probabilité d'utilisation** : le passage dénivelé rallonge-t-il démesurément le temps de parcours du piéton ? Est-il plus simple ou rapide de traverser à niveau ? Une barrière est-elle nécessaire ? L'infrastructure est-elle accessible et adaptée aux utilisateurs vulnérables ? La traverse est-elle sécuritaire ?
- d) **Faisabilité technique du projet** : dégagement vertical, drainage, fondations, expropriation, contraintes techniques, luminosité et éclairage;
- e) **Coût et financement** : sont-ils disponibles ? Sources de financement et analyse coûts/bénéfices si possible.

En Afrique du Sud, l'installation d'un passage pour piétons dénivelé, sur une route artérielle en milieu urbain, tient compte du volume de piétons et de véhicules (Ribbens, 1996). Le dénivelé est envisageable seulement si le feu de circulation est saturé et que le délai d'attente maximal toléré par le piéton est atteint. Selon l'auteur, cette situation se présente lorsque le cycle du feu de circulation atteint 110 secondes, avec 50 secondes d'attente pour le piéton. De plus, un passage pour piétons dénivelé n'est applicable que pour les routes à 3 voies et plus.

Ribbens (1996; 1985) a également développé un mandat pour justifier un passage pour piétons dénivelé au-dessus ou au-dessous d'une autoroute. La procédure comprend quatre critères pondérés : le volume de piétons, la distance de la traverse sécuritaire la plus proche, le nombre d'accidents de piétons à la traverse et les conditions physiques du site facilitant l'aménagement du passage dénivelé. La procédure attribue une grande importance aux accidents de piétons. En fait, cette démarche avait pour objectif d'améliorer un piètre bilan routier en regard des accidents de piétons, mais avec un cadre budgétaire restreint. Cette démarche a permis à l'Afrique du Sud de classer les sites d'accidents et de cibler les interventions sur les sites les plus problématiques. Bien évidemment, cette méthode ne s'applique pas au contexte des passages de piste cyclable en milieu rural.

Aux États-Unis, Turner et Carlson (2000) proposent une démarche flexible, non appuyée sur des critères spécifiques, pour déterminer la localisation des passages pour piétons. Pour ces auteurs, le passage doit être sécuritaire et pratique. Il faut donc que :

- a) **Le passage soit simple et pratique.** La longueur du passage doit être minimisée (ex. goulot d'étranglement). La traversée peut être divisée en deux temps par le biais d'un îlot de protection. La traverse signalée doit avoir des cycles favorisant les piétons et doit être équipée d'un bouton d'activation et de signaux visuels adéquats;
- b) **Le passage ait une excellente visibilité.** Le respect du droit de passage et le temps de réaction des usagers sont intimement liés à la visibilité du site. Ainsi, le site doit être éclairé, dégagé de stationnement sur rue, et être clairement identifié par du marquage au sol et de la signalisation;
- c) **La vitesse des véhicules soit faible ou contrôlée au passage.** Une vitesse réduite augmente le temps de réaction des usagers et diminue la gravité des accidents;
- d) **Le respect du droit de passage soit régulièrement contrôlé par la police.** Plusieurs conducteurs ne donnent pas priorité aux piétons. La présence policière assure un meilleur respect envers les piétons. Inversement, si les véhicules ont priorité, la police s'assure que les piétons respectent ceux-ci et qu'ils traversent sur la zone désignée.

En Californie, Fehr & Peers (2003) ont élaboré une procédure décisionnelle pour l'aménagement des traverses piétonnes. Présentée à la figure 12, la grille analyse dans l'ordre le volume piéton, la localisation de la traverse, la distance de visibilité et la configuration de la route pour nous diriger vers quatre catégories d'aménagement. Le tableau 5 décrit les aménagements proposés pour les différentes catégories en fonction du DJMA et de la vitesse affichée. Les auteurs ajoutent que l'îlot de protection est adéquat pour les routes ayant un DJMA inférieur à 15 000 véhicules par jour et une vitesse pratiquée (85^e centile) inférieure à 56 km/h (35mph). Quant au feu de circulation, celui-ci est justifié tel que prescrit dans le *Caltrans' Traffic Manual*. Un passage dénivelé doit être installé si le site ne remplit pas les considérations sécuritaires pour l'installation d'un passage marqué, qu'aucun aménagement alternatif n'est possible et que l'intersection contrôlée la plus proche se trouve à plus de 46 m (150 pieds).

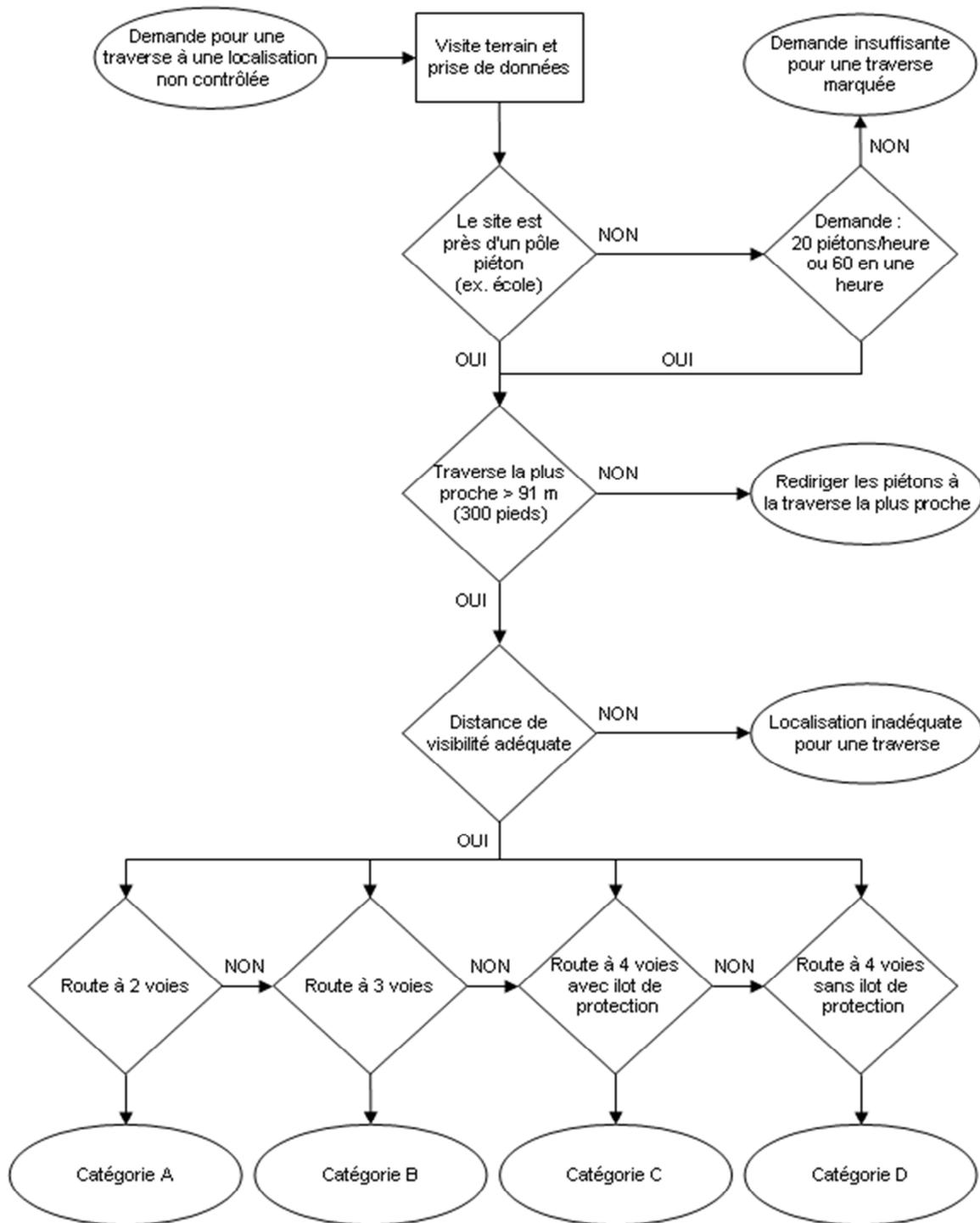


Figure 12 Grille de priorisation de Fehr & Peers (passages pour piétons en milieu urbain)

Tiré de : Fehr & Peers (2003) *Pedestrian safety and crosswalk installation guidelines*.

Tableau 5 Grille de priorisation de Fehr & Peers (passages pour piétons en milieu urbain)

DJMA	48 km/h (30mph)	56 km/h (35mph)	64 km/h (40mph)
Catégorie A			
< 9 000	Passage marqué standard	Passage marqué haute visibilité*	Passage marqué haute visibilité* avec un îlot de protection et un feu clignotant
9000 – 12 000			
12 000 – 15 000	Passage marqué haute visibilité*	Passage marqué haute visibilité* avec un îlot de protection et un feu clignotant	Feu de circulation ou passage dénivelé
> 15 000			
Catégorie B			
< 9 000	Passage marqué haute visibilité*	Passage marquée haute visibilité*	Passage marqué haute visibilité* avec un îlot de protection et un feu clignotant
9000 – 12 000		Passage marqué haute visibilité* avec un îlot de protection et un feu clignotant	
12 000 – 15 000	Passage marqué haute visibilité* avec un îlot de protection et un feu clignotant	Feu de circulation ou passage dénivelé	Feu de circulation ou passage dénivelé
> 15 000		Feu de circulation ou passage dénivelé	
Catégorie C			
< 9 000	Passage marqué haute visibilité*	Passage marqué haute visibilité*	Passage marqué haute visibilité* avec un îlot de protection et un feu clignotant
9 000 – 12 000		Passage marqué haute visibilité* avec un îlot de protection et un feu clignotant	
12 000 – 15 000	Feu de circulation ou passage dénivelé		Feu de circulation ou passage dénivelé
> 15 000	Feu de circulation ou passage dénivelé		
Catégorie D			
< 9 000	Passage marqué haute visibilité*	Passage marqué haute visibilité* avec un îlot de protection	Passage marqué haute visibilité* avec un îlot de protection et un feu clignotant
9 000 – 12 000	Passage marqué haute visibilité* avec un îlot de protection	Passage marqué haute visibilité* avec un îlot de protection et un feu clignotant	Feu de circulation ou passage dénivelé
12 000 – 15 000	Passage marqué haute visibilité* avec un îlot de protection et un feu clignotant		
> 15 000	Feu de circulation ou passage dénivelé	Feu de circulation ou passage dénivelé	

* marquage de type "triple four", voir figure 13.

Tiré de : Fehr & Peers (2003) *Pedestrian safety and crosswalk installation guidelines*.



INSTALL LADDER STRIPING WITH 2' WIDE AND 4' LONG WHITE LINES WITH A 4' SPACE AND A 2' WIDE SPACE BETWEEN THE LINES

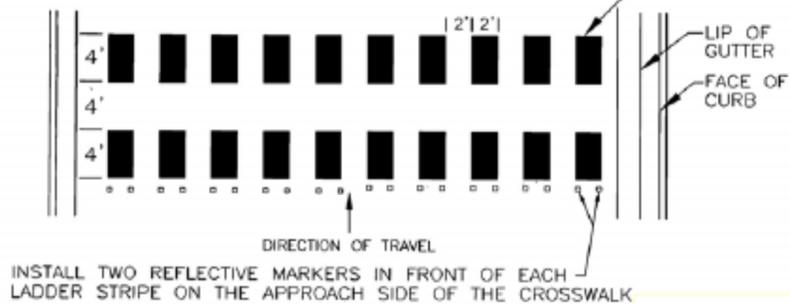


Figure 13 Marquage "triple four" (Fehr & Peers, 2003)

Tiré de : Fehr & Peers (2003) *Pedestrian safety and crosswalk installation guidelines*.

Dans un guide voué à la formation, la FHWA propose des aménagements pour piétons en fonction de l'environnement routier (Turner *et al.*, 2006). On y indique qu'un tunnel ou une passerelle est justifiée dans les conditions suivantes, sans toutefois préciser de seuils :

- volume de piétons élevé à la traverse;
- nombre d'enfants élevé;
- volume de trafic élevé et vitesse pratiquée élevée;
- absence de traverse ou d'intersection adéquate proche;
- disponibilité du financement;
- danger extrême pour les piétons.

Finalement, plusieurs méthodes de justification d'un passage pour piétons dénivelé citent ou se basent sur l'étude d'Axler (1984). Les critères établis par Axler pour considérer l'option du dénivelé sont les suivants :

1. Si la vitesse des véhicules est inférieure à 64 km/h (40mph) ou que le site se trouve en milieu urbain, le débit horaire maximal doit être supérieur à 300 piétons par heure pour les quatre heures continues les plus achalandées, si la vitesse des véhicules est supérieure à 64 km/h (40mph), et que le site se trouve en milieu urbain, et qu'il ne traverse pas une autoroute. Si la vitesse des véhicules est supérieure à 64 km/h (40mph) ou que le site se trouve en milieu rural, le volume doit être supérieur à 100 piétons par heure pour les quatre heures continues les plus achalandées;
2. Si la vitesse des véhicules est inférieure à 64 km/h (40mph) ou que le site se trouve en milieu urbain, le volume de véhicules doit être supérieur à 10 000 pour les quatre heures continues les plus achalandées (les mêmes heures que celles utilisées pour le comptage des piétons) ou avoir un DJMA supérieur à 35 000 véhicules par jour. Si la vitesse des véhicules est supérieure à 64 km/h (40mph) ou que le site se trouve en milieu rural, le volume de véhicules doit être supérieur à 7 500 véhicules pour les quatre heures continues les plus achalandées ou avoir un DJMA supérieur à 25 000 véhicules par jour;
3. Le passage doit se trouver à plus de 183 mètres (600 pieds) d'un passage alternatif sécuritaire. Un tel passage est équipé d'un feu de circulation, d'un tunnel ou d'une passerelle;
4. Une barrière physique est recommandée pour empêcher les gens de traverser au niveau de la route;
5. Un éclairage artificiel doit être installé pour sécuriser les lieux;
6. La topographie du site doit minimiser le dénivelé de l'aménagement afin de s'assurer que le coût de construction soit le plus faible possible. De plus, le dénivelé total affecte la convenance du passage;
7. Le projet doit avoir du financement;
8. L'aménagement doit tenir des nouveaux développements adjacents et s'intégrer à ceux-ci.

Par ailleurs, l'étude fait état des recommandations du groupe d'experts qui chapeautait la recherche. Ce comité a recommandé à l'auteur d'abaisser les volumes de piétons et de véhicules requis de 50 %, en milieu rural, ou lorsque le site se trouve sur une route affichant plus de 64 km/h (40mph).

Cette demande a amené Axler à réviser les volumes requis dans le barème « rural », mais dans des proportions différentes de celles proposées par le comité. Il n'a diminué que de 30 % le volume de véhicules, mais il a été plus loin que la suggestion du groupe d'experts en diminuant des deux tiers le volume de piétons requis pour un dénivelé.

4.4. Détails des solutions techniques d'aménagement

Cette dernière rubrique expose les détails techniques pour l'ensemble des options d'aménagement disponibles. Elles visent à assurer la qualité des aménagements.

4.4.1. Signal avancé de passage

Au Québec, la distance de visibilité d'un signal avancé de passage pour vélo est fonction de la pente de la route et de la vitesse affichée (tableau 6). Quatre conditions doivent être respectées pour justifier l'installation d'un signal avancé de passage (MTQ, 2010a) :

- a) il n'y a aucune signalisation qui règle la circulation à moins de 100 m du passage;
- b) la distance de visibilité du passage est respectée ou plus grande (DVA);
- c) les extrémités du passage et leurs abords sont exempts d'accident de terrain et
- d) le passage est tracé le plus perpendiculairement possible au chemin public.

Tableau 6 Distance de localisation du signal avancé de passage

Vitesse affichée (km/h)	Pente descendante (%)						
	0 à 4	5	6	7	8	9	>10
30	25	25	25	30	30	35	35
50	55	65	70	75	80	90	100
60	90	110	120	130	140	160	180
70	125	160	175	195	220	245	290
80	170	220	240	265	300	345	400
90	230	285	310	350	400	455	500
100	290	360	400	445	500	500	500

Un signal avancé de passage cyclable sur la route peut réduire le risque de conflits au passage (Retting *et al.*, 2003; Ivan *et al.*, 2001). Fehr and Peers (2003) suggèrent d'installer sur la route des signaux avancés de passage cyclable de 45 à 61 m (150 à 200 pieds) avant le passage. Ils conseillent aussi de prévoir des mesures d'atténuation du trafic. Sur la piste, des panneaux d'avertissement devraient être installés de 9 à 15 m (30 à 50 pieds) avant le passage.

Le *Canadian Institute of Planners and Go for green* (2004) recommandent que le signal avancé soit installé à une distance équivalant au double de la distance de visibilité d'arrêt. Si on transpose cette recommandation au Québec, sur une route à 90 km/h, le signal avancé devrait être placé 340 m avant la traverse.

4.4.2. Marquage au sol

Au Québec, sur les passages situés entre deux carrefours, les bandes peintes ne sont utilisées que si la vitesse est égale ou supérieure à 70 km/h (MTQ, 2010a). Sur un marquage de type échelle, les bandes font 0,4 m de largeur et le corridor atteint 2,4 m de largeur. Si la vitesse affichée est inférieure à 70 km/h, ce sont des blocs blancs ou jaunes qui délimitent le passage, selon qu'il y ait respectivement présence ou absence de « signalisation qui règle la circulation » (arrêts ou feux de circulation). Dans le cas d'un passage au carrefour, le marquage peut différer.

Au Vermont, le VAT (2002) identifie trois options de marquage différentes pour les passages cyclables : sans marquage, marques de passage piétonnier, ou marquage en lignes pointillées (carrés alignés).

Reynolds *et al.* (2009) ont examiné l'effet des passages peints (marquage plein) sur la sécurité des cyclistes. Ils notent qu'un passage peint en bleu diminue les risques alors que deux ou trois lignes peintes l'augmentent. Selon ces auteurs, il est possible que les lignes multiples créent de la confusion chez les automobilistes. Selon Turner et Carlson (2000), ainsi qu'Otak (1997), l'efficacité du marquage est liée à sa visibilité. Pour cette raison, il faut privilégier le marquage plein ou oblique, bien qu'il soit plus dispendieux et qu'il nécessite plus d'entretien. Quant à Schepers *et al.* (2010), ils ne notent pas de différence dans la sécurité des cyclistes selon le type de marquage. Ces affirmations vont dans le sens de Zegeer *et al.* (2002), qui affirment que le simple fait de marquer un passage n'augmente pas la sécurité du piéton, car le marquage n'augmente pas le nombre des véhicules qui arrêtent aux passages.

Turner et Carlson (2000) affirment que le marquage de type échelle doit être d'une largeur minimale de 15 cm (6 pouces). Selon les auteurs, le marquage de type échelle peut être remplacé par un marquage de type « piano », qui possède moins de bandes et qui est disposé de façon à éviter la zone de contact des pneus avec le marquage, pour en augmenter la durabilité.

Au niveau des critères justifiant l'installation d'un type de marquage ou d'un autre, les conditions requises diffèrent selon les auteurs. Ivan *et al.* (2001) ainsi qu'Otak (1997) préconisent le marquage de la majorité des passages, puisqu'il augmenterait la sécurité. Otak (1997) ajoute que les enfants et les personnes âgées préfèrent traverser à un passage marqué. Il suggère d'autoriser le marquage du passage si tous ces critères sont rencontrés :

- la vitesse affichée est inférieure à 72 km/h (45mph);
- les distances de visibilité d'arrêt sont adéquates;
- la traverse se trouve à plus de 186 mètres (600 pieds) d'une intersection contrôlée;
- le passage est bien éclairé;
- l'endroit n'est pas conflictuel.

Turner *et al.* (2006) proposent une approche simple, qui autorise le marquage sur les routes peu achalandées, où la vitesse du 85^e centile n'excède pas 55 km/h. Ils affirment qu'au-delà de cette vitesse, le marquage apporte un faux sentiment de sécurité et que les piétons sont plus vigilants lorsqu'il n'y a pas de marquage.

Le VAT (2002) opte pour une approche plus complexe, sans toutefois spécifier de seuils. Dans tous les cas, l'agence ne recommande pas d'utiliser le marquage sur des routes ayant une vitesse affichée supérieure à 64 km/h (40mph). Le choix du marquage et son installation est établi en fonction :

- du volume de trafic (route et piste cyclable);
- du nombre de voies traversées;
- de la vitesse affichée;
- du type d'utilisateur.

Pour Transplan Associates (1996), il n'est pas approprié de marquer un passage si les distances de visibilité d'arrêt sont inadéquates, si la vitesse affichée est supérieure à 64 km/h (40mph) ou si le DJMA est supérieur à 15 000 véhicules par jour. Et pour qu'un passage piéton soit marqué, il faut observer toutes les caractéristiques suivantes :

- un minimum de 50 piétons qui traversent pendant une heure;
- un DJMA supérieur à 5000 véhicules par jour; et :
- être à plus de 91 mètres (300 pieds) d'un passage muni d'une signalisation.

Austroroads (1995) recommande le marquage au sol zébré d'un passage pour piétons lorsque toutes les conditions suivantes sont respectées :

- pour deux périodes d'une heure d'une journée normale, le volume de piétons est supérieur à 60 et le volume de véhicules est supérieur à 600;
- la route possède au plus 4 voies de circulation (environ 15 m de largeur);
- les distances de visibilité sont adéquates; et :
- la vitesse du 85^e centile est inférieure à 80 km/h.

Zegeer *et al.* (2002) ont analysé les accidents de piétons pour 1 000 traverses marquées et 1 000 traverses non marquées. Leurs résultats montrent que le volume de piétons, le volume de véhicules et le nombre de voies influencent significativement les accidents entre les piétons et les véhicules aux passages. Les auteurs remarquent qu'il n'y a pas de différence significative dans le nombre d'accidents de piétons aux traverses marquées et non marquées sur les routes à deux voies. Cependant, le taux d'accident devient significativement plus élevé aux traverses marquées lorsqu'il y a augmentation du nombre de voies et du DJMA (figure 14).

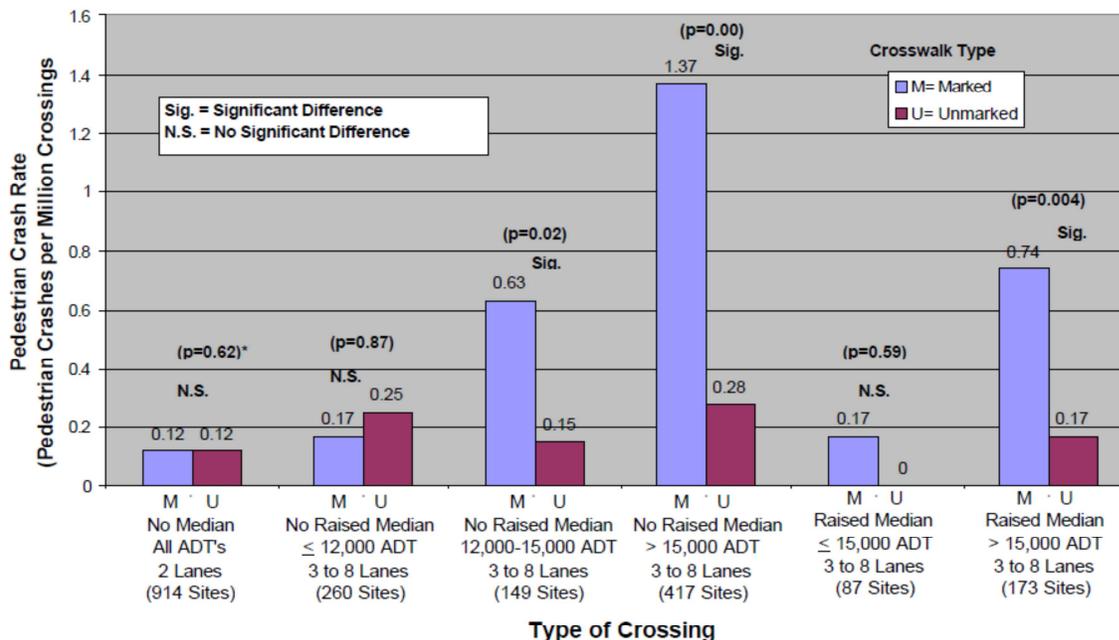


Figure 4. Pedestrian crash rate vs. type of crossing.

Figure 14 Fréquence des accidents de piétons à différents types de passage

Tiré de : Zegeer *et al.* (2002) *Safety Effects of Marked versus Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Locations Executive Summary and Recommended Guidelines.*

À la lumière de ces résultats, Zegeer *et al.* (2002) ne recommandent pas le marquage comme « seule » mesure d'aménagement aux passages piétonniers où le DJMA excède 12 000 véhicules par jour ou qui affichent une vitesse supérieure à 64,4 km/h (40mph). Les piétons ne devraient pas être encouragés à traverser là où les distances de visibilité sont mauvaises, là où la conception de la route porte à confusion, et là où le pourcentage de poids lourds est élevé (seuil non précisé). Selon les auteurs, le passage marqué est un excellent aménagement sur les routes locales (vitesse réduite, deux voies contigües), car il canalise les piétons vers le meilleur endroit pour traverser. Sur les autres routes, il doit être combiné à d'autres mesures car utilisé seul, il entraîne un faux sentiment de sécurité. Le tableau 6 indique les situations où le marquage est approprié, potentiellement à risque ou inadéquat, en fonction de la configuration routière, du DJMA et de la vitesse affichée.

Tableau 6 Marquage selon la configuration routière, le DJMA et la vitesse affichée

Nombre de voies	DJMA (véhicules par jour)											
	< 9 000			> 9 000 – 12 000			> 12 000 – 15 000			> 15 000		
	Vitesse affichée (km/h)											
	48	56	64	48	56	64	48	56	64	48	56	64
2	A	A	R	A	A	R	A	A	I	A	R	I
3	A	A	R	A	R	R	R	R	I	R	I	I
4, avec îlot de protection	A	A	R	A	R	I	R	R	I	I	I	I
4, sans îlot de protection	A	R	I	R	R	I	I	I	I	I	I	I

Légende :

A (approprié) : Passage marqué approprié

R (restriction) : Site potentiellement à risque si le marquage n'est pas combiné à d'autres aménagements

I (inadéquat) : Passage marqué inapproprié

Modifié de : Zegeer *et al.* (2002) *Safety Effects of Marked versus Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Locations Executive Summary and Recommended Guidelines.*

4.4.3. Passage légèrement dénivelé

Selon le VAT (2002), le passage légèrement dénivelé définit clairement la zone de traversée des piétons, en plus de réduire efficacement la vitesse des véhicules. Celui-ci doit être aménagé de 8 à 10 cm au-dessus du niveau de la chaussée et il doit avoir une largeur totale de 3 à 3,7 m. La distance entre le niveau de la chaussée et le sommet du passage doit être d'environ 1,8 m (gradients ascendant et descendant). Tout comme le passage marqué, le passage légèrement dénivelé doit lui-aussi bénéficier d'une excellente visibilité.

Le passage légèrement dénivelé améliore la sécurité des piétons et des cyclistes et il est efficace pour réduire le nombre d'accidents (Austroads, 2001; Schepers *et al.*, 2011). Otak (1997) note que les passages légèrement dénivelés améliorent le respect de la priorité au passage. Par ailleurs, Schepers *et al.* (2010) remarquent que ce type de passage fait augmenter la vitesse des cyclistes.

Plusieurs auteurs émettent des avertissements quant à l'utilisation des passages légèrement surélevés dans un environnement rural à haute vitesse (AASHTO, 1999; Otak, 1997). Pour Turner *et al.* (2006), seules les routes locales à deux voies où la vitesse du 85^e centile est inférieure à 72 km/h peuvent être équipées d'un passage légèrement dénivelé.

4.4.4. Goulot d'étranglement

Tel que mentionné par Bruneau *et al.* (2000) le goulot d'étranglement améliore la sécurité des usagers au passage en diminuant la distance parcourue, et en augmentant la distance de visibilité des usagers qui s'apprêtent à traverser. Toutefois, ils notent des problèmes associés au drainage et au déneigement. En somme, il n'est pas recommandé dans les zones rurales. Turner *et al.* (2006) ajoutent que les goulots d'étranglement ne sont pas appropriés s'il n'y a pas de trottoir et que leur installation ne doit pas empêcher ou restreindre les manœuvres des véhicules, particulièrement les poids lourds.

4.4.5. Dos d'âne

L'installation d'un dos d'âne sur une route sans trottoir nécessite d'autres aménagements pour empêcher les conducteurs d'éviter le dos d'âne par l'accotement. Ce type d'aménagement n'est adéquat que sur les rues locales résidentielles (Turner *et al.*, 2006). Zegeer *et al.* (2002) ajoutent qu'il peut causer des problèmes de drainage et de bruit, particulièrement en présence de poids lourds. De plus, il ne doit pas être installé sur une section avec des variations verticales et/ou horizontales.

4.4.6. Feu clignotant

Au Québec, un feu clignotant peut être utilisé pour attirer l'attention des conducteurs aux endroits où l'installation d'un feu de signalisation n'est pas justifiée, mais où la signalisation conventionnelle n'est pas suffisante pour signaler un point de conflit important. Elle peut également être employée pour compléter une signalisation d'arrêt ou accompagner une signalisation de prescription ou de danger. Son installation est justifiée si l'un des critères suivant est satisfait (MTQ, 2010a) :

- la distance de visibilité d'un objet de 3,8 m de hauteur au carrefour sur les approches de la route principale est inférieure à la distance de visibilité d'arrêt et d'anticipation (pour une vitesse affichée à 90 km/h, cette distance correspond à 210 m pour un milieu rural);
- Lorsque la distance de visibilité de l'utilisateur au passage est inadéquate (moins de 230 m pour une route à 2 voies affichée à 90 km/h)
- Une étude de sécurité démontre que l'intersection à l'étude présente un nombre anormal d'accidents;
- Un panneau d'arrêt est installé sur la route principale contrairement à l'attente des conducteurs.

Pour le VAT (2002), l'installation d'un feu clignotant est un aménagement peu coûteux. Ce dispositif sert à alerter les conducteurs d'un danger, en l'occurrence la présence d'un passage pour piétons. Cette solution permet aux piétons de traverser tout en causant moins de délais aux conducteurs qu'un feu de circulation conventionnel. Il peut être installé si :

- son installation permet de réduire un taux d'accident élevé;
- la distance de visibilité d'arrêt est insuffisante pour le conducteur;
- il s'agit d'une zone scolaire;
- il s'agit d'une zone où l'agence juge qu'un danger potentiel doit être signalé.

Selon Fitzpatrick *et al.* (2006), le feu clignotant est installé pour accroître le respect de la priorité de passage par les automobilistes. Cependant, Otak (1997) affirme que l'effet du feu clignotant sur les automobilistes s'atténue avec le temps. Plusieurs croient qu'il ne devrait être activé qu'en présence de danger, afin de préserver son efficacité (VAT, 2002; Davis et Hallenbeck, 2008; Turner et Carlson, 2000; Otak, 1997). Enfin, le TANSW (2006) ne considère pas le feu clignotant comme un aménagement adéquat pour les traverses piétonnes où la vitesse du 85^e centile est supérieure à 75 km/h.

4.4.7. Îlot de protection

L'îlot de protection permet aux utilisateurs de traverser la route en deux étapes. Ceci raccourcit la traversée et permet de réduire certains types de conflit, puisqu'ils n'ont qu'une seule direction à analyser à la fois. Cet aménagement est particulièrement souhaitable là où les usagers vulnérables sont nombreux (Retting *et al.*, 2003; VAT, 2002; Otak, 1997; MnDOT, 2007; Turner et Carlson 2000; Turner *et al.*, 2006), à condition que l'espace disponible le permette.

L'installation d'un îlot de protection est conseillé sur les routes larges et où le volume de trafic complique le passage des cyclistes (ViaStrada, 2010; VAT, 2002; AASHTO, 1999). Également, plusieurs auteurs le recommandent lorsque les cyclistes ne disposent pas de créneaux de passage adéquats pour traverser facilement la route (ViaStrada, 2010; VAT, 2002; Otak, 1997; MnDOT, 2007; Turner et Carlson 2000, Turner *et al.*, 2006).

La largeur de la route est le principal facteur utilisé pour justifier l'aménagement de l'îlot de protection. Le MnDOT (2007) l'autorise si la largeur de la route dépasse 23 m. Le TANSW (2006) préconise cet aménagement lorsque le passage excède 25 m, alors qu'Otak (1997) le suggère à partir de 18,3 m. Pour Turner et Carlson (2000), ainsi que Turner *et al.* (2006), la route doit avoir au moins quatre voies ainsi qu'un trafic moyen ou élevé. Quant à Austroads (2011), l'îlot de protection est souhaitable lorsque la route traversée a un DJMA supérieur à 3 000 véhicules par jour. Pour le DfT (2008), l'îlot de protection est adéquat sur les routes avec une vitesse d'au moins 48 km/h (30mph) et un débit élevé. Il peut également être combiné à un feu de circulation si la route a plus de 2 voies. Par ailleurs, le MnDOT (2007) est la seule agence à justifier l'îlot de protection par la vitesse des usagers, en le considérant lorsque ceux-ci se déplacent à moins de 0,8 m/s.

L'îlot doit être conçu pour accueillir plusieurs groupes d'utilisateurs (piétons, cyclistes, patineurs), des vélos surdimensionnés (tandems, vélos avec remorque, etc.), des fauteuils roulants et des poussettes (AASHTO, 1999; ViaStrada, 2010; VAT, 2002). En Nouvelle-Zélande, des groupes de cinq cyclistes sont utilisés pour définir les standards de conception de l'îlot de protection. Cela laisse amplement d'espace pour les vélos tandems et les vélos avec remorque (ViaStrada, 2010).

Dans cet ordre d'idées, le VAT (2002) avance que la longueur minimale de l'îlot devrait être de 2,4 m, mais préférablement de 3 à 3,7 m. Le FIDOT (2000) suggère un minimum de 3 m, mais de 3,6 à 4,2 m si la piste cyclable est très achalandée. De son côté, le MnDOT (2007) fixe la longueur minimale à 2,4 m. Pour le DfT (2008), cette longueur est 2 m, et l'on recommande 3 m en présence de tandems et de remorques. Otak (1997) suggère une longueur de 1,8 m, mais il recommande idéalement 2,4 à 3 m. Austroads (2011) préconise une longueur minimale de 2 m, mais il affirme qu'il doit être plus grand si un nombre élevé d'utilisateurs est prévu. À cet égard, Landis *et al.* (2004) proposent de définir les standards des îlots de protection en fonction des

plus longs engins observables sur le réseau. Selon eux, la valeur critique devrait être de 2,4 m, ce qui correspond au plus long vélo observé dans leur étude de terrain.

Au Québec, l'îlot doit avoir au moins 2 m de largeur, en plus d'un dégagement de 0,5 m entre l'îlot et les voies de circulation (Vélo Québec, 2009). Quant à l'entrée de l'îlot, elle doit être de la même largeur que la piste cyclable (MnDOT, 2007) ou d'un minimum de 3 m (Vélo Québec, 2009).

Turner *et al.* (2006) rappellent qu'un îlot de protection mal conçu, n'ayant pas suffisamment d'espace au centre, est dangereux pour les cyclistes. Les automobilistes sont alors peu enclins à céder le passage aux cyclistes coincés ou mal installés dans l'îlot. Aussi, cet aménagement est un obstacle pour les véhicules et cause des problèmes de déneigement (Turner et Carlson, 2000; Turner *et al.*, 2006).

Plusieurs auteurs font part d'un sentiment de sécurité accru chez les usagers qui empruntent l'îlot de protection (Schepers *et al.*, 2011; Davis et Hallenbeck, 2008; Turner et Carlson, 2000). Davis et Hallenbeck, (2008) précisent qu'avec cet aménagement, les usagers font moins de manœuvres précipitées et sont plus patients dans l'attente des créneaux de passage et qu'ils choisissent donc des créneaux plus longs. Par ailleurs, le passage dans l'îlot peut être orienté à 30 degrés vers le trafic pour forcer les utilisateurs à regarder le trafic qui s'approchent d'eux (VAT, 2002; FIDOT 2000). Toutefois, Turner *et al.* (2006) ne préconisent pas cette approche si l'îlot se trouve sur un sentier multifonctionnel, à cause des conflits potentiels entre les usagers.

Les auteurs ne s'entendent pas à savoir s'il est possible d'implanter de la signalisation et du mobilier urbain sur l'îlot. ViaStrada (2010) et Austroads (2011) croient que l'îlot de protection devrait être pourvu d'une main courante pour aider les cyclistes à garder leur équilibre pendant l'attente. ViaStrada (2010) croit de plus qu'une signalisation devrait être ajoutée sur l'îlot, pour rappeler aux cyclistes que les automobilistes ont priorité. L'agence insiste sur ce dernier point en raison de la présence de cyclistes internationaux habitués à avoir la priorité sur la piste cyclable. En contrepartie, pour le MnDOT (2007), l'îlot doit être complètement dégagé et sans poteau, panneau, rangement utilitaire ou autres obstacles.

4.4.8. Délinéateurs et accès à la piste

Au Québec, le dispositif de contrôle aux accès de la piste cyclable doit être facile à retirer pour permettre l'accès aux véhicules d'urgence. De plus, ils doivent être visibles la nuit, ne pas être installés au bas d'une pente et également être à plus de 5 m de la route (MTQ, 2010b, Vélo Québec, 2009).

Retting *et al.* (2003) affirment que l'utilisation de délinéateurs permet de canaliser les cyclistes vers le passage et empêche qu'ils se précipitent vers le trafic. De plus, le choix des délinéateurs et de leur emplacement sont cruciaux. Les conducteurs doivent être en mesure de voir les gens de petites statures qui se trouvent derrière le délinéateur. Par contre, plusieurs auteurs proscrivent l'utilisation de délinéateurs à l'entrée de la piste cyclable, affirmant qu'ils nuisent aux manœuvres des cyclistes (Austroads, 1999; DfT, 2008; Cycling England, 2009; Vélo Québec, 2009). De plus, les délinéateurs empêchent les cyclistes de se concentrer sur la circulation, nuisent à leur momentum, et peuvent les amener à faire des manœuvres dangereuses (Austroads, 1999; Vélo Québec, 2009). S'il est nécessaire de ralentir les cyclistes, on conseille plutôt d'aménager une courbe serrée.

Lorsque des délinéateurs sont absolument nécessaires à l'entrée de la piste, comme par exemple pour empêcher l'accès aux engins motorisés, il faut les installer de sorte que tous les types d'utilisateurs admis sur la piste (poussette, remorque, fauteuil roulant, etc.) puissent y accéder facilement. La largeur recommandée entre les délinéateurs est de 1,2 à 1,5 m en Angleterre (Cycling England, 2009; DfT, 2008).

4.4.9. Feu de circulation

Le feu de circulation est un aménagement qui permet d'améliorer la sécurité des piétons et des cyclistes lorsque les délais d'attente ou la priorité sont sources de conflits (FHWA, 1998; Austroads, 2000a). Les phases du cycle indiquent clairement la priorité pour chaque utilisateur et permettent de gérer leur temps d'accès et leur priorité (FHWA, 1998). Le MTQ (2010a) et le MUTCD (FHWA, 2003) identifient cinq avantages liés aux feux de circulation :

1. permet un mouvement ordonné du trafic;
2. améliore la gestion du trafic à une intersection;
3. réduit la fréquence et la sévérité de certains accidents (virage à droite en particulier),
4. coordonne le flux de trafic et
5. permet aux piétons, cyclistes et autres véhicules de traverser la route.

Toutefois, ces agences rappellent que les feux de circulation sont souvent vus comme la solution idéale pour régler les problèmes aux intersections. Cette croyance fait en sorte que les feux de circulation sont utilisés à outrance à des endroits où ils ne sont pas nécessaires, ce qui affecte la sécurité générale et les mouvements des véhicules, ainsi que ceux des piétons et des cyclistes. Même lorsqu'un feu est justifié, il peut être mal placé, mal entretenu ou mal programmé. Les feux de circulation non justifiés ou inadéquats créent :

1. des délais excessifs;
2. une désobéissance face aux indications;
3. des déviations du trafic;
4. une augmentation des accidents (collisions arrières particulièrement)
5. une augmentation de la consommation d'essence et de la pollution.

Au Québec, le MTQ mentionne qu'une vitesse affichée supérieure à 70 km/h est une caractéristique physique défavorable à l'installation de feux (MTQ, 2010a). Toutefois, Vélo Québec recommande le feu de circulation sur les routes à plus de 70 km/h en milieu rural, mais il peut nécessiter l'installation d'un signal avancé avec feu clignotant. Lorsque son installation n'est pas souhaitable ou possible, et qu'aucune autre mesure d'aménagement n'est envisageable, la dénivellation du passage doit être considérée (Vélo Québec, 2009).

La programmation du feu de circulation est une opération délicate qui influence grandement le taux de respect par les utilisateurs. Le VAT (2002) affirme que le délai d'attente pour la phase piétonne doit être court, et que la longueur du cycle doit être fonction de l'utilisateur le plus lent. Si une forte fréquence de personnes âgées est observée au passage, le cycle pour piétons doit être allongé et l'installation d'émetteurs sonores doit être envisagée. À Portland où la piste cyclable croise plusieurs intersections signalées, certains cyclistes déplorent les délais d'attente, mais rapportent que plusieurs automobilistes se sont habitués à la traverse et arrêtent avant même que le signal piéton/cycliste soit activé. Corben et Diamantopoulou (1996) notent qu'un passage signalé est plus sécuritaire pour les piétons, mais que certains d'entre eux traversent avant l'intersection et courent un risque accru. Les auteurs croient que les piétons font ce geste

à cause des délais généralement élevés. D'ailleurs, plusieurs auteurs (Austroads, 2000a; Populer *et al.*, 2006) croient que la diminution du délai d'attente du cycle piéton/cycliste est la meilleure solution pour augmenter le taux de respect par ces clientèles. Le tableau 7 résume les temps d'attente maximum proposés par différent auteurs.

Tableau 7 Délai d'attente maximale pour un piéton ou cycliste à un feu de circulation

Auteur	Délai d'attente maximale (s)
Austroads (2003)	70 à 80
Zegeer <i>et al.</i> (2002)	90
Ribbens (1985)	32
Otak (1997)	30
Fitzpatrick <i>et al.</i> (2006)	30

Le respect de la signalisation est un comportement appelé à varier en fonction de plusieurs paramètres (pays ou région, achalandage, heure, caractéristiques démographiques, etc.). Une étude menée en Australie affirme que plusieurs cyclistes ne se conforment pas aux feux de circulation à cause de leur grande fréquence sur le trajet (ex. un feu aux 120 m) et des délais qu'ils occasionnent (Austroads, 2001). Les délais d'attente suggérés par l'agence sont très variables. Selon les modèles, le délai d'attente maximal peut varier entre 20 et 120 secondes, cependant en pratique on a observé des valeurs maximales de 70 à 80 secondes. Généralement, le délai maximal toléré est plus élevé sur une route majeure que sur une route mineure. En somme, Austroads (2003) conclut que le délai d'attente est fonction de la patience de l'usager et de sa perception de l'équité entre la route et la piste. De plus, l'agence ajoute que le fonctionnement formel et rigide imposé par les feux de circulation ne cadre pas bien avec la nature opportuniste des piétons et des cyclistes (Austroads, 2000b). En effet, il est frustrant pour eux d'attendre leur cycle lorsque des créneaux de passage adéquats s'offrent à eux.

Inversement, l'automobiliste trouve aberrant de devoir arrêter au feu de circulation lorsqu'aucun piéton ou cycliste n'est présent (Turner *et al.*, 2006; *Transplan Associates*, 1996; Ribbens, 1996). Turner *et al.* (2006) croient que ce type de situation peut être évité en donnant une réponse immédiate («hot response») aux piétons et aux cyclistes. Pour éviter trop de désagréments aux automobilistes, un tel système peut être désactivé aux heures de pointe sur la route ou être coordonné avec l'intersection la plus proche. Dans une situation semblable, *Transplan Associates* (1996) précise qu'un passage dénivelé doit être considéré, et Zegeer *et al.* (2002) proposent un cycle fixe lorsqu'il y a un grand volume de cyclistes et de piétons.

Une enquête menée par Austroads (2000b) montre que les femmes et les personnes âgées sont plus enclines à utiliser les feux piétons pour traverser la route. Interviewés dans un groupe de discussion, plusieurs répondants ont admis croire que les feux piétons sont installés pour les personnes âgées, les handicapés, les enfants et les femmes avec un enfant. Environ 25 % des utilisateurs ont affirmé traverser lorsque cela est interdit. Dans ce groupe, entre 2 et 15 % traversent à la fin du cycle et 28 % doivent courir lors de leur traversée.

À l'aide d'une caméra, Johnson *et al.* (2010) ont observé le comportement des cyclistes aux feux de circulation en milieu urbain. Ils ont remarqué que les cyclistes en groupe sont moins enclins à respecter les feux de signalisation. L'analyse montre que les cyclistes tournant à droite sont 28,4 fois plus enclins à « griller le feu rouge ». Dans tous les cas observés, ce sont les

femmes qui ont le meilleur taux de respect. Les cyclistes sont plus nombreux à respecter la signalisation lorsqu'il y a des véhicules qui traversent à contresens ou s'il y a présence de véhicules et/ou cyclistes circulant dans la même direction. Le type de vélo (route, montagne, autres), le type de vêtement (civil, sport ou cycliste) de même que le gradient vertical n'ont pas d'influence significative sur le taux de respect. Les auteurs concluent que le non-respect des feux de circulation par les cyclistes est faible (7 %) et qu'il n'est pas aussi répandu que les automobilistes le prétendent.

Fitzpatrick *et al.* (2006) ont observé, à l'aide d'une caméra, le comportement des piétons à un passage signalé entre deux intersections. Leurs résultats montrent que :

- 11 % des piétons n'ont pas activé le système de contrôle et ont attendu un créneau de passage adéquat;
- 20 % des piétons n'ont pas activé le système de contrôle (ou était mal positionné pour l'activer) ou ont traversé immédiatement (créneau de passage adéquat);
- 64 % des piétons ont utilisé le système de contrôle conformément;
- 3 % des piétons ont activé le système de contrôle, mais ont traversé avant le cycle.

Li *et al.* (2007) identifie 5 facteurs affectent l'utilisation du feu pour piétons (figure 15) :

1. **caractéristiques du piéton** : sexe, âge, vitesse de marche;
2. **caractéristiques du trafic** : volume de véhicules et de piétons en regard de la capacité de la route;
3. **caractéristiques du signal** : longueur des cycles et séquence des phases;
4. **caractéristiques du passage** : longueur du passage, présence d'aménagement (ex. îlot de protection, dos d'âne);
5. **caractéristiques environnementales** : conditions météorologiques, heure de la journée et le comportement des autres piétons.

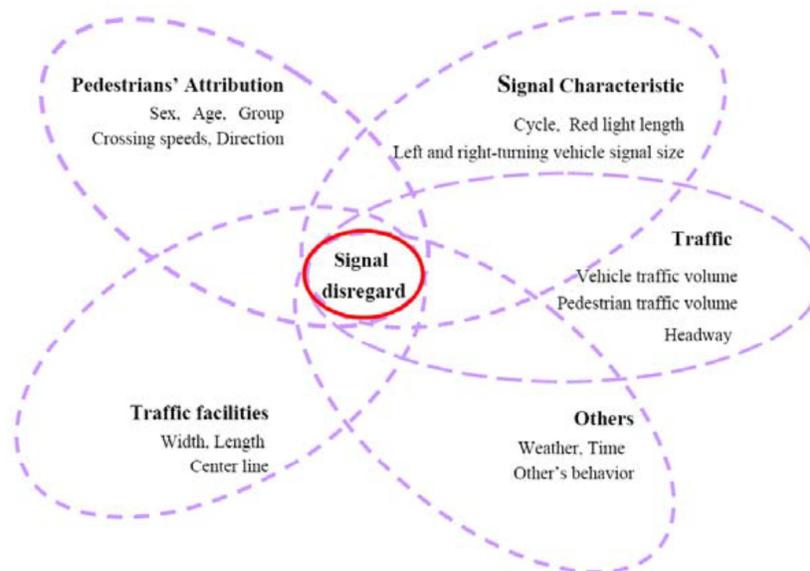


Figure 15 Facteurs affectant le non-respect des feux de circulation par les piétons

Tiré de : Li *et al.* (2007) *The behavior of pedestrians at crosswalk in Nanjing.*

Sur dix intersections signalées analysées, Li *et al.* (2007) ont observé un taux de respect de 57 % du feu de circulation par les piétons. Selon les auteurs, le délai d'attente est la cause principale du non-respect du feu de circulation. Li *et al.* (2007) ainsi que Austroads (2000b) observent un taux de respect plus élevé pour les routes avec un grand volume de circulation.

En plus des problèmes reliés au cycle et au respect, le MUTCD (1998) indique que le feu de circulation peut engendrer des problèmes de sécurité. Il fait généralement augmenter le nombre de collisions arrière et incite certains conducteurs à ne pas s'y conformer, donnant un faux sentiment de sécurité aux piétons (FHWA, 1998; Ribbens, 1996). Pour ces raisons, il est recommandé de considérer d'autres alternatives et de garder l'option du feu de circulation comme dernier recours (FHWA, 1998).

Pour ViaStrada (2010) et TANSW (2006) les feux de circulation ne doivent pas être utilisés sur les routes où la vitesse affichée est supérieure à 80 km/h. À cette vitesse, la probabilité que les véhicules ne s'y conforment pas est élevée, de même que les conséquences en soient graves. Dans un environnement rural, même si la vitesse affichée est moins de 80 km/h, le feu de circulation reste une option marginale qui pourrait surprendre le conducteur. Le WisDOT (2004) n'interdit pas l'utilisation du feu de circulation en milieu rural, mais mentionne qu'il s'agit d'une solution rarement appropriée à cause des vitesses pratiquées élevées. La grille décisionnelle élaborée par Lord (2009) préconise un feu de circulation pour un environnement urbain, si la vitesse pratiquée est de 80 km/h et que le DJMA excède 8 000 véhicules par jour. Mais dans les mêmes conditions retrouvées en milieu rural, le passage devrait être dénivélé.

Pour que le feu de circulation soit efficace, l'automobiliste doit être conditionné à son utilisation. Autrement dit, une fréquence irrégulière d'utilisation du feu n'incite pas les conducteurs à s'y conformer (ViaStrada, 2010; Oregon Department of Transportation, 1995). Or la fréquence des cyclistes varie beaucoup selon la période de l'année, la météo, l'heure de la journée, etc. Par conséquent, l'emploi du feu de circulation doit être réservé pour les environnements urbains. Le *National Committee on Uniform Traffic Control* (NCUTC, 1998) considère également que l'aménagement d'un feu de circulation pour accommoder les piétons n'est pas justifiable si ce n'est que pour une courte période de la journée.

Plusieurs auteurs se réfèrent au *Manual on Uniform Traffic Control Devices* (MUTCD) pour autoriser l'installation d'un feu de circulation (AASHTO, 1999; Sprinkle consulting, 2007; Turner *et al.*, 2006; Otak, 1997; ODOT, 1995). Bien que la majorité des critères justifiant un feu aient été développés pour les piétons et/ou les véhicules motorisés, il est possible de les substituer aux cyclistes (AASHTO, 1999; Sprinkle consulting, 2007; Transplan Associates, 1996; Australian Capital Territory, 2007; California Department of Transportation, 2010). Toutefois, en présence d'un passage multifonctionnel, Sprinkle consulting (2007) se réfère aux critères pour piétons, cités dans le MUTCD.

Au Québec, l'installation de feux de circulation nécessite un débit minimal de piétons. Bien que le critère soit établi en raison de la difficulté pour les piétons de traverser la route principale, il est possible de croire que ces critères peuvent être réutilisés pour les usagers d'une piste cyclable ou multifonctionnelle. Ainsi, le feu de circulation est autorisé lorsque les conditions A et B sont rencontrées (MTQ, 2010a) :

- A. Le débit total d'usagers du passage (deux approches) dans une même journée est supérieur à 80 usagers à l'heure durant 3 heures quelconques ou supérieur à 90 usagers à l'heure durant 2 heures quelconques ou supérieur à 110 usagers à l'heure durant une heure quelconque;

- B. Le passage est situé à une distance égale ou supérieure à 100 m d'une signalisation qui règle la circulation en amont ou en aval.

La ville d'Atlanta s'inspire de la quatrième méthode citée dans le MUTCD (FHWA, 2003) pour justifier l'aménagement d'un feu de circulation (Sprinkle consulting, 2007) :

1. un volume de 100 piétons à l'heure pour quatre heures consécutives d'une journée normale ou de 190 piétons pour une heure;
2. avoir moins de 60 créneaux de passages adéquats (pour une heure) à la localisation du passage;
3. la distance entre le passage et l'intersection contrôlée la plus proche est supérieure à 91 mètres (300 pieds), sauf si le feu proposé au passage ne restreint pas la circulation routière.

Le corridor cyclable Springwater de la ville de Portland fait plus de 25 km et croise plusieurs intersections. Certaines sections de la piste cyclable ont été redirigées vers l'intersection signalée la plus proche, dont voici leurs caractéristiques (Birk et Hudson, s.d.) :

- vitesse du 85^e centile supérieure à 72 km/h (45mph),
- largeur de rue supérieure à 18,3 m,
- distance de visibilité minimale respectée :
 - zone 40 km/h (25mph) = 31,5 m;
 - zone 56 km/h (35mph) = 61 m;
 - zone 72 km/h (45mph) = 91,4 m;
- signal avancé sur la route et panneaux d'arrêts avec aménagements modérateurs de vitesse (bollards, géométrie) sur la piste cyclable;
- élimination de la végétation et des obstacles obstruant la visibilité des cyclistes et des véhicules;
- descente de trottoir adaptée aux usagers à mobilité réduite (« ADA compliant »);
- distance entre la piste cyclable et l'intersection inférieure à 106,7 m (350 pieds).

De plus, quatre nouveaux feux de circulation ont été implantés. Les routes aménagées avaient les caractéristiques suivantes :

- DJMA supérieure à 15 000 véhicules par jour;
- largeur de la traverse supérieure à 18,3 m;
- intersection la plus proche à plus de 106,7 m;
- plus de 100 cyclistes par heure sur la piste cyclable.

Toutes les intersections signalées respectent les distances de visibilité, prennent en compte l'impact sur le trafic et sont synchronisées avec le réseau. La ville enregistre plus de 500 000 utilisations par année. Elle n'a recensé aucun accident. Finalement, les ingénieurs de la ville notent peu de changement dans la fluidité du trafic.

Le FHWA (2009) décrit dans le MUTCD quatre méthodes pouvant justifier l'aménagement d'un feu de circulation. Dans toutes les méthodes présentées, les cyclistes peuvent être comptabilisés comme véhicule ou comme piéton.

Méthode 1 : Volume de trafic pour une période de huit heures consécutives

- Le volume minimum de véhicules, condition A (tableau 8), est utilisé pour les intersections où le volume sur la rue secondaire (piste cyclable) est la raison principale pour installer un feu de circulation.

Tableau 8 Condition A (volume de véhicules)

Véhicule par heure, route majeure	Véhicule par heure, route mineure
350*	105*

*Volume atténué (70 %) en fonction de la vitesse sur la route (> 64 km/h), considérant une voie d'approche.
Tiré de : FHWA (2009) *Manual on uniform traffic control devices*.

- L'interruption du trafic continu, condition B (tableau 9), est utilisée là où la condition A n'est pas applicable et où le volume de trafic sur la route principale cause des délais excessifs pour les véhicules de la route mineure.

Tableau 9 Condition B (interruption du trafic continu)

Véhicule par heure, route majeure	Véhicule par heure, route mineure
525*	53*

*Volume atténué (70 %) en fonction de la vitesse sur la route (> 64 km/h), considérant une voie d'approche.
Tiré de : FHWA (2009) *Manual on uniform traffic control devices*.

Méthode 2 : Volume de trafic pour une période de quatre heures consécutives

Cette méthode est applicable là où le volume de trafic qui croise la route principale est la raison pour installer un feu de circulation. Le feu est justifié si, pour une période de quatre heures consécutives d'une journée normale, le nombre de véhicules de la route majeure (total des deux approches) et le nombre de véhicules de la route mineure (même période, une seule direction) sont au-dessus des valeurs indiquées dans le graphique de la figure 16.

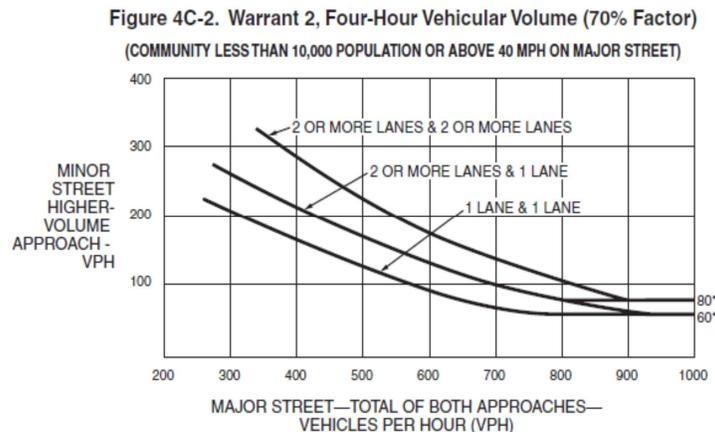


Figure 16 Méthode 2 : volume de trafic pour une période de quatre heures*

*Volume atténué (70 %) en fonction de la vitesse sur la route (> 64 km/h), considérant une voie d'approche.
Tiré de : FHWA (2009), *Manual on uniform traffic control devices*.

Méthode 3 : Débit horaire maximal (heure de pointe)

Cette méthode s'applique là où le volume de trafic à l'heure de pointe de la route principale cause des délais excessifs ou des problèmes d'accès sur la route mineure. Son utilisation est recommandée pour les développements complexes (industrielles, stationnements, bureaux, etc.) qui génèrent un achalandage élevé sur une courte période de temps. Un feu est autorisé si, pour une période d'une heure (quatre périodes de 15 minutes consécutives d'une journée normale), le nombre de véhicules de la route majeure (total des deux approches) et le nombre de véhicules de la route mineure (même période, une seule direction) sont au-dessus des valeurs indiquées dans le graphique de la figure 17.

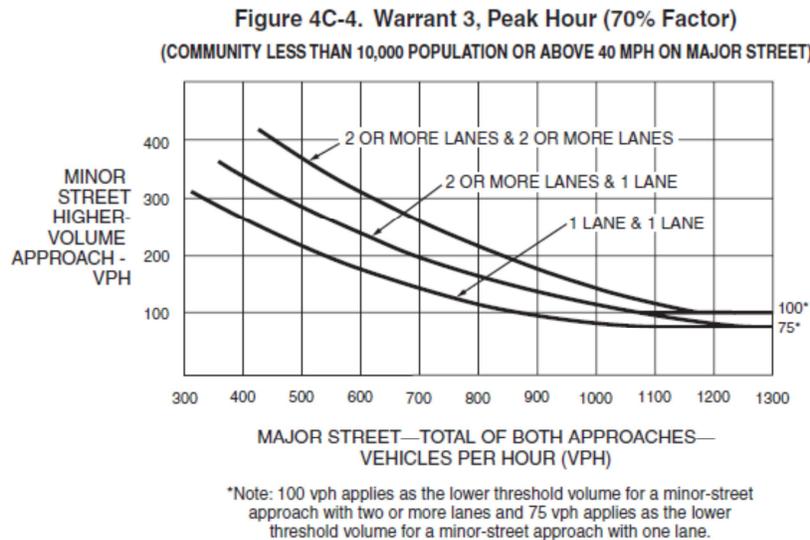


Figure 17 Méthode 3 : volume de trafic pour une période d'une heure*

*Volume atténué (70 %) en fonction de la vitesse sur la route (> 64 km/h), considérant une voie d'approche.

Tiré de : FHWA (2009) *Manual on uniform traffic control devices*.

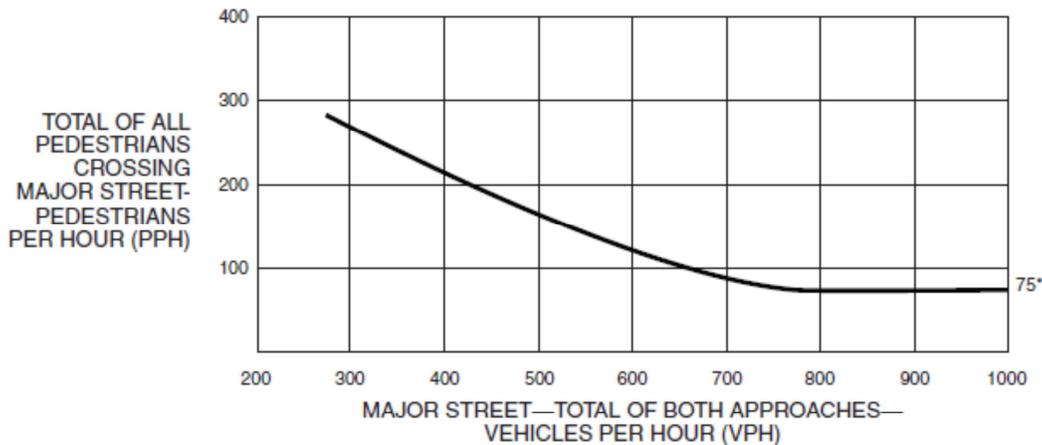
Méthode 4 : Volume piéton

Cette méthode est applicable là où le volume de trafic de la route principale cause des délais excessifs pour la traversée des piétons. Un feu est autorisé si le critère A ou B est rencontré.

- A. Pour une période de quatre heures (quatre périodes d'une heure consécutive d'une journée normale), le nombre de véhicules circulant sur la route majeure (total des deux approches) et le nombre total de piétons qui traversent la route majeure (même période, deux directions) est au-dessus des valeurs indiquées dans le graphique à la figure 18.
- B. Pour une période d'une heure (quatre périodes de 15 minutes consécutives d'une journée normale), le nombre de véhicules circulant sur la route majeure (total des deux approches) et le nombre total de piétons qui traversent la route majeure (même période, deux directions) sont au-dessus des valeurs indiquées dans le graphique à la figure 19.

En plus de ces préalables, le passage ne doit pas se trouver à moins de 91 mètres (300 pieds) d'une intersection contrôlée (arrêt ou feu de circulation), à moins que le nouveau feu de circulation n'entrave pas la circulation du trafic.

Figure 4C-6. Warrant 4, Pedestrian Four-Hour Volume (70% Factor)



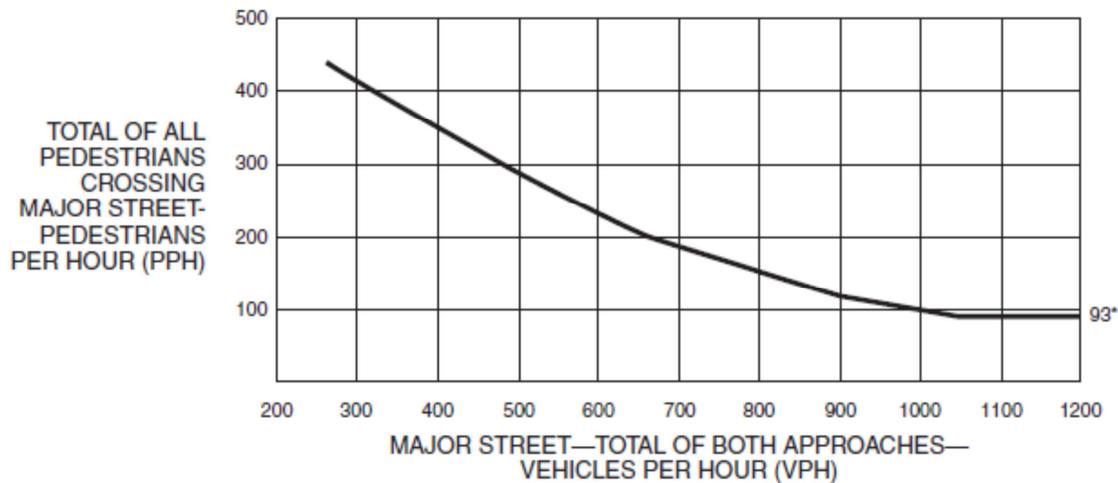
*Note: 75 pph applies as the lower threshold volume.

Figure 18 Méthode 4 : volume de piétons et de véhicules pendant 4 heures*

*Volume atténué (70 %) en fonction de la vitesse de la route principale (> 56 km/h)

Tiré de : FHWA (2009) *Manual on uniform traffic control devices*.

Figure 4C-8. Warrant 4, Pedestrian Peak Hour (70% Factor)



*Note: 93 pph applies as the lower threshold volume.

Figure 19 Méthode 4 : volume de piétons et de véhicules pendant une heure*

*Volume atténué (70 %) en fonction de la vitesse de la route principale (> 56 km/h)

Tiré de : FHWA (2009) *Manual on uniform traffic control devices*.

Fitzpatrick *et al.* (2006) affirment que les critères du MUTCD sont trop rigides. Les auteurs recommandent de considérer la largeur de la route et d'inclure un facteur d'atténuation de 70 % pour les routes ayant une vitesse affichée supérieure à 64 km/h (40mph). Le facteur d'atténuation de 70 % a été inclus dans la dernière version du MUTCD (2009), mais la largeur de la rue n'est toujours pas prise en compte. Zegeer *et al.* (2002) croient que la méthode actuelle du MUTCD devrait être adoucie pour permettre l'installation de feux de circulation aux endroits où les piétons ne peuvent pas traverser de façon sécuritaire. Ils ajoutent que la

méthode devrait aussi tenir compte des usagers à mobilité réduite. Le WsDOT (2010) utilise les mandats proposés dans le MUTCD, mais précise qu'une analyse alternative est requise si la vitesse affichée est supérieure à 72 km/h (45mph).

Transplan Associates (1996) ont analysé différentes méthodes pour élaborer une méthode à l'intention de la ville de Boulder, au Colorado. Selon eux, les anciennes méthodes du MUTCD sont inapplicables et ignorées par la majorité des ingénieurs. Pour qu'un feu soit autorisé, la firme propose à la ville de Boulder une méthode où les critères suivants doivent tous être rencontrés :

1. volume de 100 piétons/cyclistes pour une heure ou de 50 usagers par heure pendant 4 heures consécutives. Les usagers vulnérables (enfants de 12 ans et moins, personnes âgées de plus de 60 ans et handicapés) comptent pour deux usagers. Les règles peuvent être modifiées si le passage se trouve sur un corridor important (piste cyclable, sentier multifonctionnel, accès de transit, etc.). D'éventuelles modifications sont laissées à la discrétion du concepteur;
2. moins de 120 créneaux de passage adéquats par heure durant le comptage des piétons/cyclistes. Si les cyclistes représentent plus de 20 % des usagers du passage, le calcul du créneau doit se faire avec leur vitesse pratiquée (vitesse moyenne recommandée de 10 pieds par secondes);
3. le site doit se trouver à plus de 91 mètres (300 pieds) de la traverse protégée (feu piéton ou passage séparé) la plus proche;
4. le site est en milieu urbain et la vitesse affichée est inférieure à 64 km/h (40mph).

En Californie, l'installation d'un feu de circulation est justifiée par les méthodes du MUTCD de 2003. Cependant, l'état y ajoute une directive spécifique aux cyclistes. Le feu de circulation pour les cyclistes est justifié si les critères du volume de circulation, du volume d'accidents ou de la géométrie sont atteints (CaDOT, 2010).

- **Volume de circulation** : $M = C \times V$, ou $M = \text{Mandat}$, $C = \text{DH cycliste}$ et $V = \text{DH véhicules}$ (même période que C). La valeur de M doit être plus grande ou égale à 50 000 et C doit être plus grand ou égal à 50.
- **Volume d'accidents** : deux accidents ou plus entre cyclistes et véhicules susceptibles d'être évités par un feu de circulation se sont produits dans les 12 derniers mois.
- **Géométrie** : (a) lorsqu'un sentier multifonctionnel croise une route ou (b) à une localisation pour permettre un mouvement aux cyclistes, mais interdit aux véhicules.

Selon le TANSW (2008) un passage pour piétons peut être muni d'un feu de circulation si :

A. pendant 4 périodes consécutives d'une heure, d'une journée moyenne :

- i. le débit de piétons excède 250 à l'heure, et;
- ii. le débit de véhicules dépasse 600 à l'heure, par direction, ou s'il y a présence d'un terre-plein central de 1,2 m de largeur ou plus, le débit doit être de 1 000 véhicules par heure, par direction.

B. pendant 8 périodes consécutives d'une heure, d'une journée moyenne :

- i. le débit de piétons excède 175 à l'heure, et;
- ii. le débit de véhicules dépasse 600 à l'heure, par direction, ou s'il y a présence d'un terre-plein central de 1,2 m de largeur ou plus, le débit doit être de 1 000 véhicules par heure, par direction, et;
- iii. il n'y a pas d'autre passage alternatif (signalé ou marqué) pour les piétons à une distance raisonnable.

Ces critères préalables peuvent être atténués si la traverse est utilisée principalement par des enfants, des personnes âgées ou des personnes à mobilité réduite. Dans ce cas, l'installation d'un feu de circulation est considérée si :

A. pendant deux périodes consécutives d'une heure, d'une journée moyenne, et que 50 % des piétons sont des enfants, des personnes âgées ou des personnes à mobilité réduite :

- i. le débit de piétons excède 50 à l'heure, et;
- ii. le débit de véhicules dépasse 600 à l'heure, par direction.

Austroroads (2003) présente deux méthodes pour l'installation de feux de circulation. La première est pour le croisement de deux routes (une route majeure et une route mineure pouvant être substituée par une piste cyclable) et la seconde est spécifique aux passages entre deux intersections. Un feu de circulation peut être installé au croisement de deux routes si un des critères suivants est rencontré :

- A. **Volume de trafic** : pour chaque heure d'une période continue de quatre heures d'une journée normale, le débit de la route majeure excède 600 véhicules par heure, par direction, et le débit de la route mineure dépasse 200 véhicules à l'heure, ou;
- B. **Trafic continu** : pour chaque heure d'une période continue de 4 heures d'une journée normale, le débit de la route majeure excède 900 véhicules par heure, par direction, et le débit de la route mineure dépasse 100 véhicules à l'heure et la vitesse pratiquée élevée de la route majeure ou la mauvaise visibilité cause des délais excessifs, ou des problèmes de sécurité pour les véhicules de la route mineure, ou;
- C. **Sécurité des piétons** : pour chaque heure d'une période continue de 4 heures d'une journée normale, le débit de la route majeure excède 600 véhicules par heure, par direction (1 000 véhicules par heure s'il y a un îlot de protection de 1,2 m de largeur), et le débit de piétons traversant la route excède 150 à l'heure. Là où la vitesse du 85^e centile de la route majeure excède 75 km/h, le débit de véhicules est abaissé à 450 véhicules par heure, par direction (750 véhicules par heure s'il y a un îlot de protection), ou;
- D. **Facteurs combinés** : exceptionnellement, le feu de circulation peut être autorisé lorsque deux des points précédents (a, b ou c) sont validés à 80 %.

L'installation d'un feu de circulation pour un passage entre deux intersections dépend de la probabilité qu'un piéton obtienne le créneau de passage adéquat. Le décompte des piétons pour ce type de mandat doit se faire en fonction du débit potentiel plutôt que du débit actuel, puisqu'il est probable que l'aménagement d'une traverse signalée attire de nouveaux usagers. De plus, la

traverse signalée doit se trouver à plus de 130 m de l'intersection signalée la plus proche. Un feu de circulation peut être installé à un passage si :

- A. pour chaque heure d'une période continue de 4 heures d'une journée normale, le débit de piétons qui traverse excède 250 à l'heure, et que le débit de véhicules excède 600 à l'heure par direction (1 000 véhicules par heure s'il y a un îlot de protection de 1,2 m de largeur), ou;
- B. pour chaque heure d'une période continue de 8 heures d'une journée normale, le débit de piétons qui traverse excède 175 à l'heure, et que le débit de véhicules excède 600 à l'heure, par direction (1 000 véhicules par heure s'il y a un îlot de protection de 1,2 m de largeur), ou;
- C. lorsque le passage est utilisé principalement par des enfants, le volume de piétons pour chaque heure d'une période continue de 2 heures d'une journée normale excède 50 à l'heure, et que le débit de véhicules excède 600 à l'heure, par direction, ou;
- D. lorsque 50 % des usagers de la traverse sont des personnes âgées ou personnes à mobilité réduite, le volume de piétons pour chaque heure d'une période continue de 2 heures d'une journée normale excède 50 à l'heure, et que le débit de véhicules excède 600 à l'heure, par direction, ou;
- E. le feu de circulation est considéré exceptionnellement dans les cas suivants :
 - i. le site a eu au moins deux accidents au cours des trois dernières années qui auraient pu être prévenus par un feu de circulation, ou;
 - ii. la fluctuation saisonnière du trafic fait en sorte que les critères mentionnés ci-haut sont atteints durant la période très achalandée, ou;
 - iii. les critères pour un passage marqué (zébré) sont atteints, mais celui-ci cause des problèmes de sécurité aux piétons à cause de la largeur de la chaussée, de la mauvaise visibilité, de la vitesse pratiquée élevée ou du volume de véhicules élevé, ou;
 - iv. les critères pour un passage marqué (zébré) sont atteints, mais l'installation d'un feu de circulation améliorerait la fluidité du trafic.

Toujours en Australie, l'Australian Capital Territory (2007) autorise l'installation d'un feu de circulation si le DH de véhicules et de piétons dépasse 1 000 véhicules et 100 personnes respectivement.

4.4.10. Pente

Les recommandations pour la pente aux approches d'un passage sont les mêmes que celles citées dans Bruneau *et al.* (2000). Selon les normes du MTQ (2010b), les pentes de 3 % ou moins ne présentent pas de difficulté mais, dans la mesure du possible, il faut éviter l'aménagement d'une piste cyclable ayant une pente de plus de 6 %; la montée devient alors difficile pour de nombreux cyclistes, particulièrement par vent contraire. La figure 20 montre le niveau d'acceptabilité des pentes en fonction de leur pourcentage et de leur longueur. Les pentes courtes et abruptes (plus de 10 %) doivent être précédées d'une surface plane suffisamment longue pour permettre aux cyclistes de prendre un peu de vitesse avant la montée.

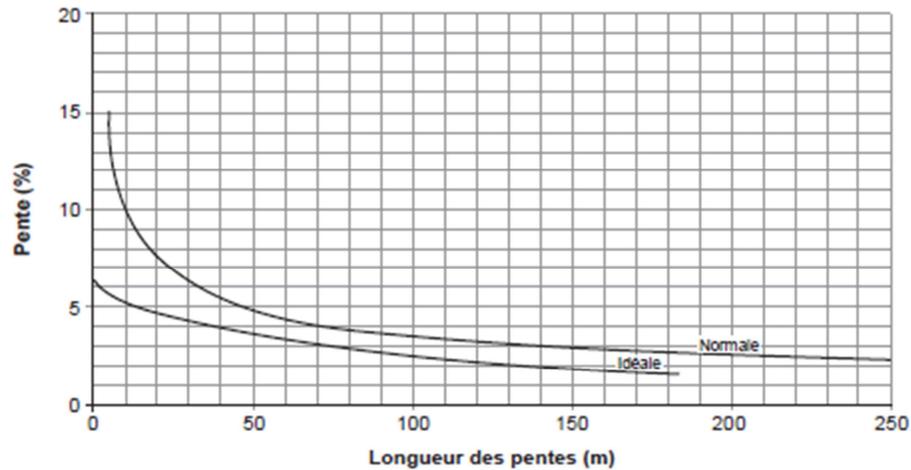


Figure 20 Niveau d'acceptabilité des pentes (MTQ, 2010b)

Tiré de : MTQ (2010b) Normes. Ouvrages routiers, Tome I, Conception routière, chap. 15, p. 17.

Le WisDOT (2004) rappelle qu'un gradient trop important augmente la vitesse du cycliste et du même coup sa distance de freinage, en plus de nuire à sa visibilité. En Angleterre, on recommande que le gradient des pentes à l'approche de la traverse n'excède pas 3 % (Cycling England, 2009).

En ce qui concerne les rampes d'accès d'un tunnel ou d'une passerelle, elles ne doivent pas excéder 6 % (Vélo Québec, 2009). Toutefois, l'organisme affirme que des pentes de 5 % sont plus adéquates pour les personnes à mobilité restreinte et les vélos à main. À titre d'exemple, un dénivelé de 6 m nécessiterait, avec une pente de 6 %, une rampe longue de 100 m.

Aux États-Unis, le gradient maximal pour les rampes d'accès est de 5 %. Cependant, pour assurer l'accessibilité à tous les utilisateurs, une pente maximale de 2 à 3 % est recommandée. Exceptionnellement, une rampe peut avoir un gradient atteignant 8,3 % (12 : 1). Dans ce cas, il est recommandé d'élargir la piste cyclable de 1,2 à 1,8 m (4 à 6 pieds) pour permettre aux cyclistes de marcher. Si des usagers à mobilité réduite sont présents, la rampe doit respecter les normes présentées dans le *Americans with Disabilities Act Accessibility Guidelines*. Dans cette situation, la pente peut aller jusqu'à 8,3 %, mais il est nécessaire d'installer des plateaux à tous les 0,75 m (30 pouces) d'élévation. La longueur des plateaux doit correspondre à la largeur de la rampe ou avoir un minimum de 1,8 m (6 pieds) (WisDOT, 2004; MnDOT, 2007).

En Nouvelle-Zélande, les pentes d'accès à la structure doivent idéalement avoir de 0 à 3 degrés, avec un maximum de 5 degrés. De plus, l'utilisation d'un escalier est à proscrire pour une piste cyclable (ViaStrada, 2010). Austroads (1999) tolère des gradients maximaux de 7 % sur une distance de 50 m, et de 10 % sur une distance de 20 m.

En Angleterre, pour décourager les vitesses excessives dans les tunnels, les rampes d'accès doivent avoir un gradient de 3 %. En cas de contraintes physiques, il est possible d'augmenter le gradient à 5 % pour une distance de 100 mètres et à 7 % pour une distance de 30 m (Cycling England, 2009; DFT, 2008; UK Roads, 1993).

Finalement, Axler (1984) stipule qu'un passage dénivélé avec des rampes d'accès à niveau (sans dénivélé) est appréciable, mais non nécessaire. Selon lui, la commodité et la sécurité du passage dénivélé sont des facteurs beaucoup plus importants pour encourager son utilisation.

4.4.11. Largeur du passage à niveau

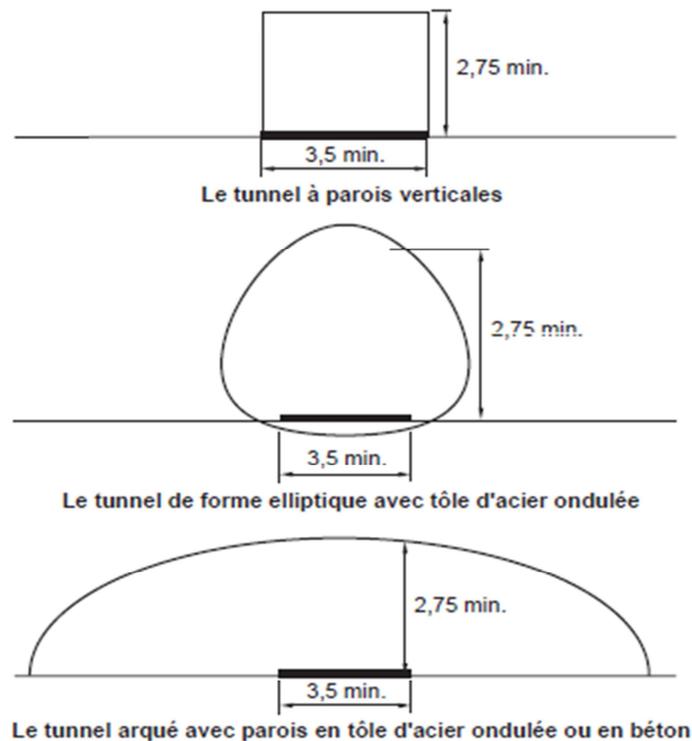
Au Québec, Vélo Québec (2003) recommande l'élargissement de la voie cyclable au passage seulement pour les sentiers très fréquentés, sans toutefois spécifier de dimensions. Dans ses normes de conception routière, le MTQ (2010b) donne plus de précisions spécifiant que l'entrée de la piste cyclable doit être élargie à 5 m.

Les largeurs recommandées pour les passages varient selon les guides. Pour Austroads (1995), la largeur minimale est de 2 m, mais une largeur de 3 m est préférable pour les traverses entre deux intersections. La largeur doit empêcher l'interférence entre les usagers qui circulent en direction opposée, car cela complexifie les manœuvres et augmente le temps de traversée. Le MnDOT (2007) préconise la même largeur que la piste cyclable, mais accepte une largeur minimale de 1,8 m. En Angleterre, le DfT (2008) considère que le passage doit être assez large pour permettre les dépassements entre cyclistes. Il doit préférentiellement avoir plus de 3 m, particulièrement s'il se trouve en zone récréative. Finalement, Hummer *et al.* (2006) précisent que les patineurs sont les usagers nécessitant le plus d'espace, soit une trace au sol de 1,5 m.

4.4.12. Largeur du tunnel ou de la passerelle

Au Québec, la largeur requise pour un tunnel ou une passerelle dépend du volume de la circulation piétonne. La passerelle doit avoir au moins 3 m de largeur lorsque la piste est réservée à l'usage exclusif des cyclistes, et être de 4 m ou plus lorsque la circulation piétonne est importante. Quant au tunnel, on recommande une largeur de 5 m puisque ceux-ci sont généralement empruntés par les piétons et les cyclistes (Vélo Québec, 2003).

Pour le MTQ (2010b), étant donné qu'un tunnel est un espace clos et peut susciter une sensation d'inconfort, ses dimensions doivent être plus grandes que l'espace occupé par le cycliste. Ainsi, la largeur minimale de la surface de roulement doit être d'au moins 3,5 m (figure 21). Si le tunnel est prévu également pour les piétons, la largeur minimale est de 4,5 m.



Note :
– les cotes sont en mètres.

Figure 21 Dégagement vertical et horizontal des tunnels (MTQ, 2010b)

Tiré de : MTQ (2010b) Normes. Ouvrages routiers, Tome I, Conception routière, chap. 15, p. 30.

Dans les autres juridictions, les recommandations sont similaires. Il est recommandé qu'un tunnel ou une passerelle ait la même largeur que la piste cyclable, additionnée d'une surlargeur de 60 cm de chaque côté. Cela donne plus d'espace pour les manœuvres et améliore le sentiment de sécurité. Cela atténue aussi l'effet de rétrécissement causé par les murs. De plus, il est important de considérer l'accès aux véhicules de services et d'urgences (ViaStrada, 2010; FIDOT, 2000; AASHTO, 1999; MnDOT, 2007; ODOT, 1995).

Aux États-Unis, la largeur minimale acceptée est de 3,6 m (WisDOT, 2004; MnDOT, 2007). Dans l'état du Minnesota, si les contraintes suivantes sont réunies, la largeur de la passerelle peut être diminuée jusqu'à 2,4 m (MnDOT, 2007) :

- volume de cyclistes faible, même aux heures de pointe;
- volume de piétons faible (présence occasionnelle);

- l'alignement vertical et horizontal de la structure permet des dépassements sécuritaires;
- les véhicules d'entretien sont adaptés à la structure, et;
- le financement est restreint.

La largeur idéale recommandée par le Wisconsin est de 4,25 m. Puisque la largeur du tunnel a un impact important sur la perception de la sécurité des utilisateurs, on recommande que le tunnel ait un ratio hauteur/largeur de 1 : 1,15. La largeur du tunnel ou de la passerelle peut excéder les dimensions mentionnées si le nombre d'utilisateurs est très élevé (WisDOT, 2004). En Angleterre, l'infrastructure doit avoir une largeur minimale de 5 m pour limiter les conflits potentiels entre utilisateurs (DfT, 2008). Quant à Otak (1997), il suggère une largeur de 3,7 m pour une traverse dénivelée, utilisée par les piétons et les cyclistes.

4.4.13. Largeur de la route

Selon Turner *et al.* (2006), le rétrécissement de la chaussée fait diminuer la vitesse pratiquée par les automobilistes, et du même coup il facilite la traversée des cyclistes et des piétons. Selon la majorité des auteurs, le rétrécissement de la chaussée est plus adapté en zone résidentielle, où il y a peu de poids lourds.

4.4.14. Dégagement vertical du tunnel et de la passerelle

Le dégagement d'une passerelle doit être conçu en fonction des véhicules qui circulent sur la route. Au Québec, le dégagement vertical conseillé pour un tunnel est d'au moins 2,75 m par le MTQ (2010b) et de 3 m par Vélo Québec (2009). Aux États-Unis, il est de 2,4 m au Minnesota (MnDOT, 2007) et de 3,0 m au Wisconsin (WisDOT, 2004). L'Angleterre suggère également un dégagement minimal de 2,4 m ou de 2,7 m si le tunnel fait plus de 23 m de longueur, pour améliorer la luminosité (Cycling England, 2009; DfT, 2008).

Aux États-Unis, on recommande un dégagement de 5,4 m (17 pieds et 9 pouces) sur la route sous une passerelle, mais un dégagement minimal de 5,25 m (17 pieds et 3 pouces) est accepté MnDOT, 2007; WisDOT, 2004). Pour Otak (1997) la passerelle doit avoir un dégagement de 5,3 m sous sa structure. Cependant, il est recommandé d'avoir un dégagement de 5,5 à 6,7 m, puisque les passerelles pour piétons et cyclistes sont de construction légère et qu'elles sont plus vulnérables à l'impact d'un véhicule. Finalement, Vélo Québec (2009) recommande un dégagement de 5,3 m au-dessus d'une route et de 7 m au-dessus d'une voie ferrée.

5. RÉFÉRENCES

- AASHTO (1999) *Guide for the development of bicycles facilities*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, USA, 86 p.
- AUSTRALIAN CAPITAL TERRITORY (2007) *Design standards for urban infrastructure - 13 pedestrian & cycle facilities*, Australian Capital Territory, Canberra, Australia, 39 p.
- AUSTROADS (1995) *Guide to traffic engineering practice part 13 – pedestrians*. Austroads, Sydney, Australia, 90 p.
- AUSTROADS (1999) *Guide to traffic engineering practice part 14 – bicycles*. Austroads, Sydney, Australia, 153 p.
- AUSTROADS (2000a) *Pedestrian and cyclist safety – investigation of accidents in different roads environments*. Austroads, Sydney, Australia, 86 p.
- AUSTROADS (2000b) *Pedestrian and cyclist safety – investigation of accidents in different roads environments*. Austroads, Sydney, Australia, 109 p.
- AUSTROADS (2001) *Traffic flow models allowing for pedestrians and cyclists*. Austroads, Sydney, Australia, 33 p.
- AUSTROADS (2002) *Investigation of cyclist safety at intersections*. Austroads, Sydney, Australia, 96 p.
- AUSTROADS (2003) *Guide to traffic engineering practice series part 7 – traffic signals third edition*. Austroads, Sydney, Australia, 158 p.
- AUSTROADS (2011) *Cycling aspect of Austroads guides*. Austroads, Sydney, Australia, 157 p.
- AXLER, E.A. (1984) *Warrants for pedestrian over and underpasses*. Technology applications; Office of research and development federal highway administration, 144 p.
- BABU, S.V., GRECHKIN, T.Y., CHIHAK, B., ZIEMER, C., KEARNEY, J.K., CREMER, J.F. ET PLUMERT, J.M. (2011) *An immersive Virtual peer for studying social influences on child cyclists' road-crossing behaviour*. IEEE transactions on visualization and computer graphics, vol. 17, no.1, p. 14-25.
- BIRK, M.L. ET HUDSON, G. (s.d.) *Bikesafe: #34 – Path and roadway intersections*. Portland, Oregon, USA.
- BRUNEAU, J-F., POULIOT, M. et MORIN, D. (2000) *Problématique d'aménagement des passages de piste cyclables en milieu rural*. Rapport final. Coopératif de recherche en sécurité routière de l'Université de Sherbrooke, 86 p.
- CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2010) *California manual on uniform traffic control devices for streets and highways*. California Department of Transportation, Sacramento, CA, USA, 1288 p.

- CANADIAN INSTITUTE OF PLANNERS AND GO FOR GREEN (2004) *Community Cycling Manual: A Planning and Design Guide*. Canadian Institute of Planners and Go for green, Ottawa, Ontario, Canada, 222 p.
- CHANG, H. ET CHANG, H. (2005) *Comparison between the differences of recreational cyclists in national scenic bikeway and local bike lane*. Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies, vol. 6, p. 2178-2193.
- CITY OF TORONTO (2001) *City of Toronto bike plan*. City of Toronto, Toronto, Ontario, Canada, 134 p.
- CONNOR, B. (2005) *Bicycle safety – a reflexion*. Journal of the Australian college of road safety, July 2005, p. 11-14.
- CORBEN, B. ET DIAMANTOPOULOU, K. (1996) *Pedestrian safety issues for Victoria*. Monash University Research Centre, Clayton, Victoria, Australia, 87 p.
- DEPARTMENT FOR TRANSPORTATION (2008) *Cycle infrastructure design*. Department for Transportation, London, England, 92 p.
- DAVIS, K.D. ET HALLENBECK, M.E. (2008) *An evaluation of engineering treatments and pedestrian and motorist behaviour on major arterials in Washington state*. Washington State Transportation Center, Washington State Department of Transportation, 235 p.
- DONNELL, E.T., PORTER, R.J. ET SHANKAR, V.N. (2010) *A framework for estimating the safety effects of roadway lighting at intersections*. Science Safety, vol. 48. no 10. p. 1436-1444.
- FEHR & PEERS (2003) *Pedestrian safety and crosswalk installation guidelines*. City of Stockton, Stockton, California, USA, 35 p.
- FHWA (2006) BIKESAFE : *Bicycle countermeasure selection system*. Chapter 3 - Selecting improvement for bicyclists. U.S. Department of Transportation, 24 p.
- FHWA (2009) *Manual on uniform traffic control devices for streets and highway 2009 edition*. U.S. Department of transportation, 864 p.
- FITZPATRICK, K., TURNER, S., BREWER, M., CARLSON, P., ULLMAN, B., TROUT, N., PARK, E.S., WHITCARE, J., LALANI, N. ET LORD, D. (2006) *Improving pedestrian safety at unsignalized crossings*. Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, 111 p.
- FLORIDA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (1996) *Trail intersection design handbook*. Florida department of transportation, Tallahassee, FL, USA, 58 p.
- FLORIDA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2000) *Bicycle facilities planning and design handbook* department of transportation, Tallahassee, FL, USA, 158 p.
- FLORIDA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2002) *Project forecasting handbook*. Florida Department of Transportation, FL, USA, 158 p.

- HOFFMAN, M.B., LAMBERT, W.E., PECK, E.P. ET MAYBERRY, J.C. (2010) *Bicycle commuter injury prevention: it is time to focus on the environment*. The journal of trauma, injury, infection and critical care, vol. 69, no 5, p. 1112-1119.
- HUMMER, J.E., ROUPHAIL, N.M., TOOLE, J.L., PATTEN, R.S., SCHNEIDER, R.J., GREEN, J.S., HUGHES, R.G. ET FAIN, S.J. (2006) *Evaluation of safety, design, and operation of shared-use paths – Final report*. North Carolina State University, Federal Highway Administration, 161 p.
- ILLINOIS DEPARTMENT OF TRANSPORT (2010) *Bureau of design & environment manual*. Illinois department of transport, Springfield, IL, USA, 82 p.
- IVAN, J.N., GARDER, P.E. ET ZAJAC, S.S. (2001) *Finding strategies to improve pedestrian safety in rural areas*. University of Connecticut, University of Maine, United States Department of Transportation, 40 p.
- JACOBSEN, P.L. (2003) *Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling*. Injury prevention, vol. 9, no 3, p. 205-209.
- JOHNSON, M., NEWSTEAD, S., CHARLTON, J. ET OXLEY, J. (2011) *Riding through red lights: the rate, characteristics and risk factors of non-compliant urban commuters cyclists*. Accident analysis and prevention, vol. 43, no 1, p. 323-328.
- KWEON, Y-J. ET LEE, J. (2010) *Potential risk of using general estimates system: bicycle safety*. Accident analysis and prevention, no 42, p. 1712-1717.
- KLOP, J. AND KHATTAK, A. (1999) *Factors influencing bicycle crash severity on two-lane undivided roadways in North Carolina*. Transportation Research Record 1674, Transportation Research Board, Washington, DC, p. 78-85.
- LANDIS, B.W., PETRITSCH, T.A. ET HUANG, H.F. (2004) *Characteristics of emerging road and trail users and their safety*. Sprinkle consulting, Federal Highway Administration, 127 p.
- LI, J., ISHIDA, H., OKAMOTO, N. ET TSUTSUMI, M. (2007) *The behaviour of pedestrians at crosswalks in Nanjing*. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, vol. 6, 15 p.
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (2010a) *Normes. Ouvrages routiers, Tome 5, Signalisation routière*, chap. VIII, “ Signaux lumineux “, Ministère des Transports du Québec, 89 p.
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (2010a) *Normes. Ouvrages routiers, Tome 5, Signalisation routière*, chap. VII, “ Voie cyclable “, Ministère des Transports du Québec, 48 p.
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (2010a) *Normes. Ouvrages routiers, Tome 5, Signalisation routière*, chap. VI, “ Marquage sur la chaussée “, Ministère des Transports du Québec, 23 p.
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (2010a) *Normes. Ouvrages routiers, Tome 5, Signalisation routière*, chap. III, “ Danger “, Ministère des Transports du Québec, 36 p.

- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (2010b) *Normes. Ouvrages routiers, Tome I, Conception routière*, chap. XV, “ Voies cyclables ”, Ministère des Transports du Québec, 36 p.
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (2010b) *Normes. Ouvrages routiers, Tome I, Conception routière*, chap. VII, “ Distance de visibilité ”, Ministère des Transports du Québec, 24 p.
- MINNESOTA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2007) *Bikeway facility design manual*. Minnesota Department of Transportation, Saint-Paul, MN, USA, 242 p.
- MINNESOTA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2008) *Bicycle and pedestrian toolbox*. Minnesota Department of Transportation, Saint-Paul, MN, USA, 38 p.
- MORGAN, A.S., DALE, H.B., LEE, W.E. ET EDWARDS, P.J (2010) *Death of cyclists in London: trends from 1992 to 2006*. BMC public health, vol. 10, no 699, 5 p.
- NATIONAL CENTER FOR STATISTICS AND ANALYSIS (2007) *Traffic safety facts – 2007 data rural/urban comparison*. National Highway Traffic Safety administration, Washington DC, USA, 6 p.
- NATIONAL COMMITTEE ON UNIFORM TRAFFIC CONTROL (1998) *Manual of uniform traffic control devices for Canada fourth edition*. Transportation association of Canada, Ottawa, Canada.
- OREGON DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (1995) *Oregon bicycle and pedestrian plan*. Oregon Department of Transportation, Salem, Oregon, USA, 267 p.
- OTAK (1997) *Pedestrian facilities guidebook – Incorporating pedestrians into Washington’s transportation system*. Washington State Department of Transportation, 257 p.
- OVE ARUP & PARTNERS (2009) *Infrastructure toolkit for cycling towns (draft)*. Ove Arup & Partners, Department for Transportation, London, England, 47 p.
- PHILLIPS, R.O., BJORNSKAU, T., HAGMAN, R. ET SAGBERG, F. (2011) *Reduction in car-bicycle conflict at a road-cycle path intersection*. Transportation research part F: Traffic psychology and behavior, vol. 14, no 2, p. 87-95.
- PLUMERT, J.M., KEARNEY. J.K. ET CREMER. J.F. (2004) *Children’s perception of gap affordances : bicycling across traffic-filled intersections in an immersive environment*. Child development, vol. 75, no 4, p. 1243-1253.
- PLUMERT, J.M., KEARNEY. J.K., CREMER. J.F., RECKER,K. M. ET STRUTT J. (2010) *Changes in children’s perception-action tuning over short time scales : bicycling across traffic-filled intersections in a virtual environment*. Journal of experimental child psychology, vol. 108, no 2, p. 322-337.
- POPULER, M., DUPRIEZ, B. ET VERTRIEST, M. (2006) *Accidents de cyclistes en contexte urbain: trois années (1998-2000) d’accidents corporels de cyclistes sur les voiries régionales de la region Bruxelles-Capitale*. Institut Belge pour la sécurité routière, 52 p.

- PUCHER, J. ET DIJKSTRA, L. (2000) *Making walking and cycling safer: lessons from Europe*. Transportation quarterly, vol. 54, no 3, p. 25-50.
- RETTING, R. A., FERGUSON, S. A. ET MCCARTT, A. T. (2003) *A review of evidence-based traffic engineering measures designed to reduce pedestrian-motor vehicle crashes*. American journal of public health, vol. 93, no 9, p. 1456-1463.
- REYNOLDS, C.CO., HARRIS, M.A., TESCHKE, K., CRIPTON, P.A. ET WINTERS, M. (2009) *The impact of transportation infrastructure on bicycling injuries and crashes : a review of the literature*. Environmental Health, vol. 8, no 47, 19 p.
- RIBBENS, H. (1985) *Proposed guidelines for the provision, design and siting of grade-separated pedestrian crossings*. National institute for transport and road research, Pretoria, South Africa, 39 p.
- RIBBENS, H. (1996) *Pedestrian facilities in South Africa: research and practice*. Transportation Research Record 1538, Transportation Research Board, p. 10-18.
- SCHEPERS, J.P., KROEZE, P.A., SWEERS, W. ET WÜST, J.C. (2011) *Road factors and bicycle-motor vehicle crashes at unsignalized priority intersections*. Accident analysis and prevention, article sous presse.
- SONKIN, B., EDWARDS, P., ROBERTS, I. ET GREEN, J. (2006) *Walking, cycling and transport safety: an analysis of child road deaths*. Journal of the Royal Society of Medicine. vol. 99, no 8, p. 402-405.
- SPRINKLE CONSULTING (2007) *Atlanta region bicycle transportation and pedestrian walkways plan*. Sprinkle consulting, Atlanta regional commission, 222 p.
- STOVER, V.G. ET KOEPKE F.J. (2002) *Transportation and Land Development 2nd edition*. Institute of Transportation Engineers, Washington DC, 700 p.
- SWOV (2010) *Crossing facilities for cyclists and pedestrians*. SWOV – institute for road safety research, Leidschendam, The Netherlands, 6 p.
- TRAFFIC AUTHORITY OF NEW SOUTH WALES (1987) *Guidelines for traffic facilities. Part 4.3 Grade separated pedestrian facilities*, New South Wales Government, Sydney, Australia, 9 p.
- TRAFFIC AUTHORITY OF NEW SOUTH WALES (2008) *Traffic signal design. Section 2 – Warrants*, New South Wales Government, Sydney, Australia, 14 p.
- TRANSPLAN ASSOCIATES, INC. (1996) *Pedestrian crossing treatment warrants*. Tansplan Associates, In.; rapport au City of Boulder transportation division, Boulder, Colorado, USA, 78 p.
- TRANSPORT FOR LONDON (2008) *Pedal cyclist collisions and casualties in Greater London*. London road safety unit, London, 20 p.
- TURNER, S.M. ET CARLSON, P.J. (2000) *Pedestrian crossing guidelines for Texas*. Texas transportation institute, The Texas A&M University system, Texas Department of Transportation, 70 p.

- TURNER, S.M., SANDT, L., TOOLE, J., BENZ, R. ET PATTEN, R. (2006) *FHWA university course on bicycle and pedestrian transportation : student workbook*. Texas Transportation Institute, Federal Highway Administration, 452 p.
- UK ROADS (1993) *Subway for pedestrians and pedal cyclists layout and dimensions*. UK roads, Winchester, England, 19 p.
- VÉLO QUÉBEC (2003) *Guide technique d'aménagement des voies cyclables*, 3^e édition, Montréal, 136p.
- VÉLO QUÉBEC (2009) *Aménagements en faveur des piétons et des cyclistes*, Montréal, 168p.
- VIRGINIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2001) *Virginia Bicycle Facility Resource Guide*. Virginia Department of Transportation, Richmond, VA, USA, 136 p.
- VERMONT AGENCY OF TRANSPORTATION (2002) *Pedestrian and bicycle planning and design manual*. Vermont Agency of Transportation, 284 p.
- VIASTRADA (2010) *Cycle trail design guide*. Ministry of Tourism, New Zealand, 86 p.
- WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2010) *Design manual*. Washington State Department of Transportation, Olympia, WA, USA, 1284 p.
- WISCONSIN DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2004) *Wisconsin bicycle facility design handbook*. Wisconsin Department of Transportation, Madison, WI, USA, 195 p.
- ZEGEER, C.V., SEIDERMAN, C., LAGERWEY, P., CYNECKI, M., RONKIN, M. ET SCNEIDER, R. (2002) *Pedestrian facilities users guide – providing safety and mobility*. Highway Safety research Center, University of North Carolina, Federal Highway Administration, 162 p.
- ZEGEER, C.V., STEWART, R.J., HUANG, H.H., ET LAGERWAY, P.A. (2002) *Safety effects of marked versus unmarked crosswalks at uncontrolled locations: executive summary and recommended guidelines*. Highway Safety research Center, University of North Carolina, Federal Highway Administration, 33 p.

