

Rapport final

Projet de recherche R706.1

ÉVALUATION DES PRATIQUES SÉCURITAIRES POUR LES VOIES RÉSERVÉES AUX VÉHICULES À TAUX D'OCCUPATION ÉLEVÉE

Chercheurs

Ciprian Alecsandru, Ph. D., Université Concordia

Luis Miranda-Moreno, Ph. D., Université McGill

Assistants de recherche

Paul Anderson-Trocme, étudiant à la maîtrise, Université McGill

Raphaël Lamotte, étudiant à la maîtrise, Université Concordia

Hamed Shahrokhi, étudiant à la maîtrise, Université Concordia

Huizhu Tao, étudiante à la maîtrise, Université Concordia

Matin Giahi Fomani, étudiant au doctorat, Université Concordia

Chao Li, étudiant à la maîtrise, Université Concordia

25 novembre 2016

Rapport final – R706.1

Table des matières

Liste des figures	iv
1 Introduction.....	1
2 Voies réservées aux VTO : généralités.....	2
2.1 Voies réservées aux VTO : définition et classification.....	2
2.2 Voies réservées aux VTO : avantages et inconvénients.....	6
2.2.1 Retombées à court et à long terme.....	6
2.2.1.1 Routes	6
2.2.1.2 Artères.....	7
2.2.2 Problèmes liés aux voies réservées aux VTO.....	9
2.2.2.1 Routes	9
2.2.2.2 Artères.....	11
2.2.2.3 Enjeux communs aux routes et aux artères.....	13
3 Réglementations et mises en œuvre en Amérique du Nord.....	17
3.1 Réglementations.....	17
3.1.1 Voies réservées aux VTO nouvelles ou de remplacement	17
3.1.2 Largeur des voies réservées aux VTO.....	17
3.1.3 Usagers autorisés	18
3.1.4 Symboles sur la chaussée	18
3.1.5 Signalisation	19
3.1.6 Types de séparations.....	19
3.2 Mises en œuvre.....	20
3.2.1 Collecte de données.....	20
3.2.2 Classification des voies réservées aux VTO en Amérique du Nord.....	21
3.3.3 Analyse.....	26
4 Méthodes d'évaluation du rendement en matière de sécurité routière	29
4.1 Évaluation de la sécurité routière au moyen de données historiques sur les collisions	29
4.1.1 Études avant-après.....	29
4.1.2 Évaluation de la sécurité routière au moyen de sections de contrôle (études transversales).....	35

Rapport final – R706.1

4.1.3 Analyse de régression.....	39
4.2 Caractéristiques des accidents et des collisions (analyse d’exploration).....	41
4.3 Évaluation de la sécurité routière au moyen de mesures de substitution.....	42
4.5 Applicabilité des méthodes.....	46
4.5.1 Études avant-après.....	46
4.5.2 Études transversales.....	46
4.5.3 Analyse de régression.....	46
4.5.4 Caractéristiques des collisions et des accidents (analyse d’exploration).....	46
4.5.5 Mesures de sécurité de substitution.....	47
4.5.6 Réseaux neuronaux artificiels.....	47
5 Études de cas.....	48
5.1 Description des sites.....	48
5.1.1 Boulevard Taschereau.....	49
5.1.2 Lévis.....	50
5.1.3 Montréal-Laval (autoroute 15).....	51
5.1.4 Voie réservée aux autobus en accotement le long de l’autoroute 15 à Laval.....	51
5.2 Outils de collecte et d’analyse de données.....	57
5.2.1 Outils de collecte de données.....	57
5.2.2 Outils de collecte de données.....	57
5.3 Analyse des données et résultats.....	61
5.3.1 Boulevard Taschereau (route 134).....	61
5.3.1.1 Évaluation en deux étapes de la sécurité de la circulation sur les voies réservées aux autobus.....	61
5.3.2 Montréal/Laval (A-15).....	74
5.3.2.1 Analyse avant-après des voies réservées aux véhicules à taux d’occupation élevée.....	75
5.3.2.2 Analyse de la sécurité de la voie réservée aux autobus en accotement.....	84
5.3.3 Lévis (route 116).....	86
5.3.3.1 Collecte et traitement de données.....	86
5.3.3.2 Étalonnage de l’outil de microsimulation VISSIM.....	91
5.3.3.3 Modélisation de configuration et de conditions de circulation existantes (<i>statu quo</i>).....	93

Rapport final – R706.1

5.3.3.4 Simulations de plans géométriques ou de contrôle de substitution	94
5.3.3.5 Mesures de sécurité de substitution relatives aux conflits entre véhicules.....	97
5.3.3.6 Analyse de comparaison de la sécurité et des opérations de circulation	100
6 Résumé et conclusion	105
6.1 Revue de la documentation	105
6.1.1 Sécurité des voies réservées aux véhicules à taux d'occupation élevée sur les routes	105
6.1.2 Sécurité des voies réservées aux véhicules à taux d'occupation élevée sur les artères.....	106
6.1.3 Remarques sur la sécurité routière.....	107
6.2 Analyse des études de cas examinées	107
6.2.1 Remarques sur l'autoroute A-15.....	108
6.2.2 Remarques sur la route 134	109
6.2.3 Impacts des plans géométriques et de contrôle	109
6.2.4 Conclusion	111
Bibliographie.....	112
Appendix – Liste des déploiements VTO examinés dans cette étude	118

Liste des figures

Figure 1. Voie réservée avec accès continu (Jang et al., 2010)	2
Figure 2. Voie réservée avec accès limité (Jang et al., 2010).....	3
Figure 3. Voie réservée séparée par une zone tampon marquée.....	4
Figure 4. Voie réservée avec séparation de barrières	4
Figure 5. Voie réservée à contre-traffic	4
Figure 6. Voie réservée réversible à Ottawa.....	4
Figure 7. Voie d'autobus sur le côté droit d'une autoroute près de Grenoble	5
Figure 8. Voie d'autobus sur le côté droit de la sortie d'une autoroute près de Grenoble.....	5
Figure 9. Classification des mises en place de voies VTO sur les autoroutes au Canada et aux États-Unis.....	24
Figure 10. Classification des mises en place de voies VTO sur les artères au Canada et aux États-Unis.....	25
Figure 11. Modifications suggérées dans la configuration géométrique du couloir pour améliorer la sécurité.....	33
Figure 12. Accidents avant et après la mise en place d'un système de BRT à Guadalajara (Duduta et al., 2012)	35
Figure 13. Accidents annuels avant et après la mise en place du BRT (Duduta et al., 2012)	35
Figure 14. Exemple de carte de congestion du trafic (Sullivan et al. 1993).....	36
Figure 15. Types de collisions (Jang et al., 2010)	37
Figure 16. Répartition des collisions avec lésions mortelles et graves (Jang et al., 2010).....	37
Figure 17. Relation entre la largeur des accotement et le taux de collision (Jang et al., 2010)	38
Figure 18. Relation entre la largeur totale de la route et le taux de collision (Jang et al., 2010)	38
Figure 19. Tracé du profil de risque continu (PRC): (a) Zones d'accès et de sortie du VTO.....	38
Figure 20. Capture d'écran vidéo des données de Terrebonne	49
Figure 21. (a) Aménagement du boulevard Taschereau. Voie réservée au bus/taxi.....	52
Figure 22. (a) Aménagement de la voie réservée sur la route 116 à Levis (b) (c) Sites de collecte de données le long de la route 116 à Levis.....	53

Rapport final – R706.1

Figure 23. (a) Aménagement du bus réservé sur la bretelle de l'A-15 à Laval (b) Aménagement des segments de VTO de l'A-15 à Laval	54
Figure 24. (a)(b) Sites de collecte de données segments VTO le long de l'A-15	55
Figure 25. (a)(b) Sites de collecte de données sur la voie de bus sur accotement à Laval	56
Figure 26. Voie reserve pour autobus sur accotement (BoS) (A-15, Laval)	56
Figure 27. Emplacement des caméras: (a) Site 2 dans la région de Levis; (b) Site 3 dans la région de Laval.....	57
Figure 28. Exemple de zone d'étude	58
Figure 29. Trajectoires de véhicules sur image vidéo et image de masque.....	59
Figure 30. Section de l'entrecroisement (changement de voie) de différentes longueurs	63
Figure 31. Modèle VISSIM pour l'étude de cas Boulevard Taschereau.....	64
Figure 32. Modèle VISSIM avant et après les conditions d'analyse	65
Figure 33. Diagramme des angles de conflit (Gettman et al., 2008)	66
Figure 34. Diagramme de la matrice binaire	67
Figure 35. Les temps de déplacement résulte de différents alignements géométriques dans différents volumes de trafic.....	68
Figure 36. (a) - (d) Comparaison des résultats des conflits calibrés.....	70
Figure 37. Exemple de conditions de circulation sur la voie VTO (Rte-134).....	71
Figure 38. Exemple de traitement de trajectoires de véhicules pour utilisation de voies interdites.....	72
Figure 39. Taux de non-conformité et volumes artériels pendant la période de collecte de données	72
Figure 40. Dispersion des emplacements de TTC sur les voies de circulation.....	74
Figure 41. Vue du viaduc Henri-Bourassa à A-15.....	75
Figure 42. Vue du viaduc Souvenir à A-15	76
Figure 43. Exemple d'image vidéo de A-15	77
Figure 44. Image de masque appliquée sur la deuxième voie de A-15	77
Figure 45. Vitesse et débit par voie (voie VTO inactif)	79
Figure 46. Vitesse et débit par voie au site Henri-Bourassa (voie VTO actif).....	80
Figure 47. Taux de non-conformité au site Henri-Bourassa.....	81
Figure 48. Vitesse et débit par voie au site Henri-Bourassa (voie VTO inactif).....	82

Rapport final – R706.1

Figure 49. Vitesse et débit par voie au site Souvenir (voie VTO inactif).....	83
Figure 50. Taux de non-conformité au site Souvenir	84
Figure 51. Points de conflit le long de voie BoS sur A15.....	85
Figure 52. Chemins de véhicule à la station terminus et au stationnement de banlieue.....	86
Figure 53. Emplacements de caméra et couvertures visuelles à la zone d'étude	87
Figure 54. Traitement de vidéos avant utilisation du logiciel de détection de vitesse.....	90
Figure 55. Les distributions de vitesse en direction ouest et en direction est sur la route principale pendant l'heure de pointe (16 :30 – 17 :30).....	91
Figure 56. Ecart de temps mesuré des véhicules en direction ouest	92
Figure 57. Algorithme de priorité au véhicules (Vissim, 2014)	92
Figure 58. Le réseau statu quo modélisé en VISSIM	93
Figure 59. Exemples d'interactions entre les véhicules dans la zone d'étude	94
Figure 60. Exemples d'interactions entre les véhicules dans la zone d'étude	95
Figure 61. Réseau VISSIM avec alignement géométrique modifié	95
Figure 62. La représentation des mouvements mesurés dans l'alignement géométrique modifié	96
Figure 63. Réseau VISSIM avec contrôle de trafic modifié.....	96
Figure 64. La représentation des mouvements mesurés dans le contrôle de trafic modifié	97
Figure 65. Représentation des conflits sur le réseau statu quo	99
Figure 66. Représentation des conflits sur le réseau avec le contrôle de trafic modifié.....	99
Figure 67. Effets de l' augmentation de débit sur le délai moyen par véhicule	100
Figure 68. Analyse de la distribution des conflits (statu quo)	101
Figure 69. Effets de la première variante sur le délai moyen (nouvel alignement géométrique)	102
Figure 70. Effets de la deuxième alternative sur le délai moyen (nouveau contrôle de la circulation)	103
Figure 71. Pyramide représente les accidents et les conflits (Hydén, 1987)	109

Rapport final – R706.1

Liste des tableaux

Tableau 1. Nombre de mises en place de VTO analysé par pays et par catégorie	21
Tableau 2. Résumé des sites d'étude.....	50
Tableau 3. Tableau récapitulatif du viaduc Henri-Bourassa (voie VTO inactif).....	79
Tableau 4. Tableau récapitulatif du viaduc Henri-Bourassa (voie VTO actif).....	81
Tableau 5. Tableau récapitulatif du viaduc Souvenir (voie VTO inactif)	83
Tableau 6. Tableau récapitulatif du viaduc Souvenir (voie VTO actif)	84
Tableau 7. Écarts de temps pour les autobus entrant de la voie de la BoS à Laval	85
Tableau 8. Débits de véhicules sur la voie BoS au Laval.....	85
Tableau 9. Débits mesurés pendant l'heure de pointe (16:30 - 17:30)	88
Tableau 10. Accès et sortie des véhicules de 16 h 30 à 17 h 30	88
Tableau 11. Exigences géométriques (sources résumées de <i>AASHTO, 2004</i>) (<i>AASHTO, 1994</i>), (<i>FHWA, 2009</i>)), et departments de transport suivantes (<i>California Dept. of Transportation, 2003</i>) (<i>Texas Transportation Institute et al., 1998</i>) (<i>Ontario Ministry of Transportation, n.d.</i>).....	110

1 Introduction

Le présent rapport résume le projet *Évaluation des pratiques sécuritaires pour les voies réservées aux véhicules à taux d'occupation élevée*, financé par Transports Québec. Ce projet étudie la sécurité et l'efficacité des voies réservées aux véhicules à taux d'occupation élevée (VTO). Habituellement, ces voies sont destinées expressément à certains groupes de véhicules sur une section de route. Diverses mesures de contrôle de la circulation sont en place afin de réglementer l'usage de ces voies spéciales. Un examen de ces installations dans divers territoires, au pays et à l'étranger, montre qu'il existe un large éventail de types de routes conçues pour accueillir les voies réservées aux VTO. Ces voies peuvent varier géométriquement, c'est-à-dire en largeur et en longueur, mais aussi en fonction de leur position relativement au sens de la circulation ou du type d'usagers autorisés, du type de séparation physique par rapport aux voies de circulation générale, du type d'entrée et de sortie, etc. En raison de la complexité des systèmes de transport, de nombreux organismes de transport font face à une situation où les normes de mise en place de voies réservées aux VTO sont trop imprécises. Cette situation peut compliquer le processus décisionnel en ce qui concerne l'installation ou l'amélioration de voies réservées aux VTO neuves ou existantes.

Compte tenu de la grande variété de plans possibles et du nombre limité d'études résumant la littérature actuelle sur les différents types de voies réservées aux VTO, l'évaluation du rendement opérationnel d'un plan donné de route est coûteuse et exige beaucoup de temps. Par conséquent, il est primordial de faire la synthèse des expériences et des études menées antérieurement dans d'autres territoires. Cela dit, les résultats observés à un endroit ne peuvent pas toujours être généralisés. En fait, on s'attend à ce que le rendement d'un type donné de voie réservée aux VTO à l'égard de la sécurité dépende des caractéristiques de la route locale. Par ailleurs, certaines solutions peuvent ne pas être compatibles avec les particularités du problème analysé. Ainsi, malgré son coût, l'évaluation du rendement demeure inévitable lors de la création d'une nouvelle voie réservée aux VTO.

La première section du rapport détaille les différents types de voies réservées aux VTO de même que leurs avantages et leurs limites selon diverses études. La deuxième présente et analyse la réglementation et la mise en place des voies réservées aux VTO au Canada et aux États-Unis. La troisième explique les diverses méthodes d'évaluation de la sécurité routière. La quatrième section comprend un examen des données recueillies sur la circulation dans certaines voies réservées aux VTO. Enfin, un résumé et une conclusion sont proposés.

2 Voies réservées aux VTO : généralités

2.1 Voies réservées aux VTO : définition et classification

Tout véhicule motorisé qui transporte deux personnes ou plus (y compris le conducteur) peut être classé comme véhicule à taux d'occupation élevée (VTO). Cette définition s'applique par exemple aux véhicules privés utilisés pour le covoiturage et d'autres usages, aux véhicules de transport en commun, aux taxis, etc. Inversement, tout véhicule qui ne transporte que son conducteur est classé comme véhicule à occupant unique (VOU). Si certaines voies d'une route sont destinées expressément à l'usage exclusif d'un ou plusieurs types de VTO, on parle de *voies réservées aux VTO*. Autrement, toutes les autres voies d'une route sont appelées des *voies de circulation générale*. Diverses mesures de contrôle de la circulation sont en place afin de réglementer l'usage des voies réservées aux VTO.

Bien que les voies réservées aux VTO puissent être semblables aux voies de circulation générale, leur plan, leurs mesures de contrôle de la circulation et leur usage peuvent varier d'un type de voie à l'autre. Ainsi, dans le cas des voies réservées aux autobus, comme les véhicules autorisés à emprunter ces voies sont dirigés par des conducteurs professionnels, certaines études (Jang et al., 2010) ont montré que différentes caractéristiques géométriques pouvaient y être employées (ex. : distance de visibilité, vitesse, rayon de courbe, etc.). Publié par l'American Public Transportation Association en 2010, le rapport *Recommended Practice* à l'intention des systèmes de service rapide par bus constitue un exemple de directives propres aux voies réservées aux autobus. Ce rapport fournit en effet des directives inspirées de celles qui visent les routes publiques, mais tenant compte des dimensions typiques d'un autobus. En matière de réglementation et d'exploitation, les voies réservées aux VTO pourraient bénéficier d'une mise en vigueur plus poussée, qu'il s'agisse de varier le déploiement d'un système de transport intelligent (STI) ou d'accroître la présence de patrouilles de police (MTO, 2012). Les figures 1 et 2 montrent une voie réservée aux VTO à accès continu et limité, respectivement (Jang et al., 2009).

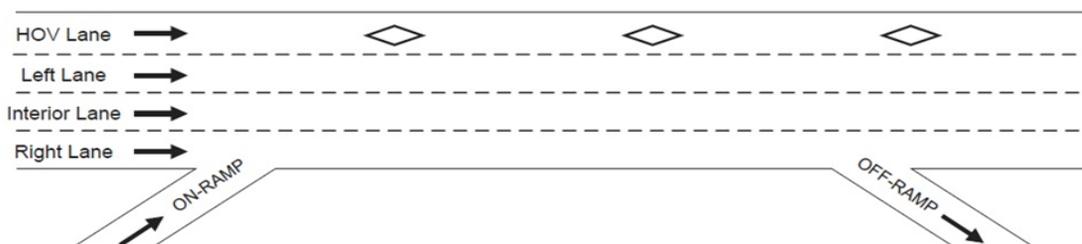


Figure 1. Voie réservée avec accès continu (Jang et al., 2010)

Rapport final – R706.1

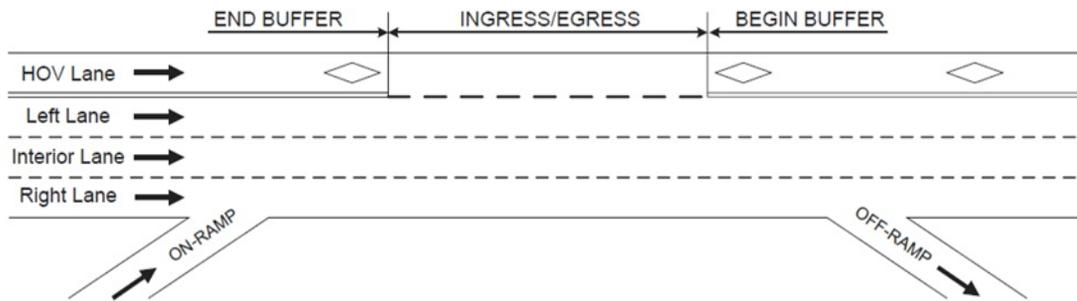


Figure 2. Voie réservée avec accès limité (Jang et al., 2010)

Les voies réservées aux VTO peuvent être classées selon cinq critères : type d'utilisateur autorisé, type d'entrée et de sortie, traitement de l'usage et type de séparation, en plus d'une classification fonctionnelle d'après le type de route. Le premier critère différencie les voies réservées aux autobus, aux taxis et aux véhicules privés avec un nombre minimal de passagers. Si les autobus sont généralement autorisés dans toutes les voies réservées aux VTO, certaines sont conçues exclusivement pour les autobus, ou pour les autobus et les taxis. Ces voies doivent donc être considérées séparément, surtout si elles ne visent que les autobus, puisque les conducteurs d'autobus sont des professionnels et qu'ils ont d'ordinaire un comportement différent au volant.

Le deuxième critère distingue les voies réservées aux VTO à accès continu de celles à accès limité. Une voie à accès continu offre aux véhicules admissibles un accès à n'importe quel endroit de la voie en question. Inversement, pour des raisons de contrôle et de sécurité, nombre de voies réservées aux VTO limitent l'accès des véhicules à des points d'entrée et de sortie particuliers (Jang et al., 2009). Ce type de voie exige d'ailleurs une certaine séparation des voies de circulation générale.

Le troisième critère de classification, soit le type de séparation, distingue les voies réservées aux VTO séparées par une ligne simple (pointillée, continue, blanche ou jaune), celles bordées d'une séparation plus large consistant par exemple en deux lignes ou en une zone hachurée, et celles séparées par une barrière physique. Lorsque la séparation est plus large qu'une ligne simple ou qu'elle comprend une barrière, on la désigne parfois sous le nom de zone tampon. Les figures 3 et 4 montrent des exemples de plans possibles. On peut voir que divers types de séparations présentent différents avantages et inconvénients. Ainsi, les marques sur la chaussée seules ne sont pas recommandées lorsque les exploitants routiers s'attendent à une grande différence de vitesse entre les véhicules dans les voies réservées aux VTO et ceux dans les voies de circulation générale. Par contre, les barrières physiques sont plus coûteuses et peuvent poser problème quand des véhicules d'urgence doivent accéder aux voies réservées aux VTO.

Le quatrième critère, soit le traitement de l'usage, divise en quatre groupes les voies réservées aux VTO : à sens parallèle, à contresens, à sens réversible et à double sens. Les voies réservées aux VTO à sens parallèle permettent à leurs usagers de circuler dans la même direction que le trafic dans les voies de circulation générale adjacentes (figure 3). Inversement, les voies

Rapport final – R706.1

réservées aux VTO à contresens sont conçues pour permettre les mouvements de véhicules dans la direction opposée à celle du trafic dans les voies de circulation générale (figure 5). Habituellement, on fait appel à cette solution en raison de contraintes liées à l'aménagement du terrain. Les voies réservées aux VTO à sens réversible permettent aux véhicules de rouler dans le sens dominant des voies de circulation générale durant les heures de pointe le matin et l'après-midi (figure 6). On peut voir que ce plan est également justifié lorsqu'une emprise limitée est disponible (ex. : ponts, zones résidentielles et commerciales mixtes, etc.). Les voies réservées aux VTO à double sens sont généralement intégrées au milieu d'une route afin de permettre les mouvements de VTO dans les deux sens le long de deux voies adjacentes ou plus (MTO, 2012; Ronglong, 2010).



Figure 3. Voie réservée séparée par une zone tampon marquée



Figure 4. Voie réservée avec séparation de barrières



Figure 5. Voie réservée à contre-traffic



Figure 6. Voie réservée réversible à Ottawa

Enfin, le cinquième critère catégorise les voies réservées aux VTO selon la classification fonctionnelle des routes. En conséquence, les voies peuvent être classées comme autoroutes ou routes urbaines (principalement des artères). Bien que d'autres catégories ou classifications (ex. : autoroutes nationale, régionale, collectrice et locale, ou réseau municipal au Québec) puissent être utilisées, ces deux catégories suffisent pour plusieurs raisons. Premièrement, les classifications varient selon la province ou l'État. Deuxièmement, les normes et les études relatives aux voies réservées aux VTO – de même que la mise en place de telles voies –

Rapport final – R706.1

demeurent, toutes proportions gardées, limitées, de sorte que l'information n'est souvent pas disponible pour chaque catégorie. Troisièmement, les voies réservées aux VTO représentent fréquemment une réponse à la congestion; par conséquent, elles sont rarement mises en place dans les rues locales ou les routes collectrices. Quatrièmement, la distinction entre les autoroutes et les routes urbaines résulte de deux situations très différentes observées lors de la mise en place de voies réservées aux VTO. Dans la plupart des cas, les voies réservées aux VTO urbaines sont installées afin de promouvoir les services de transport en commun et placées du côté droit d'une route. Cela dit, des voies express spéciales (souvent réservées aux autobus) peuvent être intégrées au milieu d'une route pour éviter les problèmes de sécurité liés à la différence de vitesse ou aux virages à droite aux entrées ou aux intersections (Technical Committee on Public Transportation Facilities Design, 2004; MTBC, 2012). Inversement, la plupart des voies réservées aux VTO qui longent les autoroutes se trouvent du côté gauche de celles-ci. C'est le cas des voies séparées par une barrière, qui occupent habituellement une position centrale (Technical Committee on Public Transportation Facilities Design, 2004), mais aussi de la majorité des voies à sens parallèle (Texas Transportation Institute et al., 1998). Lorsque ces installations sont utilisées par les autobus sur des distances relativement courtes, les voies réservées peuvent se trouver du côté droit de la circulation afin de permettre une résolution plus efficace des problèmes de planification des entrées et des sorties (figures 7 et 8).



Figure 7. Voie d'autobus sur le côté droit d'une autoroute près de Grenoble



Figure 8. Voie d'autobus sur le côté droit de la sortie d'une autoroute près de Grenoble

Une revue de la documentation révèle qu'il n'existe pas de directives exhaustives permettant de déterminer les facteurs de sécurité qui devraient être pris en compte dans le plan des voies réservées aux VTO. Différents déploiements de ces voies devraient en effet être envisagés (ex. : ajout de nouvelles voies, conversion de voies de circulation générale, utilisation des accotements comme voies réservées ou simple réaligement de la route existante par une réduction de la largeur des voies de circulation générale). Or, chacune de ces solutions pose divers problèmes de sécurité routière (Rees, 2002; Farnsworth et al., 1993; Case, 1997; Golob et al., 1990; Jang et al., 2009). La section suivante aborde la littérature passée en revue afin de définir les avantages et les inconvénients associés au déploiement de divers types de voies réservées aux VTO. Comme les

Rapport final – R706.1

problèmes de sécurité routière peuvent différer considérablement en fonction de la classification routière, l'analyse présentée dans le reste du document met l'accent sur divers aspects d'un sujet donné en ce qui a trait aux installations à circulation ininterrompue (les autoroutes) et aux routes à circulation interrompue (les voies artérielles).

2.2 Voies réservées aux VTO : avantages et inconvénients

2.2.1 Retombées à court et à long terme

La mise en place de voies réservées aux VTO comporte divers avantages selon le problème qu'elles visent à résoudre. Ainsi, Ulberg et al. (1998) avancent que les voies réservées peuvent atténuer certains effets de la congestion routière (retard dans l'écoulement du trafic, perte de productivité, émissions de gaz à effet de serre, etc.). Elles contribuent également à la durabilité des transports (MTO, 2012; Lee et al., 2007). Polus et al. (2001) croient que l'installation de voies réservées aux VTO incite davantage les voyageurs à délaissier les véhicules à occupant unique en raison de la réduction du temps de déplacement prévu, de la fiabilité des services de transport en commun et généralement de la meilleure qualité des services. D'une part, Golob et al. (1989) soutiennent que le déploiement de voies réservées aux VTO s'inscrit dans le cadre d'une solution qui tient compte de l'augmentation de la demande de transport ainsi que des limites du développement et du maintien d'installations de transport supplémentaires. D'autre part, des études comme celle de Dehghani (1990) ont montré que les voies réservées peuvent résoudre le problème du manque de fonds à consacrer au développement urbain.

2.2.1.1 Routes

La sécurité et l'efficacité des voies réservées aux VTO mises en place le long d'installations ininterrompues (c.-à-d. de routes) ont fait l'objet de diverses études. Par exemple, un rapport publié par l'ITE a révélé que ces voies présentaient des conditions plus sécuritaires que les voies parallèles non réservées aux VTO (ITE Technical Council Committee, 1988). Le rapport ne détaille pas la méthode d'analyse employée, mais mentionne qu'une voie de circulation générale parallèle a servi de comparaison; cette méthode d'évaluation de la sécurité d'un tronçon de voie repose sur des sections de contrôle et constitue une étude transversale. Afin d'évaluer les voies réservées aux VTO, les auteurs du rapport de l'ITE ont conçu un indicateur d'efficacité basé sur la multiplication du volume de passagers à l'heure de pointe par la vitesse à l'heure de pointe dans la voie analysée. Selon cet indicateur, une majorité de voies réservées aux VTO étaient plus efficaces que les voies de circulation générale. Cela dit, le rapport mentionne que l'un des problèmes associés aux voies réservées aux VTO est la perception qu'en a le public : elles sont en effet perçues comme étant sous-utilisées, alors qu'elles transportent plus de gens que les voies de circulation générale.

En ce qui a trait à la question de l'efficacité, Martin et al. (2004) ont analysé les résultats de la mise en place d'une voie réservée aux VTO sur l'Interstate 15 dans la Salt Lake Valley, aux

Rapport final – R706.1

États-Unis, et fourni des mesures plus communes. Les auteurs ont découvert que même si la voie réservée aux VTO transportait moins de gens que la voie de circulation générale à l'heure de pointe du matin, elle transportait 8,89 % plus de gens dans 48,06 % moins de véhicules à l'heure de pointe de l'après-midi. Ils ont également déterminé que les usagers de la voie réservée aux VTO réduisaient leur temps de déplacement de 12,68 % en moyenne à l'heure de pointe du matin et de 5,32 % à l'heure de pointe de l'après-midi. Enfin, les auteurs ont montré que l'occupation moyenne du véhicule avait augmenté de 6 % dans le corridor de l'I-15 doté de voies réservées aux VTO.

Dans le cadre d'une vaste étude sur l'évaluation des voies réservées aux VTO, Ronglong (2010) a pris en compte trois principaux critères : l'efficacité opérationnelle, les ressources ou l'environnement ainsi que l'aspect économique ou financier. Afin d'évaluer le rendement du point de vue de l'efficacité opérationnelle, l'auteur a vérifié si la circulation s'était améliorée dans la région. L'environnement a été examiné pour déterminer si la mise en place de voies réservées aux VTO était écologiquement durable, et on a mené une évaluation économique afin de s'assurer qu'il était possible d'installer de telles voies. Dans chaque catégorie, l'auteur a tenu compte de certains indicateurs ou sous-catégories. Ainsi, l'efficacité opérationnelle englobait le temps et la vitesse de déplacement, la saturation de la route et l'occupation des véhicules. Pour les ressources ou l'environnement, l'auteur a pris en considération l'énergie, les émissions et le bruit. L'aspect économique regroupait les coûts d'exploitation, l'investissement et le coût personnel des déplacements. En faisant appel à un processus hiérarchique, l'auteur a conclu qu'il valait mieux mettre en place des voies réservées aux VTO ou aux autobus que de ne pas le faire au regard des efficacités opérationnelle, environnementale et économique combinées.

D'autres aspects, dont des questions environnementales, ont été soulevés dans une étude sur les voies réservées aux VTO réalisée par le conseil municipal de Leeds, en Grande-Bretagne (Leeds City Council, 2010). Dans cette étude, une comparaison avant-après a permis d'évaluer l'impact sur l'environnement d'une voie réservée aux VTO mise en place à Leeds. Le monoxyde de carbone, le dioxyde d'azote et les matières particulaires ont servi d'indicateurs du niveau de pollution. Les résultats de l'étude donnent à penser que l'installation de voies réservées aux VTO entraîne une réduction de la pollution le long du corridor et, surtout, dans la région environnante. De plus, on a mesuré le niveau de bruit aux postes de surveillance de l'environnement utilisés et observé une réduction remarquable des émissions sonores après la mise en place de la voie réservée aux VTO. Par conséquent, on pourrait en conclure qu'une évaluation environnementale est recommandée à l'échelle de la région ou du réseau routier, et non seulement du corridor, afin de juger des avantages potentiels des voies réservées aux VTO.

2.2.1.2 Artères

Les avantages des voies réservées aux VTO qui longent les artères sont habituellement liés à l'augmentation de l'achalandage et au changement de mode de transport. À Montréal, la voie

Rapport final – R706.1

pour autobus installée en 1989 le long du boulevard Pie-IX constitue un exemple de voie artérielle réservée aux VTO. Le rapport d'Olivier (1991) sur les six premiers mois d'exploitation indique que 8 % des passagers des bus circulant dans cette voie n'étaient pas des habitués du transport en commun avant son installation. L'auteur souligne en outre que dans les six mois suivant l'installation, le nombre d'utilisateurs du transport en commun le long de l'artère a augmenté de 30 % pour atteindre 5 000 passagers par jour. Bien que la voie réservée aux autobus soit à contresens, l'étude montre que 93 % des personnes interrogées s'y sentaient en sécurité et que leur taux de satisfaction générale était de 91,5 %. Les passagers des autobus économisaient par ailleurs entre une et huit minutes selon la distance parcourue. Comme le nombre de voies de circulation générale dans le sens dominant n'a pas changé et que les autobus ont cessé d'y circuler, l'auteur a remarqué que le nombre de voitures avait légèrement augmenté après la mise en place de la voie réservée aux autobus et que la circulation semblait plus fluide. Malgré l'augmentation du nombre de passagers à 8 000 par jour, la voie a fermé en 2002 après deux accidents fatals en 2001 et 2002, respectivement (Société de transport de Montréal, 2005). Elle est demeurée fermée jusqu'en 2012, lorsqu'on l'a remplacée par un nouveau corridor pour autobus. L'installation d'un service rapide par bus est prévue dans les prochaines années (Ville de Montréal).

En ce qui concerne les voies réservées aux VTO ouvertes au covoiturage, un rapport sur les voies artérielles de ce type au Canada a été commandé par l'Association canadienne du transport urbain (ACTU) et produit par la société privée McCormick Rankin (McCormick Rankin Corporation, 2007). Les auteurs ont examiné 24 voies réservées aux VTO (ouvertes au covoiturage) en exploitation dans cinq régions urbaines du Canada (Calgary, Toronto, Vancouver, Gatineau et Lévis). Ils ont ainsi documenté les caractéristiques précises de chacune de ces voies artérielles, mesuré leur rendement et passé en revue la littérature connexe afin d'établir des directives. Comme ils ne disposaient que de très peu d'information sur le temps de déplacement, les auteurs ont effectué 79 voyages où deux voitures partaient simultanément dans une voie de circulation générale et une voie réservée aux VTO longues et continues, et ce, afin de comparer le temps de déplacement. Bien que cela ne suffise pas à fournir des valeurs qualitatives fiables, ils ont découvert que le temps économisé en empruntant la voie réservée aux VTO était de neuf secondes par kilomètre en moyenne, mais que la variabilité était substantielle.

Enfin, Polus et al. (2001) ont abordé les effets des reculs dans la planification des voies réservées aux VTO à une intersection en ce qui a trait aux véhicules et aux retards. Les auteurs ont eu recours au *Highway Capacity Manual* (1997) afin de calculer les retards et en ont conclu que les voies réservées aux VTO qui se terminaient à une certaine distance d'intersections critiques (c.-à-d. qui présentaient un recul) diminuaient considérablement le retard des passagers, bien qu'elles puissent augmenter le retard des véhicules empruntant ces mêmes voies.

2.2.2 Problèmes liés aux voies réservées aux VTO

2.2.2.1 Routes

Les études examinées ont permis à l'équipe de recherche de cerner les enjeux suivants relatifs aux voies réservées aux VTO installées sur les routes : la sécurité routière, les opérations de circulation, la perception du public, l'impact sur la demande latente ainsi que la planification du réseau routier. Par exemple, en ce qui a trait à l'efficacité des opérations de circulation, Basak et al. (2004) ainsi que Siuhi et al. (2007) indiquent que le plus grand débit de personnes espéré et d'autres avantages (comme le transport de plus de personnes) liés à l'installation de voies réservées aux VTO pourraient attirer plus de voyageurs dans le corridor, ce qui pourrait alors augmenter la congestion routière au lieu de la soulager. En fait, le succès des voies réservées aux VTO passe par la réaction positive du public et son comportement à l'égard de telles voies. Une manière d'étudier cette question est de mener un sondage auprès des usagers et des voyageurs potentiels le long du corridor des voies réservées aux VTO (voir par exemple Leeds City Council, 2010). Dans ce cas, les auteurs ont découvert que l'installation de voies réservées aux VTO suscitait l'appui des conducteurs et incitait les gens au covoiturage.

Questions de sécurité

Smith et al. (2010) fournissent des directives de sécurité concernant le choix de l'emplacement des voies réservées aux VTO et leur installation. Premièrement, puisque les conducteurs ne connaissent peut-être pas le concept des voies réservées aux VTO, la signalisation et les marques routières ainsi que la vitesse devraient être étudiées avant l'installation. Certaines contre-mesures comme les accotements stabilisés, qui assurent la maîtrise des véhicules, devraient également être prises en compte afin de permettre le dépassement des véhicules arrêtés. Le rapport comprend en outre certaines directives liées à l'étude de faisabilité, à l'après-mise en place et à la surveillance.

Transport Scotland (2009) a mené une enquête sur les voies réservées aux VTO en Grande-Bretagne reposant sur les rapports et les études disponibles. Selon celle-ci, les paramètres qui pourraient causer des problèmes de sécurité sont : l'accès à l'entrée et à la sortie, la non-conformité, la différence de vitesse et la réduction de la largeur des accotements. L'étude suggère de prévenir ces problèmes au stade de la planification. Les auteurs ajoutent qu'une sortie d'urgence pour les véhicules arrêtés pourrait également accroître la sécurité du corridor. Ils recommandent par ailleurs que l'entièreté du corridor soit surveillée afin d'évaluer les effets potentiels de la mesure sur toutes ses parties. Le rapport mentionne enfin que le type d'entrée et de sortie ainsi que le type de séparation constituent deux points critiques qui devraient être approfondis.

En ce qui concerne la question du contrôle de la circulation, Rees (2002) aborde des stratégies avancées de gestion active. Une voie réservée aux VTO peut ainsi être mise en place soit en

Rapport final – R706.1

affectant l'une des voies existantes à une catégorie particulière de véhicules, soit en transformant un accotement stabilisé en voie de circulation. Par ailleurs, ces stratégies posent certains problèmes de sécurité et doivent être évaluées au moyen d'un registre des accidents, de vidéos de l'endroit et d'opinions d'experts et de conducteurs. On souligne également que l'application de stratégies de gestion active peut entraîner une évolution de la circulation nécessitant une adaptation des limites de vitesse.

Pour ce qui est de la possibilité de transformer les accotements en voies réservées lorsque l'ajout d'une autre voie est impossible, on peut se référer à une analyse commandée par le ministère français des Transports en 2005 relativement aux voies réservées aux autobus (Pollet et al., 2005). Les auteurs ont examiné les résultats de plusieurs expériences menées en France et dans d'autres pays, et ont établi une liste de conditions jugées nécessaires afin de transformer une voie d'arrêt d'urgence en voie réservée aux autobus. Tout d'abord, la voie réservée créée devrait être dotée d'un éclairage routier et de panneaux de signalisation adaptés. En ce qui a trait à la largeur de la voie, le rapport conclut que la largeur des autres voies ne devrait jamais être réduite et que celle de la voie créée devrait être d'au moins 3,5 m. En matière de gestion des accidents, des zones permettant les arrêts d'urgence devraient être créées approximativement tous les 500 m, et des panneaux de signalisation illuminés devraient être installés afin de rétablir la voie d'arrêt d'urgence au besoin. En vue de minimiser le risque d'accident, l'utilisation d'une voie exclusivement par les autobus devrait être limitée aux heures de pointe ainsi qu'aux conditions météorologiques et de visibilité favorables. En outre, la limite de vitesse devrait dépendre de la circulation. Pour ce qui est de la surveillance de la route, une surveillance vidéo et une détection automatique des incidents devraient être mises en place pour anticiper la dégradation des conditions de circulation. Enfin, les autorités devraient pouvoir communiquer efficacement avec les usagers par différents moyens, et des systèmes de régulation d'accès devraient être installés afin de réguler le débit de la circulation aux entrées et aux sorties de la route.

Outre ces considérations, Dixon et Alexander (2005) ont effectué une revue de la littérature sur les voies réservées aux VTO basée sur d'autres études de telles voies installées en Europe (Espagne et Royaume-Uni), en Amérique du Nord (États-Unis et Canada) et en Australie. En ce qui concerne la sécurité, les auteurs concluent, en citant des études américaines, que le design de barrière le plus sécuritaire pour les voies réservées aux VTO devait mesurer 8 pi de largeur et 6 po de hauteur; les barrières plus petites peuvent en effet entraîner des problèmes de sécurité (le design recommandé diminuerait par ailleurs les accidents dans une proportion semblable à l'ajout d'une voie de circulation générale). Ils mentionnent également qu'une zone tampon d'environ 2 pi ne diminue pas les accidents et signifie plutôt une augmentation à certains endroits. Les zones trop grandes ne sont pas recommandées, car elles compliquent la tâche des autorités et peuvent prêter à confusion pour les automobilistes. Différents types de voies réservées aux VTO étaient examinés (ex. : autobus seulement, autobus et taxis, voitures transportant deux, trois passagers ou plus, etc.), mais les recommandations formulées étaient générales et ne visaient pas un type particulier d'usager.

Demande latente

La demande latente constitue un autre argument contre l'installation de voies réservées aux VTO mentionné dans diverses études (Cooner et al., 2006; Basak, 2003; Siuhi et al., 2007). On note qu'en améliorant la circulation dans une section donnée, l'installation d'une voie réservée aux VTO peut donner lieu à une nouvelle demande de la part d'utilisateurs qui n'auraient pas emprunté cet itinéraire autrement. Non seulement ce phénomène augmente-t-il la circulation totale dans la section, mais il peut aussi créer de la congestion dans d'autres parties du réseau. Ce problème doit ainsi être pris en compte dans les études, particulièrement lorsqu'on cherche à isoler l'effet de la congestion afin d'évaluer celui d'autres facteurs. Par exemple, dans une étude menée par Golob et al. (1989) sur la sécurité des voies réservées aux VTO, la méthodologie employée nécessitait une séparation de l'effet de la congestion sur le corridor examiné; les chercheurs ont donc tenu compte de la demande latente dans leur approche.

Planification

Dehghani (1990) a effectué un tour d'horizon de certains problèmes liés à la planification des voies réservées aux VTO. L'auteur mentionne que les méthodes traditionnelles de prévision de la demande de circulation semblent imprécises dans le cas des voies réservées aux VTO et devraient être révisées. L'étude souligne également le besoin de directives concernant la planification de ces voies et l'évaluation de leur rendement opérationnel. L'auteur suggère de prendre en compte les différents types d'installations (ex. : séparation par barrière, par une simple ligne, etc.), les spécifications quant à l'accès et à la sortie ainsi que l'utilisation de connecteurs de systèmes et de refuges, afin de protéger les agents de la circulation ou les intervenants en cas de panne de véhicule.

L'installation de voies réservées aux VTO nécessite souvent d'autres modifications au stade de la planification. Par exemple, dans une étude de Farnsworth et al. (1993), le passage reliant un corridor doté de multiples voies réservées aux VTO à une route à voies multiples a été prolongé pour des raisons de sécurité. De plus, on mentionne que le lien entre une voie réservée aux VTO et un réseau réservé aux VTO est très important et doit être pris en considération dans la planification. Dehghani (1990) signale également que l'accotement a son importance pour le travail des autorités, ce dont la planification devrait tenir compte.

2.2.2.2 Artères

Selon la documentation consultée pour la présente étude (McCormick Rankin Corporation, 2007; Laville, 2010; Technical Committee on Public Transportation Facilities Design, 2004), la mise en œuvre de voies réservées sur les artères soulève de multiples problèmes de sécurité routière.

Utilisation des voies réservées par les véhicules non-VTO

Un exemple de ce problème a été étudié à Toronto, où un règlement municipal limitait à 45 m la distance que les véhicules non autorisés pouvaient parcourir dans une voie réservée aux VTO, principalement pour permettre aux conducteurs de s'insérer dans les voies de circulation générale ou d'effectuer un virage à la prochaine intersection (McCormick Rankin Corporation, 2007). Or, les analyses de mouvement des véhicules ont montré qu'une distance de 45 m était trop courte, et qu'il fallait prévoir 130 m pour les manœuvres de convergence et de freinage, et 175 m pour les manœuvres d'accélération et de convergence. Par conséquent, ce règlement n'a pas été mis en application et on a enregistré des niveaux très élevés de non-conformité à ses modalités (par exemple, dans une voie réservée aux VTO comptant trois occupants ou plus, 22 % des véhicules comptaient le nombre requis d'occupants et 39 % transportaient moins de trois occupants).

Interactions avec les usagers utilisant des moyens de transport non motorisés dans des voies réservées

Les voies réservées aux VTO sur les artères sont souvent créées du côté droit de la route, un espace qui est généralement utilisé par les cyclistes. Comme il existe un écart de vitesse important entre les deux types d'usagers, cette situation soulève des problèmes sur les plans de la sécurité et de l'efficacité. Dans le but de résoudre ce conflit, les auteurs du rapport de la McCormick Rankin Corporation ont recommandé que les deux types de voies réservées soient physiquement séparés dans les cas où il est nécessaire de les déployer sur le même tracé routier (McCormick Rankin Corporation, 2007).

En ce qui a trait au problème particulier du partage de la même voie par les autobus et les cyclistes, on peut prendre comme exemple les lignes directrices appliquées en France et publiées par le Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERT) (Laville, 2010). Par exemple, outre le fait que les voies à contresens réservées aux autobus doivent être physiquement séparées, le CERTU recommande que les cyclistes puissent y circuler dans le sens de la circulation, à condition que les voies soient dotées de feux de circulation. Dans le cas des voies bidirectionnelles réservées aux autobus, cet organisme a aussi recommandé que leur largeur se situe entre 6,3 m et 6,7 m pour en permettre le partage avec les cyclistes, mais les auteurs considéraient que la question du cisaillement devait être analysée en détail à chaque endroit. Cependant, si les voies réservées sont situées au centre du tracé routier, les auteurs ont recommandé de ne pas en permettre le partage avec les cyclistes, car les manœuvres pour y accéder et en sortir seraient difficiles.

En matière de largeur des voies, les auteurs du même rapport considéraient que, pour une voie unidirectionnelle réservée aux autobus, une largeur de 3 à 3,5 m suffit dans la plupart des situations où la voie n'est pas physiquement séparée, particulièrement si les autobus et les cyclistes circulent à des vitesses voisines ou si le tracé comporte de nombreux arrêts (Laville, 2010). Le CERTU recommande toutefois de porter la largeur de la voie réservée à 4,5 m si un

Rapport final – R706.1

grand nombre d'autobus et de cyclistes l'empruntent, si les autobus y circulent à plus de 30 km/h ou si la voie est physiquement séparée. Selon les auteurs du rapport, une largeur de 3,5 à 4,3 m n'améliore pas la sécurité si les voies ne sont pas physiquement séparées, et n'est pas recommandée pour des voies séparées par des barrières. Dans le cas des voies réservées où circulent un grand nombre d'autobus ou de cyclistes, on peut considérer la possibilité de créer une voie réservée aux cyclistes d'une largeur de 1,5 m à droite d'une voie de 3 m réservée aux autobus. Cette configuration exige des aménagements particuliers aux arrêts d'autobus et ne doit pas être mise en œuvre si les autobus doivent faire des virages à droite. Enfin, les auteurs déconseillent le partage des voies réservées au service rapide par bus avec les cyclistes, car cela ralentirait considérablement les autobus.

Interactions avec les voies de circulation générale aux intersections

Deux études distinctes (McCormick Rankin Corporation, 2007; Technical Committee on Public Transportation Facilities Design, 2004) ont mis en lumière un problème particulier lié à la conversion des voies réservées aux autobus en voies réservées aux VTO. Les auteurs de ces études décrivent les circonstances dans lesquelles des voies réservées aux VTO ont été mises en œuvre du côté droit d'une rue où la circulation se faisait dans les deux sens et où les virages à gauche étaient autorisés. Par exemple, on mentionne que des situations dangereuses peuvent survenir lorsque des véhicules se trouvant dans les voies de circulation générale cèdent le passage à des véhicules venant en sens inverse pour leur permettre de faire un virage. Le débit de circulation sur les voies réservées peut entrer en conflit avec les véhicules circulant sur les voies de circulation générale, ce qui peut entraîner des risques élevés d'accident lorsque des véhicules tournent à gauche. Ce type de situations est particulièrement dangereux si les autobus partagent une voie réservée avec des taxis, qui peuvent être plus facilement cachés par d'autres véhicules que les autobus.

2.2.2.3 Enjeux communs aux routes et aux artères

Acceptation de la part du public

L'une des autres préoccupations soulevées par les voies réservées aux VTO a trait au fait que le public les perçoit souvent comme étant sous-utilisées, un aspect que souligne le Technical Council Committee de l'ITE (1988). Wellander et al. (2007) ont observé que la perception négative du public à l'égard des voies réservées aux VTO peut atténuer d'autres avantages liés à leur mise en œuvre (telle que la possibilité de transporter un plus grand nombre de personnes ou l'amélioration de la sécurité). La solution la plus courante à ce problème est l'adoption de règles souples pour l'utilisation des voies réservées aux VTO fondées sur la demande principale en capacité de circulation. Par exemple, certaines administrations peuvent permettre l'utilisation des voies réservées aux VTO par les véhicules transportant deux personnes hors des heures de pointe et porter l'utilisation minimale à trois personnes durant les heures de pointe (à titre d'exemple,

Rapport final – R706.1

on peut se reporter au cas de l'autoroute I-10 dans la région métropolitaine de Los Angeles, 2012).

La Commission européenne a financé un projet d'une durée de 27 mois, ICARO, visant à accroître le nombre de passagers par véhicule (Universitaet fuer Bodenkultur – Institute for Transportation Studies, 1999). L'équipe de recherche a analysé les résultats de différentes expériences réalisées ou simulées dans neuf pays européens (p. ex. la mise sur pied de centres de covoiturage, la création de voies réservées aux VTO, etc.). Plus particulièrement, les auteurs ont analysé les résultats de la mise en œuvre de voies réservées aux VTO à Leeds (en Grande-Bretagne) et à Madrid (en Espagne), la modélisation de changements possibles à ces voies réservées et la simulation de la mise en œuvre de nouvelles voies réservées aux VTO à Salzbourg (en Autriche) et à Thessalonique (en Grèce). Au terme de leurs travaux, les auteurs ont formulé des recommandations concernant principalement la perception publique des voies réservées aux VTO. Par exemple, les chercheurs ont formulé des mises en garde concernant l'inoccupation apparente des voies réservées et la conversion de voies de circulation générale en voies réservées aux VTO. Ils ont aussi observé qu'il est plus facile de convertir une voie réservée aux VTO à deux occupants ou plus congestionnée en voie réservée aux VTO à trois occupants ou plus, plutôt que de changer la vocation d'une voie réservée aux VTO à trois occupants ou plus pour en faire une voie réservée aux VTO à deux occupants ou plus. De plus, les auteurs de l'étude ont constaté que la présence d'autobus peut rendre les voies réservées aux VTO plus faciles à accepter, car ces véhicules augmentent considérablement le débit de circulation dans ces voies. À l'inverse, les auteurs ont également indiqué qu'on peut, dans certains cas, autoriser la circulation des VTO dans les voies réservées aux autobus à condition qu'ils n'y créent pas de congestion, et que cet aménagement peut accroître le niveau d'acceptation des voies réservées aux autobus. De plus, les auteurs ont souligné que même si la mise sur pied de voies réservées aux VTO peut permettre aux usagers de réaliser d'importantes économies de temps et stimuler le covoiturage, il importe de veiller à ce que les rues du centre-ville et des quartiers périphériques offrent un nombre d'espaces de stationnement suffisant pour absorber le nombre de véhicules supplémentaires pris en charge par les voies réservées.

Dans une autre étude, Schofer et al. (*Success Factors and Decision Issues for High-Occupancy Vehicle Facilities*, 2007) ont examiné le type de facteurs de planification et de gestion de la circulation pouvant influencer sur le succès des voies réservées aux VTO. Les auteurs de l'étude ont évalué les deux types d'installations (voies sur artères et sur routes) et ont suggéré qu'on doit prendre en considération plusieurs facteurs afin d'évaluer l'efficacité opérationnelle d'une voie réservée aux VTO : impact sur la congestion le long des voies de circulation générale, qualité de service sur la voie réservée et sur l'ensemble du corridor routier, gains de temps de déplacement attendus, volumes de circulation prévus sur la voie réservée, etc. Les autres critères d'évaluation des voies réservées aux VTO comprennent la construction de capacités additionnelles pour la mise en œuvre de voies réservées aux VTO, comparativement à la construction de nouvelles voies de circulation générale, l'effet sur le réseau de transport régional, l'effet sur le système de

Rapport final – R706.1

transport en commun et le soutien de la part des institutions et du public. Les auteurs ont fourni des explications sur ces critères et quelques règles clés relatives à leur utilisation. Par exemple, ils ont suggéré que le taux d'utilisation des voies réservées aux VTO sur les routes devrait atteindre de 800 à 1 000 véhicules à l'heure afin de s'assurer que le public perçoive la voie réservée comme une infrastructure efficace offrant une qualité de service acceptable. Cependant, ce taux pourrait être inférieur si le nombre total de voyageurs empruntant la voie réservée est élevé en raison de la présence d'un service de transport en commun efficace sur la voie réservée aux VTO. Les auteurs de l'étude ont également conclu que dans la plupart des cas, l'ajout d'une voie est plus facilement réalisable que la conversion d'une voie existante. Les auteurs ont suggéré que des études plus poussées sont nécessaires pour évaluer l'incidence sur le covoiturage et le conavettage. Enfin, l'étude proposait trois critères pour la mise en œuvre de voies réservées aux VTO : le débit journalier moyen annuel (DJMA), la vitesse moyenne en période de pointe ainsi que les coûts et les enjeux de développement urbain connexes à la construction de voies supplémentaires. Les auteurs ont suggéré deux critères de base pour la mise sur pied de voies réservées : un DJMA minimal de 23 000 véhicules par voie réservée ou une vitesse moyenne en période de pointe inférieure à 35 mi/h (56,3 km/h).

Application des règlements

L'application des règlements relatifs aux voies réservées aux VTO constitue une autre préoccupation qui a été abordée dans le cadre de diverses études (p. ex. étude du conseil municipal de Leeds [2010] et étude de Farnsworth et al. [1993]). Si l'on n'a pas prévu l'aménagement d'un accotement suffisamment large aux étapes de la planification et de la conception de la route, les agents de la paix ne pourront pas s'y tenir pour surveiller et assurer la conformité aux règlements relatifs aux voies réservées aux VTO.

Selon les études réalisées par Agrawal et al. (2012), la mise en application efficace des règlements représente un défi constant. Les cas examinés dans le cadre de ces études portaient sur deux mécanismes d'application, soit la surveillance par des patrouilleurs et la surveillance à l'aide de systèmes de caméras. L'étude a montré que la patrouille est un mode d'application de la réglementation coûteux, tandis que la surveillance à l'aide de caméras peut soulever certaines préoccupations relatives à la protection des renseignements personnels ainsi que des problèmes d'efficacité. En raison du coût élevé pour déployer des patrouilles de surveillance, l'une des stratégies appliquées consiste à mener des campagnes intensives de surveillance durant lesquelles les règlements sont appliqués avec rigueur pendant un certain temps pour sensibiliser les usagers.

Selon des études réalisées par le Texas Transportation Institute (1998), l'application de la réglementation est essentielle sur les voies réservées aux VTO afin d'en assurer l'exploitation sécuritaire et de protéger les économies de temps qu'elles offrent. Le rapport présentait quatre stratégies principales d'application de la réglementation, mais les auteurs n'ont formulé

Rapport final – R706.1

aucune recommandation. Selon eux, les résultats fournis par chaque stratégie dépendent essentiellement des conditions locales.

Dans le cadre d'une autre étude, on a examiné les pratiques actuelles en matière d'application de la réglementation relative aux voies réservées aux VTO et demandé aux autorités locales de décrire leur expérience concernant les voies réservées aux VTO sur les artères (Stoddard, 1996). Après avoir analysé ces résultats, les auteurs ont recommandé la mise en œuvre d'une stratégie d'information au cours des premières semaines d'exploitation des voies réservées par une application systématique de la réglementation, sans toutefois remettre de constats d'infraction aux automobilistes. En ce qui a trait à l'application automatisée des règlements, les auteurs ont déterminé que cette approche est applicable aux voies réservées aux autobus, si elle repose sur la reconnaissance du type de véhicules. Cependant, dans le cas des voies réservées aux VTO, les auteurs ont constaté que la surveillance par des agents de la paix constitue le meilleur moyen d'application de la réglementation.

Enfin, les auteurs de l'étude réalisée par la McCormick Rankin Corporation (2007) ont constaté que les règlements relatifs aux voies réservées aux VTO à trois occupants ou plus situées sur des artères sont proportionnellement moins respectés par les conducteurs de véhicules à occupant unique. Ils ont aussi recueilli les données disponibles sur les ensembles de voies réservées aux VTO à deux occupants ou plus situées sur des artères au Canada et ont constaté que le taux de non-conformité à la réglementation oscillait entre 10 et environ 25 %.

En conclusion, cette section a mis en évidence différents avantages et enjeux souvent associés à la mise en œuvre de voies réservées aux VTO. Il existe toutefois une grande variété de voies réservées aux VTO et tous les types de voies ne partagent pas les mêmes caractéristiques opérationnelles et de sécurité. Par conséquent, lorsqu'un organisme responsable des transports décide de mettre sur pied une nouvelle voie réservée aux VTO, il doit faire des choix qui engendrent des conséquences en matière d'exploitation et de sécurité. Dans le but de faciliter l'exécution de cette tâche, les auteurs du présent rapport ont considéré deux approches complémentaires : tirer profit des leçons apprises par les autres administrations dans le but de fournir des orientations et évaluer directement le rendement sur le plan de la sécurité du déploiement d'un concept dans une nouvelle configuration.

3 Réglementations et mises en œuvre en Amérique du Nord

3.1 Réglementations

Les réglementations revues aux fins de la présente étude sont principalement extraites des manuels et lignes directrices de conception des routes rédigés par les agences des États et provinces d'Amérique du Nord (Transportation Association of Canada, 1999 et Federal Highway Administration, 2009). De plus, le Manuel canadien de la signalisation routière, tout comme son équivalent américain, élaboré à l'échelle nationale, expose des lignes directrices concernant la signalisation et les marques sur la chaussée relatives aux voies réservées aux VTO le long des routes et des artères (Federal Highway Administration, 2009). Comme c'est le cas pour de nombreuses installations de transport, les normes de conception des voies réservées aux VTO sur les artères sont fondées sur les normes applicables aux voies réservées aux VTO sur les routes. Les sections qui suivent présentent certains facteurs importants pris en considération par les agences de transport nord-américaines dans leurs manuels et lignes directrices. Chaque section décrit les pratiques principales de l'agence de même que certaines exceptions dignes de mention.

3.1.1 Voies réservées aux VTO nouvelles ou de remplacement

La majorité des lignes directrices recommandent que les voies réservées aux VTO soient intégrées à de nouvelles constructions, au lieu d'être mises sur pied par le remaniement d'installations existantes. On note toutefois quelques exceptions. Même si l'État de Washington fait la promotion de nouvelles installations, plusieurs procédures doivent être exécutées avant de transformer une voie de circulation générale en voie réservée aux VTO, notamment faire accepter le projet par le public et réaliser des études d'impacts à long terme sur les voies de circulation générale, les voies réservées ainsi que les artères et rues environnantes (Washington State Dept. of Transportation, 1989). L'État de New York considère que la transformation d'une voie de circulation générale en voie réservée représente une option acceptable, à condition que cette conversion accroisse la mobilité dans l'axe de la voie réservée (New York State Dept. of Transportation, 1998).

3.1.2 Largeur des voies réservées aux VTO

La plupart des lignes directrices recommandent la création de voies réservées aux VTO de 3,6 m (12 pi) le long des routes. La Californie autorise la mise sur pied de voies de 3,3 m dans certains scénarios de conception validés par des analyses d'ingénierie, et seulement le long des routes (California Dept. of Transportation, 2003). L'État de New York autorise le changement du marquage des accotements des routes afin de les élargir en vue de leur utilisation comme voies réservées aux VTO À temps partiel (p. ex. modification des marques sur la chaussée d'une voie de circulation générale de 3,6 m et d'un accotement de 3 m pour constituer une voie de

Rapport final – R706.1

circulation générale et une voie réservée aux VTO ayant toutes deux 3,3 m de largeur) (New York State Dept. of Transportation, 1998). En ce qui concerne particulièrement les voies réservées aux autobus, Agrawal et al. (2012) indiquent que certaines villes ont adopté leurs propres lignes directrices pour les voies réservées. C'est notamment le cas de Los Angeles, de New York et de San Francisco, qui recommandent une largeur de 3,3 m (11 pi) pour les voies réservées aux autobus. Le rapport de l'APTA (2010) recommande une largeur de 3,65 m (ou d'au moins 3,35 m) pour les voies réservées aux autobus, avec un accotement de 1,2 m (ou d'au moins 0,6 m) hors des zones d'arrêt. Sur les autoroutes, les voies réservées aux autobus en position médiane doivent avoir une largeur de 3,6 m (ou d'au moins 3,2 m) et être séparées de la barrière médiane par une zone tampon pavée d'au moins 0,6 m de largeur. Il n'est pas absolument nécessaire d'assurer une séparation horizontale avec les voies de circulation générale, mais on recommande l'aménagement d'une zone tampon de 0,6 m de largeur ou plus si des règlements concernant des différentiels de vitesse s'appliquent. Dans le cas où une voie réservée aux autobus est créée sur l'accotement droit (voie réservée en accotement), on recommande que la largeur de la voie réservée soit de 3,35 m et qu'elle soit bordée d'une zone tampon de 0,6 m de largeur.

3.1.3 Usagers autorisés

Les lignes directrices comportent de multiples scénarios distincts pour décrire les usagers autorisés des voies réservées aux VTO. La plupart des voies réservées sont destinées aux véhicules comptant au moins deux ou trois occupants. Les motocyclistes sont autorisés à emprunter les voies réservées en Ontario, au Nevada et dans l'État de New York, tandis que la présence des véhicules d'urgence dans les voies réservées est explicitement permise en Ontario et dans l'État de New York (New York State Dept. of Transportation, 1998; Ontario Ministry of Transportation, 2001; Brinckerhoff, 2006).

La plupart des lignes directrices adoptées par les États et les provinces ne permettent pas aux camions lourds et aux véhicules comptant plus de deux essieux d'accéder aux voies réservées aux VTO, surtout en raison de leur largeur et de leurs taux d'accélération et de freinage inférieurs, qui peuvent soulever des problèmes de sécurité principalement liés aux différentiels de vitesse. Les véhicules à occupant unique ne sont pas autorisés à circuler sur les voies réservées, à moins que la voie ne soit réservée aux véhicules à taux d'occupation élevée à accès spécial tarifé ou, plus récemment, s'il s'agit de véhicules électriques ou hybrides (véhicules « verts »).

3.1.4 Symboles sur la chaussée

Le losange est universellement utilisé comme symbole pour les voies réservées aux VTO en Amérique du Nord. On utilise le losange pour identifier les voies réservées en tout temps et à temps partiel sur les routes et les artères. En ce qui concerne le marquage de mots ou d'autres symboles sur les voies réservées, les lignes directrices de l'Ontario et de la Colombie-

Rapport final – R706.1

Britannique indiquent explicitement qu'on ne doit les trouver que sur les voies réservées en tout temps (Ontario Ministry of Transportation, 2001 et British Columbia Ministry of Transportation and Highways, 1998).

3.1.5 Signalisation

L'ensemble de la signalisation documentée dans les lignes directrices a pour but de fournir les renseignements de base suivants : début et fin des voies réservées aux VTO, restrictions relatives au nombre de passagers et périodes durant lesquelles les voies sont en vigueur. De nombreuses agences exigent la mise en place de panneaux en hauteur et latéraux ainsi que l'installation obligatoire de panneaux en hauteur pour marquer le début et la fin des sections de voies réservées aux VTO. Les lignes directrices ne font aucune distinction dans la signalisation pour les voies réservées sur les artères et les routes. La signalisation avancée pour certaines installations comprend des panneaux signalant les sens interdits, la circulation autoroutière, les programmes de covoiturage et les amendes pour non-conformité à la réglementation. De plus, d'autres éléments de conception spécifique peuvent être intégrés aux bretelles d'accès et de sortie des voies réservées ou aux accotements (Dehghani, 1990). En règle générale, la présence des voies réservées est indiquée par des losanges situés en différents points du tracé routier. Au Québec, le losange doit être peint sur la chaussée à des intervalles maximaux de 200 m, dans le cas des voies réservées en accotement, et des panneaux indicateurs doivent être posés à côté de la voie réservée à des intervalles maximaux de 400 m (Ministère des Transports du Québec, 2012).

3.1.6 Types de séparations

Les différents types de voies réservées aux VTO en Amérique du Nord sont définis par différents types de séparations.

Voies à contresens et réversibles – La plupart des guides de conception des États et des provinces exigent l'installation de barrières physiques pour marquer ces types de séparations. Cependant, des situations particulières peuvent permettre l'utilisation de barrières temporaires pour délimiter des voies réservées à temps partiel en Ontario et au Québec. De nombreuses publications canadiennes (Manitoba Public Insurance, 2011; Ontario Ministry of Transportation, 2001 et Ministère des Transports du Québec, 2000) mentionnent explicitement l'utilisation de lignes jaunes dans ces types d'installations.

Voies réservées en tout temps et à temps partiel – De multiples variantes sont présentées dans les guides de conception. Tous les États et provinces imposent l'utilisation de lignes blanches pour séparer les voies réservées des voies de circulation générale. Le type de lignes dépend du type de séparations utilisées pour délimiter les voies réservées à temps partiel. Au Québec, des lignes doubles continues sont utilisées pour délimiter les voies réservées en tout temps, et des lignes pointillées doubles bordent les corridors des voies réservées à temps partiel (Ministère des Transports du Québec, 2012). Au Texas, les voies réservées en tout temps doivent être séparées

Rapport final – R706.1

des autres voies de circulation par des barrières, tandis que les voies réservées À temps partiel sont délimitées par de larges lignes pointillées blanches (Eisele et al., 2001).

3.2 Mises en œuvre

Comme les exemples de voies réservées aux VTO sont peu nombreux au Québec, il est difficile d'y prédire les effets de concepts géométriques qui n'ont jamais été mis à l'essai auparavant. En examinant les règlements en vigueur dans d'autres États et provinces, on peut se faire une idée des concepts qui ont été généralement considérés comme supérieurs par d'autres organismes de voirie. Cependant, comme les voies réservées aux VTO constituent une approche relativement nouvelle dans tous les États et provinces, il n'existe qu'un nombre restreint de lignes directrices à leur sujet et la plupart des décisions en la matière sont encore prises au cas par cas. Par conséquent, seule l'analyse des mises en œuvre réelles peut fournir de véritables indications sur la portée des décisions prises par les différents États et provinces.

3.2.1 Collecte de données

Dans le cadre du présent projet, l'équipe de recherche s'est concentrée sur les mises en œuvre de voies réservées aux VTO au Canada et aux États-Unis. L'établissement d'une liste exhaustive de ces mises en œuvre aurait constitué une tâche fastidieuse, étant donné l'ampleur du territoire considéré et le nombre de facteurs en jeu. Par conséquent, les auteurs ont établi une liste représentative fondée sur des rapports antérieurs et sur la recherche réalisée dans le cadre du présent projet.

Le rapport le plus complet sur le sujet pour les États-Unis est un recueil compilé par la Federal Highway Administration (FHWA) à partir de données dont la dernière mise à jour date de mars 2007 (Chang et al., 2008). Ce recueil comprend 345 voies réservées aux VTO aux États-Unis; les voies sont décrites en fonction de leur emplacement, de leur ampleur, du traitement opérationnel dont elles font l'objet, des usagers autorisés à y circuler, des heures durant lesquelles elles sont en vigueur, du type d'accès, de leur utilisation et de facteurs liés à la non-conformité. Cette ressource a toutefois exigé une importante révision, car il semble que des concepts identiques y ont parfois été désignés par des noms différents, et que certaines caractéristiques sont manquantes et d'autres, contradictoires (les types d'accès et les types de séparations, par exemple). L'examen des différentes installations a été complété à l'aide des services de cartographie et d'imagerie Google Maps^{MC} et Google Street View^{MC}. L'examen de ces installations a en outre révélé que les 78 voies réservées aux autobus comprises dans le recueil se trouvent sur des routes, et que 75 d'entre elles sont sur des accotements de routes au Minnesota.

Dans le cas du Canada, la société McCormick Rankin Corporation (2007) a produit un rapport sur les voies réservées aux VTO sur des artères au Canada. Ce rapport constitue la base des travaux de recherche dont les résultats sont exposés dans le présent rapport. Cependant, ce

Rapport final – R706.1

rapport se limite aux voies réservées aux VTO qui autorisent la circulation de véhicules utilisés pour le covoiturage sur les artères et ne contient aucun renseignement sur les voies réservées aux autobus ou aux VTO sur les routes. Par conséquent, l'équipe de recherche a tenté de trouver d'autres sources d'information pour les voies réservées sur les routes et les voies réservées aux autobus, mais n'a pas été en mesure de trouver de base de données adéquate. Dans le cas des voies réservées sur les routes au Canada, la plupart des renseignements proviennent des sites Web des agences provinciales. En ce qui concerne les voies réservées aux autobus, la seule base de données importante que les chercheurs ont trouvée concerne la région de Montréal (AMT, 2013). Dans le but de trouver d'autres mises en œuvre ailleurs au Canada, les chercheurs ont examiné des projets pertinents sur lesquels de l'information a été publiée; il s'agissait en majorité de projets relatifs à des systèmes de service rapide par bus. Malgré les efforts considérables déployés par les chercheurs, les voies réservées aux autobus sur des artères sont nettement sous-représentées dans l'analyse qui suit. D'autre part, dans le but de ne comparer que des mises en œuvre de la même ampleur, seules les installations les plus importantes de la région de Montréal ont été prises en considération dans les arbres de classification ci-dessous. Le Tableau 1 résume les mises en œuvre qui ont été examinées; les détails de ces mises en œuvre sont fournis en annexe.

Tableau 1. Nombre de mises en place de VTO analysé par pays et par catégorie

	Canada	États-Unis
Voies VTO sur les autoroutes	11	220
Voies VTO sur les artériels	24	23

3.2.2 Classification des voies réservées aux VTO en Amérique du Nord

Les diagrammes de classification présentés à la Figure 9 et à la Figure 10 ont été produits afin de déterminer de façon systématique les solutions de voies réservées aux VTO par les différentes agences de transport au Canada et aux États-Unis. Dans le but de fournir une représentation constituant une synthèse, toutes les options possibles ont été groupées en catégories fondées sur un concept similaire. Une description des étiquettes figurant dans les diagrammes est fournie ci-dessous.

- Types d'usagers :
 - *Autobus seulement* : Dans certains cas particuliers, les taxis peuvent être autorisés à circuler sur les voies réservées aux autobus.
 - *Voie réservée au covoiturage* : On autorise la circulation des autobus et des taxis sur la plupart des voies réservées au covoiturage. On permet également la circulation des

Rapport final – R706.1

véhicules à occupant unique électriques ou hybrides et des motocyclettes sur certaines installations.

- Types de voies réservées :
 - *À sens parallèle médiane* : La voie réservée aux VTO est située à l'extrême gauche d'un ensemble de voies où la circulation s'effectue dans la même direction (même si la rue est à sens unique).
 - *À sens parallèle à droite* : La voie réservée aux VTO est située à l'extrême droite (voie en bordure) d'un ensemble de voies où la circulation s'effectue dans la même direction. Ce type de voies réservées comprend les voies en accotement réservées aux autobus le long de routes ou d'artères.
 - *À sens réversible* : La voie réservée aux VTO est située au milieu de la route et est séparée des autres voies de circulation dans les deux sens par des dispositifs semblables. Le sens de la circulation sur la voie réservée change selon les périodes de la journée.
 - *À contresens* : Voie réservée aux VTO À temps partiel. Durant les périodes où elle est en service, la voie réservée aux VTO est située au milieu de la route, mais du côté des voies où la circulation s'effectue en sens inverse.
 - *Route séparée* : La voie réservée aux VTO est située sur un tracé routier distinct de celui sur lequel se trouvent les voies de circulation générale. La voie réservée ne comporte donc pas de positionnement relatif aux voies de circulation générale.
 - *Deuxième voie après la voie réservée aux autobus* : Une voie réservée aux VTO ouverte au covoiturage est située dans le deuxième couloir de circulation à partir de la droite, dans le cas où la première voie est réservée aux autobus.
- Périodes d'exploitation :
 - *Réservée en tout temps* : Cas où les règles relatives à la voie réservée s'appliquent en tout temps durant la journée, chaque jour de la semaine. Par exemple, une voie réservée réversible qui est ouverte dans un sens de 12 h à 24 h, et dans l'autre sens de 0 h à 12 h est une voie réservée en tout temps.
 - *Réservée À temps partiel* : Dans ce type de voies réservées aux VTO, les règles concernant les usagers autorisés ne s'appliquent que pendant une partie de la journée. Par exemple, une voie réservée aux VTO à contresens n'est généralement réservée qu'une partie de la journée et constitue donc une voie réservée À temps partiel.
- Types d'accès :
 - *Limité* : L'accès limité signifie que les véhicules ne peuvent pénétrer dans la voie réservée ou en sortir que dans des sections particulières de la route.

Rapport final – R706.1

- *Continu* : Les véhicules peuvent pénétrer dans une voie réservée à accès continu ou en sortir en n'importe quel point du tracé.
- Types de séparations :
 - *Ligne pointillée* : Ligne pour voie simple standard
 - *Zone tampon pointillée* : La pratique courante consiste à utiliser deux lignes pointillées parallèles pour délimiter les zones tampons qui peuvent être traversées afin de pénétrer dans une voie réservée aux VTO ou en sortir.
 - *Ligne continue* : Ligne simple continue standard
 - *Séparation par zone tampon* : Toute séparation de voies plus large qu'une ligne simple et qui n'est pas une barrière, à l'exception d'une zone tampon pointillée. Exemples : lignes doubles continues et lignes doubles continues avec zone hachurée.
 - *Cônes de signalisation* – Marqueurs coniques mobiles utilisés pour séparer les voies de circulation
 - *Barrière mobile* – Les barrières mobiles sont généralement fabriquées en béton.
 - *Barrière* – Structure de séparation des voies fixe et permanente
 - *Route séparée* – Infrastructure construite parallèlement aux voies de circulation générale, mais sur un tracé distinct

Rapport final – R706.1

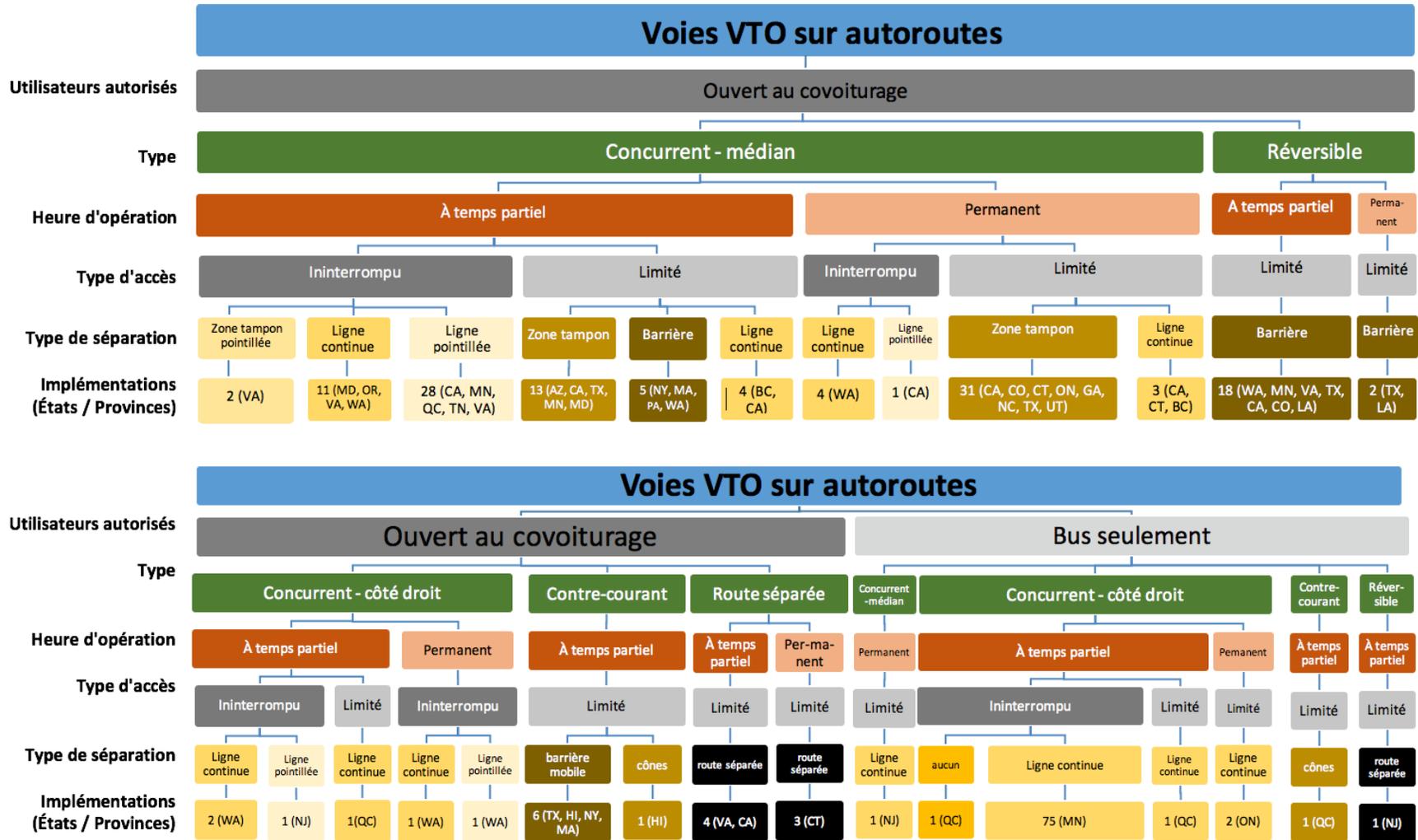


Figure 9. Classification des mises en place de voies VTO sur les autoroutes au Canada et aux États-Unis

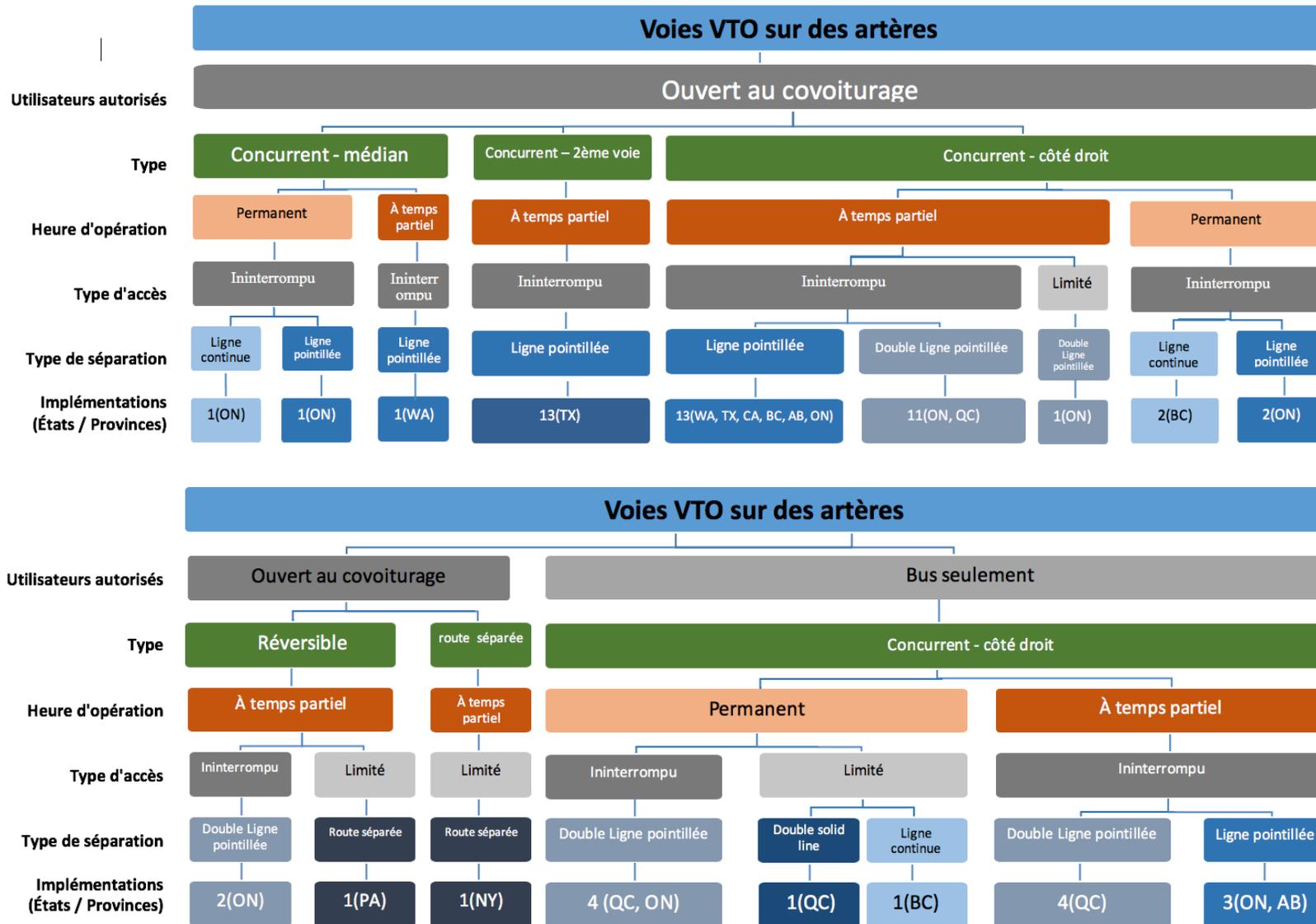


Figure 10. Classification des mises en place de voies VTO sur les artères au Canada et aux États-Unis

3.3.3 Analyse

Usagers autorisés : Si l'on tient compte du fait que les chercheurs n'ont trouvé aucune base de données exhaustive sur la mise en œuvre de voies réservées aux autobus, il est très probable que ce type de voies soit sous-représenté dans les diagrammes. Par conséquent, il est impossible de procéder à une évaluation fiable du type d'usagers autorisés.

Types de voies réservées : Il n'est pas surprenant de constater que les deux types de voies réservées aux VTO les plus répandus sont les voies à sens parallèle médianes et les voies à sens parallèle à droite. D'une part, les voies à sens parallèle à droite représentent le type de mises en œuvre le plus courant sur les artères et les routes ainsi que pour les voies réservées aux VTO ouvertes au covoiturage sur les artères. D'autre part, les voies à sens parallèle médianes représentent le type de mises en œuvre le plus courant pour les voies réservées aux VTO ouvertes au covoiturage sur les routes. Les autres types de voies (réversible, à contresens et sur route séparée) sont moins courants, une situation qui s'explique facilement par les coûts supérieurs qu'ils engendrent (p. ex. frais de mise en œuvre, problèmes liés à la sécurité routière, complexité de la gestion de la circulation, etc.).

Périodes d'exploitation : Il n'existe pas de choix prédominants sur le plan des périodes d'exploitation des voies réservées, sauf dans quelques situations. Par exemple, toutes les voies réservées aux VTO à contresens sont en service À temps partiel (la mise en œuvre d'une voie réservée en tout temps aux VTO à contresens serait inutilement dangereuse). L'autre exception digne de mention a trait aux voies réservées aux autobus sur les routes, qui sont presque toutes exploitées À temps partiel. Il est toutefois probable que ce résultat est influencé par la surreprésentation de voies réservées aux autobus sur les accotements de routes au Minnesota.

Même si les trois voies réservées réversibles sur des artères qui ont été étudiées sont exploitées À temps partiel (c'est-à-dire que la voie est ouverte à la circulation générale durant certaines périodes de la journée), on constate que certaines voies réservées sur les routes ne sont en service qu'À temps partiel alors que d'autres le sont en tout temps.

En ce qui concerne les couloirs de circulation prioritaires destinés aux autobus, Agrawal et al. (2012) ont constaté que certaines villes ont tendance à maintenir ces voies réservées en tout temps (p. ex. à San Francisco), tandis que d'autres les mettent généralement en service À temps partiel (notamment à New York et à Los Angeles). La mise en œuvre d'une voie réservée en tout temps offre l'avantage de faciliter l'apprentissage des règles d'utilisation des voies par les conducteurs. Par contre, la mise en service de voies réservées aux autobus durant les périodes de pointe seulement facilite la gestion de la circulation et l'adaptation du réseau routier aux conditions de circulation locales.

Rapport final – R706.1

Types d'accès : Un accès continu ne peut être autorisé que dans les configurations où la voie réservée aux VTO est aménagée en sens parallèle aux voies de circulation générale, ou sur les artères, si la voie réservée aux VTO est réversible, mais n'est pas séparée par une barrière physique. Lors de l'analyse des cas où les voies réservées aux VTO étaient en sens parallèle aux voies de circulation générale, il était parfois difficile de déterminer si l'accès à la voie réservée était autorisé en continu ou restreint à certains points; l'incertitude demeurerait même après examen des règlements officiels. Une autre tendance observable concerne le fait que sur les routes, les voies réservées semblent généralement être mises en œuvre sur des segments à accès limité, tandis que les voies réservées créées sur les artères sont généralement accessibles en continu. Cette tendance peut s'expliquer par le niveau supérieur d'interactions entre les véhicules en raison du nombre plus élevé d'intersections existant sur les artères, comparativement aux routes.

Types de séparations : Les auteurs du rapport ont observé un très large éventail de concepts utilisés à des fins diverses, de la ligne simple de démarcation des voies jusqu'aux dispositifs les plus évolués, comme les barrières en béton amovibles. Les auteurs n'ont pas été en mesure de représenter clairement dans les arbres de classification qui précèdent la gamme complète des séparations mises en œuvre, mais celles-ci sont analysées ci-dessous. Certaines marques sur la chaussée (p. ex. ligne pointillée double) ont manifestement pour fonction d'accroître la zone tampon latérale entre une voie réservée aux VTO et la voie de circulation générale adjacente, alors que d'autres dispositifs de séparation (p. ex. bandes rugueuses, lignes jaunes, réflecteurs, etc.) comportent des caractéristiques qui mettent la voie réservée en évidence, sans augmenter l'espace séparant les voies.

En deuxième lieu, l'interprétation des motifs utilisés dans le contexte des voies réservées aux VTO n'est pas uniforme dans toutes les régions administratives. Par exemple, si la Colombie-Britannique interdit de franchir une ligne continue, cette pratique n'est que déconseillée aux États-Unis, selon le manuel de la signalisation routière (Federal Highway Administration, 2009). En pareil cas, une double ligne continue est parfois utilisée dans les cas où il est interdit de franchir la délimitation, bien que certains États utilisent encore la simple ligne continue à cette fin. Les auteurs du présent rapport ont donc considéré que les voies réservées aux VTO délimitées exclusivement par une ligne simple continue sont des voies à accès continu, même à proximité des entrées et des sorties, et que les voies réservées bordées par une ligne simple continue remplacée par une ligne pointillée simple à certains endroits (aux points où l'on autorise les véhicules à pénétrer dans la voie ou à en sortir) sont des voies à accès limité. Par conséquent, malgré les efforts de normalisation, on peut relever des écarts entre les différentes agences de transport (aux paliers étatique, provincial ou municipal).

Troisièmement, dans le cas des voies réservées aux VTO à contresens ou réversibles, on constate que les voies sont presque toujours séparées par des barrières permanentes ou amovibles sauf dans deux cas, à Hawaï et au Québec, où l'on utilise parfois des cônes de signalisation.

Rapport final – R706.1

Quatrièmement, les auteurs ont constaté avec surprise que le type de séparations utilisées pour les voies réservées à accès continu semble souvent plus large sur les artères que sur les routes. En effet, alors que la présence de voies réservées à accès continu sur les routes est signalée dans presque tous les cas (126 occurrences sur 128) par une séparation mince (aucune séparation, ligne simple continue ou ligne pointillée simple), les voies réservées sur les artères sont souvent signalées par une ligne pointillée double (22 occurrences sur 57). Ceci peut s'expliquer par le fait que l'accès aux voies de circulation générale sur les artères est souvent autorisé non seulement aux intersections, mais aussi le long des voies réservées (p. ex. le long de corridors routiers dans les secteurs résidentiels et commerciaux où sont situées des voies de circulation générale et des voies réservées aux VTO), et que le marquage à l'aide de lignes doubles rend les voies réservées plus visibles.

Enfin, en s'appuyant sur certaines généralisations et en tenant collectivement compte de l'ensemble des situations différentes, les deux diagrammes de classification ci-dessus ont mis certaines tendances en évidence. Pour comprendre les raisons justifiant les différentes décisions des agences de transport, on doit toutefois examiner les caractéristiques de chaque installation. À cette fin, une liste de toutes les voies réservées examinées aux présentes est fournie en annexe.

Néanmoins, le nombre de voies réservées aux VTO mises en œuvre est encore très restreint et chaque nouvelle voie réservée aux VTO présente des particularités liées à son environnement, aux conditions climatiques ou même aux habitudes de conduite locales. Par conséquent, même s'il est possible de faire des comparaisons avec les mises en œuvre antérieures afin de sélectionner quelques options possibles, une évaluation du rendement sur le plan de la sécurité est souvent nécessaire en fin de compte.

4 Méthodes d'évaluation du rendement en matière de sécurité routière

Il est important d'examiner les méthodes d'évaluation de la sécurité routière disponibles afin de choisir la méthodologie qui convient le mieux aux voies réservées faisant l'objet de la présente étude. Pendant plusieurs décennies, de nombreuses études ont été menées afin d'évaluer la sécurité routière sous différents angles, en fonction des différents types de routes. Selon la documentation consultée pour cette étude, il existe plusieurs méthodes pour évaluer les problèmes de sécurité routière. Cette section présente un résumé des méthodes de sécurité routière examinées en les classant par catégories.

4.1 Évaluation de la sécurité routière au moyen de données historiques sur les collisions

4.1.1 Études avant-après

Ces études utilisent les données d'accidents recueillies avant et après avoir apporté certaines modifications aux opérations de circulation afin d'en comprendre les effets. En règle générale, ces études concernent le taux d'accidents et d'autres facteurs spatio-temporels avant et après avoir apporté les modifications.

Golob et al. (1989) ont mené une étude avant-après afin d'examiner deux caractéristiques liées aux accidents le long d'une voie réservée : la fréquence des collisions et les caractéristiques spatio-temporelles. La voie réservée aux VTO soumise à l'analyse est une voie unidirectionnelle de 8,6 milles (13,8 km) sans barrière physique qui a été mise en œuvre en juin 1985 dans la région de Los Angeles et qui n'était utilisée qu'en période de pointe de l'après-midi (de 14 h à 19 h, en semaine). L'étude a analysé la fréquence et les caractéristiques des accidents à partir des données recueillies pendant les six années précédant la mise en œuvre de la voie réservée aux VTO et pendant les quatorze mois qui l'ont suivie. Afin de déterminer si une tendance se dégage quant aux accidents dans la zone d'étude, la quantité de données sur les accidents survenus avant la mise en œuvre de la voie réservée aux VTO était plus importante et a été répartie en quatre groupes égaux. Toutefois, aux fins de comparaison, des données du même type que celles du dernier groupe ont également été recueillies pour un tronçon de 12 milles, en aval, s'étendant de la voie réservée aux VTO jusqu'à la jonction de l'autoroute SR-57. Afin d'évaluer l'incidence de la voie réservée aux VTO sur la fréquence des accidents, les auteurs ont comparé la proportion, avant et après sa mise en œuvre, du nombre moyen d'accidents survenus pendant la période de pointe de l'après-midi (c'est-à-dire lorsque la voie réservée aux VTO était utilisée). L'étude a permis de conclure que cette proportion avait légèrement augmenté après la mise en œuvre de la voie réservée aux VTO, mais cette augmentation n'était pas significative sur le plan statistique. En outre, les auteurs ont déterminé que le nombre d'accidents survenus en période de pointe de l'après-midi était proportionnellement plus important que la somme de tous les

Rapport final – R706.1

accidents survenus à l'heure de pointe du matin et de l'après-midi. Cependant, cette augmentation du taux d'accidents a également été observée sur la section de contrôle en aval de la voie réservée aux VTO. Par conséquent, les auteurs ont conclu que la voie réservée aux VTO n'avait aucun effet négatif sur la sécurité en ce qui a trait à la fréquence des accidents. En outre, dans le cadre de l'étude, différents tests ont été effectués quant aux caractéristiques, au lieu et à l'heure des accidents. Les auteurs ont démontré que le seul changement important concernant les caractéristiques des accidents était une augmentation du nombre d'accidents impliquant un camion léger ou un véhicule immobilisé. Enfin, après avoir examiné la répartition spatiale et temporelle des accidents et de la congestion, les auteurs ont émis l'hypothèse que les accidents avaient migré de la zone libérée (c'est-à-dire la section de la route dotée d'une voie réservée aux VTO) vers les zones en aval où le goulot d'étranglement était situé.

La même équipe de recherche (Golob et al., 1990) a mené une autre étude avant-après sur la sécurité des voies réservées aux VTO médianes en utilisant des méthodes d'analyse de données groupées et fractionnées. Les auteurs ont étudié une section de l'autoroute SR-55 de dix milles de long dans le comté d'Orange, en Californie, qui est, depuis novembre 1985, dotée d'une voie réservée aux VTO à accès limité, dans les deux sens. Les voies réservées aux VTO ont été aménagées à partir des accotements médians et ont été séparées des trois voies de circulation générale adjacentes au moyen d'une double bande jaune. Pour cette étude, les auteurs ont fondé leurs analyses sur les caractéristiques de la route, les données sur la circulation et les rapports d'accidents survenus entre janvier 1979 et août 1986 (neuf mois complets après la mise en œuvre des voies réservées aux VTO). En utilisant cette méthode d'analyse de données groupées, les auteurs ont constaté qu'il y avait, d'un mois à un autre, d'importants écarts qui pouvaient être expliqués en partie par le nombre de jours ouvrables et le nombre de jours de pluie par mois. Toutefois, même en ne considérant seulement que le nombre d'accidents qui se sont produits par temps sec, en semaine, les auteurs ont constaté que, selon l'analyse des voies réservées aux VTO, les écarts de mois en mois étaient encore importants. Par conséquent, ils ont tenté de normaliser le nombre d'accidents en tenant compte du nombre de déplacements.

L'équipe de recherche a déterminé que les données sur le débit journalier moyen annuel (DJMA) pour l'autoroute SR-55 n'étaient pas fiables entre 1981 et 1985 en raison de la défaillance d'un dispositif de comptage. Par conséquent, les auteurs ont tenté d'estimer les véritables valeurs du DJMA durant cette période en avançant l'une ou l'autre des deux hypothèses suivantes. Premièrement, ils ont émis l'hypothèse que le volume observé dans la voie réservée aux VTO était dû à la demande latente découlant de la voie supplémentaire. Selon leur deuxième hypothèse, il n'y avait aucune demande latente sur la SR-55 découlant de la capacité supplémentaire. Après avoir normalisé le nombre d'accidents au moyen du DJMA estimé, les auteurs ont effectué des régressions linéaires des moindres carrés en utilisant les données recueillies avant la mise en œuvre de la voie réservée aux VTO afin d'estimer le nombre d'accidents qui auraient eu lieu si la voie réservée aux VTO n'avait pas été mise en œuvre.

Rapport final – R706.1

Indépendamment de l'hypothèse choisie, les auteurs ont conclu que la voie réservée aux VTO n'avait aucun effet négatif sur la sécurité.

Au cours de l'étape suivante de l'étude, l'équipe de recherche a utilisé la méthode d'analyse des données fractionnées afin de déterminer les écarts en matière d'accidents, sur le plan spatial. Les auteurs ont constaté que, pour les voies réservées aux VTO médianes en direction nord et sud, l'augmentation du nombre d'accidents en aval des voies réservées n'était pas compensée par la diminution en amont. Ainsi, l'analyse des données fractionnées a montré que le nombre d'accidents avait augmenté d'environ 2 % en raison de la mise en œuvre des voies réservées.

Dans la phase finale de l'étude, les auteurs ont analysé les tendances de congestion et les caractéristiques des accidents. On a constaté que la mise en œuvre de la voie réservée aux VTO pourrait avoir contribué à une augmentation de la congestion routière due à un débit plus élevé de la circulation. Selon les auteurs, cela indiquerait qu'il y avait en fait une demande latente de déplacements. Plus important encore, en analysant les caractéristiques des accidents, les auteurs ont constaté que de nombreux accidents étaient liés à la congestion routière. Cette relation, selon les auteurs, explique l'augmentation du taux d'accidents. Par conséquent, ils ont recommandé de poursuivre les recherches sur l'incidence de la congestion routière sur le nombre d'accidents.

Cooner et al. (2006) ont utilisé une méthode de comparaison avant-après pour évaluer la sécurité de deux voies temporaires réservées aux VTO dans la région de Dallas-Fort Worth, au Texas. Ces deux corridors étaient à sens parallèle et séparés par des bandes continues peintes en blanc; ils étaient réservés aux véhicules transportant au moins deux passagers en tout temps dans les deux directions. Ils avaient été réaménagés en transformant l'accotement intérieur en une voie réservée aux VTO et en réduisant la largeur des voies de circulation générale de 12 à 11 pieds. Pour cette étude, on a examiné les données sur les accidents avec blessés afin de comparer la fréquence des accidents, en considérant la gravité des accidents et la voie où les accidents se sont produits, avant et après la mise en œuvre des voies réservées aux VTO. Les deux voies réservées aux VTO ont été mises en œuvre entre juin 1995 et septembre 1996, et les auteurs ont examiné les données des années 1990 à 1994 et 1997 à 2000. Les auteurs ont constaté que la mise en œuvre des voies réservées aux VTO a entraîné une augmentation globale du nombre d'accidents. Toutefois, bien que le nombre de collisions avec blessés ait augmenté, en particulier dans les voies réservées aux VTO et dans les voies de circulation générale adjacentes, on a observé que la gravité des accidents, mesurée en tenant compte de la fréquence relative des collisions causant la mort ou des blessures incapacitantes, avait diminué. En analysant les 1 150 rapports d'accidents disponibles, les auteurs ont constaté que les écarts de vitesses, la difficulté de trouver un espace dans une voie adjacente pour changer de voie et la réduction de la largeur des voies réservées aux VTO étaient les facteurs menaçant le plus la sécurité routière. Les auteurs ont recommandé un profil transversal selon lequel les voies réservées aux VTO étaient séparées par une zone peinte de manière à augmenter la largeur et de réduire les risques de collisions entre les véhicules. Enfin, les auteurs ont mentionné que les résultats de l'étude n'étaient pas

Rapport final – R706.1

nécessairement représentatifs de toutes les voies réservées aux VTO séparées par une zone peinte et ont recommandé de poursuivre les recherches en visant des voies réservées aux VTO de conceptions différentes.

Dans une autre étude, Case (1997) a tenté de déterminer les effets de la mise en œuvre des voies réservées aux VTO sur la sécurité en sens parallèle en ce qui a trait à la largeur de la zone tampon en comparant les résultats de diverses études avant-après. L’auteur a constaté que toutes les études examinées évaluaient le rendement en matière de sécurité au moyen du même indicateur, soit le nombre d’accidents par million de véhicules-milles. Cette étude a montré que lorsque la largeur de la zone tampon d’une voie réservée aux VTO en sens parallèle est inférieure à deux pieds, cela entraîne une augmentation du taux d’accidents. L’auteur a suggéré de poursuivre des recherches à long terme afin d’évaluer les avantages des zones tampons dont la largeur est supérieure à deux pieds et de déterminer la rentabilité des zones tampons entre les VTO en ce qui a trait au nombre d’accidents et à la réduction des déplacements en véhicules-milles.

Farnsworth et al. (1993) ont étudié la sécurité et le rendement opérationnel d’une voie temporaire réservée aux VTO à Seattle. Ils ont comparé les taux d’accidents avant-après et ont déterminé que la congestion routière et les goulots d’étranglement étaient les facteurs ayant l’incidence la plus importante sur la sécurité du corridor. Les auteurs ont suggéré que certaines mesures de conception géométrique pourraient résoudre les problèmes de sécurité dans la zone d’étude. Par exemple, la voie réservée aux VTO pourrait être prolongée au-delà du point d’accès et de sortie pour rendre plus fluide la jonction entre la voie réservée aux VTO et les voies de circulation générale, comme illustré sur la Figure 11 (Farnsworth et al., 1993).

Les résultats de cette étude comprennent également les résultats d’un sondage mené auprès des usagers du corridor à l’étude. Dans le questionnaire, on demandait aux usagers de fournir des données démographiques ainsi que leur point de vue et des suggestions concernant la voie réservée aux VTO. Selon les résultats obtenus, les usagers avaient l’impression que la voie réservée aux VTO était sous-utilisée. Pour améliorer l’efficacité, la plupart des usagers estimaient que la voie réservée aux VTO devrait être prolongée dans les deux sens. L’étude avait certaines limites et les résultats auraient pu être plus pertinents si des données plus complètes et détaillées avaient été recueillies pendant toute la durée des périodes d’exploitation (p. ex. en recueillant des données sur l’occupation des véhicules et sur les perceptions des usagers concernant le changement pendant toutes les saisons et toutes les périodes de pointe, etc.).

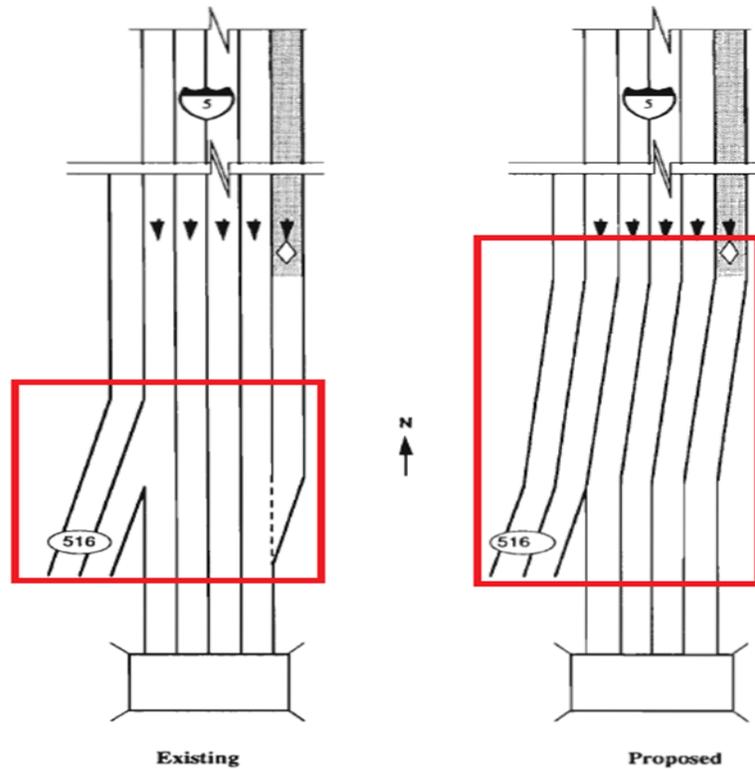


Figure 11. Modifications suggérées dans la configuration géométrique du couloir pour améliorer la sécurité

La route A647 est une route urbaine à deux voies à Leeds City, au Royaume-Uni; elle est dotée d'une voie réservée aux VTO, et plus particulièrement aux autobus et aux véhicules transportant au moins deux passagers. En dotant la route d'une voie réservée aux VTO, on visait à stimuler le covoiturage afin de réduire la congestion routière dans le corridor. En 2002, le corridor a été évalué en ce qui a trait au débit de la circulation aux heures de pointe, au nombre de passagers, au temps de déplacement, à la longueur des files de véhicules, à l'attitude du public, au comportement des conducteurs et à l'analyse des accidents. Une méthode avant-après a été utilisée par le chercheur pour étudier l'incidence de la stratégie mise en œuvre sur la sécurité du corridor. À cette fin, des données sur les accidents s'étant produits sur une période de cinq ans ont été étudiées et on a constaté une augmentation du taux d'accidents dans les deux directions durant les heures de pointe. Toutefois, aucune tendance n'a été observée. L'une des questions examinées concernait les modifications apportées au chronométrage des signaux à la jonction de la route A647 et du chemin Armley Ridge en 2005 et en 2006. L'étude a révélé que ces modifications apportées au chronométrage des signaux n'étaient bénéfiques que pour les voies non réservées aux VTO (Leeds City Council, 2010).

Selon le rapport précisé du Department of Transport du Royaume-Uni (2006), les voies réservées aux autobus devraient être mises en œuvre dans les secteurs où la circulation générale nuit au rendement des autobus. Ce rapport examine les répercussions que pourrait avoir la conversion

Rapport final – R706.1

d'une voie réservée aux autobus en une voie réservée aux VTO ou deux projets de mise en œuvre de voies réservées aux VTO réalisés respectivement à Leeds City et à South Gloucestershire. Une comparaison avant-après a été réalisée et on a constaté que, dans les deux cas, le taux d'accidents a diminué. Dans le cas de Leeds City, l'étude a été réalisée pour des périodes de trois et de cinq ans, tandis que pour South Gloucestershire, l'étude portait sur une période de trois ans. L'étude a démontré que la sécurité accrue pouvait s'expliquer par les changements apportés aux limites de vitesse. Toutefois, on recommande de mener d'autres études afin de mieux comprendre la contribution de chaque mesure dans l'amélioration de la sécurité routière. D'autres études portant sur ces deux cas ont été réalisées afin d'évaluer les répercussions des voies réservées aux VTO sur le temps de déplacement, le respect des règles de la circulation routière, le débit de la circulation et la pollution atmosphérique.

D'autres études avant-après ont évalué la sécurité des voies réservées aux autobus en examinant leur mise en œuvre dans de nombreux pays. Par exemple, le réseau EMBARQ, qui fait partie de l'organisme sans but lucratif World Resources Institute, a publié un rapport à ce sujet intitulé *Traffic Safety on Bus Corridors* (Duduta et al., 2012). Cet organisme compte des centres dans de nombreuses villes en voie de développement et des données en provenance du Mexique, du Brésil, de la région des Andes, de la Turquie et de l'Inde ont été utilisées dans le cadre de cette étude. Quatre configurations de réseau d'autobus ont été étudiées : le service rapide par bus (SRB) sur les voies du centre, les voies centrales réservées aux autobus, les voies adjacentes à l'accotement réservées aux autobus et les voies à contresens réservées aux autobus. La version du rapport qui était disponible au moment de l'examen de la documentation était une version pilote visant à proposer des lignes directrices. Ce rapport présentait les résultats de plusieurs études avant-après menées afin d'évaluer le rendement des réseaux d'autobus en matière de sécurité dans différentes villes. Par exemple, les auteurs ont constaté que le nombre d'accidents avait diminué de 46 % le long d'un corridor de SRB à Guadalajara, au Mexique (voir la Figure 12).

En outre, les auteurs ont mené d'autres études avant-après portant sur deux zones adjacentes au corridor afin de déterminer si la fréquence des accidents avait effectivement diminué en raison du SRB ou si les accidents se produisaient maintenant ailleurs. La première de ces zones était une zone tampon de 3 km de part et d'autre du corridor, excluant le corridor lui-même, tandis que la deuxième couvrait le reste de la ville. Les auteurs ont déterminé que la réduction de 8 % dans la fréquence des accidents était également observée dans ces deux zones et que la mise en œuvre du SRB avait effectivement amélioré la sécurité routière dans la région visée par l'étude. D'autre part, d'autres analyses à plus petite échelle ont été réalisées et les auteurs ont constaté qu'à certains endroits, où la circulation avait été détournée, la fréquence des accidents augmentait parfois. Par conséquent, on a conclu qu'il y avait eu à la fois une réduction du nombre d'accidents et un changement du lieu des accidents. La Figure 13 présente le nombre d'accidents annuels avant et après la mise en œuvre du SRB (Duduta et al., 2012).

Rapport final – R706.1

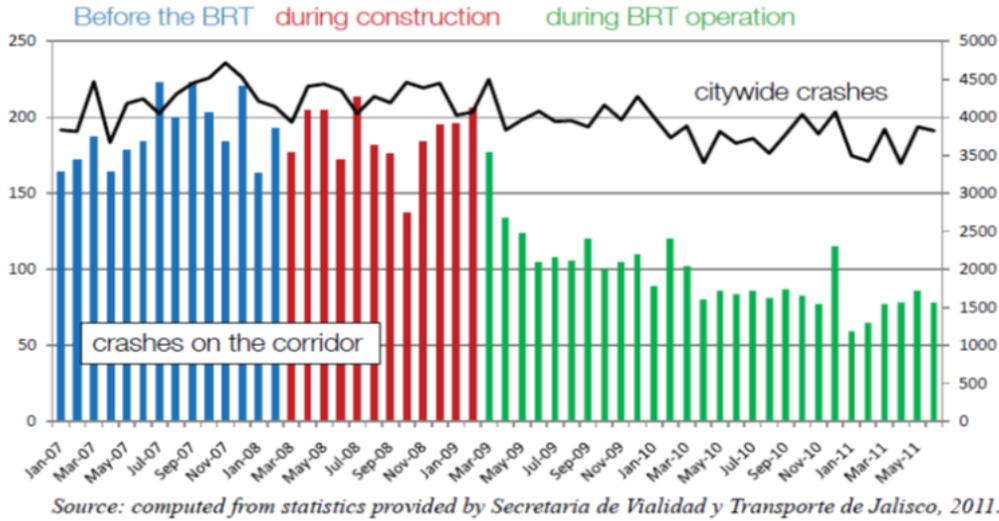


Figure 12. Accidents avant et après la mise en place d'un système de BRT à Guadalajara (Duduta et al., 2012)

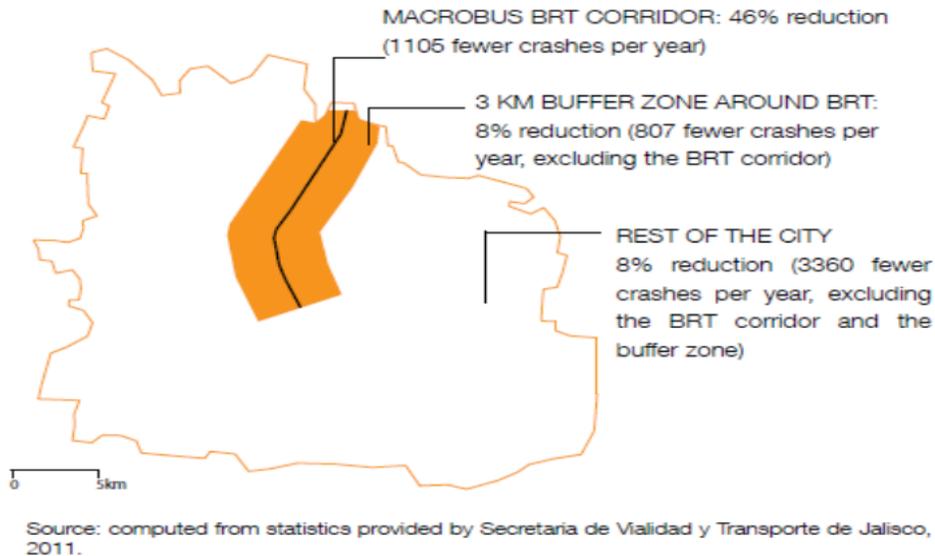


Figure 13. Accidents annuels avant et après la mise en place du BRT (Duduta et al., 2012)

4.1.2 Évaluation de la sécurité routière au moyen de sections de contrôle (études transversales)

Ce type d'analyse de la sécurité routière compare les caractéristiques et la répartition des accidents le long de la section à l'étude avec une autre section qui présente des caractéristiques similaires, généralement en ce qui concerne les opérations de circulation ou les paramètres de conception géométrique. Dans la plupart des cas, le recours à l'analyse transversale est justifié par l'absence de données avant-après pour l'analyse.

Rapport final – R706.1

Sullivan et al. (1993) ont étudié les caractéristiques des données d'accident sur une voie réservée aux VTO en Californie au moyen d'une analyse transversale afin de mieux comprendre la controverse entourant la mise en œuvre d'une voie réservée aux VTO locale. Les auteurs ont tenté de déterminer si l'augmentation prévue du nombre de changements de voie et des écarts de vitesse ferait augmenter les taux d'accidents ou si la prudence accrue des conducteurs de VTO, confrontés à des conditions de conduite plus difficiles, ferait en sorte de réduire les taux d'accidents.

Les auteurs ont comparé les accidents signalés le long de la zone d'étude dotée d'une section de contrôle en étudiant la répartition spatiale et temporelle des accidents ainsi que le type et la gravité des accidents. Le modèle ou la répartition de la congestion a été obtenu en examinant les catégories de vitesse dans le temps et dans l'espace, en vue de produire des cartes de congestion routière (voir la Figure 14). Pour vérifier les données antérieures et avoir un meilleur aperçu de la zone d'étude, des données vidéo ont également été examinées. Les auteurs ont conclu que la mise en œuvre de la voie réservée aux VTO n'avait aucune incidence sur la sécurité du corridor et que les changements dans les tendances en matière d'accident et dans leurs caractéristiques s'expliquent par des changements dans le modèle de congestion. Les résultats de cette étude montrent qu'il est nécessaire de prendre en considération l'incidence de l'augmentation de la capacité sur l'ensemble du réseau routier. Ce facteur justifie la nécessité d'étudier la congestion et les capacités à long et à court terme.

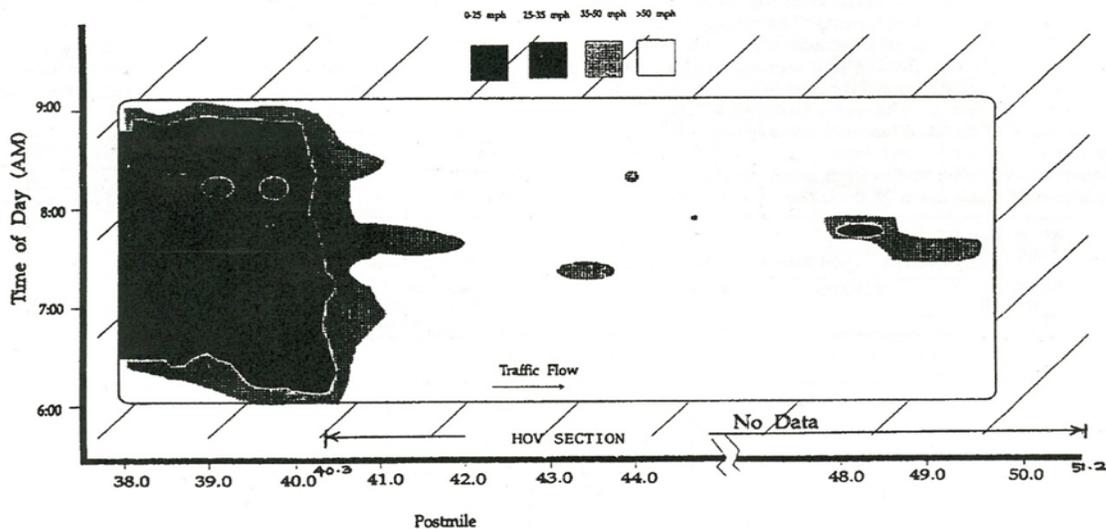


Figure 14. Exemple de carte de congestion du trafic (Sullivan et al. 1993)

Jang et al. (2009) ont mené une étude approfondie sur la répartition et les caractéristiques des collisions le long des voies réservées aux VTO à accès continu et limité. L'étude a examiné l'incidence de divers facteurs géométriques (comme la largeur de l'accotement, la longueur de la voie d'accès et la proximité de la voie d'accès aux entrées et sorties environnantes) sur la sécurité routière. Les auteurs ont conclu qu'il y avait, dans les voies réservées aux VTO à accès

Rapport final – R706.1

continu, un taux de collision plus faible que dans les voies réservées aux VTO à accès limité. Les auteurs ont également conclu qu'il y avait beaucoup moins de collisions dans les voies réservées aux VTO dont l'accotement était de plus de huit pieds de largeur. En outre, il a été conclu qu'il y a un plus grand nombre d'accidents dans les voies réservées aux VTO à accès limité dont la longueur des accès est faible et qui sont à proximité des bretelles d'accès et de sortie, mais ce problème doit être étudié plus à fond. Les auteurs ont suggéré que le lien qui existe entre le nombre d'accidents et la largeur totale doit être étudié ainsi que les effets de la zone tampon sur la sécurité du corridor. La Figure 15 et la Figure 16 présentent les données sur les caractéristiques des accidents utilisées par Jang et al. (2009). Il convient de noter que l'indicateur de rendement en matière de sécurité qui a été utilisé pour comparer les rapports de collisions dépend de la fréquence des collisions et des déplacements en véhicules-milles. Pour étudier l'effet de la largeur des accotements et de la largeur totale, les auteurs ont représenté sur un graphique les taux de collisions par rapport à la largeur de l'accotement (Figure 17) et à la largeur totale (accotement + voie réservée aux VTO + zone tampon) (Figure 18) Enfin, pour étudier l'effet des entrées-sorties et analyser la concentration des collisions, une représentation spatiale des collisions a été faite sur un graphique (en fonction de la distance en mille) comme indiqué sur la Figure 19.

Les auteurs ont effectué une analyse qualitative des effets des différents facteurs sur la répartition et les caractéristiques des collisions, et ont montré que pour obtenir des résultats plus fiables, il serait nécessaire d'élaborer une méthode quantitative pour évaluer l'incidence sur la sécurité des différents facteurs comme la largeur des accotements, la largeur totale et la proximité des bretelles d'accès et de sortie, etc.

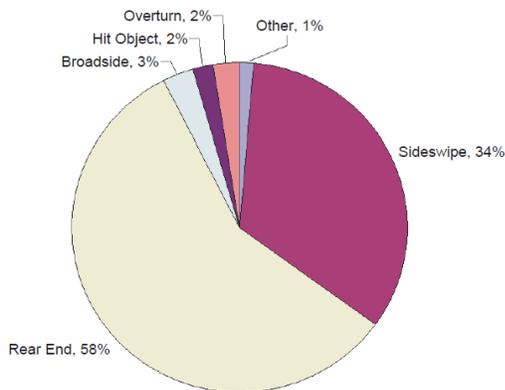


Figure 15. Types de collisions (Jang et al., 2010)

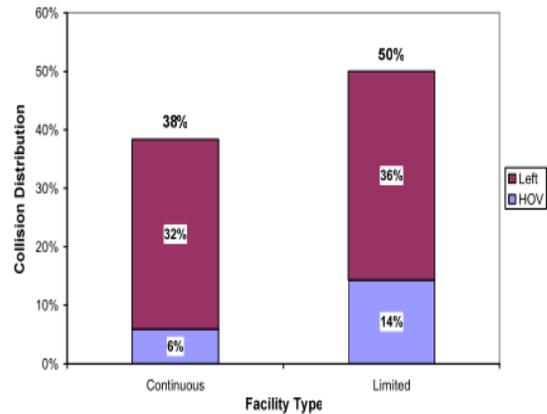


Figure 16. Répartition des collisions avec lésions mortelles et graves (Jang et al., 2010)

Rapport final – R706.1

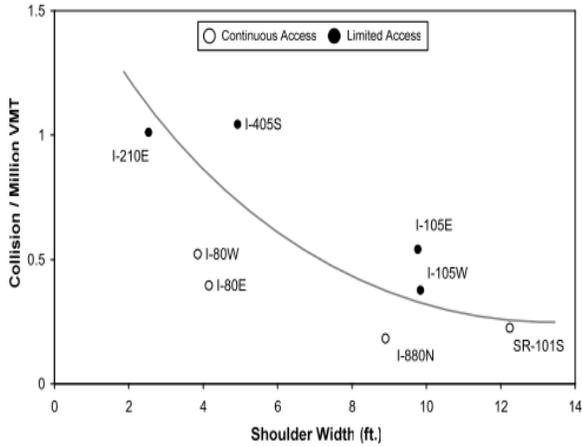


Figure 17. Relation entre la largeur des accotement et le taux de collision (Jang et al., 2010)

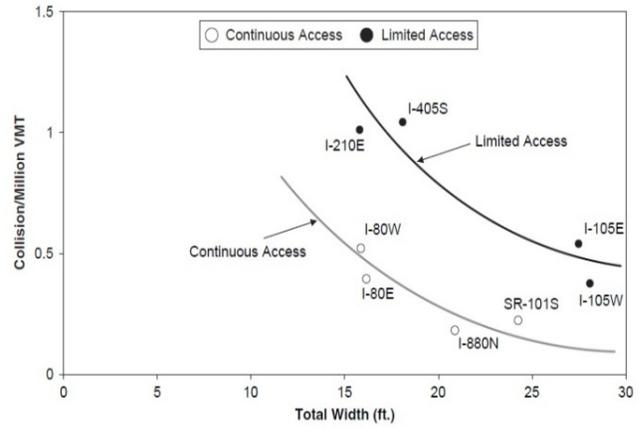


Figure 18. Relation entre la largeur totale de la route et le taux de collision (Jang et al., 2010)

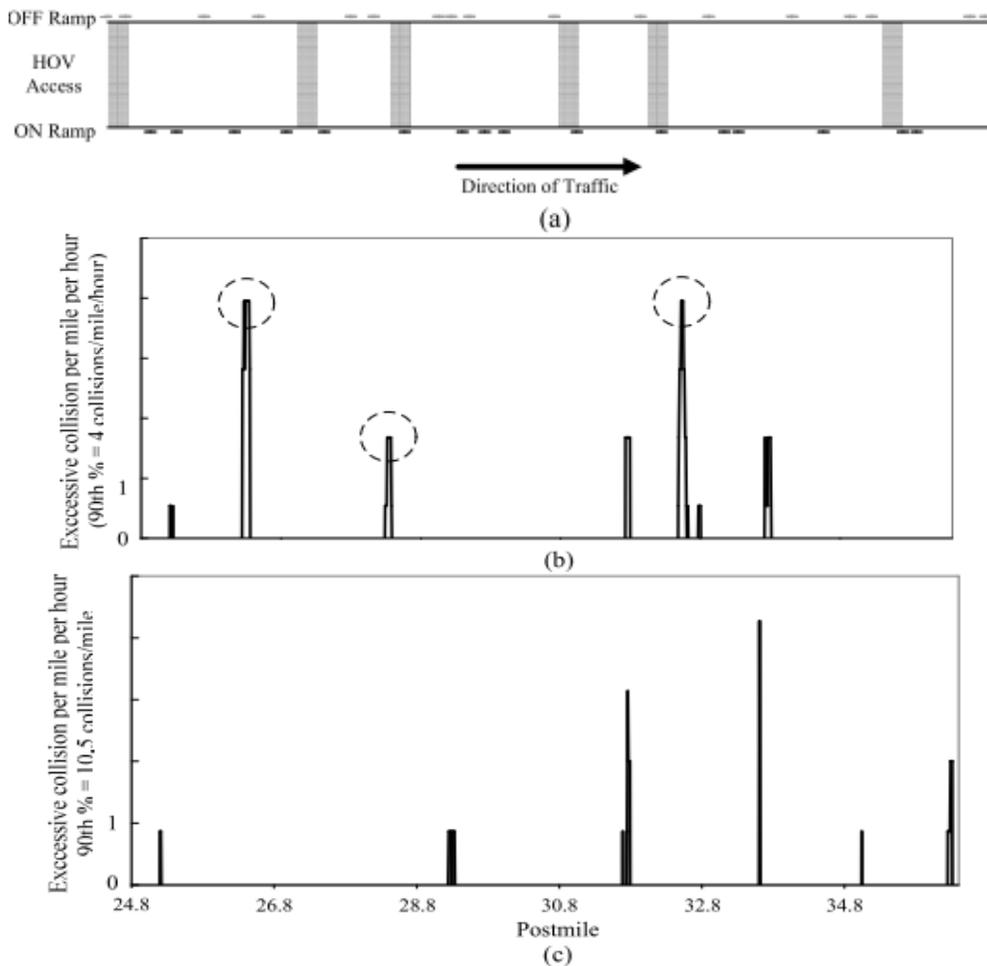


Figure 19. Tracé du profil de risque continu (PRC): (a) Zones d'accès et de sortie du VTO

(b) tracé de la PRC pour la voie VTO et (c) tracé de la PRC pour la voie gauche (Jang et al., 2010)

4.1.3 Analyse de régression

Ces études tentent de recréer la relation mathématique qui existe entre les différentes caractéristiques d'accident (fréquence, gravité, etc.) et différents facteurs de causalité en choisissant un modèle puis en calculant les coefficients qui conviennent le mieux compte tenu des données.

Pour chaque tronçon, les données comprenaient trois types de paramètres : les paramètres géométriques (la longueur, le nombre de voies, etc.), les paramètres des opérations de circulation (le DJMA, la composition de la circulation, etc.) et les rapports d'accidents. Les auteurs ont également tenu compte de la présence d'une voie réservée aux VTO comme variable explicative, mais il y avait très peu de données disponibles (seulement 5 % sur l'ensemble des tronçons). Une analyse de corrélation préliminaire a suggéré que le nombre de variables explicatives pourrait être réduit puisqu'il existait une forte corrélation entre certaines d'entre elles. Ainsi, les variables représentant le DJMA et le nombre de voies ont été remplacées par une variable unique représentant le DJMA par voie. De même, on a regroupé le nombre de bretelles d'accès et de sortie pour représenter le nombre total de bretelles. L'emplacement de chaque tronçon a également été pris en compte dans l'étude au moyen d'une variable catégorielle pour la région. Comme quatre régions ont été définies, il y avait 24 combinaisons possibles pour les décrire.

Les auteurs ont d'abord effectué 24 régressions linéaires afin de déterminer la combinaison offrant le ou les coefficients les plus importants. Puis, les régressions ont été effectuées au moyen de la loi de Poisson et de la loi binomiale négative. Malgré le fait qu'il ne s'agissait pas de l'objectif principal de l'étude, les auteurs ont constaté que la présence d'une voie réservée aux VTO était l'une des trois variables jugées non importantes et qu'elle avait un coefficient négatif, ce qui signifie qu'elle aurait tendance à réduire le nombre d'accidents. Cependant, pour expliquer l'influence de la variable régionale, l'équipe de recherche a effectué une analyse plus poussée. Afin de tenir compte des caractéristiques socio-économiques des différentes zones, quinze variables ont été cernées et les données correspondantes ont été recueillies. Néanmoins, selon les auteurs, l'ajout de ces quinze variables explicatives aux précédentes pourrait avoir masqué l'influence des autres variables. Par conséquent, une analyse des composantes principales a été effectuée afin d'isoler cinq variables offrant une variabilité quasi aussi importante que l'ensemble des quinze. Enfin, les auteurs ont obtenu un nouveau modèle fondé sur la loi binomiale négative, en deux étapes : dans la première régression, les treize variables explicatives (huit issues du modèle précédent et cinq liées aux caractéristiques de la région) ont été utilisées et dans la deuxième régression, les quatre variables les moins importantes (dont la présence de la voie réservée aux VTO et des voies avec restriction visant les camions ainsi que le pourcentage de camions) ont été omises. Selon le modèle fondé sur les treize variables explicatives, les auteurs ont constaté que tous les coefficients étaient du même signe que dans le cadre de l'analyse précédente, à l'exception du coefficient associé à la présence de la voie réservée aux VTO qui était positif. Même si le coefficient n'était pas important, les auteurs ont

Rapport final – R706.1

conclu que cela tendait à indiquer que la présence d'une voie réservée aux VTO augmentait la fréquence des collisions. Finalement, une analyse des effets marginaux a été effectuée et les auteurs ont déterminé qu'une voie avec restriction visant les camions réduirait le nombre total d'accidents de 4 %.

Dans le cadre d'une autre étude, Kopelias et al. (2007) ont eu recours à la corrélation de Pearson, à l'analyse de variance (ANOVA) et à la régression linéaire pour évaluer l'effet des caractéristiques routières et des conditions météorologiques sur la gravité des accidents (les voies réservées aux VTO n'ont pas été étudiées). La route soumise à l'étude était la route à péage Attica, une route moderne de 65,2 km (40,5 milles), dans la région métropolitaine d'Athènes. Selon les auteurs, une des caractéristiques particulières de cette route est qu'elle traverse des zones de divers types, dont des zones urbaines, des zones rurales et même des zones montagneuses, comme ce tronçon particulier de 15,4 km (9,6 mi) qui compte 56 tunnels et tranchées couvertes. Pour cette recherche, deux bases de données ont été utilisées, dont un total de 533 rapports d'accidents qui se sont produits en 2004 et 2005. Avant de procéder à l'analyse statistique, les auteurs ont supprimé les accidents qui semblaient être liés à des conditions exceptionnelles, comme un incendie, une incapacité, une collision avec des débris ou des animaux ou en raison de l'immobilisation inappropriée d'un véhicule sur l'autoroute, puisqu'ils ne semblaient pas être liés aux variables explicatives considérées. Les conditions météorologiques détaillées au moment des accidents étaient également disponibles. Les auteurs ont utilisé trois définitions de gravité, qui étaient toutes des combinaisons linéaires d'accidents ayant entraîné la mort, des blessures et des dommages matériels, mais caractérisées par des coefficients différents. Selon les auteurs, une des conclusions importantes de cette étude était l'absence de corrélation forte ou importante entre la gravité des accidents et la géométrie des routes, les conditions opérationnelles et les conditions météorologiques. En effet, au moyen de l'ANOVA, les auteurs ont estimé que le nombre total des accidents dont la gravité pouvait être expliquée par les facteurs pris en considération était compris entre 5 % et 10 %. Enfin, l'étude a conclu que les principales variables explicatives étaient celles qui étaient liées au comportement des conducteurs, mais elles n'ont pas été prises en considération.

Dans le cadre de l'étude avant-après de Duduta et al. (2012), les auteurs ont eu recours à une analyse de régression avec des ensembles de données en provenance de différentes villes du Brésil, du Mexique, de la Colombie et de l'Inde. L'un des problèmes qui ont dû être surmontés pour cette étude concernait l'absence d'homogénéité des sources de données : comme les données ont été obtenues auprès de différentes autorités locales, il y avait de nombreuses différences dans les normes de signalement et les auteurs ont dû effectuer des études distinctes pour chacune des villes. Ainsi, les auteurs ont étudié l'influence d'une même variable explicative plusieurs fois; ils ont ensuite pu comparer les résultats obtenus. Les chercheurs ont utilisé des modèles fondés sur la loi binomiale négative dans la plupart des cas, sauf dans une situation où ils ont constaté que les données n'étaient pas trop dispersées et ont décidé d'utiliser plutôt un modèle fondé sur la loi de Poisson. L'analyse des données sur les accidents a révélé que la

Rapport final – R706.1

plupart des accidents le long des corridors dotés de voies réservées aux autobus se sont produits sur les voies de circulation générale, principalement en raison des caractéristiques de la chaussée comme la largeur de la route et la taille des intersections. En ce qui concerne l'incidence du type de réseau d'autobus utilisé, on a constaté que les voies où les autobus circulent à contresens étaient liées à un nombre passablement plus important d'accidents. Ce résultat a été jugé cohérent dans les différentes villes et a également été validé par des données en provenance de villes où les modèles de régression n'avaient pas été élaborés. Par exemple, la seule section d'un corridor pour autobus à Curitiba, au Brésil, où les autobus circulent à contresens, compte quatre fois plus de collisions par kilomètre-voie que le reste du corridor. En outre, les voies réservées aux autobus en accotement semblaient également être liées à un plus grand nombre de collisions dans certaines villes, même si ce résultat n'a pas été observé partout. De plus, l'analyse de régression a montré que la circulation du SRB le long de la voie médiane n'a pas d'incidence importante sur la sécurité routière. Cependant, les auteurs ont fait valoir que la mise en œuvre d'un tel réseau entraînait une modification d'autres variables (comme une diminution de la longueur de passage des piétons) et qu'il y avait une corrélation entre ces variables et une diminution de la fréquence des collisions. Par conséquent, les auteurs ont conclu que les réseaux à voies médianes amélioreraient probablement la sécurité du corridor. Ceci peut s'expliquer par le nombre réduit d'interactions entre les véhicules circulant dans les voies de circulation générale (seulement aux intersections) et le contrôle de l'accès des piétons (de nombreux systèmes donnent priorité aux piétons sur toute la longueur du corridor). Enfin, les auteurs ont également constaté que la présence d'une importante zone commerciale à proximité du corridor du SRB pourrait être un autre important facteur expliquant la fréquence élevée des collisions.

4.2 Caractéristiques des accidents et des collisions (analyse d'exploration)

Dans cette catégorie de rapports, on tente de déterminer les tendances spatiales et temporelles des accidents de la route ainsi que les facteurs qui risquent d'influencer les tendances observées (c.-à-d. de trouver les situations spatiales et temporelles à risque dans les schémas d'accident et de comprendre pourquoi ces situations sont à risque). Même si l'on n'a trouvé aucune étude portant directement sur les voies réservées aux VTO, certaines de ces études présentent des cas semblables (c.-à-d. séparation et usage des voies réservées au camion).

Lord et al. (2005) ont mené une étude sur les effets de la séparation des camions sur la sécurité. Ils ont utilisé des données relatives aux accidents (p. ex. gravité des accidents, emplacement, horodatage, véhicules impliqués, etc.) qui se sont produits sur une autoroute double-double au New Jersey. Une autoroute double-double est une autoroute dont les voies intérieures et les voies extérieures sont séparées par un terre-plein et dont les voies intérieures sont réservées aux voitures transportant des passagers. L'étude des autoroutes double-double a permis aux auteurs de comparer les collisions survenues entre des voitures transportant des passagers seulement et celles survenues entre véhicules du groupe mixte (véhicules lourds et voitures transportant des passagers). L'analyse de données a démontré qu'il existe trois types de collisions qui sont

Rapport final – R706.1

responsables de la majorité des accidents : collision arrière, collision latérale ou en écharpe et collision avec un objet. La méthode d'analyse employée est l'analyse d'exploration; on utilise cette méthode afin de mieux comprendre les données en les résumant et en les présentant dans des graphiques et des tableaux. Les auteurs ont classé les collisions en différentes catégories : le pourcentage et le nombre de collisions selon le sens de la circulation, le type de voies (intérieure ou extérieure) et la gravité des accidents, le nombre de collisions par rapport au nombre de véhicules impliqués, le nombre de collisions en fonction des conditions météorologiques, le nombre de collisions en fonction du jour de la semaine, le pourcentage de collisions selon la gravité pour les camions et les voitures transportant des passagers, etc. En analysant les données des tableaux et des graphiques, on a conclu que les camions nuisent à la sécurité sur les voies extérieures et devraient être séparés de la circulation normale. Les auteurs estiment que même si les résultats de cette étude démontrent que les camions devraient circuler sur des voies distinctes, il est nécessaire d'effectuer d'autres recherches afin d'étudier les causes des collisions impliquant des camions; il est également recommandé d'effectuer une analyse des données fractionnées afin de comprendre la différence entre les voies intérieures et extérieures en matière de sécurité. Ils estiment également qu'il sera nécessaire d'évaluer la rentabilité des stratégies de séparation des camions en ce qui a trait aux collisions et d'ici là, on recommande l'utilisation du logiciel développé par le Battelle Memorial Institute afin d'évaluer la faisabilité, sur le plan économique, de l'aménagement de voies de circulation réservées.

4.3 Évaluation de la sécurité routière au moyen de mesures de substitution

Selon Tarko et al. (2009), les approches traditionnelles fondées sur l'historique des collisions présentent deux obstacles importants : l'insuffisance de données recueillies et leur piètre qualité. Ainsi, d'autres approches ont été envisagées, comme les mesures de substitution pour l'analyse de la sécurité qui ne s'appuient pas sur l'historique des collisions, mais plutôt sur d'autres situations. Ces situations sont fréquentes et sont tout de même liées statistiquement et logiquement à des collisions. Il peut par exemple s'agir de changements de voie sur la route ou bien d'événements plus complexes comme un conflit. En règle générale, on entend par conflit de la sécurité routière toutes situations où deux usagers de la route ou plus se rapprochent dans le temps et l'espace de manière à ce qu'il y ait un risque de collision si leur trajectoire ne change pas (Admundsen et al., 1977). Par exemple, les changements de voies peuvent être facilement analysés par un observateur qualifié, mais les conflits sont beaucoup plus difficiles à cerner. En fait, dans la documentation, les conflits sont plus souvent analysés dans des études basées sur la microsimulation. Dans ces études, les interactions entre véhicules dans la zone d'étude sont modélisées à l'aide d'un progiciel de simulation de la circulation (comme VISSIM, CORSIM, etc.); on établit ensuite une relation entre les mesures particulières de rendement de la circulation et la sécurité routière. Par exemple, les changements de voies sont un des extraits de la plupart des simulateurs microscopiques et leur intensité peut être convertie en un indicateur de la sécurité routière. Cette section présente plusieurs études dans le cadre desquelles on a utilisé la

Rapport final – R706.1

simulation microscopique et différentes mesures de substitution en matière de sécurité routière générale, et dont certaines portent particulièrement sur les voies réservées aux VTO.

L'une des catégories d'études concernait la mise en œuvre des meilleures mesures de substitution possible qui pourraient être obtenues par microsimulation. Par exemple, Gettman et al. (2003) ont mené une étude approfondie sur les mesures de substitution en matière de sécurité routière. Les auteurs ont concentré leur étude sur la sécurité des intersections munies de feux de circulation et de celles qui n'en ont pas. L'étude a comparé les caractéristiques de différents progiciels de microsimulation existants et on a résumé les mesures de sécurité routière de substitution correspondantes qui ont été obtenues. Les auteurs estiment qu'aucun progiciel utilisé n'a permis d'établir des mesures de sécurité de substitution; ils ont donc élaboré un ensemble de caractéristiques contenues dans un modèle de substitution pour l'évaluation de la sécurité routière (SSAM). Cet outil d'évaluation de la sécurité routière est indépendant du progiciel de microsimulation et permet d'évaluer les mesures de sécurité de substitution selon un ensemble de fichiers de descriptions d'événements produits par le simulateur microscopique (Gettman et al., 2008). Les auteurs estiment que les ingénieurs de la circulation peuvent utiliser l'outil SSAM pour obtenir les meilleures mesures de sécurité de substitution possible (p. ex. en utilisant des statistiques de répartition plutôt que des statistiques fondées sur les moyennes).

Dans une autre étude, Barcelo et al. (2003) ont élaboré un indicateur de sécurité routière en utilisant une trajectoire de véhicule produite par la simulation microscopique. L'indicateur proposé combine l'impact de la vitesse des véhicules, des différentiels de vitesse et du taux de décélération des véhicules. Il a été utilisé lors de l'étude d'un cas à Lausanne, en Suisse. Les auteurs se sont appuyés sur l'étude d'un cas de régulation d'accès à l'aide de AIMSUN (un simulateur de circulation microscopique) pour conclure que l'adoption d'une stratégie de régulation d'accès augmenterait la sécurité des usagers.

Dans la même étude, Barcelo et al. (2003) ont élaboré une nouvelle méthode servant à estimer les probabilités qu'un incident se produise. La méthode repose sur un modèle logit hiérarchique qui tient compte de plusieurs paramètres d'entrée : données recueillies sur la circulation (volume, vitesse, nombre de passagers, etc.), les conditions météorologiques (ciel dégagé, pluie, vent, etc.), les conditions de la chaussée (sèche ou mouillée), et les données sur la géométrie de la route (présence de bretelles, de courbes et de dénivellations, etc.). Le modèle proposé a été calibré en ce qui a trait au seuil de discrimination entre les conditions sécuritaires et non sécuritaires et aux paramètres du modèle, au moyen des données disponibles sur les accidents. Le modèle est appelé EIP-HLOGIT et peut être intégré aux progiciels de microsimulation à des fins d'analyse de la sécurité. Les auteurs ont validé le modèle en l'utilisant dans le cadre d'une étude de cas sur une autoroute urbaine à Barcelone. Il est important de souligner que l'approche proposée permet de calculer la probabilité d'une collision linéaire et ne pourrait être appliquée pour l'analyse de la sécurité d'une intersection ni d'une jonction.

Rapport final – R706.1

Une autre catégorie d'études a permis de déterminer des indicateurs de sécurité possibles et on a tenté de les utiliser pour évaluer la sécurité routière dans différents scénarios. Par exemple, Siuhi et al. (2007) ont utilisé un modèle de simulation afin d'analyser les effets sur les opérations et la sécurité de l'utilisation simultanée des voies réservées aux VTO et des voies avec restriction visant les camions sur le même tronçon de route. Dans cette étude, les auteurs ont traité le nombre de changements de voies et les écarts de vitesse entre les voies comme des mesures de sécurité de substitution. La route utilisée dans le cadre de cette étude a été simulée à partir d'un corridor congestionné de 83 milles de l'autoroute I-95 située dans le sud de la Floride qui présentait trois tronçons ayant des caractéristiques différentes : l'un des tronçons avait une restriction visant les VTO sur la voie de gauche seulement, un autre avait une restriction visant les VTO sur la voie de gauche et une restriction visant les camions sur la voie adjacente, et le dernier tronçon avait une restriction visant les camions sur la voie de gauche seulement. La restriction visant les camions était imposée en tout temps et s'appliquait aux camions dotés de trois essieux ou moins, alors que les voies réservées aux VTO permettaient aux véhicules transportant au moins deux passagers de circuler durant les périodes de pointe du matin et du soir. Les auteurs ont utilisé des données historiques sur les caractéristiques géométriques et opérationnelles, et ont recueilli des données sur le temps de déplacement en se servant de la technique GPS du véhicule flottant. L'équipe de recherche s'est servi des applications ArcGIS et Matlab afin de calibrer VISSIM en utilisant des observations de terrain. L'étude a révélé que les restrictions existantes sur les voies semblaient perturber le rendement des opérations et de la sécurité surtout pendant les heures de pointe. En effet, les auteurs ont remarqué que pendant les heures de congestion, la concentration des véhicules était plus élevée sur la voie de droite que sur la voie de gauche et qu'environ deux fois plus de changements de voie se produisaient. De plus, l'étude a permis de conclure que les véhicules circulaient beaucoup plus rapidement sur les voies soumises à des restrictions que sur les voies de circulation générale et que la longueur des files aux endroits où les voies se séparent ou fusionnent augmentait de façon considérable en fonction du pourcentage de camions.

Dans une autre étude, Vanderschuren (2007) a examiné l'impact de stratégies spécifiques de systèmes de transport intelligents sur la sécurité routière. Les auteurs ont étudié un réseau routier de l'Afrique du Sud à l'aide de Paramics, un simulateur microscopique qui permet de mesurer les effets de l'agressivité des conducteurs et de leurs niveaux d'attention sur la sécurité routière. L'étude a servi à évaluer trois stratégies différentes : un scénario impliquant une voie réservée aux autobus et une voie réservée aux VTO, un autre selon lequel un tronçon de la route était soumis à une limite de vitesse variable, et un dernier impliquant le recours à la régulation d'accès. Le rendement de la sécurité de chaque scénario a été évalué selon le temps avant la collision, la vitesse et l'intervalle intervéhiculaire. Les résultats ont démontré que les trois scénarios proposés amélioreraient la sécurité routière. Cependant, l'auteur soutient que d'autres paramètres des opérations de circulation pourraient également perturber la sécurité routière. Ainsi, il recommande l'évaluation de la sécurité et des opérations de circulation du réseau avant la mise en œuvre officielle.

Rapport final – R706.1

Plus récemment, Sobhani et al. (2011) ont défini un cadre d'évaluation de la sécurité routière combinant la microsimulation, la mécanique newtonienne et les méthodes statistiques. La méthode a été appliquée à une intersection à quatre voies sans feux de circulation à Melbourne, en Australie. Des conflits hypothétiques de gravité différente entre véhicules ont été créés avec VISSIM. L'étude a permis d'évaluer le rendement de la sécurité à l'aide de trois régressions statistiques différentes qui ont été combinées pour établir un indicateur du niveau de la sécurité. Premièrement, les auteurs ont proposé de prédire la présence ou l'absence de réaction du conducteur en utilisant les caractéristiques de conflit simulées précédemment. Deuxièmement, on prédit le changement de vitesse du véhicule en question en utilisant les caractéristiques de conflit et la réaction du conducteur. Troisièmement, l'équipe de recherche a suggéré de déduire l'énergie cinétique de cette différence de vitesse au moyen de la mécanique newtonienne et de l'utiliser avec le type d'impact et les caractéristiques des passagers (âge, coussin gonflable, ceinture de sécurité) comme intrant d'un troisième modèle pour déterminer l'indice de gravité de la blessure. Finalement, les auteurs ont proposé d'estimer le niveau de sécurité à l'aide du nombre et de la gravité des conflits ainsi que de la gravité des blessures potentielles. Pour obtenir les trois modèles statistiques mentionnés plus tôt, les auteurs ont utilisé la base de données de l'Australian National Crash In-depth Study (ANCIS), qui contient des informations provenant des dossiers médicaux, d'entrevues avec des patients à l'hôpital et de l'inspection des véhicules et des lieux d'accident. Après avoir examiné différents types de régression pour les trois variables dépendantes à prédire, les auteurs ont adopté un modèle de probit binaire pour la réaction du conducteur, un modèle Log-Gamma pour la différence de vitesse et une régression linéaire multiple pour l'indice de gravité de la blessure. Pour conclure, les auteurs ont suggéré des améliorations comme la prise en considération des différents niveaux de gravité des conflits, l'adaptation de ce cadre à différents endroits (p. ex. tronçons de routes) et l'évaluation des paramètres de différents pays.

Finalement, les conflits peuvent aussi être utilisés comme mesure de sécurité de substitution sans microsimulation, mais avec l'aide du même principe d'analyse des caractéristiques microscopiques du débit de circulation. En effet, Saunier et al. (2007) ont proposé une nouvelle méthode qui détecte automatiquement les conflits en traitant des données vidéo de trajectoires des véhicules. L'approche proposée comprend deux parties : un algorithme de localisation de véhicule par traits distincts et un détecteur de conflit de la circulation fondé sur le regroupement des trajectoires des véhicules. Un algorithme à K moyennes avec un modèle de Markov caché et une heuristique ont été utilisés pour trouver le nombre de regroupements. Les auteurs ont appliqué la méthode à une étude de cas réel et ont jugé qu'elle était réalisable et applicable. Le fait qu'elles peuvent être mises en œuvre de façon proactive, qu'elles entraînent moins d'erreurs dans les méthodes de collecte et de traitement de données et qu'elles peuvent être intégrées aux systèmes de prévention d'incident en temps réel sont les avantages qu'offre ce type de méthodes d'évaluation de la sécurité routière.

4.5 Applicabilité des méthodes

4.5.1 Études avant-après

En raison de la portée relativement limitée du présent projet, les études avant-après sont difficiles à réaliser. Toutefois, compte tenu de l'importance de ce type d'études, certaines solutions de rechange pourraient être appliquées au projet. Par exemple, les observations faites aux installations où les voies réservées aux VTO sont fermées temporairement en raison de travaux de construction peuvent fournir des données très intéressantes. Les travaux en cours le long de l'autoroute 15 ont entraîné la fermeture de la voie réservée À temps partiel aux VTO à deux occupants ou plus, mais celle-ci est restée ouverte pour la circulation générale. La collecte des données dans le corridor pendant et après les travaux de construction pourrait produire des résultats intéressants à propos de la congestion, de la vitesse et des facteurs de sécurité pour la voie réservée aux VTO.

4.5.2 Études transversales

Les études transversales sont utiles si les études avant-après ne fournissent pas suffisamment de données. Ce type d'études permet d'utiliser des environnements routiers semblables (les routes et les artères) pour mesurer l'impact des voies réservées aux VTO dans certains corridors. Un inventaire détaillé des installations routières comprises dans la zone étudiée pourrait mener à l'application d'études transversales entre des corridors homogènes avec et sans installations réservées aux VTO, et montrer l'impact de certaines caractéristiques de conception sur les interactions entre les véhicules.

4.5.3 Analyse de régression

Cette méthode permet de modéliser mathématiquement les conflits et les collisions en fonction de certains paramètres et ainsi, de prévoir le rendement de nouveaux scénarios de conception en matière de sécurité routière. Toutefois, pour appliquer cette méthode, il faut avoir suffisamment de données pour pouvoir créer des modèles valables sur le plan statistique. Ces données doivent inclure un grand nombre de collisions sur les voies réservées aux VTO et les voies de circulation générale ainsi que des données sur les facteurs possibles. Actuellement, ces données ne sont pas disponibles au Québec.

4.5.4 Caractéristiques des collisions et des accidents (analyse d'exploration)

La disponibilité des données à long terme sur les accidents aux endroits étudiés pourrait être utilisée comme un outil intégral dans une analyse des zones critiques. Une telle analyse serait utile pour déterminer les corridors où les taux de collisions et d'accidents peuvent être plus élevés. Cependant, l'applicabilité de ce type d'analyse dépend de la précision des données sur les accidents.

4.5.5 Mesures de sécurité de substitution

Les mesures de sécurité de substitution peuvent être utiles dans le cadre de la présente étude, étant donné que la quantité de données sur les accidents associés aux installations étudiées est limitée. Par conséquent, une nouvelle méthode sera appliquée pour évaluer un certain nombre de mesures de substitution, comme le temps estimé avant la collision (TEC), l'entrecroisement et les différentiels de vitesse. Cette méthode nécessite la collecte de données au moyen de systèmes de caméras vidéo mobiles dans les corridors désignés. Les enregistrements vidéo sont ensuite analysés par un algorithme de repérage des véhicules basé sur les caractéristiques, puis les trajectoires des véhicules individuels sont calculées. Ces trajectoires peuvent être utilisées pour déterminer les vitesses, les volumes, les accélérations, les entrecroisements et les TEC. L'analyse de substitution classique peut aussi être utilisée pour comparer les résultats et souligner les particularités.

4.5.6 Réseaux neuronaux artificiels

Cette méthode est semblable à l'analyse de régression, sauf que le modèle mathématique qui établit la corrélation entre les intrants (facteurs possibles) et les extrants (collisions) est de nature différente. De la même manière, les réseaux neuronaux artificiels sont efficaces seulement si la quantité de données historiques est suffisante. En fait, pour prévoir les conflits et les collisions au moyen de ces réseaux, il faut avoir des données sur les impacts, d'abord pour déterminer les facteurs contributifs potentiels aux collisions ou aux conflits, puis pour conditionner et valider les réseaux neuronaux artificiels. Dans ce cas également, la collecte des données peut se révéler problématique.

5 Études de cas

La présente section porte sur l'analyse partielle des données de circulation recueillies à diverses installations réservées aux VTO présentant un intérêt, comme convenu avec les spécialistes du ministère des Transports du Québec (MTQ). Cette section est organisée de la façon suivante : la première partie identifie les études de cas, décrit les emplacements et explique les raisons qui ont motivé leur sélection; la deuxième partie décrit les méthodes, le matériel et les outils utilisés pour la collecte et l'analyse des données; la troisième partie porte sur l'examen des données pour les sites.

5.1 Description des sites

La présente étude porte sur deux types d'installations : les voies réservées aux véhicules à deux occupants ou plus et les voies réservées aux autobus et aux taxis sur les artères et les autoroutes. Après avoir consulté les spécialistes du MTQ dans les réunions préalables, nous avons sélectionné des corridors représentatifs pour y recueillir des données dans le but d'analyser la sécurité et les opérations de circulation, et d'évaluer les solutions existantes afin d'améliorer au besoin les conditions actuelles.

Un des critères de sélection utilisés pour déterminer les sites de collecte des données est la possibilité d'observer des interactions fréquentes des véhicules entre les voies réservées et les autres installations ou voies adjacentes ou d'entrée ou de sortie. L'équipe de recherche a recueilli des données de circulation à trois endroits, soit sur le boulevard Taschereau à Brossard, sur la route 116 à Lévis et sur l'autoroute 15 à Laval. L'équipe a aussi tenté d'analyser les données vidéo relevées par le MTQ à un autre endroit, soit sur l'autoroute 25 à Terrebonne. Toutefois, comme le montre la Figure 20, le logiciel ne peut effectuer le traitement vidéo à cause de la position de la caméra. Pour garantir un traitement fiable des images et mesurer le volume de circulation, les vitesses et les espacements entre véhicules, il faut utiliser des angles de caméras différents. C'est ce qui explique pourquoi ce rapport ne présente pas les résultats ni l'analyse des enregistrements vidéo fournis par le MTQ.

Rapport final – R706.1



Figure 20. Capture d'écran vidéo des données de Terrebonne

Pour la collecte des données, quelques sites ont été désignés au Québec sur des routes et des artères dans le but d'évaluer le rendement général de chaque tronçon où des voies réservées ont été aménagées. La sélection des sites de collecte de données utiles est basée sur certains critères, comme la disponibilité des structures adjacentes (abords de route, installations en hauteur, etc.) pour l'installation de l'équipement d'enregistrement vidéo. En outre, ces structures doivent donner aux caméras une visibilité directe de la zone étudiée afin que les images soient traitées de façon appropriée par le logiciel de repérage des véhicules. Enfin, le site devait être à peu près à niveau et présenter un minimum de courbes horizontales afin que le logiciel produise les données les plus précises possible. Le Tableau 2 dresse un sommaire des sites sélectionnés, ainsi que du type d'installations, de la période d'activité, de la longueur et de l'emplacement du site. Les caractéristiques présentées dans le Tableau 2 sont celles qui ont été utilisées dans les modèles de simulation. Toutefois, ces installations sont plus longues et les particularités de chacune sont indiquées dans le reste du présent chapitre.

5.1.1 Boulevard Taschereau

Le boulevard Taschereau est l'une des principales artères au sud du fleuve Saint-Laurent dans la région métropolitaine de Montréal. Cette artère comprend six voies. En 2006, l'accotement a été converti en voie réservée en tout temps aux autobus et aux taxis.

À l'est de l'autoroute 10, entre l'avenue Panama et l'avenue Auguste, le boulevard est séparé par une barrière médiane et comprend des voies réservées aux autobus en direction nord et en direction sud. En raison de la barrière médiane, les véhicules ne peuvent tourner à gauche qu'aux intersections. L'installation consiste en une voie réservée en tout temps aux autobus et aux taxis.

Rapport final – R706.1

Tableau 2. Résumé des sites d'étude

	Nom	Emplacement	Usagers	Longueur	Voies	Heures d'opération
1	Taschereau Boul. (direction est)	Brossard (entre Boul. Lapinière et Ave. Auguste)	Bus/Taxi	800 m	3 GP 1 VTO	Permanent
2(a)	Route 116 (direction est)	Lévis (entre Rue des Perce-Neige et Rue de la Flore)	Bus/Taxi/3+ VTO	450 m	1 GP 1 VTO	Permanent
2(b)	Route 116 (direction ouest)	Lévis (entre Rue Cayer et Rue Simonne-Monet-Chartrand)	Bus seulement	450 m	1 GP 1 VTO	Permanent
3(a)	A-15 VTO 2+ (direction nord)	Montréal-Laval (entre Boul. Henri-Bourassa et Boulevard du Souvenir)	VTO 2+	5 km	3 GP 1 VTO	15:00-19:00 Jour de la semaine
3(b)	A-15 BoS (direction nord)	Laval (entre A-440 et Boul. Dagenais W.)	Bus sur accotement (BoS)	2.4 km	3 GP 1 BoS	Permanent

Son but est de réduire le nombre de véhicules qui franchissent les quelques ponts qui relient la rive sud du fleuve au centre-ville de Montréal en augmentant le nombre d'usagers des transports en commun. Étant donné que la principale gare d'autobus de la Rive-Sud (gare Panama) est située à l'extrémité sud de la voie réservée, cette dernière est surtout utilisée par les autobus du service de transport en commun qui relient la gare aux autres emplacements de la Rive-Sud.

5.1.2 Lévis

La route 116 est une route est-ouest située sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent à Lévis, au Québec. Elle permet d'accéder à la route 132 en direction de Québec, en passant par le pont de Québec. La route 116 est une route à quatre voies à chaussée unique dont une voie est réservée dans chaque direction entre l'échangeur de l'autoroute 20 et la bretelle d'accès au pont. En direction est, la voie de droite est réservée aux autobus, aux taxis et aux véhicules à trois occupants ou plus. En direction ouest, la voie de droite est réservée aux autobus et aux taxis. Les enregistrements vidéo ont été effectués pendant les périodes de pointe du matin et de l'après-midi. Les données ont été recueillies dans le but d'évaluer les interactions des véhicules qui convergent vers les voies réservées ou qui quittent celles-ci pour se diriger vers d'autres voies. Les mouvements des véhicules à cet endroit sont plus complexes étant donné que les virages à gauche et à droite sont autorisés sur cette route à voies à chaussée unique (la route 116).

5.1.3 Montréal-Laval (autoroute 15)

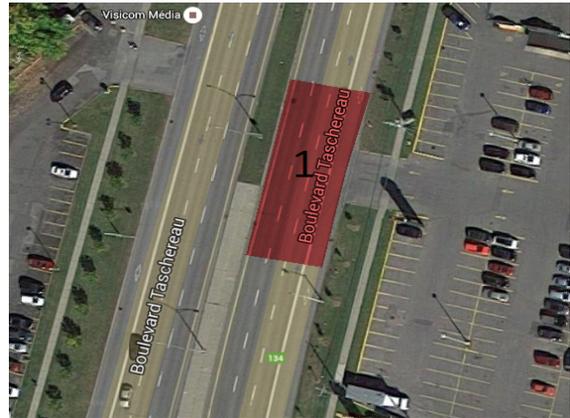
L'autoroute 15 comprend deux types de voies réservées. L'une de ces voies est du type VTO à deux occupants ou plus, qui s'étend sur environ 9 km entre le viaduc de la rue Sauvé et l'échangeur de l'autoroute 440. Pendant la période de pointe de l'après-midi (de 15 h 30 à 18 h 30) les jours de semaine, cette voie peut être utilisée par les véhicules à passagers roulant en direction nord et transportant deux passagers ou plus (Figure 23). Le reste du temps, cette voie est utilisée comme une voie ordinaire. La Figure 24 montre les sites de collecte des données sur l'autoroute 15.

5.1.4 Voie réservée aux autobus en accotement le long de l'autoroute 15 à Laval

Un tronçon de l'autoroute 15 à Laval comprend plusieurs segments d'accotement en direction nord et en direction sud qui sont utilisés par les autobus de la CITL. Ces segments sont interrompus à l'approche des viaducs, en raison de la largeur limitée de la chaussée. Les autobus empruntent ces segments surtout pendant les périodes de pointe du matin et de l'après-midi (Figure 25). Quatre segments de ce type ont été aménagés sur l'autoroute 15 en direction nord. Ces quatre segments s'étendent sur 1 300 m entre le boulevard Le Carrefour et le boulevard Saint-Elzéar O., sur 1 000 m entre la bretelle d'accès venant de l'autoroute 440 et le boulevard Dagenais O., sur 900 m entre l'entrée au boulevard Curé-Labelle et la bretelle de sortie à Sainte-Rose, et sur 400 m entre la bretelle d'accès à Sainte-Rose et l'entrée du pont Gédéon-Ouimet. On compte également trois segments en direction sud : un segment de 1 200 m entre la bretelle d'accès à l'échangeur Sainte-Rose et la bretelle de sortie au boulevard Dagenais O., un segment de 900 m entre le viaduc du boulevard Dagenais et la bretelle d'accès venant de la voie de desserte, et un segment de 1 300 m entre la bretelle de sortie vers l'autoroute 440 et la bretelle d'accès au boulevard Saint-Martin).



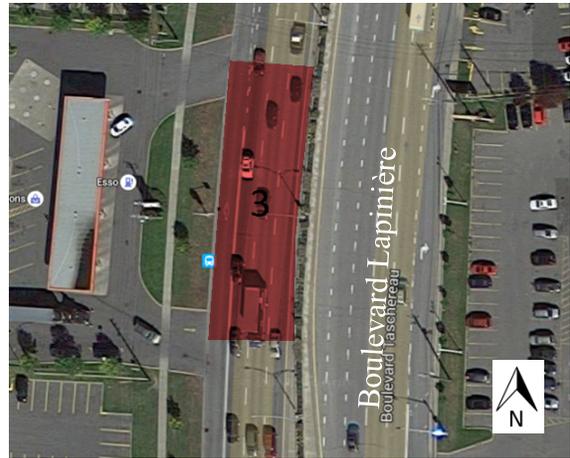
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 21. (a) Aménagement du boulevard Taschereau. Voie réservée au bus/taxi
(b) (c) (d) Les sites de collecte de données le long du boulevard Taschereau



(a)



(b)



(c)

Figure 22. (a) Aménagement de la voie réservée sur la route 116 à Levis
(b) (c) Sites de collecte de données le long de la route 116 à Levis



(a)

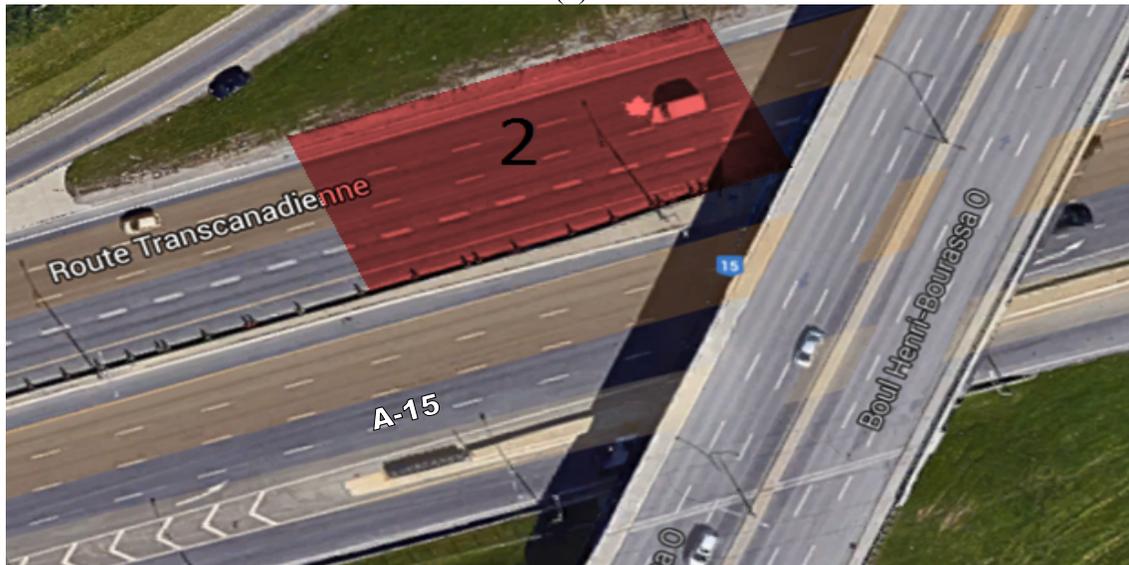


(b)

Figure 23. (a) Aménagement du bus réservé sur la bretelle de l'A-15 à Laval
(b) Aménagement des segments de VTO de l'A-15 à Laval



(a)



(b)

Figure 24. (a)(b) Sites de collecte de données segments VTO le long de l'A-15

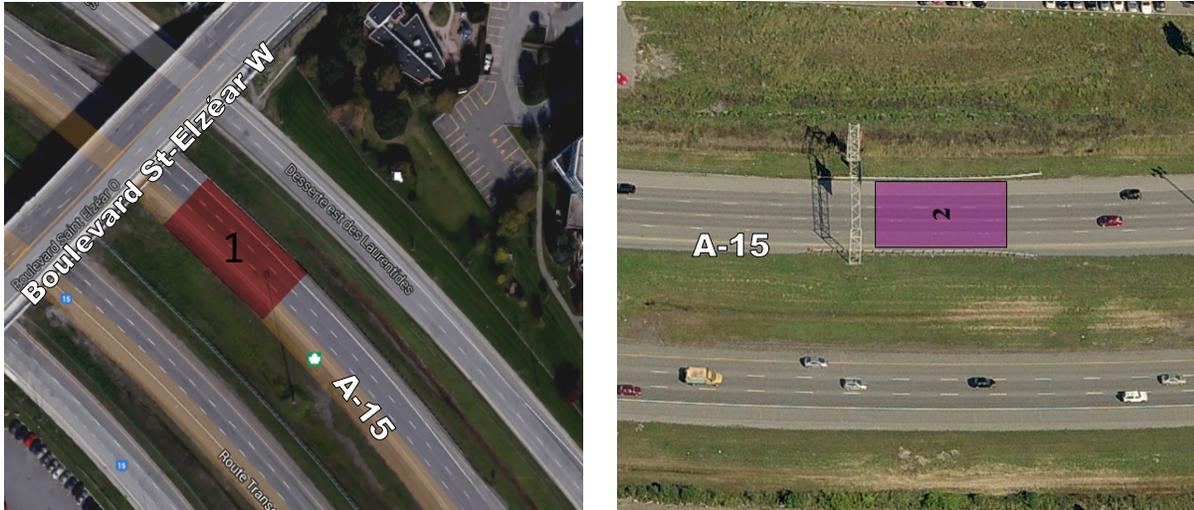


Figure 25. (a)(b) Sites de collecte de données sur la voie de bus sur accotement à Laval



Figure 26. Voie reserve pour autobus sur accotement (BoS) (A-15, Laval)

5.2 Outils de collecte et d'analyse de données

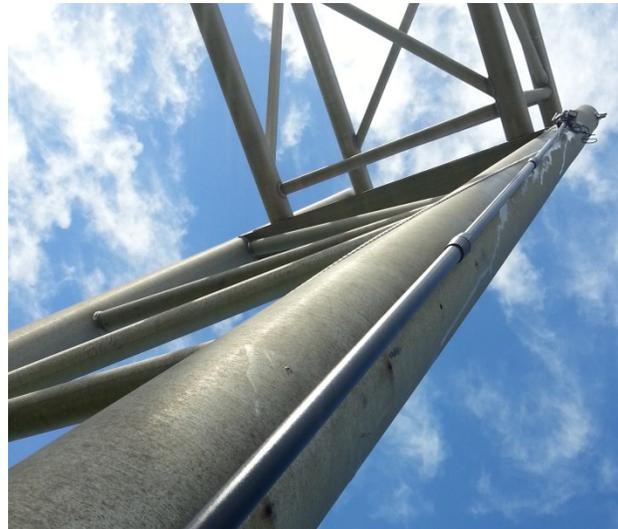
Différents modèles microscopiques ont été mis au point pour certaines études de cas. La fiabilité des résultats des simulations dépend des données recueillies. Par conséquent, les paramètres d'étalonnage appropriés ont été relevés sur place à l'aide de procédures manuelles et automatisées.

5.2.1 Outils de collecte de données

Des caméras vidéo GoPro HD et SonyHD munies de puissants zooms optiques ont été utilisées pour recueillir des données vidéo. Ces caméras étaient fixées à des structures adjacentes au moyen de mâts faits sur mesure ou installées directement sur des structures appropriées (p. ex. pont surplombant le tronçon de route à étudier). À chaque site décrit ci-dessus, des enregistrements vidéo ont été effectués durant plusieurs jours pendant les périodes de pointe du matin et de l'après-midi. La Figure 27 montre des exemples de supports utilisés pour fixer les caméras.



(a)



(b)

Figure 27. Emplacement des caméras: (a) Site 2 dans la région de Levis; (b) Site 3 dans la région de Laval

5.2.2 Outils de collecte de données

Logiciel de détection vidéo :

L'analyse des enregistrements vidéo est effectuée à l'aide d'un logiciel à code source ouvert toujours en cours de développement appelé Trafic Intelligence. Ce logiciel comprend plusieurs outils d'analyse vidéo et peut interpréter les données des trajectoires enregistrées par les caméras (Saunier et al., 2007). Le traitement des fichiers vidéo permet d'obtenir des vitesses fractionnées

Rapport final – R706.1

et des trajectoires de véhicules individuels dans la zone couverte par les caméras ou définie par l'utilisateur. Des données sur l'échelle de l'image sont nécessaires pour bien étalonner l'algorithme de traitement vidéo et obtenir des résultats fiables. Le fonctionnement de cet algorithme est basé sur le repérage des véhicules dans le temps et dans l'espace. Le processus de suivi permet de déterminer les trajectoires de chaque véhicule en mouvement. L'efficacité du programme dépend de sa capacité à détecter et à suivre dans le temps et dans l'espace des points en mouvement appelés caractéristiques dans l'image. Ces points sont ensuite regroupés en fonction de leur proximité les uns par rapport aux autres et de leur mouvement relatif. L'avantage de cette méthode vient du fait qu'elle constitue une procédure automatisée permettant d'estimer les valeurs des différents paramètres de circulation interdépendants. La validation d'un de ces paramètres est liée à la validité de nombreux autres paramètres. Par exemple, des véhicules d'essai roulent à une vitesse constante dans le segment testé et les vitesses mesurées sont comparées aux valeurs réelles.



Figure 28. Exemple de zone d'étude

Les paramètres de l'algorithme de traitement vidéo sont ajustés au moyen d'un processus d'essais et d'erreurs pour correspondre aux observations effectuées sur le terrain. Une fois les paramètres de suivi bien configurés, le programme analyse les images vidéo et enregistre les véhicules dans une base de données qui mémorise le numéro attribué à chaque véhicule ainsi que les coordonnées bidimensionnelles de l'objet à chaque intervalle de temps (c'est-à-dire pour chaque image de la vidéo). Les vitesses sont calculées d'après l'écart entre les positions dans le temps et enregistrées dans la base de données. Ce processus peut être modifié pour extraire de nombreux paramètres de circulation. Dans la présente étude, les paramètres cibles sont la répartition des vitesses, les quantités de véhicules et les intervalles intervéhiculaires. La Figure 28 montre le processus de suivi en action.

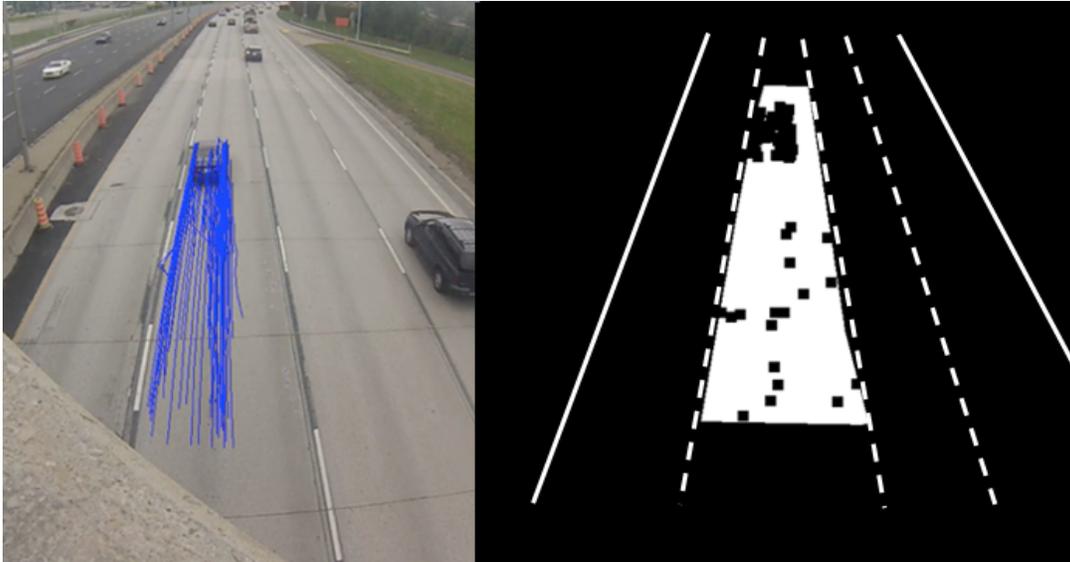


Figure 29. Trajectoires de véhicules sur image vidéo et image de masque

Outil de microsimulation VISSIM :

Le logiciel de microsimulation de la circulation VISSIM a été utilisé comme outil de modélisation dans cette recherche et dans la pratique. De nombreuses applications de microsimulation de la circulation sont utilisées pour analyser et évaluer des projets de transport en commun et les problèmes qui s'y rattachent. Toutefois, la fiabilité et l'exactitude de ces modèles dépendent de la fidélité avec laquelle les conditions sur le terrain sont représentées par les paramètres du logiciel.

Le logiciel de microsimulation VISSIM (Fellendorf, 1994) est un outil de simulation microscopique de la circulation utilisé pour concevoir les systèmes de commande activés par la circulation. L'outil a été étalonné d'après les paramètres suivants :

- Répartition des vitesses – répartition cumulative concentrée sur la valeur médiane.
- Intervalle intervéhiculaire accepté – exigence essentielle pour franchir de façon sécuritaire les croisements; nécessite une perception exacte des intervalles intervéhiculaires dans un débit de circulation dynamique.
- Accélération et décélération – valeurs minimales et maximales de l'accélération et de la décélération acceptées dans le réseau.
- Sections d'entrecroisement – longueur, géométrie et autres caractéristiques.

Rapport final – R706.1

Les modèles des véhicules et les caractéristiques de performance utilisés dans le logiciel VISSIM sont basés sur des réseaux et des véhicules européens. Un modèle nord-américain a été intégré au logiciel VISSIM afin de simuler un environnement de circulation plus exact. Le modèle intègre les dimensions des véhicules ainsi que les caractéristiques et les profils d'accélération et de décélération des véhicules de tourisme.

Modèle de substitution pour l'évaluation de la sécurité routière

En raison de la rareté et de l'aspect aléatoire des impacts, il faut beaucoup de temps pour créer un historique et démontrer la nécessité de modifier la conception d'une route ou la stratégie de gestion des débits de circulation. De plus, ce processus ne permet pas d'évaluer le degré de sécurité des installations routières qui ne sont pas encore construites ni des stratégies de gestion des débits de circulation qui n'ont pas encore été appliquées sur le terrain.

Le modèle de substitution pour l'évaluation de la sécurité routière (SSAM) (Gettman et al., 2008) s'appuie sur une méthode qui combine les résultats de la microsimulation avec l'analyse automatisée des conflits. Cette méthode est utilisée pour analyser la fréquence et la nature des collisions évitées de justesse entre des véhicules, selon les conditions de la circulation. Cette approche facilite l'évaluation du degré de sécurité des installations simulées, car il n'est pas nécessaire d'attendre que le nombre de collisions et de blessures réelles dépasse un seuil statistique minimal établi de manière arbitraire.

Un conflit est un scénario dans lequel deux usagers de la route entreront probablement en collision s'ils n'exécutent pas de manœuvre d'évitement (modification brusque ou non intentionnelle des trajectoires des véhicules). Pour évaluer une installation et les conflits qu'elle peut générer à l'aide de l'outil SSAM, il faut d'abord modéliser l'installation en créant un environnement de simulation qui peut déterminer les trajectoires individuelles des véhicules dans des conditions de circulation données. L'outil SSAM analyse les interactions entre les véhicules afin de détecter les conflits et classe ceux-ci en fonction de critères définis par l'utilisateur. Pour chaque conflit, l'outil SSAM calcule aussi plusieurs mesures de sécurité de substitution, dont les suivantes :

- Temps minimal estimé avant la collision (TEC)
- Temps d'après empiètement (TAE) minimal
- Taux de décélération initial
- Taux de décélération maximal
- Vitesse maximale
- Différentiel de vitesse maximal

Rapport final – R706.1

- Classement de l'événement – conflit venant d'un changement de voie, conflit venant de l'arrière, conflit venant de l'entrecroisement.
- Variation de vitesse des véhicules si le conflit avait entraîné un impact.

5.3 Analyse des données et résultats

De nombreuses études ont évalué la sécurité routière à partir de perspectives différentes et pour divers types de routes. À cette étape du projet, les données sur les accidents ont été fournies par le MTQ pour une section de l'autoroute 15 à Laval (un des tronçons d'autoroute évalués). Toutefois, les données sur les accidents fournissent des renseignements limités sur la sécurité pour les segments réservés aux VTO. En effet, les données de géolocalisation des accidents par voie et les données pertinentes de même nature n'étaient pas disponibles. Par conséquent, la méthode basée sur l'outil SSAM a été considérée comme utile dans la présente étude. De plus, les mesures de substitution pour la performance en matière de sécurité routière, comme le TEC, l'entrecroisement et les différentiels de vitesse ont été évaluées pour déterminer les conditions en direction ouest sur le même tronçon. Dans la présente étude, l'évaluation de la sécurité routière au moyen de l'outil SSAM et du TEC a été effectuée sur la route 134 (le boulevard Taschereau) à Brossard, sur l'autoroute 15 en direction nord, à la fin d'un segment d'accotement réservé aux autobus à Laval ainsi que sur la route 116, près d'une gare d'autobus, à Lévis. Des modèles semblables sont en cours d'élaboration pour d'autres installations réservées aux VTO pour lesquelles des données de circulation ont été enregistrées.

5.3.1 Boulevard Taschereau (route 134)

5.3.1.1 Évaluation en deux étapes de la sécurité de la circulation sur les voies réservées aux autobus

Un modèle VISSIM a été mis au point pour cette artère. Ce modèle a été utilisé pour évaluer la sécurité et les opérations de circulation le long du corridor, en considérant le *statu quo* et certains autres scénarios de conception ou de conditions de circulation existantes, comme l'utilisation de sections d'entrecroisement de différentes longueurs et la modification de la géométrie sur la totalité du segment de voie réservée aux autobus. Le modèle VISSIM a été étalonné en fonction des résultats de l'observation des intervalles intervéhiculaires et utilisé pour générer les trajectoires en vue de l'intégration au modèle SSAM de la FHWA. De plus, une méthode d'étalonnage a été mise au point pour améliorer le classement des types de conflits.

Les données sur la gestion de la signalisation et le volume ont été fournies par le MTQ (volumes de circulation et synchronisation de la signalisation) dans le but de produire un modèle de simulation étalonné réaliste du tronçon de l'artère désigné à la section 1.1. De plus, un échantillon des données d'interaction des véhicules sur une période de trois jours a été enregistré pendant la période de pointe de l'après-midi (de 16 h à 18 h). Le segment étudié, d'une longueur de 800 m, comprend trois intersections signalisées, deux intersections avec panneaux d'arrêt et

Rapport final – R706.1

trois voies d'accès aux zones commerciales voisines. Les points d'accès le long du segment étudié sont de deux types : entrée-sortie et sortie seulement.

Un modèle VISSIM du segment du boulevard Taschereau a été utilisé pour estimer le temps de déplacement sur l'artère pour diverses configurations géométriques, en plus de l'alignement géométrique actuel des points d'accès à l'artère ou de sortie de celle-ci. Pour chaque configuration, dix simulations ont été réalisées avec des valeurs d'amorçage aléatoires pour tenir compte des propriétés stochastiques du modèle microscopique. De plus, pour inclure l'augmentation de la demande future, quatre demandes de transport ont été évaluées pour chaque configuration simulée (demande en 2013 et trois autres scénarios dans lesquels la demande augmente respectivement de 10 %, de 20 % et de 30 %). Le réseau VISSIM a été étalonné d'après la répartition des vitesses réelles obtenue en traitant les données vidéo au moyen du logiciel de traitement d'image à code source ouvert Traffic Intelligence (Saunier et al., 2007). Les intervalles intervéhiculaires observés à quatre endroits le long du segment étudié ont été utilisés pour ajuster les paramètres des algorithmes de la distance de suivi et des intervalles intervéhiculaires acceptés. Ces modèles déterminent les interactions des véhicules aux zones de conflit définies dans le logiciel VISSIM (Fellendorf, 1994). Un total de 200 simulations (cinq scénarios × quatre demandes de transport × dix valeurs d'amorçage aléatoires) ont été réalisées et analysées. Dans tous les cas, les calculs ont été effectués pour chaque heure de demande de transport pendant la période de pointe de l'après-midi en utilisant une période de préparation de dix minutes. Actuellement, le marquage de la voie réservée aux autobus n'est interrompu à aucun des accès aux stationnements des commerces (les véhicules ne peuvent pas rouler dans la voie réservée aux autobus; ils peuvent seulement la traverser pour rejoindre les voies de circulation générale adjacentes). Ce concept a été simulé et désigné comme scénario de référence. En plus du scénario de référence basé sur les conditions de la circulation, cinq autres scénarios ont été analysés. Voici la description de ces scénarios.

- Scénarios 1 à 4. L'alignement géométrique demeure le même, mais des segments d'entrecroisement de 20, 30, 40 et 50 m de longueur sont aménagés aux entrées et aux sorties le long du tronçon, comme le montre la Figure 30.
- Scénario 5. Les véhicules qui quittent les terrains de stationnement pour rejoindre l'artère peuvent franchir la voie réservée aux autobus aux points milieux. Toutefois, pour accéder aux stationnements, les véhicules doivent se diriger vers les intersections signalisées en empruntant une nouvelle voie de sortie parallèle construite sur les terrains de stationnement des commerces le long du corridor, comme le montre la Figure 31.

Pour les cinq scénarios, on suppose que la synchronisation de la signalisation dans le scénario de référence pendant la période de pointe est conservée afin d'éliminer l'impact de la formation de pelotons et de garantir l'uniformité dans toutes les simulations. Le but des divers scénarios proposés consiste à déterminer l'impact sur les interactions des véhicules sur la voie réservée aux autobus. Par exemple, si la section d'entrecroisement est trop courte, les conducteurs peuvent

Rapport final – R706.1

avoir moins de temps pour accélérer ou décélérer et atteindre une vitesse donnée sur la voie réservée. Par ailleurs, si la section d'entrecroisement est trop longue, le problème du différentiel de vitesse est moins important, mais il est possible qu'un plus grand nombre de conducteurs empruntent la voie réservée si les voies de circulation générale adjacentes sont fortement congestionnées.

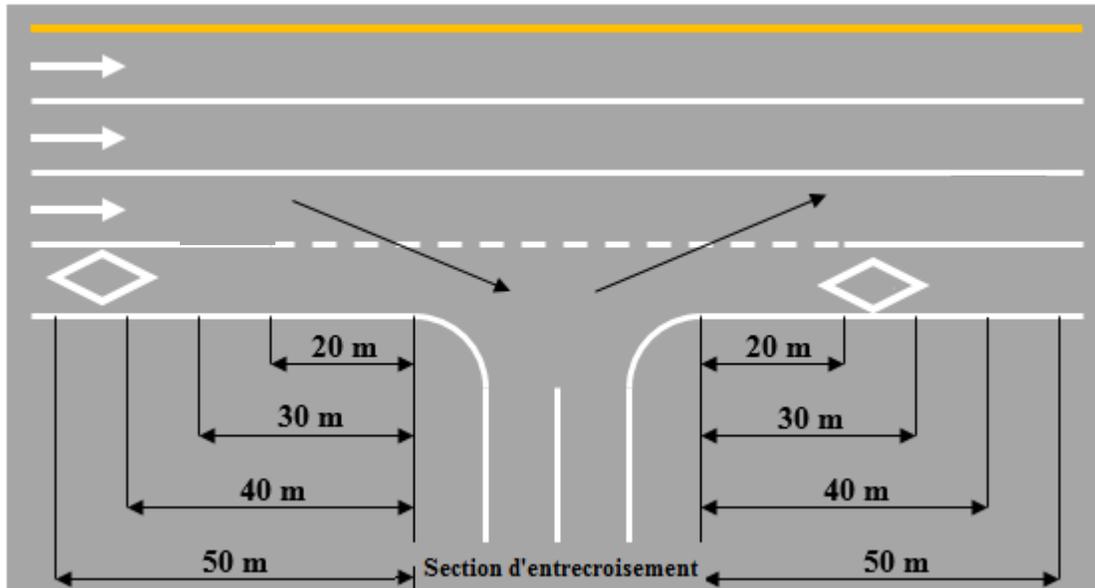


Figure 30. Section de l'entrecroisement (changement de voie) de différentes longueurs

Dans les scénarios 1 à 4, les véhicules peuvent accéder aux terrains de stationnement et quitter ceux-ci aux sites 1, 2 et 3, au rythme de 100 véhicules par heure. Par contre, dans le scénario 5, il est interdit aux véhicules qui quittent les terrains de stationnement de rejoindre l'artère directement à partir des trois sites. Les véhicules doivent plutôt rejoindre l'artère en passant par une des intersections voisines signalisées, selon leur destination.

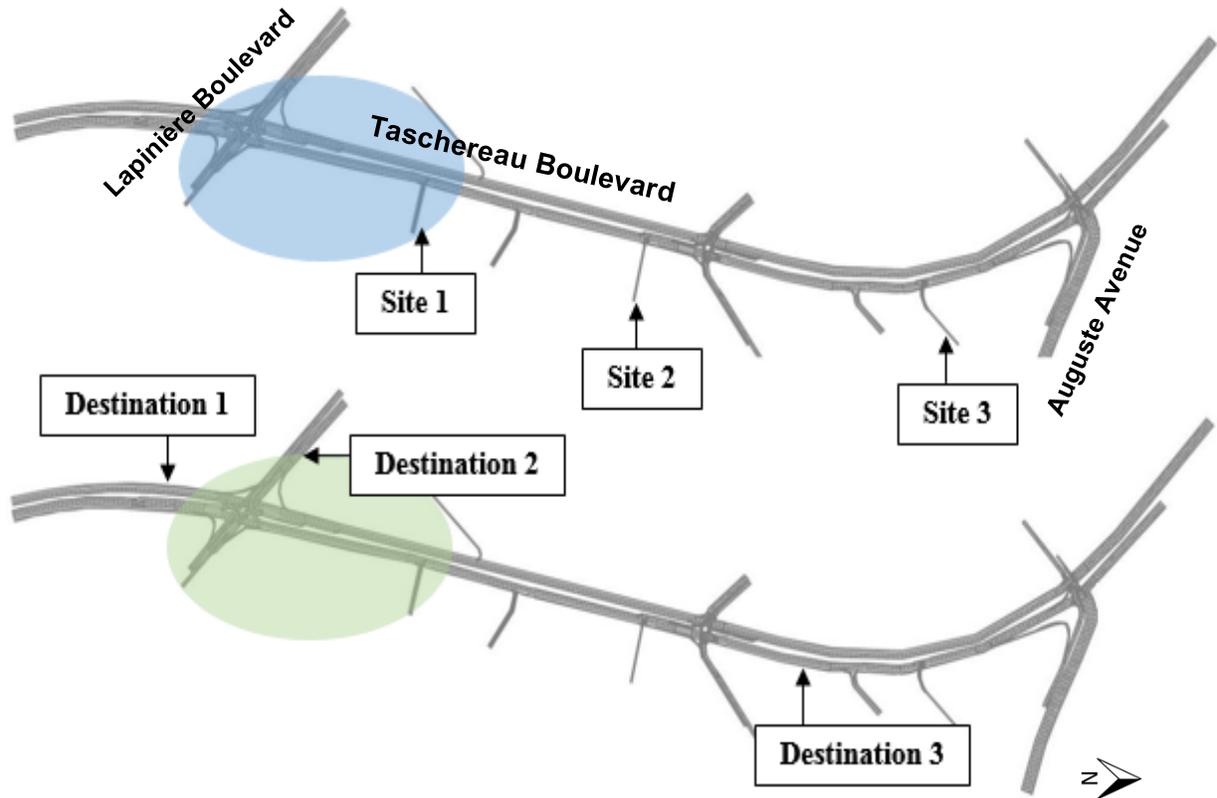


Figure 31. Modèle VISSIM pour l'étude de cas Boulevard Taschereau

Trois destinations (Figure 31) ont été sélectionnées arbitrairement pour évaluer et mesurer l'effet sur les différents seuils de conception.

Pour mieux simuler l'étude des conditions réelles, l'équipe de recherche a mis au point un plugiciel de commande de la signalisation dans VISSIM en utilisant le tableau réel de synchronisation de la signalisation. Le système de commande de la signalisation utilisé dans l'étude inclut la signalisation pour deux intersections à niveau et une intersection en T. Les données de circulation dans le réseau ont été intégrées par l'affectation d'itinéraire statique, calculée à partir du DJMA. Cela signifie que, pour tous les scénarios, les déplacements entre les sites et les destinations peuvent être représentés de façon adéquate par VISSIM. Combinée avec la procédure d'étalonnage, cette représentation est suffisamment crédible pour être analysée dans l'étude.

L'outil SSAM définit les trois types de conflits en fonction de l'angle : conflit venant d'un changement de voie, conflit venant de l'arrière et conflit venant de l'entrecroisement. Les seuils prédéterminés pour les angles de conflit sont définis dans l'outil. Le type de conflit est déterminé d'après la valeur absolue de l'angle de conflit, du seuil du TEC et du seuil du TAE.

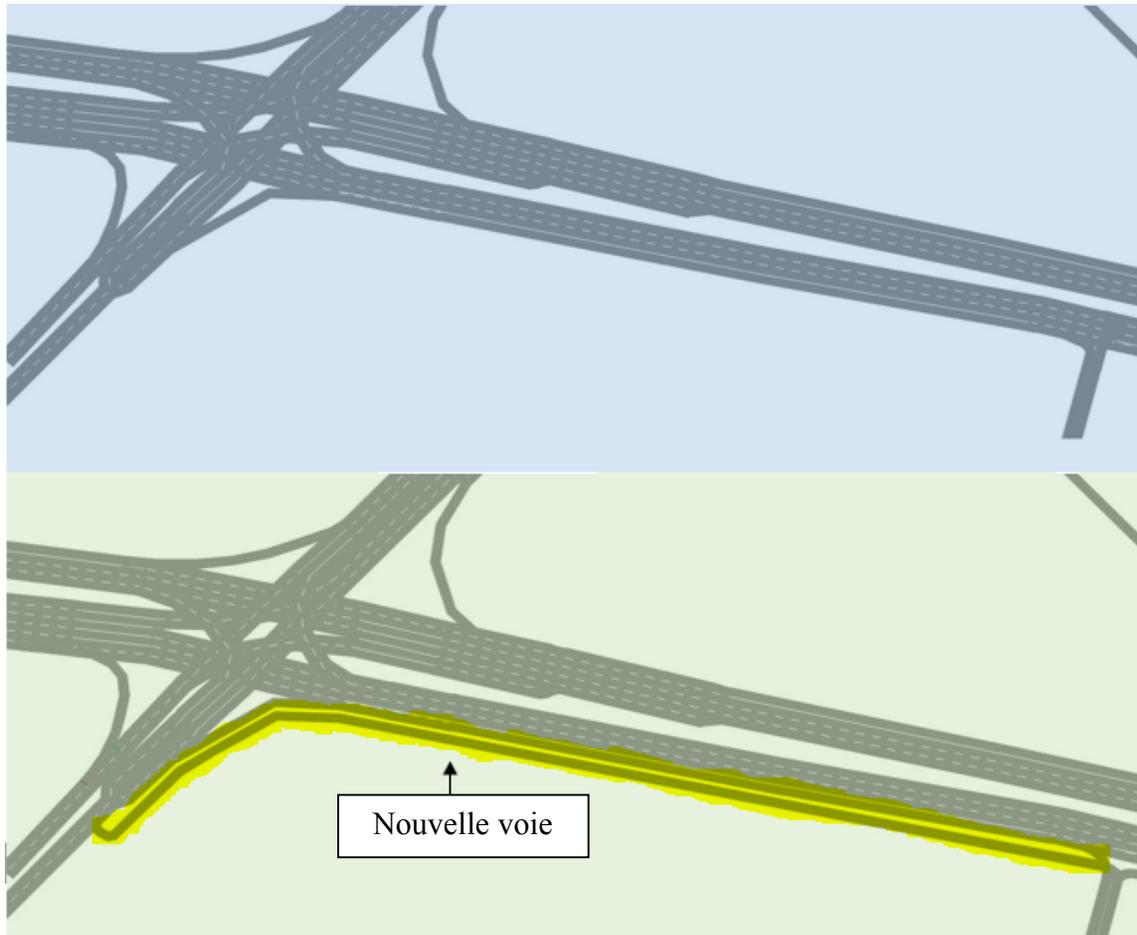


Figure 32. Modèle VISSIM avant et après les conditions d'analyse

Le TEC est un indicateur de substitution temporel défini comme « le temps requis pour que deux véhicules entrent en collision s'ils maintiennent leur trajectoire et leur vitesse actuelles » (Hydén, 1987). Le TAE est un autre indicateur de substitution temporel qui désigne l'intervalle entre le moment où le premier véhicule quitte un point de conflit prédéfini et le moment où un second véhicule s'approche de ce point (Hydén, 1987). Dans notre étude, nous avons utilisé les valeurs de TEC et de TAE recommandées par la FHWA. Il existe plusieurs types de conflits, selon l'angle entre deux véhicules. Le conflit venant de l'arrière se produit si l'angle de conflit est inférieur à 30 degrés, le conflit venant de l'entrecroisement se produit si l'angle est supérieur à 85 degrés et le conflit venant d'un changement de voie se produit si l'angle est de 30 à 85 degrés. Dans la présente étude ainsi que dans le document intitulé *Surrogate Safety Assessment Model and Validation Final Report* (Gettman et al., 2008), le conflit venant de l'arrière est associé à un angle de moins de 2 degrés, le conflit venant d'un changement de voie, à un angle de 2 à 45 degrés et le conflit venant de l'entrecroisement, à un angle supérieur à 45 degrés. Dans notre étude, nous avons utilisé les mêmes valeurs pour analyser les conflits dans tous les scénarios simulés. La Figure 33 présente un schéma des angles TAE pour différents types de conflits.

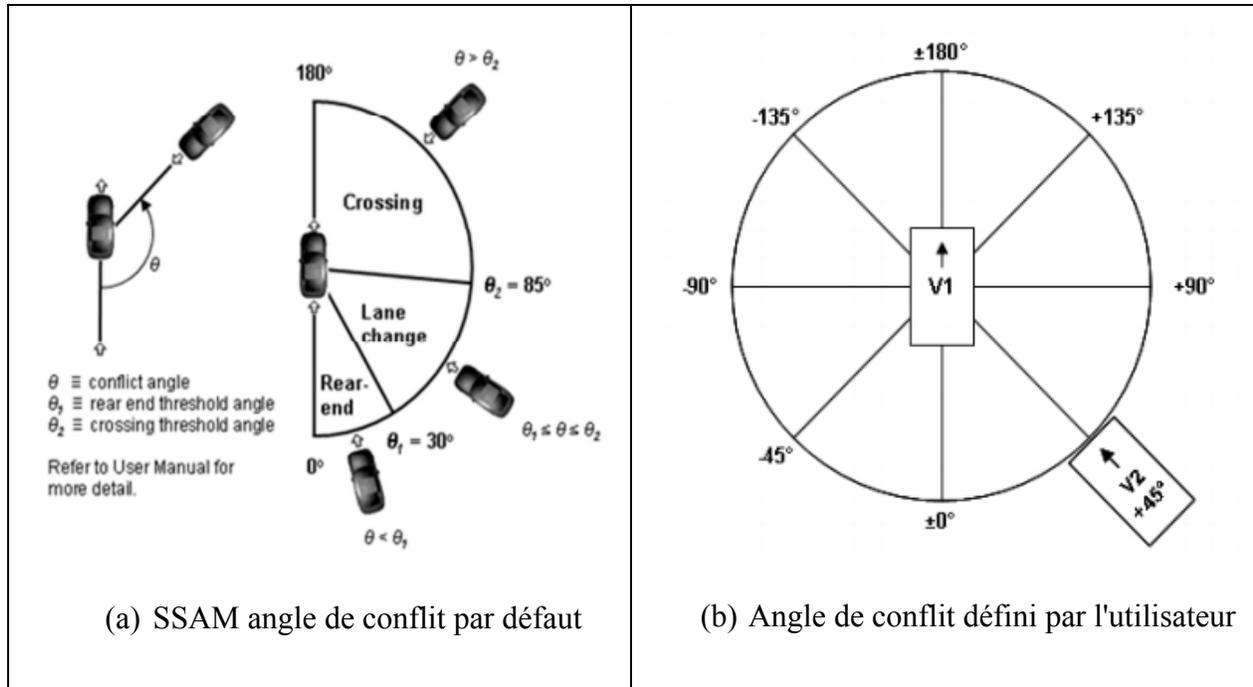


Figure 33. Diagramme des angles de conflit (Gettman et al., 2008)

L’outil SSAM fournit des données détaillées sur chaque conflit potentiel. Ces données sont mises en corrélation avec les données réseau fournies par le simulateur de circulation VISSIM pour faire la distinction entre les divers types de conflits. Le comportement par défaut de SSAM a été modifié pour associer de façon appropriée le TEC et le TAE en utilisant les données de localisation des véhicules (identification de la liaison et de la voie et types de liaisons). La Figure 34 comprend une brève description de la méthode utilisée pour combiner les données fournies par SSAM et par VISSIM afin de déterminer les types de conflits.

Analyse des résultats de la simulation :

Pour évaluer l’impact sur la circulation, le temps de déplacement moyen des véhicules entre les sites 1 à 3 et les destinations 1 à 3 (Figure 31) a été estimé à l’aide d’un script Matlab afin de suivre chaque véhicule entre les détecteurs installés aux points d’origine et aux points de destination correspondants. Nous avons constaté qu’avec des segments d’entrecroisement de 30 m le long de la voie réservée aux autobus aux trois emplacements, le temps de déplacement moyen entre le site 1 et la destination 1 était le plus court, allant de 106 à 117 secondes. Les temps de déplacement correspondent aux quatre scénarios de demande de transport (conditions actuelles et augmentations graduelles de 10 %, de 20 % et de 30 %), dans lesquels les segments d’entrecroisement de 30 m permettent d’obtenir systématiquement le temps moyen de déplacement le plus court. De la même manière, le temps moyen de déplacement le plus court entre le site 1 et la destination 2 est de 185 à 216 secondes avec une section d’entrecroisement de même longueur (30 m).

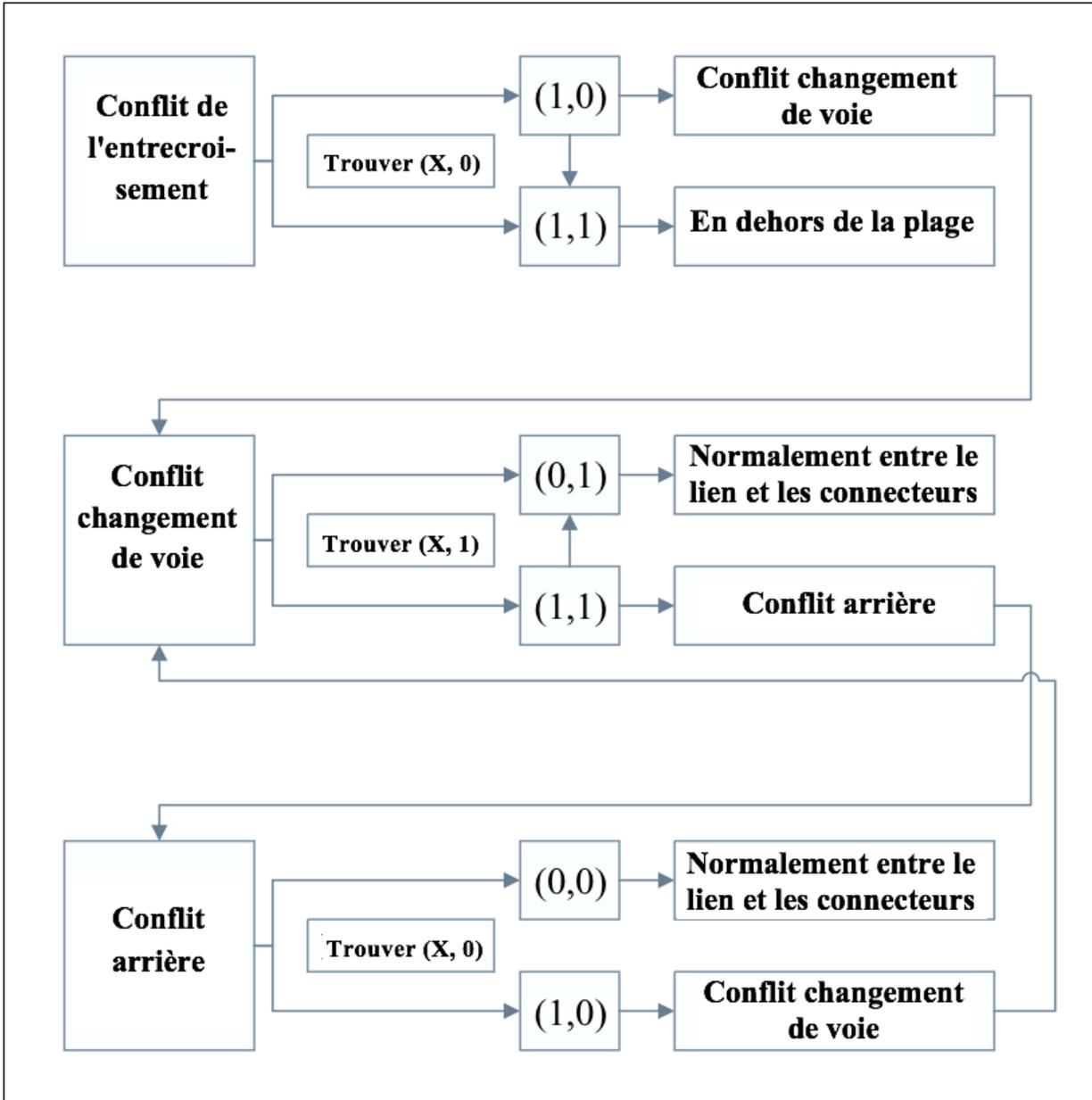


Figure 34. Diagramme de la matrice binaire

Les temps moyens de déplacement minimaux des véhicules entre le site 1 et la destination 3 n'étaient pas constants pour un segment d'entrecroisement de même longueur. Nous avons constaté que le temps moyen de déplacement le plus court était obtenu avec une section d'entrecroisement de 20 mètres et la plus faible demande de transport de tous les scénarios envisagés. Toutefois, la section d'entrecroisement de 30 mètres est celle qui permet d'obtenir les temps moyens de déplacement les plus courts pour tous les autres scénarios (la demande de transport est supérieure de 10 %, de 20 % et de 30 % à la demande actuelle).

Rapport final – R706.1

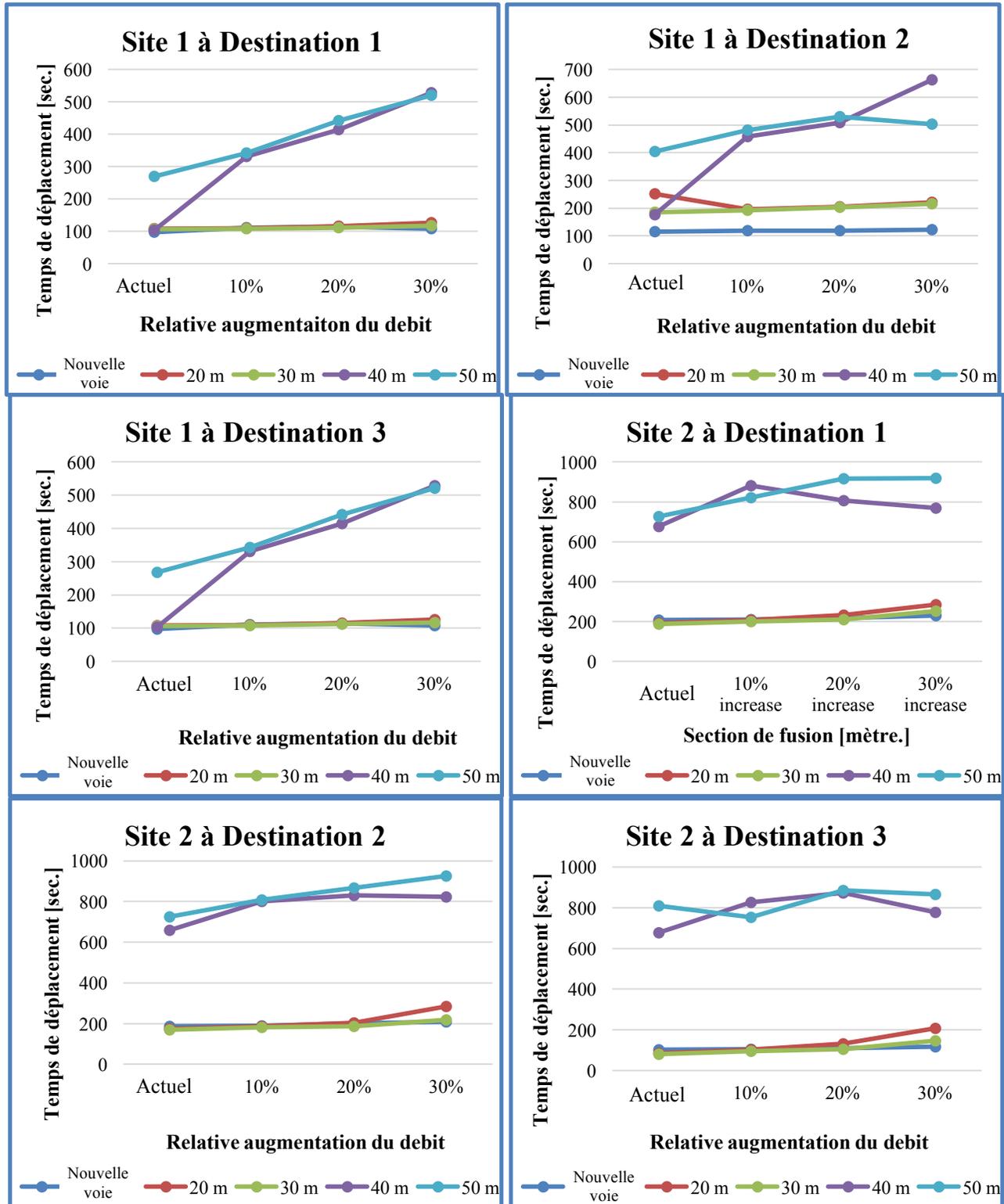


Figure 35. Les temps de déplacement résulte de différents alignements géométriques dans différents volumes de trafic

Les résultats de la simulation indiquent également que l'obligation de quitter les stationnements et de rejoindre l'artère par l'intersection voisine est surtout avantageuse pour les véhicules venant

Rapport final – R706.1

du site 1, tandis que le temps moyen de déplacement, plus court, des véhicules venant du site 2 n'est pas statistiquement significatif par rapport aux conditions actuelles (si les véhicules peuvent rejoindre l'artère et la quitter en traversant la voie réservée aux autobus venant directement du site 2).

Le site 1 est à proximité d'une intersection signalisée et le site 2, d'une intersection avec panneau d'arrêt, ce qui peut être à l'origine de cette différence. Ainsi, les véhicules du site 1 ont l'avantage d'un environnement à feux de circulation plutôt que d'interactions d'entrecroisement, alors que les véhicules du site 2 maintiennent des interactions d'entrecroisement similaires avec la circulation sur l'artère. Dans l'étude de cas, les valeurs seuils minimales par défaut pour le temps estimé avant la collision et le temps d'après empiètement ont été utilisées dans l'analyse des conflits du modèle de substitution pour l'évaluation de la sécurité routière (SSAM), à savoir, 1,5 seconde et 5 secondes, respectivement. En outre, les valeurs seuils d'angles de conflit utilisées dans l'outil SSAM ont été sélectionnées selon le rapport de la FHWA (Gettman et al., 2008). De façon similaire, la fourchette de valeurs d'angles de conflit proposées pour classer les trois types de conflits a été utilisée dans la présente étude. Le conflit venant de l'arrière est défini par un angle de conflit inférieur ou égal à 2° , le conflit venant de l'entrecroisement, par un angle de conflit inférieur à 45° , et tout angle de conflit entre ces deux seuils est classé comme un conflit venant d'un changement de voie. Les données de sortie détaillées de l'outil SSAM sur les conflits potentiels ont été traitées afin d'évaluer la validité des résultats de classification des conflits du modèle, à l'aide de la méthode à matrice binaire mise au point, en vue d'améliorer la classification des conflits.

La fréquence des conflits a été comparée entre différents scénarios. La Figure 36 montre qu'en général, le plus petit nombre de conflits se produit lorsque la section d'entrecroisement est de 30 m, pour la plupart des scénarios mis à l'essai. Les scénarios de faible demande de transport font exception (c.-à-d. demande actuelle et augmentation de 10 % de la circulation le long de l'artère) où le plus petit nombre de conflits est consigné pour le scénario 5 (c.-à-d. la sortie directe de véhicules dans l'artère de l'autre côté de la voie réservée aux autobus est interdite). En ce qui concerne les différents types de conflits, on a observé que le nombre le plus faible de conflits venant de l'entrecroisement et de conflits venant de l'arrière se produit dans la même section d'entrecroisement de 30 m et les sites d'accès et de sortie. Toutefois, il n'y a pas de différence importante de conflits venant d'un changement de voie entre les scénarios 1, 2 et 5.

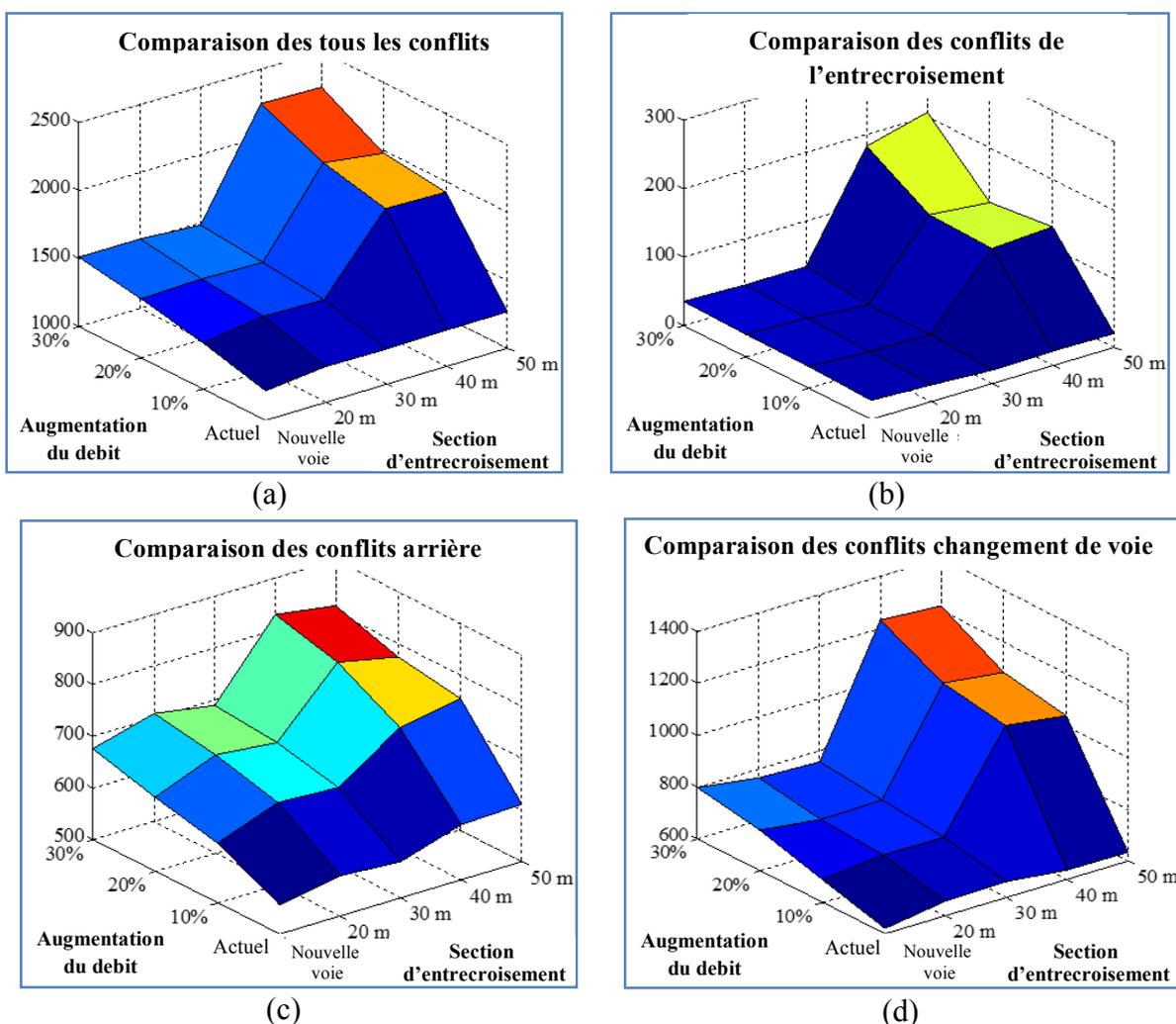


Figure 36. (a) - (d) Comparaison des résultats des conflits calibrés

Voie réservée aux autobus et manœuvres de changement de voie interdites

Deux sites ont été sélectionnés pour la présente étude et des données ont été recueillies le long du boulevard Taschereau à l'aide du système d'enregistrement vidéo précédemment décrit dans cette section. Le système d'enregistrement était fixé aux poteaux au bord de la route le long de la voie réservée et se trouvait à une hauteur d'environ 20 pi, à angle parallèle à l'artère, avec vue en amont et en aval.

Le premier site est situé juste avant une intersection majeure sur la route, avec la circulation en direction sud. Les données vidéo ont été recueillies avec vue vers l'aval, en visant particulièrement les véhicules changeant de voie à partir de la quatrième voie vers la voie extérieure (emplacement n° 2 Figure 21). Le second site est situé tout juste en aval du précédent, entre les deux intersections majeures (emplacement n° 3, Figure 21). L'objectif principal de la

Rapport final – R706.1

collecte de données à ce site est de saisir les mouvements d'entrée et de sortie traversant la voie réservée.



(a)



(b)

Figure 37. Exemple de conditions de circulation sur la voie VTO (Rte-134)

La Figure 37 (a) montre une image fixe tirée d'un enregistrement vidéo sur le site, avec taxi circulant dans la voie réservée au premier plan. La Figure 37 (b) est une image fixe tirée des données vidéo, montrant des véhicules sortant de l'aire de stationnement et entrant sur l'artère. Les mêmes méthodes de traitement des données vidéo ont été utilisées. De plus, les vitesses corrigées ont été confirmées par des données de vitesse tirées de détecteurs de radars. Le logiciel de traitement vidéo Trafic Intelligence a été utilisé pour évaluer les indicateurs liés aux interactions de la circulation et à la sécurité. Tout d'abord, le nombre d'infractions relatives aux changements de voie enregistrées par le système de collecte le long de la route a été recueilli. Ensuite, les valeurs de temps estimé avant la collision le long de l'artère sont calculées afin d'analyser le niveau de sécurité aux points d'entrée et de sortie le long de l'artère.

Manœuvres de changement de voie interdites

L'un des enjeux soulevés dans l'étude concerne l'efficacité des marques sur chaussée le long de l'artère, et la façon dont les véhicules interagissent avec la voie réservée. Le principal enjeu lié aux infractions relatives aux changements de voie est le fait que les véhicules circulant dans la voie réservée sont moins susceptibles de s'attendre à une interaction avec un véhicule de la voie adjacente lorsque le changement de voie s'opère à l'extérieur de la zone autorisée. Ainsi, le niveau de gravité et de probabilité du conflit peut augmenter le long des corridors dans lesquels les infractions relatives aux changements de voie ou liées à d'autres marques sur chaussée de produisent fréquemment, et des analyses vidéo recourant au logiciel de traitement des trajectoires pvaTools ont été utilisées à cette fin. Une infraction implique un véhicule non autorisé entrant dans la voie réservée avant d'avoir le droit d'y accéder. Le processus implique de filtrer les changements de voie se produisant dans la zone d'interdiction et de les comparer à l'ensemble des changements de voie se produisant sur le site.

Rapport final – R706.1

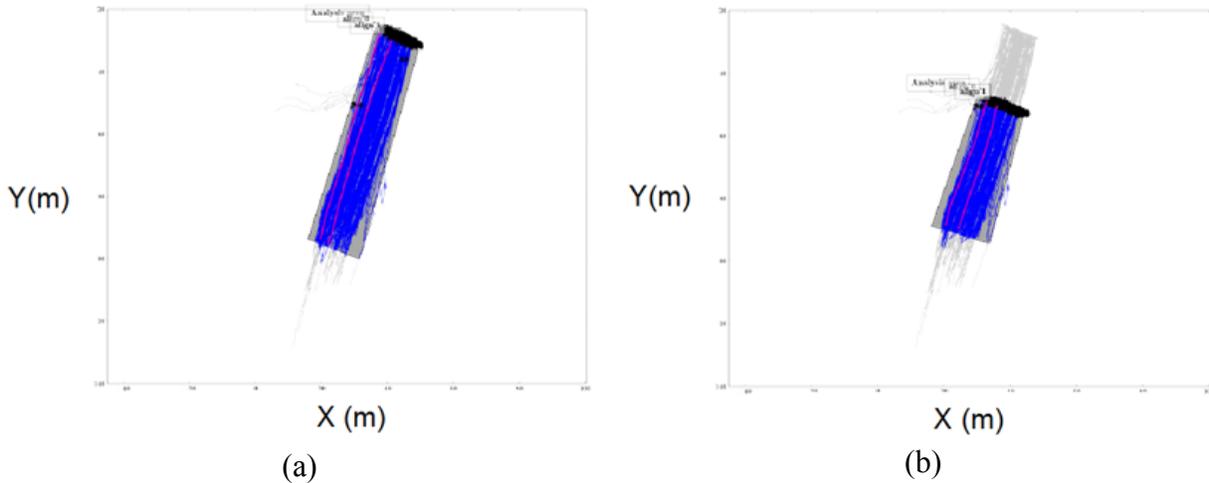


Figure 38. Exemple de traitement de trajectoires de véhicules pour utilisation de voies interdites

La Figure 38 montre en bleu les trajectoires sur l'artère au premier site. Les lignes roses sont les voies représentées manuellement pour la voie réservée et la voie de circulation générale adjacente. Après avoir exécuté le logiciel pvaTools pour cette base de données particulière de trajectoires et de voies, les changements de voie entre la voie 1 et la voie 2 sont calculés et résumés à la Figure 39. Les manœuvres de changement de voie interdites sont calculées pour le premier site sur Taschereau. Les données vidéo ont été colligées sur une période de trois heures, et traitées grâce au logiciel Trafic Intelligence. Les données sont regroupées en périodes de 30 minutes, et les changements de voie se produisant à l'intérieur de la zone autorisée ont été exclus. Les changements de voie restants sont considérés comme des infractions.

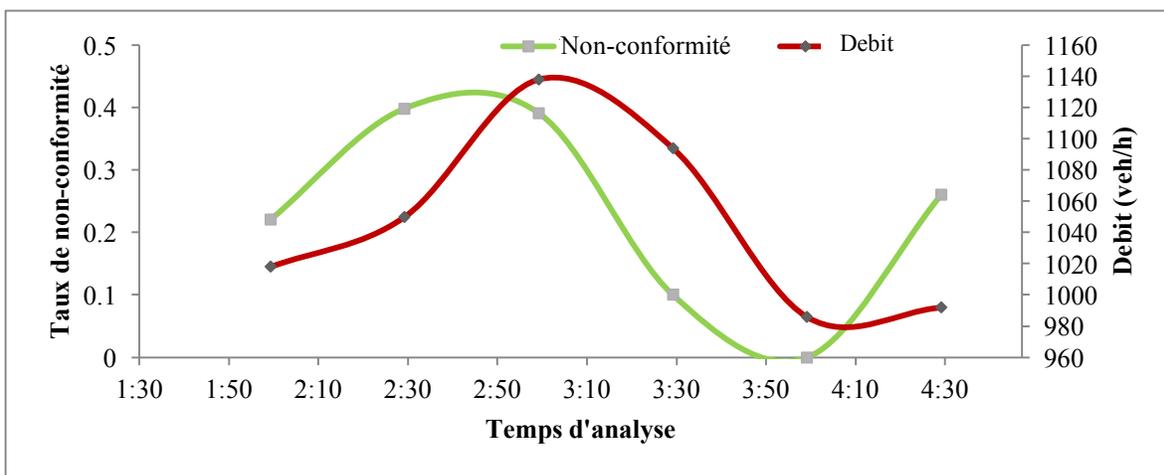


Figure 39. Taux de non-conformité et volumes artériels pendant la période de collecte de données

Le taux d'infractions relatives aux changements de voie sur Taschereau varie entre 0 % et 40 % sur une période de collecte de données de trente minutes, entre 14 h et 16 h 30 un jour de semaine. Les changements de voie sont mesurés sur une longueur de 70 m de route, dont les

Rapport final – R706.1

30 premiers m ne permettent pas de changement de voie, et les 40 derniers m font partie de la section d'entrecroisement pour les véhicules n'étant pas des véhicules à taux d'occupation élevée et effectuant un virage à droite à la prochaine intersection. Les volumes ont été extraits grâce à un algorithme de suivi fondé sur les caractéristiques intégré au logiciel Trafic Intelligence, et étendus à des volumes horaires. La Figure 39 laisse deviner un lien entre le volume des voies de circulation et le taux d'infractions dans la zone étudiée. Lorsque les volumes sont plus élevés dans les voies de circulation générale, les véhicules peuvent entreprendre leur changement de voie plus tôt en raison de la file générée par l'intersection en aval.

La fin de la voie réservée et le début de la voie de virage à droite se situent à mi-parcours de la zone suivie représentée à la Figure 38 (ci-dessus). Bien que la majorité des véhicules respectent les marques sur chaussée, une observation visuelle des données vidéo a révélé bon nombre de manœuvres interdites. Afin de calculer automatiquement les taux d'infractions relatives aux changements de voie, la zone d'interdiction de changement de voie est ciblée exclusivement grâce à la méthode suivante : au sein de la plus petite zone d'analyse illustrée à la Figure 38 (partie inférieure), les infractions liées à la zone d'interdiction de changement de voie correspondent à la différence entre la grande zone d'analyse et la petite zone d'analyse. Ainsi, le taux d'infractions relatives aux changements de voie est calculé en divisant le nombre de manœuvres interdites par le nombre total de changements de voie à partir des voies 1 et 2.

Temps estimé avant la collision

Le temps estimé avant la collision est un indicateur de substitution appliqué à différentes études sur la sécurité. Le temps estimé avant la collision se définit comme le temps écoulé jusqu'à la collision de deux objets voisins, en supposant que leurs vitesses et leurs trajectoires demeurent constantes. Les mesures de temps estimé avant la collision associées aux entrées et sorties de véhicules interagissant autant avec les véhicules de la voie réservée qu'avec ceux de la voie de circulation générale sont analysées sur un site le long de la Route 134. Un seuil de 1,5 seconde a été déterminé avant de traiter les données de trajectoire, puisque ce temps est considéré comme le seuil en matière de répercussions sur la sécurité et sur les collisions. Les données ont été colligées sur une période de trois heures, un jour de semaine. Le traitement des mesures de temps estimé avant la collision repère les coordonnées X et Y sur le plan de la route, où les événements se déroulent. Après le traitement des données, les valeurs de temps estimé avant la collision sont relevées sur le plan, comme illustré dans la Figure 39. L'alignement des quatre voies a été masqué en fonction du nuage de points de collision, afin de comparer la fréquence de temps estimé avant la collision entre les différentes voies.

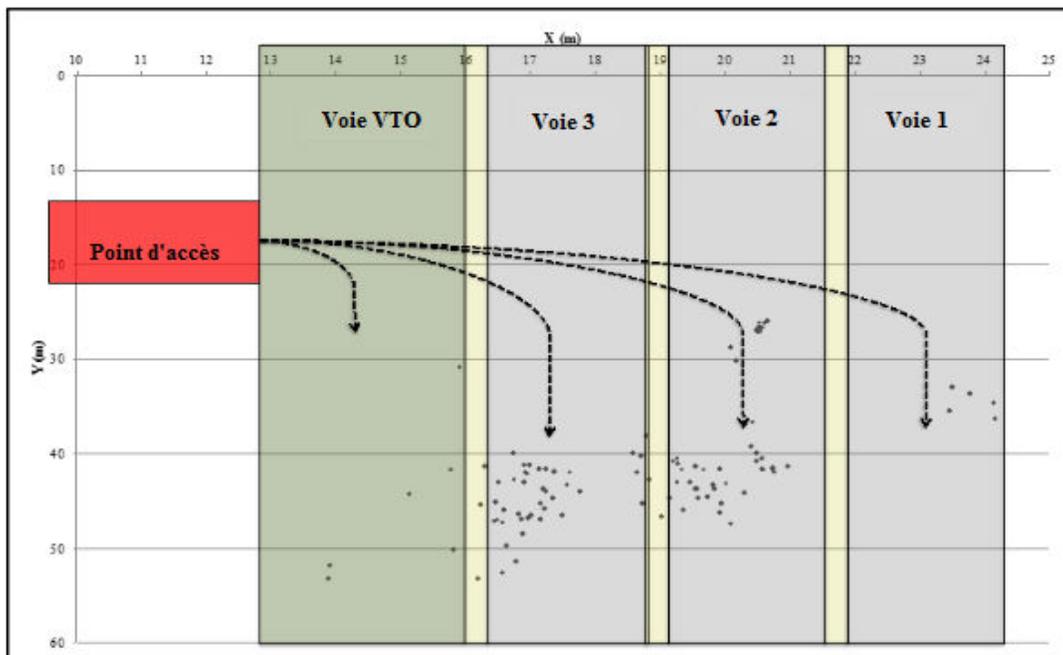


Figure 40. Dispersion des emplacements de TTC sur les voies de circulation

Les véhicules circulent vers l'aval par rapport à la position de la caméra. Puisque les véhicules ne sont pas autorisés à entrer dans la voie réservée, ils doivent théoriquement accéder à l'artère par les voies 3, 2 et 1, respectivement. Toutefois, les données vidéo indiquent que plusieurs véhicules entrent par la voie réservée avant de rejoindre la voie de circulation générale plus loin en aval. Ce mouvement d'entrée est reflété dans la Figure 40, basée sur les points de collision se produisant entre les voies 4 et 3. De plus, les points de collision en aval du point d'accès sont principalement regroupés entre les voies 3 et 2. Ces constatations corroborent l'hypothèse selon laquelle la plupart des véhicules entrent par les voies 3 ou 2 et croisent la trajectoire projetée des véhicules vers l'aval. L'emplacement général des points de collision corrobore également la théorie selon laquelle le point d'accès représente un problème de sécurité, puisque presque toutes les occurrences se produisent en aval de ce point.

5.3.2 Montréal/Laval (A-15)

Le retrait temporaire d'une restriction visant les VTO sur l'autoroute 15 a permis une analyse de type avant-après, pour évaluer les répercussions des voies réservées aux VTO sur les opérations de circulation. Entre août et novembre 2013, la voie réservée aux VTO, normalement en service pendant les heures de pointe de semaine, a été retirée en raison de la construction d'un viaduc croisant l'autoroute. La construction n'a en rien affecté la géométrie du segment autoroutier. L'autoroute continue d'exploiter les quatre voies en direction nord comme voies de circulation générale durant les périodes de pointe de l'après-midi vers le nord. En somme, pendant environ trois mois, le segment de l'A-15 est redevenu une voie non réservée aux VTO. Puisque la voie

Rapport final – R706.1

réservée aux VTO de l'A-15 est à accès continu et séparée par des lignes doubles discontinues, le segment de l'autoroute est semblable à une autoroute typique à quatre voies.

5.3.2.1 Analyse avant-après des voies réservées aux véhicules à taux d'occupation élevée

Viaduc Henri-Bourassa

Ce site est situé tout juste au nord de l'échangeur entre l'A-40 et l'A-15, au commencement de la voie réservée aux VTO. Grâce à la présence d'un viaduc au-dessus de l'A-15, le système d'enregistrement vidéo peut être accroché directement au-dessus des véhicules et offrir ainsi d'excellentes séquences vidéo de l'autoroute entière pour le logiciel de suivi. La limite de vitesse sur cette section est établie à un maximum de 100 km/h et à un minimum de 60 km/h. De plus, le site est situé tout juste avant une entrée sur l'autoroute, comme on peut le voir sur l'image satellite présentée à la Figure 41.

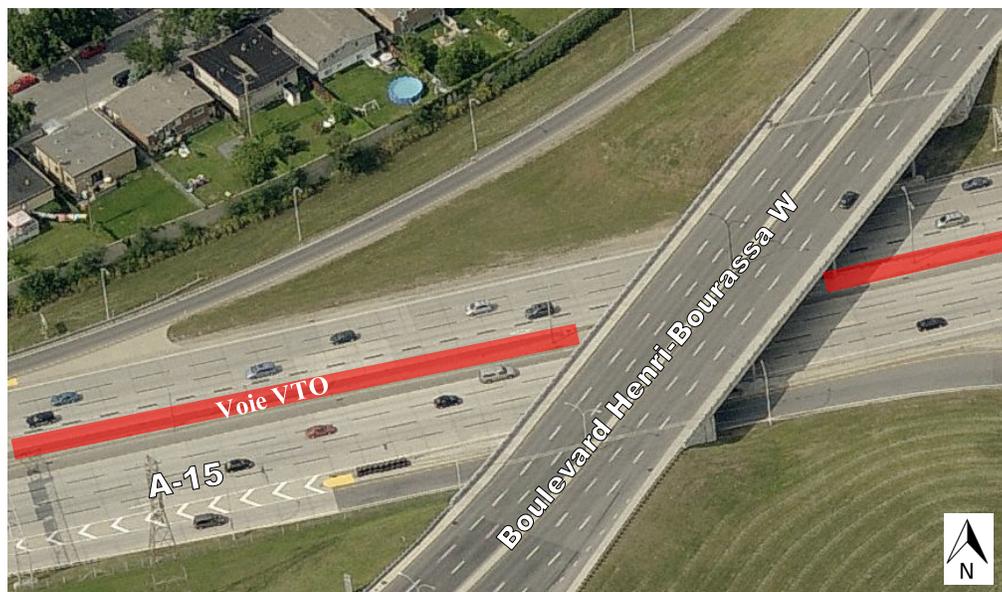


Figure 41. Vue du viaduc Henri-Bourassa à A-15

Viaduc du boulevard du Souvenir

Le second site est situé à environ 5 km au nord du Boulevard Henri-Bourassa, tout juste au sud de l'échangeur entre l'A-40 et l'A-15 à Laval, là où prend fin la voie réservée aux VTO. Le viaduc croisant l'autoroute a également été utilisé comme structure de fixation pour le système d'enregistrement, la caméra étant ainsi directement installée au-dessus des quatre voies de circulation, avec vue vers l'aval. La limite de vitesse pour ce segment était également située entre 60 km/h et 100 km/h. La Figure 42 présente une vue aérienne du site, avec l'emplacement du système d'enregistrement.

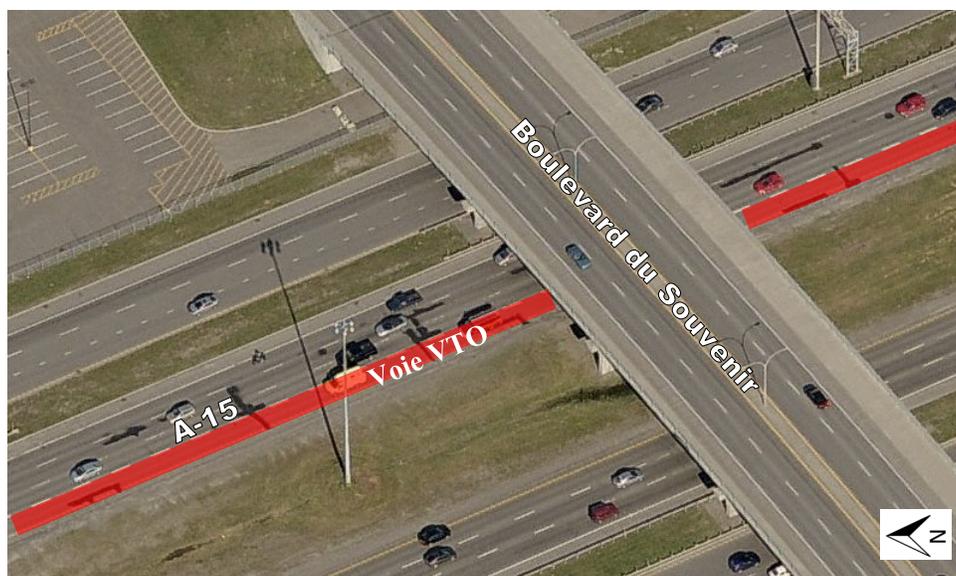


Figure 42. Vue du viaduc Souvenir à A-15

Afin de comparer adéquatement les données vidéo de l'autoroute avant et après, les données ont été recueillies entre 15 h et 17 h les jours de semaine. Cette période a été choisie pour deux raisons : (a) puisque la voie réservée aux VTO est en service entre 15 h et 17 h, et (b) afin d'avoir le plus de lumière naturelle possible durant la collecte de données pour les deux périodes de collecte, puisqu'une collecte de données de soir n'est pas aussi efficace pour ce qui est des capacités de suivi du logiciel. Des données vidéo ont été colligées à trois occasions différentes, sur les deux sites, pour des périodes de collecte de données avant et après, pour atteindre 24 heures de séquences vidéo aux heures de pointe sur l'autoroute 15.

Les seules données qui ont été colligées manuellement durant l'étude portaient sur les taux de non-conformité dans la voie réservée aux VTO. Durant les heures d'exploitation, la voie réservée aux VTO est accessible aux véhicules transportant deux passagers ou plus. Bien qu'il existe des technologies permettant de déterminer les taux d'occupation des véhicules, elles n'entraient pas dans la portée de l'étude. Les taux d'occupation ont donc été recueillis manuellement, depuis le viaduc, durant les périodes de collecte vidéo. Il est important de noter que la collecte manuelle a été menée avec la plus haute discrétion afin de réduire au minimum les modifications de comportement sur ce segment autoroutier.

Les données recueillies ont été traitées à l'aide du logiciel de suivi Trafic Intelligence décrit plus haut. Afin de comparer avec précision le rendement de l'autoroute entre les deux périodes de collecte, les vidéos ont été combinées puis découpées en segments de dix minutes. Cette méthode a permis une meilleure résolution des résultats en matière de volumes et de vitesses. Afin de découper les données de circulation en voies individuelles, des masques ont été appliqués aux images vidéo avant le processus de suivi des caractéristiques. Un masque est un filtre qui oblige

Rapport final – R706.1

le logiciel à n'analyser que les données situées au sein d'une zone sélectionnée de l'image vidéo. La Figure 43 montre une image vidéo et son masque de voie respectif (Figure 44) pour la troisième voie en direction nord.



Figure 43. Exemple d'image vidéo de A-15

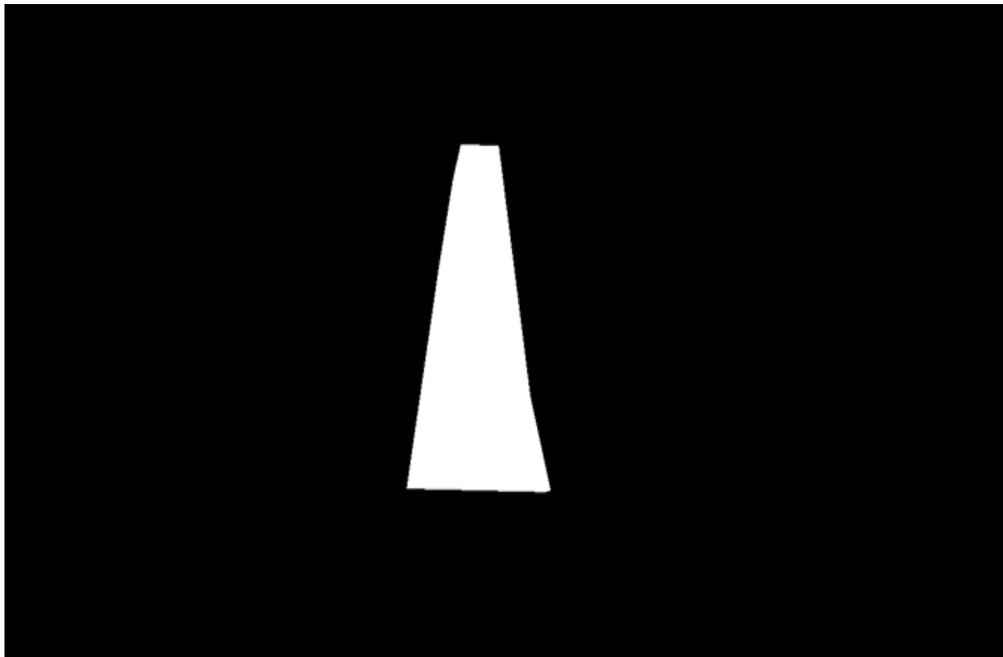


Figure 44. Image de masque appliquée sur la deuxième voie de A-15

Une fois les masques appliqués à la vidéo, l'algorithme de suivi des caractéristiques traite l'ensemble de la vidéo. Les volumes et les vitesses qui en résultent sont stockés pour des analyses ultérieures. Les débits de circulation ont été corrigés manuellement en comptant les véhicules sur

Rapport final – R706.1

des vidéos choisies de façon aléatoire, puis en comparant les résultats aux valeurs calculées automatiquement. De façon générale, les volumes ont été surestimés de 5 % pour les deux sites et ont été ajustés en conséquence. Pour ce qui est des vitesses, l'orientation parallèle de l'enregistrement a donné des marges d'erreur acceptables. De plus, puisque les vitesses sont évaluées de façon relative les unes par rapport aux autres, une surestimation n'aurait aucun impact.

Les mesures suivantes sont utilisées dans l'analyse pour évaluer de façon exhaustive la sécurité et le rendement de la voie réservée aux VTO.

- Vitesse moyenne par voie :

La vitesse moyenne par voie est agrégée sur des périodes de dix minutes pour chacune des quatre voies du segment autoroutier. Les vitesses sont calculées en utilisant les trajectoires recueillies grâce à Trafic Intelligence.

- Débit horaire moyen par voie

Les débits horaires sont calculés en étendant les volumes par voie agrégés sur des périodes de dix minutes. Les taux de débits horaires à intervalles de dix minutes permettent une résolution plus précise des données.

- Temps de déplacement

Le temps de déplacement est calculé en mesurant la distance entre les deux sites (5,2 km) et en appliquant la vitesse moyenne par voie pour déterminer le temps moyen de déplacement sur le segment, en minutes.

- Taux de non-conformité

Les taux de non-conformité sont calculés en divisant le nombre de conducteurs non conformes observés sur une période de temps déterminée par le débit total de véhicules dans la voie réservée aux VTO. Les données ont été colligées manuellement depuis le bas-côté sur des périodes de dix minutes.

Les valeurs de volume, de vitesse et de non-conformité pour les deux sites sur la voie réservée aux VTO de l'A-15 sont présentées dans la section suivante.

Rapport final – R706.1

Analyse pour le viaduc Henri-Bourassa

Les chiffres suivants présentent les modifications de débits et de vitesse des véhicules par rapport au temps par voie par heure sur le site Henri-Bourassa.

- **A. Période de collecte sans voie réservée aux véhicules à taux d'occupation élevée**

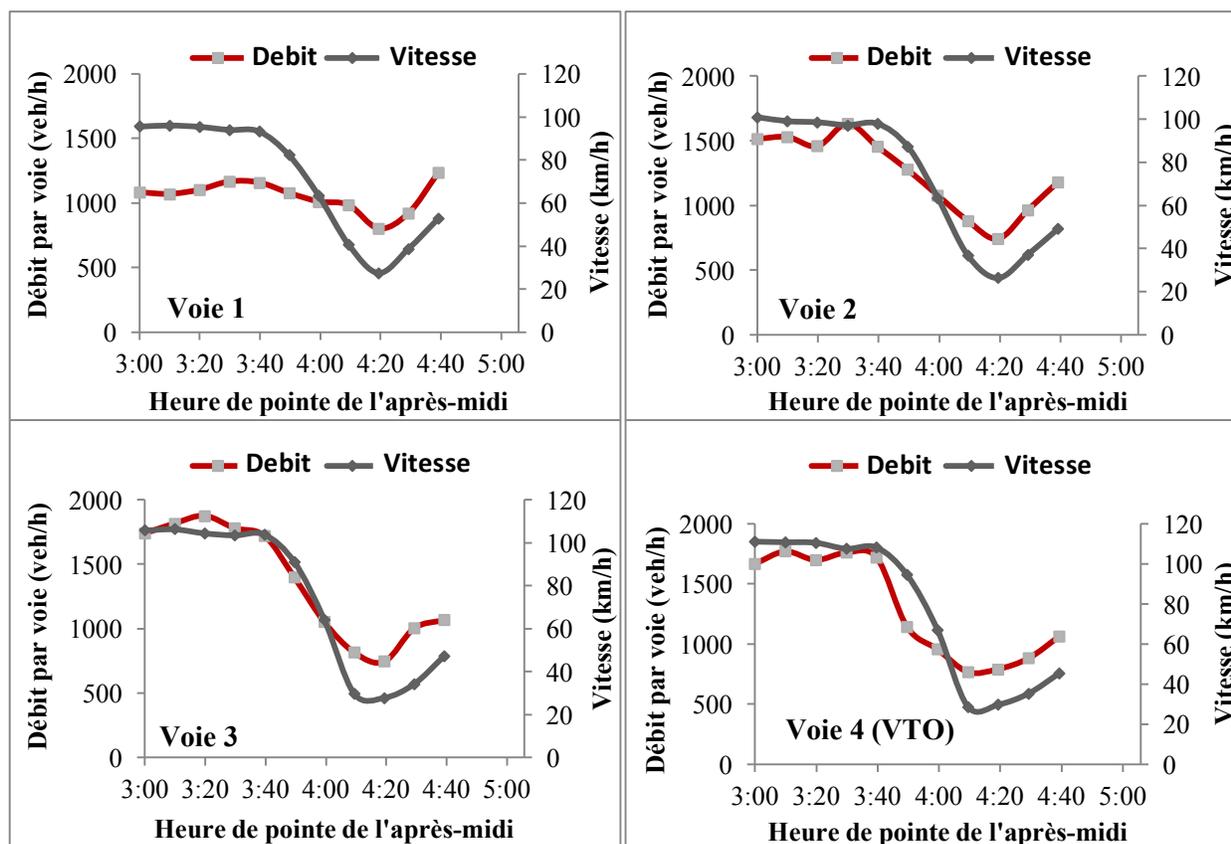


Figure 45. Vitesse et débit par voie (voie VTO inactif)

Tableau 3. Tableau récapitulatif du viaduc Henri-Bourassa (voie VTO inactif)

	Valeurs moyennes [<i>Écart type</i>]			
	Voie 1	Voie 2	Voie 3	Voie 4 (VTO)
Vitesse moyenne (km/h)	70.9 [26.9]	72.2 [29.8]	74.4 [33.9]	77.2 [36.2]
Débit horaire moyen	1055 [122]	1247 [299]	1364 [436]	1292 [428]
Temps de déplacement (min)	4.40	4.32	4.20	4.04

Rapport final – R706.1

La Figure 45 nous permet de conclure que l'autoroute 15 présente des problèmes typiques de congestion routière. Entre 15 h et 16 h, l'autoroute présente une vitesse maximale réalisable habituelle moyenne de l'ordre de 100 km/h, et un débit se situant entre 1 100 et 1 800 v/pv/h. Comme prévu, une croissance de la demande à partir de 16 h commence à faire baisser les vitesses maximales réalisables et à effectivement diminuer le débit. Les quatre voies de circulation présentent cette corrélation vitesse-débit et suivent la même tendance tout au long de la période de collecte de données.

De plus, le Tableau 3 présente la vitesse et le volume moyens sur toute la période de collecte pour Henri-Bourassa. En règle générale, la voie extérieure (voie 1) présente les vitesses les plus basses en raison des bretelles d'accès et de sortie. Puisque la voie intérieure est désignée comme voie de dépassement, les vitesses augmentent généralement lorsqu'un véhicule se déplace vers l'intérieur. Cette corrélation avec la vitesse s'observe au site Henri-Bourassa, où les vitesses augmentent progressivement entre la voie 1 et la voie 4. Les volumes suivent eux aussi la même tendance, ce qui confirme d'autant les résultats présentés à la Figure 45.

- **B. Période de collecte avec voie réservée aux véhicules à taux d'occupation élevée**

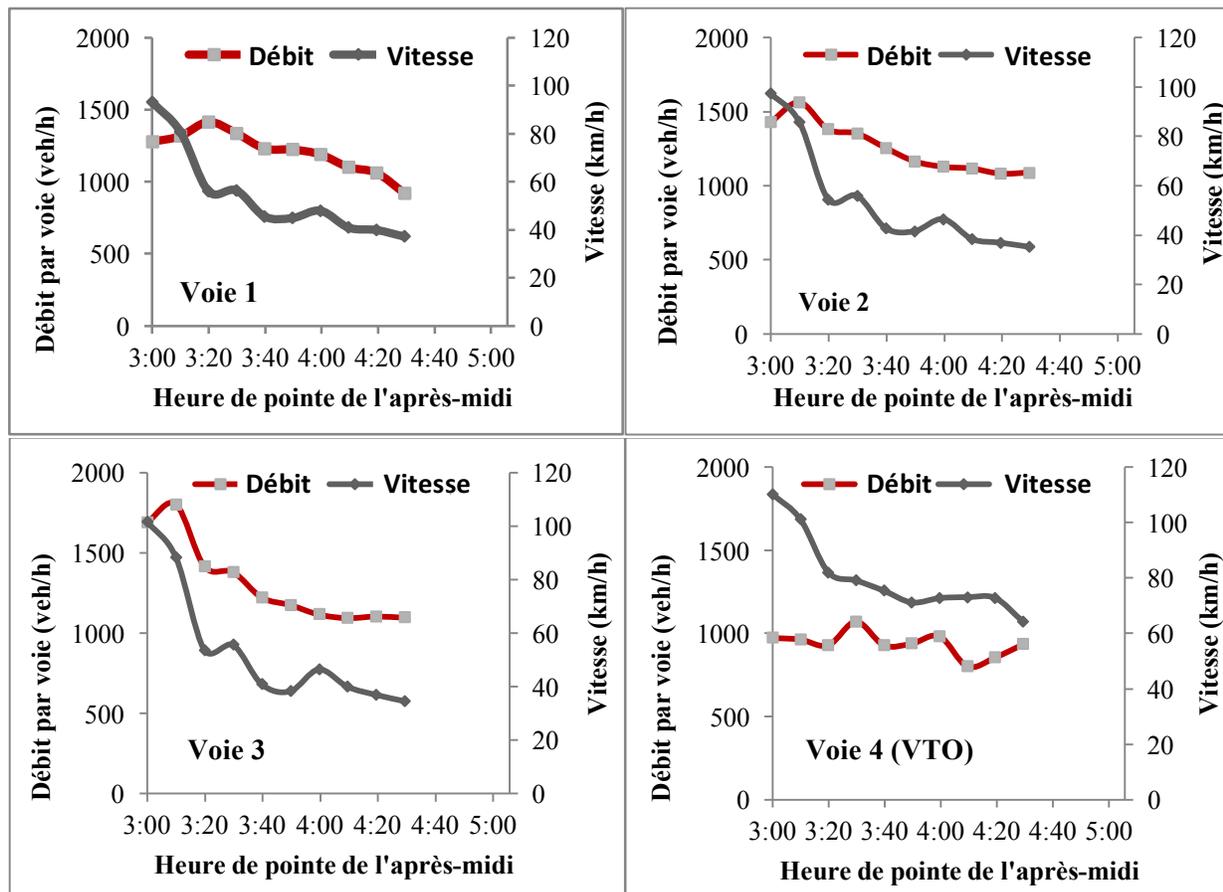


Figure 46. Vitesse et débit par voie au site Henri-Bourassa (voie VTO actif)

Rapport final – R706.1

Tableau 4. Tableau récapitulatif du viaduc Henri-Bourassa (voie VTO actif)

	Valeurs moyennes [<i>Écart type</i>]			
	Voie 1	Voie 2	Voie 3	Voie 4 (VTO)
Vitesse moyenne (km/h)	52.1 (19)	51.4 (21.4)	52.0 (22.6)	78.3 (15)
Débit horaire moyen	1201 (142)	1224 (190)	1277 (268)	934 (70.8)
Temps de déplacement (min)	5.99	6.07	6.00	3.98

La Figure 46 montre la corrélation entre les vitesses maximales réalisables et les débits sur l'A-15 lorsque la voie réservée aux VTO est en service. Les voies 1 et 3 présentent une corrélation similaire à celle remarquée lorsque la voie réservée aux VTO n'était pas en service. La voie réservée aux VTO est toutefois la seule qui semble présenter une corrélation différente. Sur toute la période de collecte, le débit et la vitesse ne sont pas affectés par leurs fluctuations dans la même mesure que les autres voies. Les données présentées dans le Tableau 4 indiquent également que la voie 4 (réservée aux VTO) ne peut être classée avec le reste de l'autoroute en raison d'une différence considérable de ses valeurs de vitesse moyenne et de volume horaire. Ces résultats laissent croire que la voie réservée aux VTO est plutôt sous-utilisée, et il est probable que la seule cause importante de la baisse observée de vitesse, passant de plus de 100 km/h à près de 70 km/h, soit simplement l'effet des véhicules entrant et sortant de la voie réservée lorsque les voies adjacentes sont lourdement congestionnées.

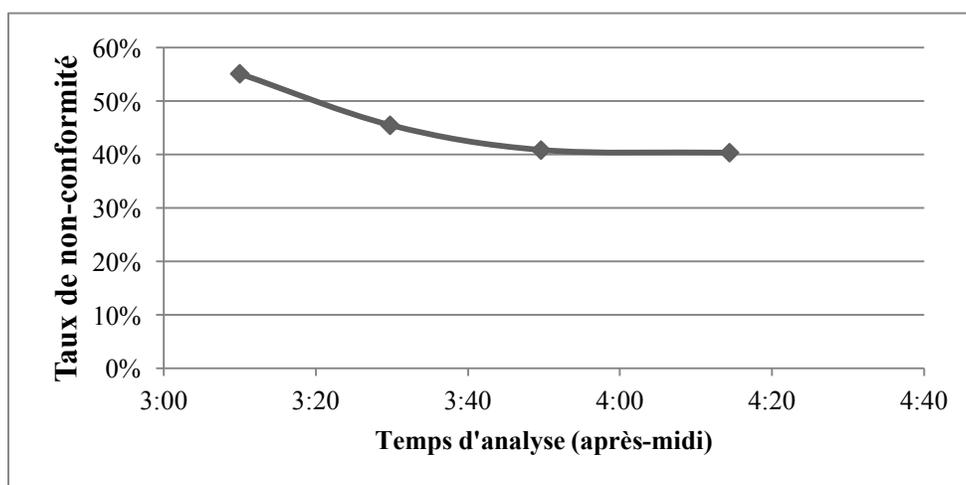


Figure 47. Taux de non-conformité au site Henri-Bourassa

Rapport final – R706.1

Les taux de non-conformité colligés manuellement sont présentés à la Figure 47. Un conducteur non conforme est défini comme conduisant un véhicule transportant moins de deux passagers dans la voie réservée aux VTO.

Analyse pour le viaduc du Souvenir

Les graphiques présentant les liens entre vitesse et débit sont présentés dans la section suivante, pour les périodes de collecte avant et après au site du viaduc du Souvenir.

Période de collecte sans voie réservée aux véhicules à taux d'occupation élevée

Le site du Souvenir présente la même tendance observée à Henri-Bourassa en ce qui a trait aux congestions routières et à l'évolution de la vitesse de la voie extérieure vers l'intérieur. De façon générale, les débits de circulation sont d'environ 20 % inférieurs à ceux du premier site, ce qui explique également les réductions moins importantes de débit et de vitesses maximales réalisables observées à la Figure 48 et au Tableau 5.

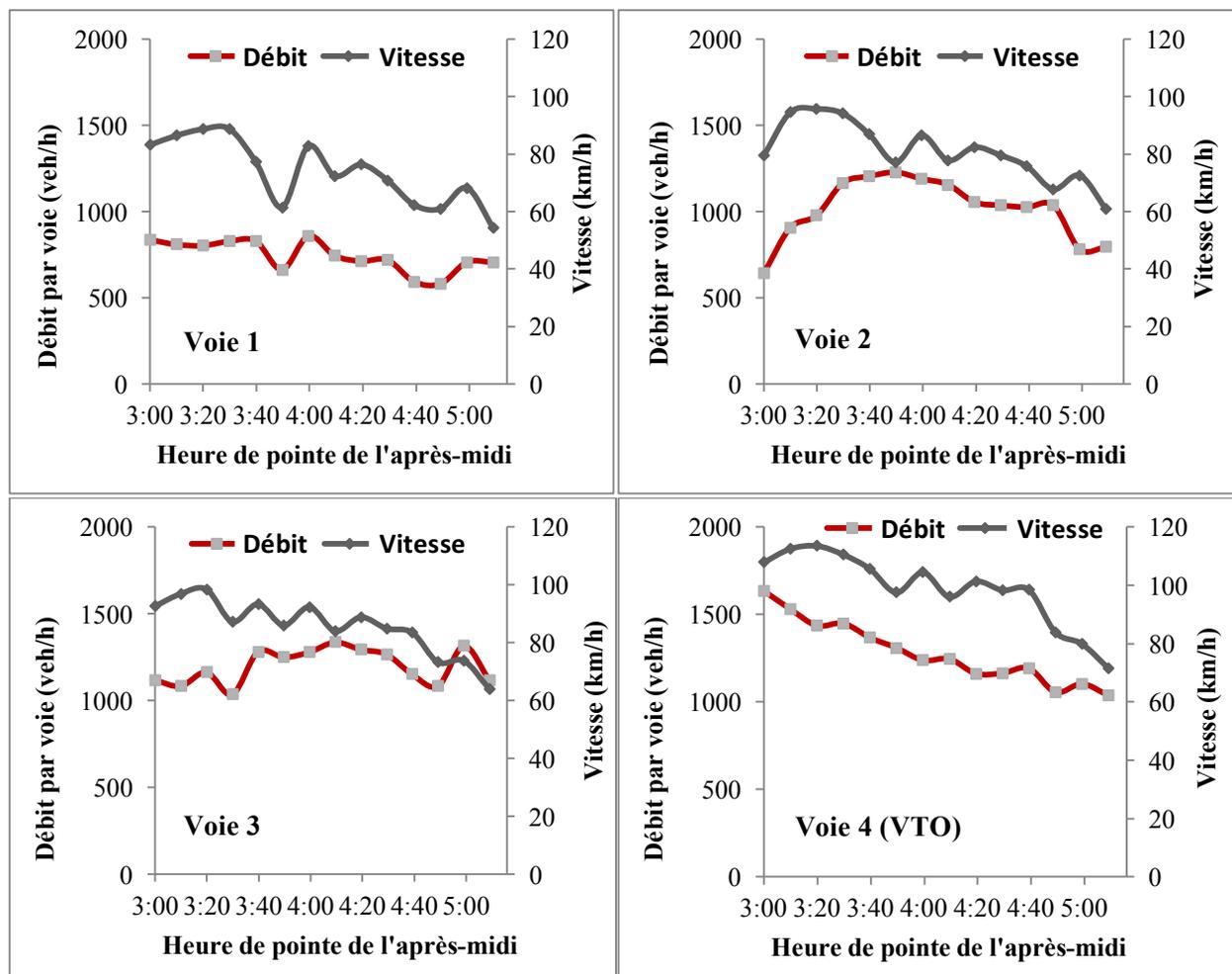


Figure 48. Vitesse et débit par voie au site Henri-Bourassa (voie VTO inactif)

Rapport final – R706.1

Tableau 5. Tableau récapitulatif du viaduc Souvenir (voie VTO inactif)

	Valeurs moyennes [<i>Écart type</i>]			
	Voie 1	Voie 2	Voie 3	Voie 4 (VTO)
Vitesse moyenne (km/h)	73.8 (11.4)	80.8 (10.2)	85.6 (9.7)	98.7 (12.53)
Débit horaire moyen	741 (90)	1013 (178)	1198 (101)	1279 (182)

Période de collecte avec voie réservée aux véhicules à taux d'occupation élevée

Les données recueillies au site du Souvenir lorsque la voie réservée aux VTO est en service (Figure 49) suivent également la tendance en matière de congestion routière entre 15 h et 17 h. La principale différence entre les deux périodes de collecte de données est la chute considérable du volume de circulation dans la voie réservée aux VTO (voie 1). Cette question est abordée en détail dans la section suivante de l'étude.

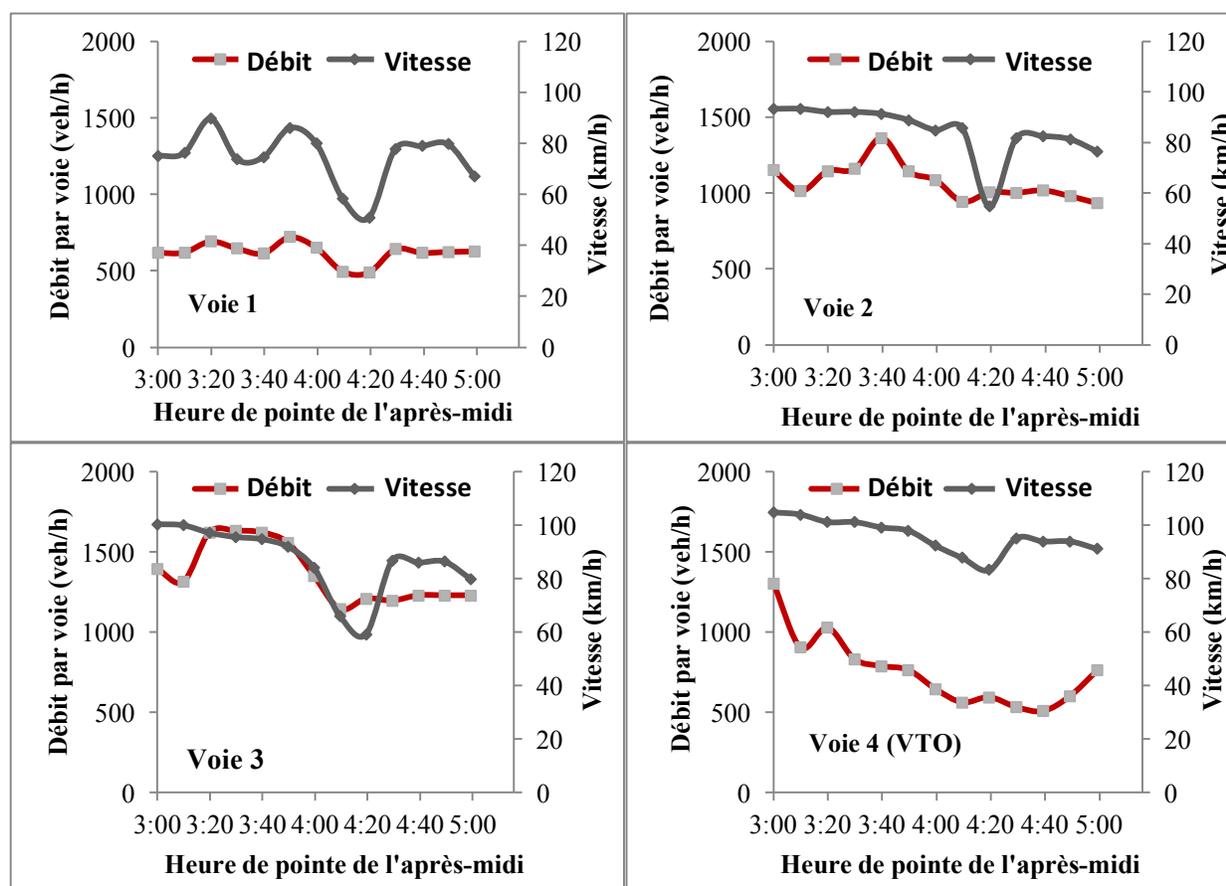


Figure 49. Vitesse et débit par voie au site Souvenir (voie VTO inactif)

Rapport final – R706.1

Tableau 6. Tableau récapitulatif du viaduc Souvenir (voie VTO actif)

	Valeurs moyennes [<i>Écart type</i>]			
	Voie 1	Voie 2	Voie 3	Voie 4 (VTO)
Vitesse moyenne (km/h)	75.1 (10.5)	85.1 (10.4)	87.4 (12.5)	96.3 (6.3)
Débit horaire moyen	619 (65)	1084 (118)	1375 (183)	755 (226)

Les taux de non-conformité présentés à la Figure 50 ont été colligés sur des périodes de dix minutes tout au long des séances de collecte de données, depuis le viaduc du Souvenir sur l'autoroute 15. Le taux moyen de non-conformité pour toute la période de collecte est d'environ 50 %, ce qui signifie que la moitié de tous les véhicules circulant sur la voie réservée transportait moins de deux passagers.

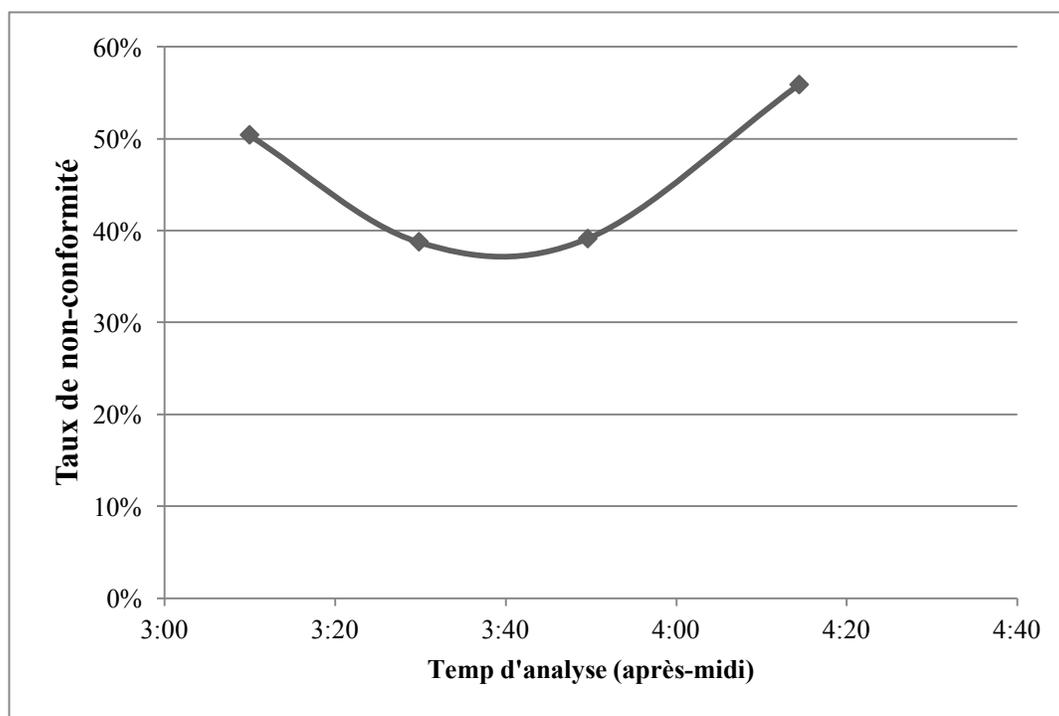


Figure 50. Taux de non-conformité au site Souvenir

5.3.2.2 Analyse de la sécurité de la voie réservée aux autobus en accotement

En tout, 12 heures de données vidéo ont été recueillies sur l'autoroute 15 à Laval, au Québec. L'A-15 est une autoroute urbaine typique affichant un très grand débit de circulation. À la différence des artères, les routes sont toujours situées séparément d'un côté et de l'autre de la

Rapport final – R706.1

route. Les conflits survenus n'impliquaient que des véhicules circulant dans la même direction. Sur l'A-15, la voie réservée en accotement commence et se termine à plusieurs endroits, où les autobus interrompent le mouvement continu des véhicules généraux (voir par exemple la Figure 51). Le délai nécessaire pour qu'un autobus sorte de sa voie en accotement est montré au Tableau 7.

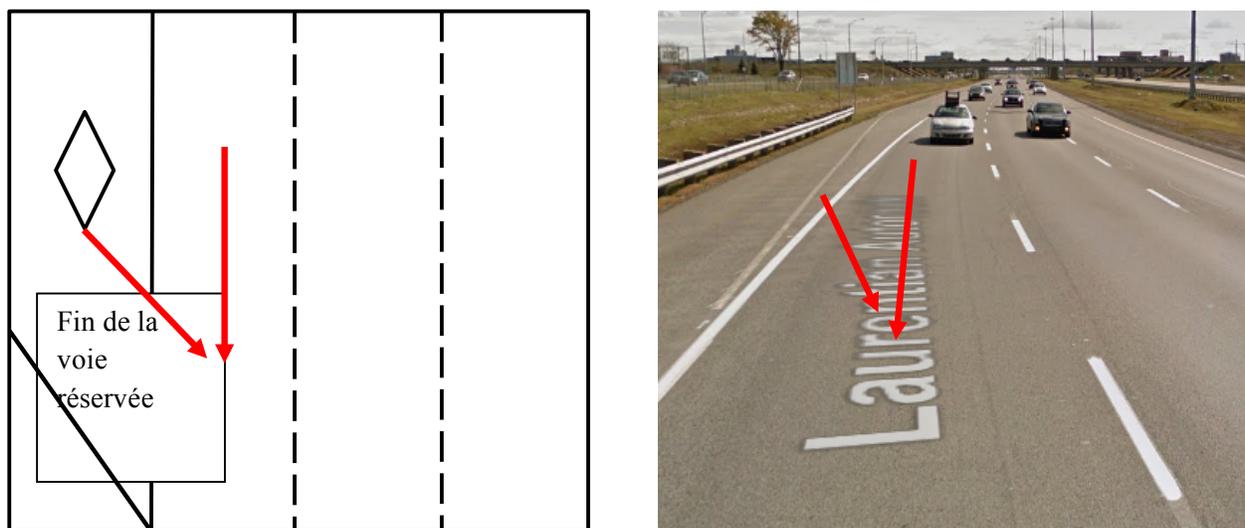


Figure 51. Points de conflit le long de voie BoS sur A15

Tableau 7. Écart de temps pour les autobus entrant de la voie de la BoS à Laval

Nombre d'autobus	Écart de temps minimal	Écart de temps maximal	Écart de temps moyen
89	3 sec	8 sec	4.6 sec

Les retards avant que les autobus ne rejoignent la voie de circulation générale ont été traités à partir des 12 heures totales de données vidéo. Les résultats montrent que la valeur moyenne est d'environ 4 et 5 secondes. Ce résultat est considérablement plus bas que le retard sur la zone d'étude de la Route 116 (Lévis, Québec), surtout en raison de la séparation des directions et de la vitesse plus élevée sur l'autoroute par rapport à celle d'artères contrôlées par des feux de circulation. Ces résultats confirment la conclusion intuitive voulant qu'une amélioration de sécurité nécessite de traiter différemment les différents types de voie réservée. Le Tableau 8 montre le débit de véhicules sur la voie réservée aux autobus.

Tableau 8. Débits de véhicules sur la voie BoS au Laval

Nombre de véhicules	Débit moyen (12 h)	Débit horaire maximal
21473 veh	1534 veh/h	1740 veh/h

5.3.3 Lévis (route 116)

La zone d'étude utilisée dans l'étape finale du projet est un segment de la route 116, une route de banlieue qui traverse la région de Lévis, au Québec. Des évaluations de la sécurité et d'opérations de circulation ont été menées à un endroit précis du segment de l'artère à quatre voies, d'orientation est-ouest, comptant une voie réservée et une voie de circulation générale dans chaque direction. La voie réservée en direction est autorise les autobus et les véhicules transportant trois passagers ou plus. La voie réservée en direction ouest n'autorise que les autobus. La proximité du terminus de transport en commun (d'autobus) représente un risque potentiel en matière de sécurité routière. La conception actuelle de l'installation fait en sorte que les autobus en direction ouest qui arrivent au terminus doivent traverser les quatre voies de la route où se côtoient les deux directions. Le terminus est à environ 100 mètres à l'est de l'intersection avec la rue des Perce-Neige, dont la circulation, durant les heures de congestion, déborde sur le chemin emprunté par les autobus pour entrer et sortir du terminus. De plus, entre le terminus et l'intersection se trouve un stationnement incitatif (principalement utilisé par les usagers du transport en commun). Les autobus accèdent au terminus depuis les deux directions par l'entrée ouest du terminus, et leurs manœuvres de sortie se font par l'entrée est, pour les deux directions. La Figure 52 montre la trajectoire des autobus utilisant le terminus, ainsi que la proximité du stationnement de près de 100 places.

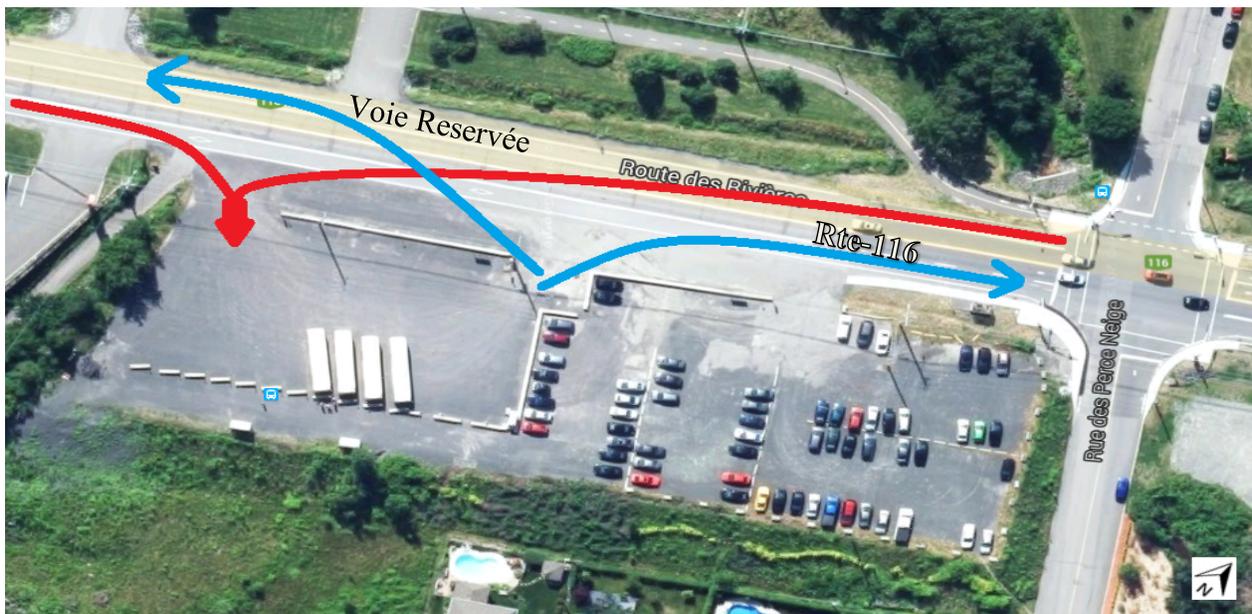


Figure 52. Chemins de véhicule à la station terminus et au stationnement de banlieue

5.3.3.1 Collecte et traitement de données

Plusieurs voyages ont été faits pour colliger des données de circulation sur ce site, en avril 2014, juin 2015 et septembre 2015. Parmi les données vidéo de circulation montrant les véhicules entrant dans le terminus, accédant au stationnement incitatif et circulant sur la route 116, les

Rapport final – R706.1

quatre heures les plus fiables ont été utilisées pour l'analyse finale du présent rapport. Les flux vidéo de circulation ont été recueillis par des caméras vidéo HD GoPro installées au sommet de mâts télescopiques, montées sur les infrastructures adjacentes disponibles à proximité du terminus et du stationnement. Les périodes de pointe du matin et de l'après-midi ont toutes deux été enregistrées. Toutefois, l'évaluation préliminaire des interactions véhiculaires de circulation a montré que la circulation de pointe en après-midi était celle dont les dynamiques étaient les plus importantes, tant sur le plan des opérations de circulation que sur celui de la sécurité. Les caméras 1 et 2 ont été installées au même endroit, avec des vues opposées. Les orientations de ces deux caméras ont été ajustées de façon à saisir la circulation est-ouest interagissant avec les points d'entrée et de sortie du terminus d'autobus. La caméra 3 a été installée à proximité de la barrière d'entrée et de sortie du stationnement incitatif, afin de saisir les interactions entre la circulation sur la route principale et les véhicules entrant et sortant du stationnement. La Figure 53 montre l'emplacement et la portée de la couverture visuelle des caméras.

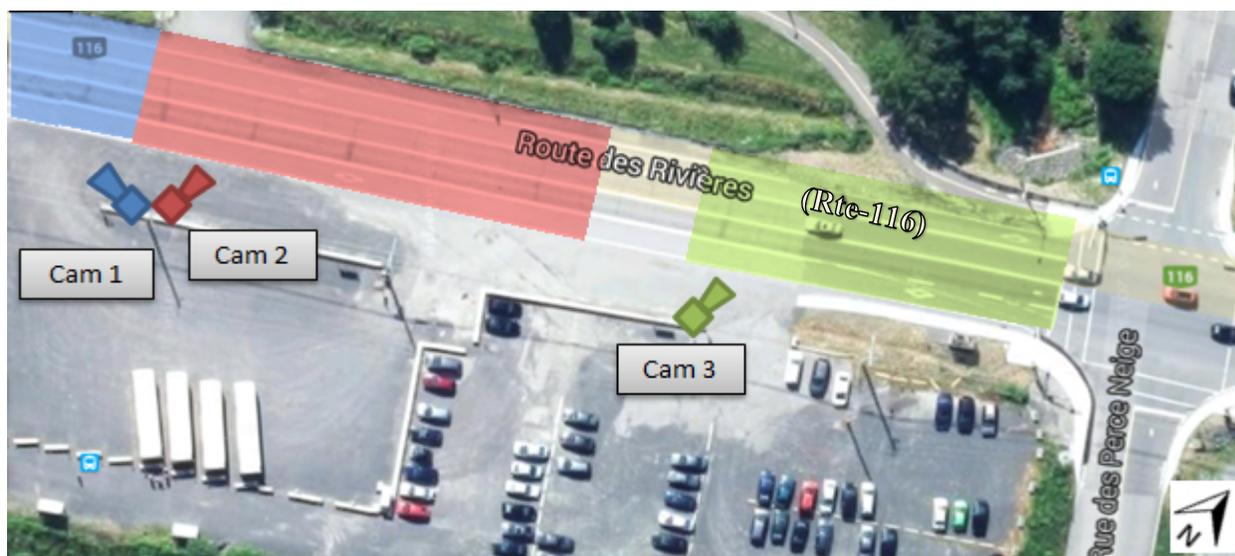


Figure 53. Emplacements de caméra et couvertures visuelles à la zone d'étude

Comme l'installation des caméras a été faite de façon séquentielle, et afin de synchroniser le passage des véhicules à travers les trois zones d'enregistrement, les fichiers vidéo enregistrés par chaque caméra ont été combinés puis réduits à environ 3,5 heures de période de pointe d'après-midi, de 14 h 30 à 18 h.

Un véhicule-sonde a été conduit plusieurs fois le long des segments à l'étude, à une vitesse constante choisie aléatoirement. Les valeurs de vitesse connues ont été utilisées pour étalonner le logiciel de post-traitement de mesure de détection de la vitesse, à savoir Trafic Intelligence, qui a également été utilisé sur les sites d'enquête précédents.

Rapport final – R706.1

Tableau 9. Débits mesurés pendant l'heure de pointe (16:30 - 17:30)

Time	Nombre de véhicules							
	En direction ouest				En direction est			
	Auto	Bus	Camions	VTO	Car	Bus	Camions	VTO
4: 30 pm - 4: 35 pm	48	1	1		36	1		2
4: 35 pm - 4: 40 pm	69	1		1	27		1	2
4: 40 pm - 4: 45 pm	72	1		1	22	1	1	3
4: 45 pm - 4: 50 pm	62				27			5
4: 50 pm - 4: 55 pm	48	6	1		50			1
4: 55 pm - 5: 00 pm	38	2		2	25			2
5: 00 pm - 5: 05 pm	64	1	1		24	2		4
5: 05 pm - 5: 10 pm	52				26	1		2
5: 10 pm - 5: 15 pm	53	2		1	24		1	4
5: 15 pm - 5: 20 pm	63	2			20			8
5: 20 pm - 5: 25 pm	43			2	26			1
5: 25 pm - 5: 30 pm	51				31		1	2
Total	663	16	3	7	338	5	4	36

Tableau 10. Accès et sortie des véhicules de 16 h 30 à 17 h 30

Time	Nombre de véhicules							
	En direction ouest				En direction est			
	Bus		Stationnement		Bus		Stationnement	
	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie
4: 30 pm - 4: 35 pm		1		8	1		1	2
4: 35 pm - 4: 40 pm		3		2				
4: 40 pm - 4: 45 pm								
4: 45 pm - 4: 50 pm	1	1			1			1
4: 50 pm - 4: 55 pm	1	1		3				
4: 55 pm - 5: 00 pm	1				2			2
5: 00 pm - 5: 05 pm	2	1		17		1		9
5: 05 pm - 5: 10 pm				3		1		2
5: 10 pm - 5: 15 pm		3		1				
5: 15 pm - 5: 20 pm	1			1			3	
5: 20 pm - 5: 25 pm		1		1	1			1
5: 25 pm - 5: 30 pm	4	3		1	2	1		1
Total	10	14	0	37	7	3	4	18

Le cycle fixe de 88 secondes des feux de circulation de la route 116 à l'intersection adjacente (c'est-à-dire 40 secondes pour le rouge, 40 secondes pour le vert et 4 secondes pour le jaune) a également été enregistré et utilisé dans le modèle de simulation de la zone d'étude.

Rapport final – R706.1

La répartition des débits et des vitesses a été estimée grâce à un traitement des enregistrements vidéo, afin de construire un modèle adéquat de simulation de la zone d'étude. Tout comme pour les études précédentes, une validation manuelle des résultats a été effectuée afin de s'assurer de l'exactitude de la détection vidéo automatisée.

Dans ce cas-ci, les fichiers vidéo de chaque caméra ont été traités par tranches de cinq minutes afin de déterminer la répartition des débits de circulation durant la période d'analyse. Les enregistrements de la caméra 1 ont été utilisés pour évaluer le débit des autobus accédant au terminus depuis les deux directions. Les enregistrements de la caméra 2 ont été utilisés pour déterminer le débit de la circulation ouest-est de la route, ainsi que le flux de sortie des autobus quittant le terminus. Les enregistrements traités à partir de la caméra 3 ont été utilisés pour évaluer les interactions entre les véhicules accédant au stationnement incitatif et le débit de véhicules sur la route.

Les données de toute la période d'après-midi ont été utilisées pour déterminer qu'entre 16 h 30 et 17 h 30, le débit horaire de circulation en direction ouest et en direction est atteignait son point culminant. Durant cette heure de pointe, le volume de circulation en direction ouest était environ deux fois plus élevé que celui en direction est. À cette même heure, il est également apparu que les autobus utilisant le terminus faisaient davantage de manœuvres d'entrée et de sortie. Le Tableau 9 et le Tableau 10 présentent une classification de la circulation en direction ouest et est sur la route, ainsi que la répartition des entrées et sorties des autobus utilisant le terminus durant la période de pointe située entre 16 h 30 et 17 h 30. Le volume de circulation de ces deux tableaux distingue quatre types d'utilisateurs, soit les voitures transportant des passagers (sur la voie de circulation générale), les autobus, les camions (véhicules lourds) et les usagers de la voie réservée. Cette séparation du débit de circulation était nécessaire pour modéliser de façon fiable les interactions des véhicules dans le modèle de simulation de la circulation construit dans VISSIM (les véhicules de différents types ont des comportements différents en matière d'accélération, d'espacement minimal entre les véhicules, etc.)

Il vaut la peine de souligner qu'aucune voiture n'a été observée entrant dans le stationnement à partir de la direction ouest durant l'heure de pointe de l'après-midi, alors que 37 véhicules sont sortis du stationnement pour aller en direction ouest, soit un volume élevé. En d'autres mots, la plupart des usagers du stationnement incitatif accèdent à l'installation par l'ouest (c'est-à-dire en se déplaçant vers l'est en direction de la ville de Québec) le matin, et partent du stationnement en se dirigeant vers l'ouest en après-midi. Un comportement d'utilisation similaire a été observé durant les trois séances de collecte de données. Bien que la grande majorité du stationnement soit remplie le matin par les mêmes usagers, il y a moins d'interactions routières le matin, d'une part parce que les arrivées sont espacées, et d'autre part parce que le volume de circulation est moins élevé. Ces observations ont été utilisées pour justifier la décision de n'évaluer la sécurité routière que durant la période la plus lourde, soit celle de l'heure de pointe de l'après-midi.

Rapport final – R706.1



Figure 54. Traitement de vidéos avant utilisation du logiciel de détection de vitesse

Comme dans les autres études de cas, le logiciel libre *Traffic Intelligence* a été utilisé pour mesurer la vitesse des véhicules. La vidéo de l'heure de pointe enregistrée par la caméra 1 a été utilisée pour déterminer la mesure de la vitesse des véhicules sur la route. Les images vidéo ont été prétraitées (sans distorsion) avant d'exécuter le programme pour les mesures de vitesse, parce que les nombreuses fonctions en matière de champ de vision des caméras utilisées incluaient également un effet œil de poisson. La Figure 54 présente une comparaison d'un échantillon d'image vidéo avant et après avoir enlevé la distorsion.

Les trajectoires des véhicules ont été détectées grâce à l'algorithme de suivi du logiciel d'analyse vidéo (Coifman et al., 1999; Saunier et al., 2006). Une image vidéo sans distorsion et la photographie aérienne lui correspondant, à échelle connue, ont été utilisées dans l'algorithme pour générer les trajectoires individuelles de chaque véhicule en mouvement. Les données de trajectoire ont été entrées dans la base de données pour analyse de la vitesse. L'étalonnage du logiciel d'analyse vidéo a été fait grâce à différentes images masquées pour filtrer les ombres des véhicules en mouvement, jusqu'à ce que les vitesses mesurées par le véhicule-sonde soient identiques aux valeurs observées. Après avoir étalonné le logiciel d'analyse vidéo, les répartitions de vitesse des véhicules en direction ouest et est ont été enregistrées toutes les cinq minutes et entrées dans les paramètres de la simulation. Les répartitions combinées de vitesse des véhicules en direction ouest et est durant la principale heure de pointe ont également été enregistrées, et sont présentées à la Figure 55. Cette information est nécessaire pour modéliser de façon plus réaliste les vitesses de déplacement dans le simulateur microscopique de circulation, étant donné que la limite de vitesse affichée à cet endroit est de 50 km/h (et on constate par exemple que 80 % des conducteurs voyagent à 65 km/h ou plus).

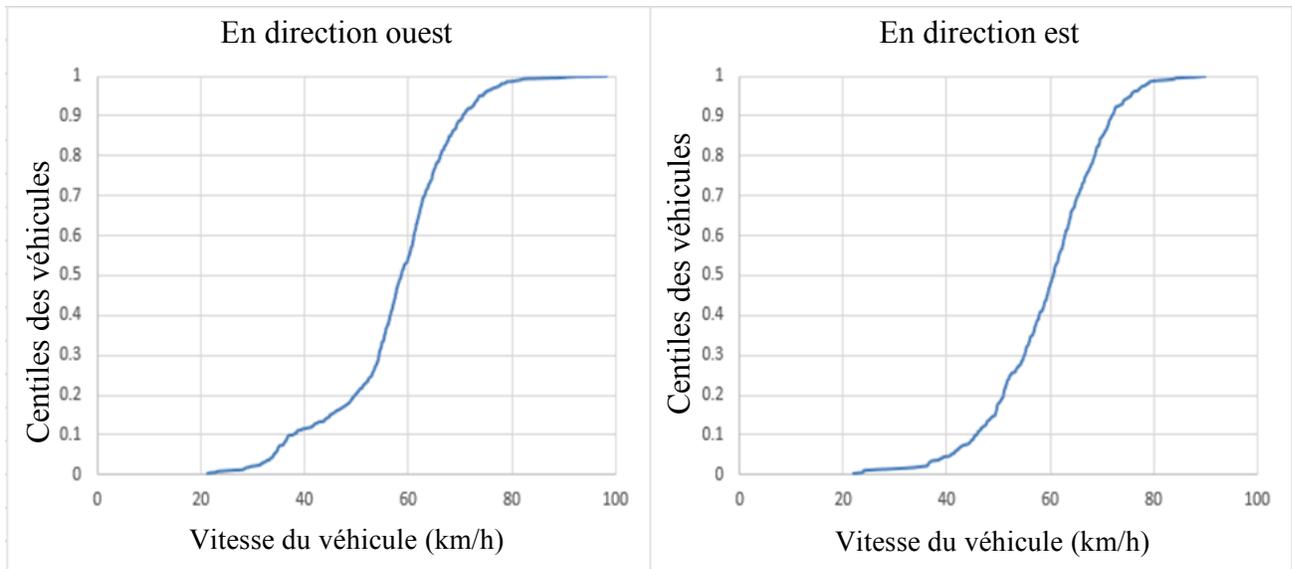


Figure 55. Les distributions de vitesse en direction ouest et en direction est sur la route principale pendant l'heure de pointe (16 :30 – 17 :30)

5.3.3.2 Étalonnage de l'outil de microsimulation VISSIM

Des données traitées liées aux opérations de circulation, à l'alignement géométrique et au contrôle des feux de circulation, ont été utilisées pour simuler la circulation à l'heure de pointe grâce à VISSIM et au simulateur de circulation microscopique. Les données sur le débit de circulation sur cinq minutes ainsi que les répartitions de vitesse des véhicules ont été entrées dans le simulateur pour recréer les comportements réels de conduite et les conditions réelles de circulation. VISSIM adopte un modèle de succession psychophysique des véhicules et un algorithme basé sur les règles afin de simuler respectivement les mouvements longitudinaux et latéraux du véhicule (Fellendorf et al., 2006). Les paramètres de la modélisation doivent être étalonnés de façon à reproduire des conditions routières spécifiques (Park et al., 2005). Le modèle de succession des véhicules Wiedemann 74 est suggéré dans le guide de l'utilisateur de VISSIM pour simuler les comportements de succession des véhicules sur les artères urbaines (PTV, 2006). Pour la présente étude, la répartition des intervalles intervéhiculaires observés depuis la caméra 1, près du terminus d'autobus, a été utilisée pour calibrer le modèle de succession des véhicules de VISSIM. Les intervalles intervéhiculaires observés sont présentés à la Figure 56. La simulation de l'intervalle intervéhiculaire a été générée en établissant des points de comptage dans le réseau VISSIM. Plusieurs paramètres du modèle de succession des véhicules (p. ex. la distance moyenne à l'arrêt, la partie additive de la distance de sécurité et la partie multiplicative de la distance de sécurité) ont été ajustés de façon à ce que le test du chi-carré comparant la répartition moyenne de l'intervalle simulé entre les véhicules de dix points de départ aléatoires différents de simulation et la répartition observée de l'intervalle donne une différence insignifiante, avec un niveau de confiance de 90 %.

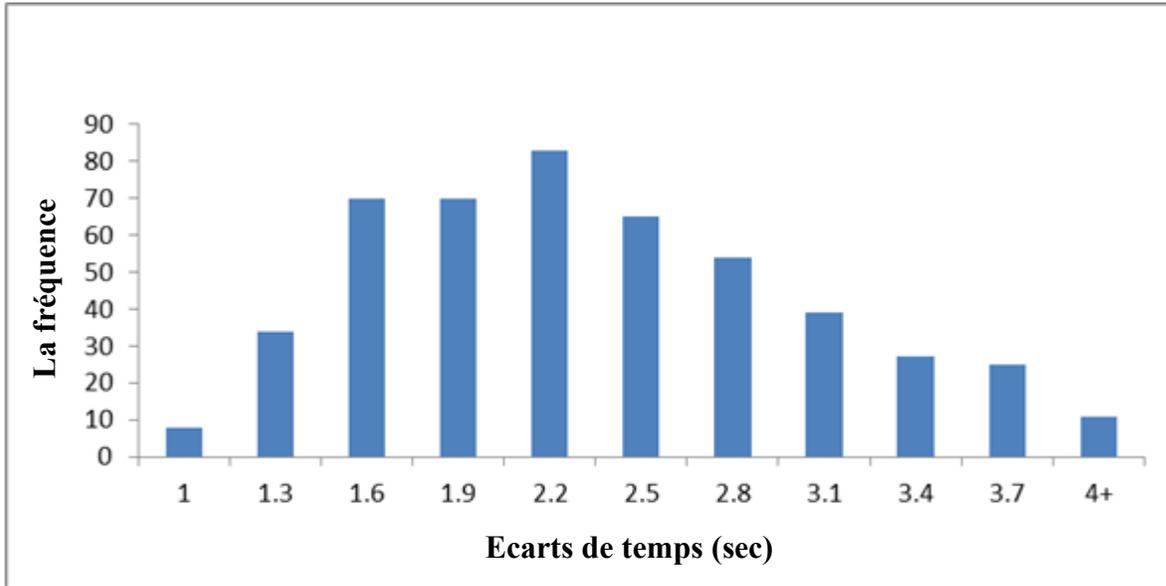


Figure 56. Ecarts de temps mesuré des véhicules en direction ouest

Le mouvement latéral des autobus, qui rejoignent la circulation générale depuis la voie réservée aux VTO et traversent la route jusqu'à ce qu'apparaisse un espace suffisant, a également été étalonné en ajustant les paramètres liés aux règles de priorité. Le temps minimal d'ouverture et la distance minimale entre les véhicules ont été établis respectivement à 6 secondes et à 20 mètres, des valeurs semblables à celles observées dans les enregistrements vidéo. La Figure 57 présente l'algorithme de priorité des véhicules dans VISSIM.

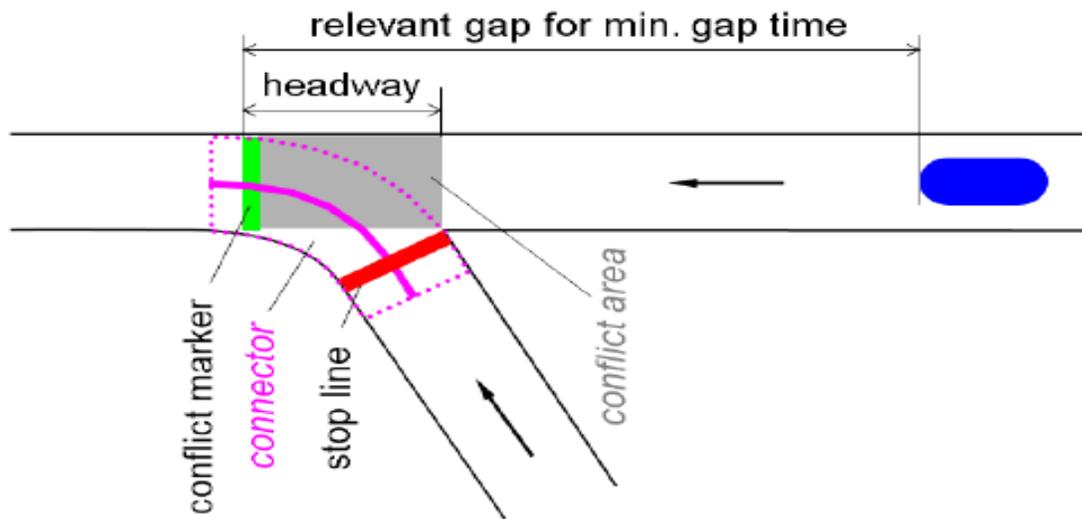


Figure 57. Algorithme de priorité au véhicules (Vissim, 2014)

5.3.3.3 Modélisation de configuration et de conditions de circulation existantes (*statu quo*)

La circulation en heure de pointe (entre 16 h 30 et 17 h 30) a été simulée à des fins d'analyse de la sécurité routière et d'opérations de circulation. La géométrie existante et la synchronisation des feux de circulation à l'intersection de la zone d'étude ont été entrées dans VISSIM pour modéliser le *statu quo*. La Figure 58 présente un instantané du modèle de simulation VISSIM, qui repose sur l'alignement géométrique existant et les conditions réelles d'opération de la circulation.

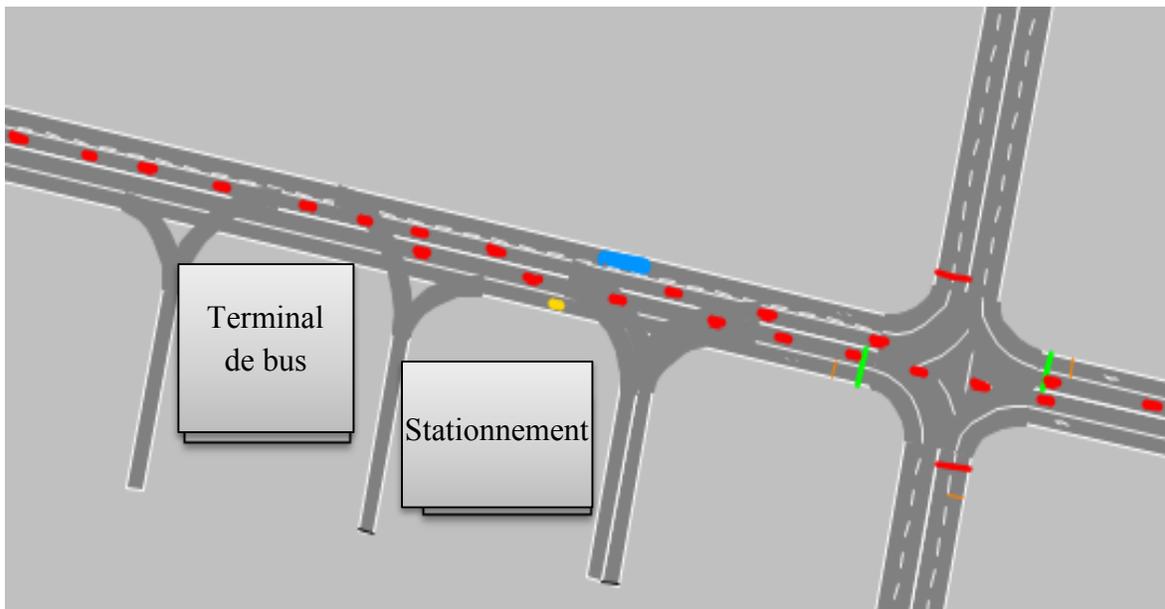


Figure 58. Le réseau *statu quo* modélisé en VISSIM

Le modèle de simulation utilisait les débits de circulation ainsi que les répartitions de vitesse observées, comme présenté dans la section sur la collecte de données. Similairement aux cas précédents, un échauffement avec des données de circulation sur cinq minutes était prévu avant la simulation complète d'une heure. Afin de compenser les effets de la variation stochastique des paramètres du modèle (les différents véhicules sont modélisés avec différentes distances avec le véhicule suivant, différentes vitesses à écoulement libre, etc.), dix points de départ aléatoires différents de simulation ont été utilisés, et les valeurs moyennes des résultats observés ont été conservées aux fins d'analyse. L'arrêt d'autobus situé près des intersections a été modélisé avec un temps d'arrêt aléatoire de 20 secondes.

Le modèle VISSIM a permis de mesurer le retard des véhicules pour trois types de mouvement, comme illustré dans la Figure 59, en utilisant l'outil de mesure du temps de déplacement des véhicules. Les retards ont été calculés pour le mouvement 1, qui représente la circulation vers l'ouest sur la voie de circulation générale; pour le mouvement 2, qui renvoie aux autobus en direction ouest qui entrent dans le terminus (donc les autobus venant de la voie réservée, passant

Rapport final – R706.1

dans la voie de circulation générale puis traversant les deux voies en direction est); pour le mouvement 3, qui représente les autobus en direction ouest qui sortent du terminus (donc les autobus traversant les quatre voies pour entrer sur la route). La Figure 59 illustre les mouvements mesurés. Des fichiers de trajectoire des véhicules (réseau supplémentaire sans règle de priorité) ont également été générés à des fins d'analyses ultérieures de conflit.

De plus, le même modèle de simulation a été utilisé pour évaluer l'incidence sur les opérations de circulation (p. ex. le retard moyen des véhicules), en supposant que le volume de la circulation augmentera dans l'avenir de 10 %, 20 % et 30 % par rapport aux valeurs actuelles. La même méthodologie a été appliquée aux trois scénarios de volumes de demande – dix simulations ont été exécutées avec des points de départ aléatoires différents, et le retard de circulation moyen des trois mouvements ainsi que les fichiers de trajectoires individuelles ont été recueillis à des fins d'analyses comparatives.

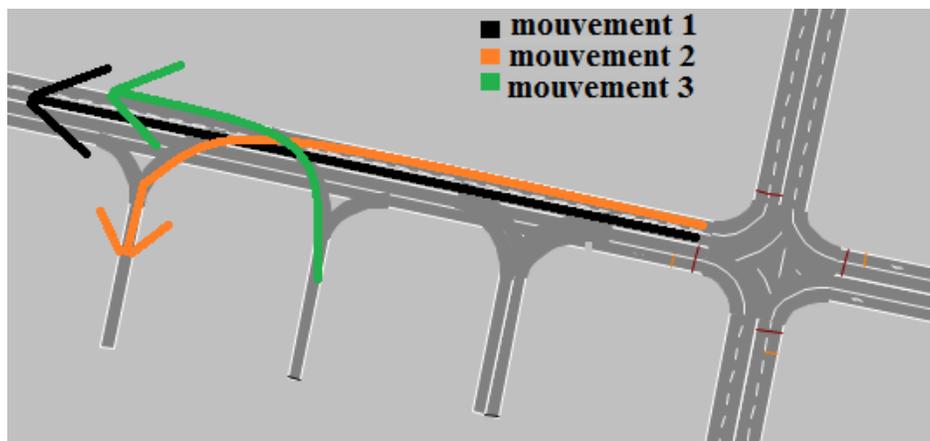


Figure 59. Exemples d'interactions entre les véhicules dans la zone d'étude

5.3.3.4 Simulations de plans géométriques ou de contrôle de substitution

La principale préoccupation en matière de sécurité routière dans la zone étudiée se ramène au fait de placer les voies réservées dans les voies extérieures, ce qui multiplie les voies à traverser pour tourner à gauche et entraîne d'importantes interactions de véhicules, surtout lors de congestions routières, comme le montre la Figure 60.

Deux plans différents ont été mis à l'essai pour évaluer leur potentiel de réduction des problèmes de sécurité et d'opérations de circulation. L'une des solutions propose de modifier l'alignement géométrique (en supposant que les deux directions de la route sont séparées par une barrière physique). Une autre solution repose sur une stratégie de contrôle de la circulation (c.-à-d. un feu de circulation consacré à cette fin, prévoyant un virage à gauche protégé pour les autobus vers le terminus, avec détection automatique). Les deux options ont elles aussi été modélisées dans VISSIM pour une analyse comparative de sécurité et d'opérations de circulation.



Figure 60. Exemples d'interactions entre les véhicules dans la zone d'étude

La Figure 61 montre la disposition VISSIM du réseau de la première option (c.-à-d. la géométrie couplée modifiée). Dans ce modèle, il est interdit aux véhicules voyageant en direction ouest d'entrer dans le terminus ou le stationnement ou d'en sortir en traversant directement la route. Un segment de route adjacent est plutôt inséré le long de la partie sud du terminus ou du stationnement, directement connecté à la route mineure et permettant l'accès aux véhicules circulant vers l'ouest à travers l'intersection adjacente. Dans ce modèle, tous les autres éléments du réseau (c.-à-d. les volumes et les vitesses) étaient conservés tels quels.

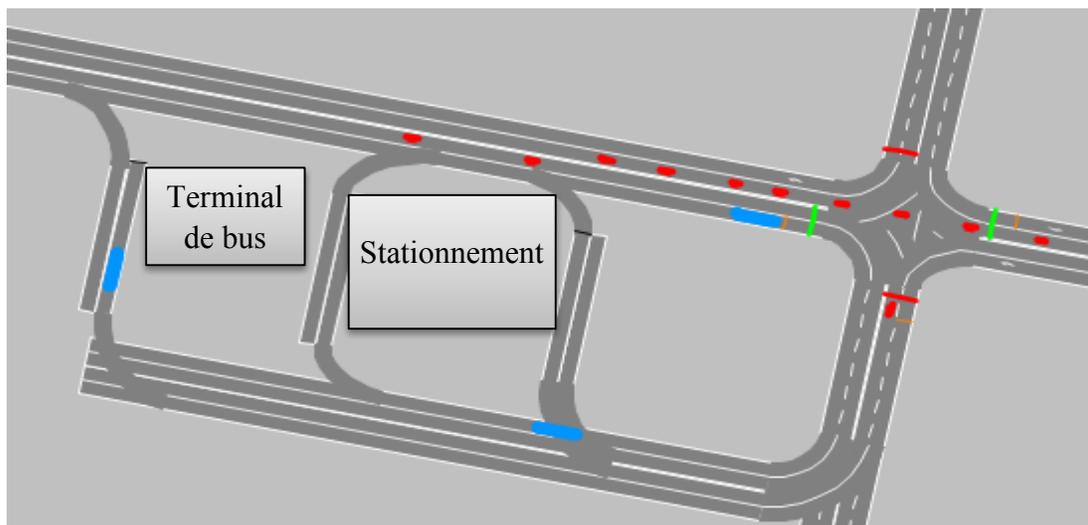


Figure 61. Réseau VISSIM avec alignement géométrique modifié

Rapport final – R706.1

Il en est de même pour les différentes possibilités de demande qui ont été examinées (c.-à-d. les conditions actuelles et une augmentation graduelle de la demande de 10 %, 20 % et 30 %) : les valeurs colligées de répartition des débits et de vitesse des voitures ont été utilisées pour simuler le réseau à partir de dix points aléatoires de départ. Les mesures de retard du même type de mouvement que ceux de la configuration existante ont également été estimées. Pour permettre la comparaison, les valeurs de retard moyen et les trajectoires individuelles des véhicules ont toutes deux été colligées. La Figure 62 illustre les mouvements évalués dans cette solution de substitution.

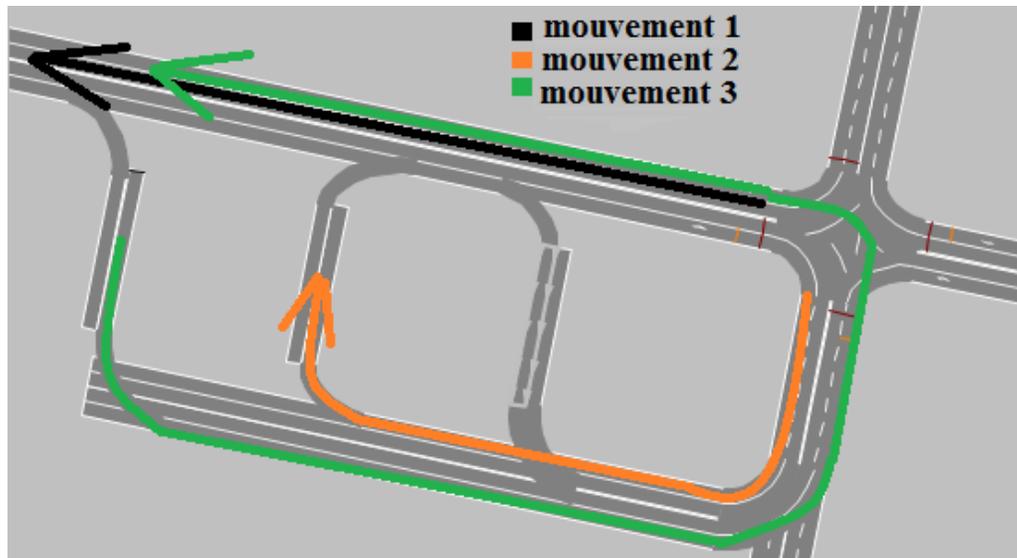


Figure 62. La représentation des mouvements mesurés dans l'alignement géométrique modifié

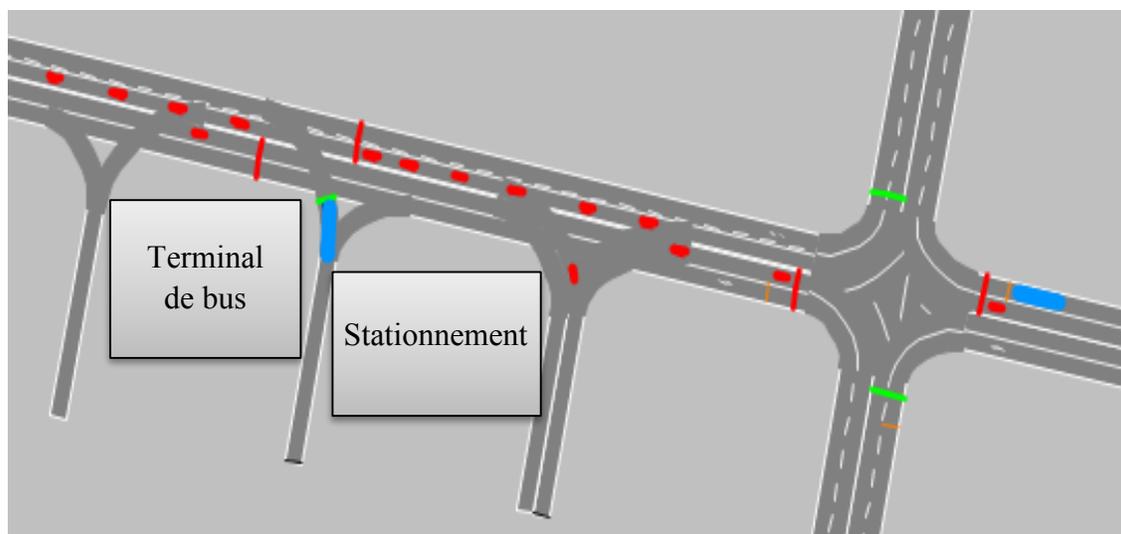


Figure 63. Réseau VISSIM avec contrôle de trafic modifié

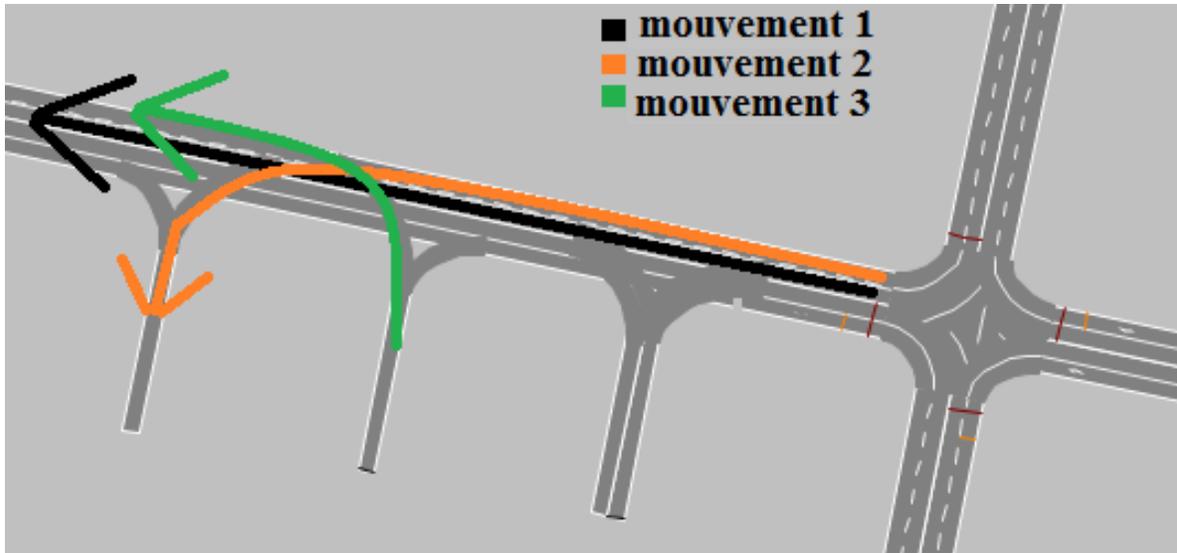


Figure 64. La représentation des mouvements mesurés dans le contrôle de trafic modifié

La Figure 63 montre la disposition VISSIM du réseau de la seconde option (qui prévoit un feu de circulation déclenché par l'autobus). Dans ce modèle, un détecteur à boucle contrôlant des feux de circulation est ajouté au réseau existant. Ce système était utilisé pour contrôler les sorties du terminus des autobus se dirigeant vers l'ouest. Un modèle de contrôle des feux de circulation additif VisVap a été créé pour programmer la synchronisation du signal. Le détecteur était placé près de la sortie du terminus d'autobus. Quand aucun autobus n'était détecté, le feu était vert sur la route principale, permettant la circulation est-ouest, et rouge à la sortie de l'autobus, pour éviter que les autobus sortants ne traversent directement la route. Lorsque des autobus en attente étaient détectés à la sortie du terminus, le feu tournait au vert pour eux et au rouge pour la circulation sur la route principale, ce qui permettait des virages protégés. Le feu rouge sur la route principale dure 15 secondes à partir de la détection du dernier autobus, puis revient au vert jusqu'au prochain déclenchement.

La demande en matière de véhicule, déjà traitée, a été utilisée pour la simulation. Les mêmes dix points de départ aléatoires ont été appliqués, et les données de retard et de trajectoire ont été recueillies à des fins de comparaison. La figure 62 illustre les mouvements mesurés dans cette modification du contrôle.

5.3.3.5 Mesures de sécurité de substitution relatives aux conflits entre véhicules

Étant donné la rareté des collisions et la non-disponibilité des données sur les accidents sur le terrain, des mesures de sécurité de substitution constituent une façon plus pratique d'analyser la sécurité des installations routières (FHWA, 2008). Cette approche de l'évaluation de la sécurité est généralement acceptée par les professionnels du transport. Un modèle de substitution pour l'évaluation de la sécurité routière (SSAM) a été appliqué pour évaluer les conflits détectés dans la zone d'étude aux fins d'analyse de la sécurité, en utilisant les données de trajectoire des

Rapport final – R706.1

véhicules recueillies à l'aide du simulateur microscopique. Un conflit est, par définition, « une situation observable dans laquelle deux usagers de la route ou plus se rapprochent l'un de l'autre, dans l'espace et le temps, d'une façon qui entraînera une collision si leurs mouvements demeurent inchangés » (Zheng et al., 2014; traduction libre). La recherche a démontré que le conflit est une mesure de substitution raisonnable pour refléter la collision (El-Basyouny et al., 2012).

L'outil SSAM détecte les conflits à partir de données de trajectoires générées par un logiciel de microsimulation comme VISSIM. La plupart des études évaluent la sécurité à travers deux paramètres : le temps estimé avant la collision et le temps d'après empiètement. Les valeurs de temps estimé avant la collision et de temps d'après empiètement se situant sous un seuil communément accepté indiquent une plus grande probabilité de collision (Gettman et al., 2003), et l'outil SSAM est en mesure d'estimer automatiquement les valeurs de temps estimé avant collision et de temps d'après empiètement pour chaque interaction de véhicules afin d'enregistrer tous les conflits potentiels. Dans la présente étude, les seuils de valeurs de temps estimé avant la collision et de temps d'après empiètement ont été établis à 1,5 seconde et 5 secondes respectivement, selon les valeurs communément établies par les études précédentes (Gettman et al., 2003).

Les conflits détectés ont été classés en trois types différents selon l'angle de conflit déterminé, à savoir le conflit venant de l'entrecroisement, le conflit venant d'un changement de voie et le conflit venant de l'arrière. Les valeurs seuils de l'angle de conflit ont été ajustées à 2 degrés et 45 degrés, comme illustré dans les études de cas précédentes présentées dans ce rapport (Tao et al., 2014). De façon générale, si le conflit détecté a un angle de conflit de moins de 2 degrés, il est classé comme conflit venant de l'arrière; si l'angle de conflit se situe entre 2 et 45 degrés, il est détecté comme conflit venant d'un changement de voie; si l'angle de conflit est plus grand que 45 degrés, il est alors enregistré comme conflit venant de l'entrecroisement. Toutefois, en raison du caractère spécifique de la géométrie de chaque zone d'étude, l'information couplée de tous les conflits générés a été vérifiée manuellement de façon à pouvoir déterminer correctement son type. Les conflits causés par les trois types mentionnés de mouvements mesurés ont été enregistrés pour des analyses comparatives subséquentes.

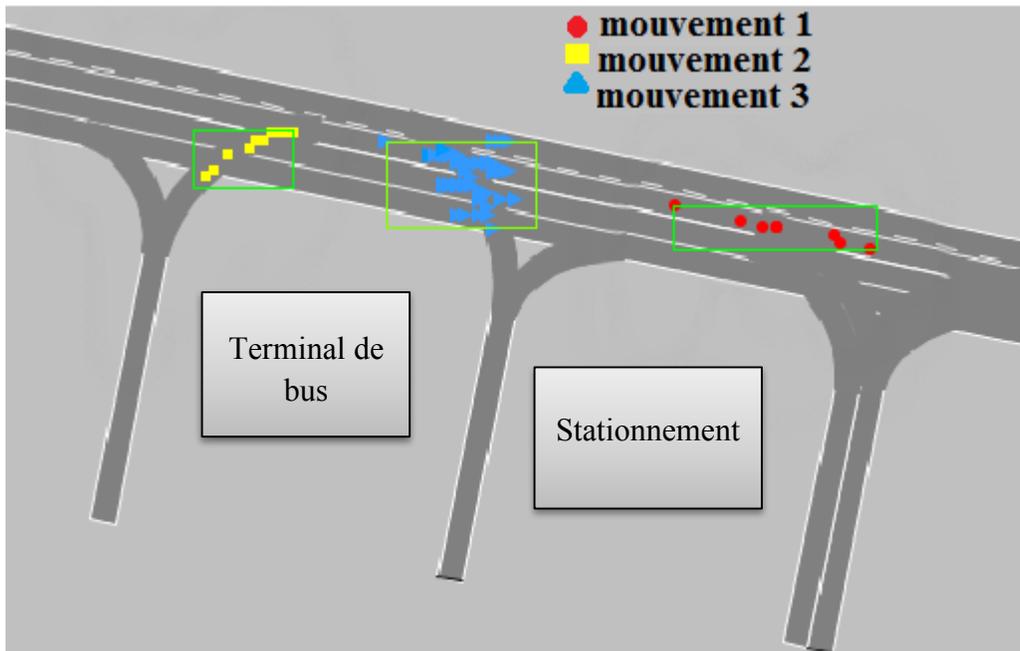


Figure 65. Représentation des conflits sur le réseau statu quo

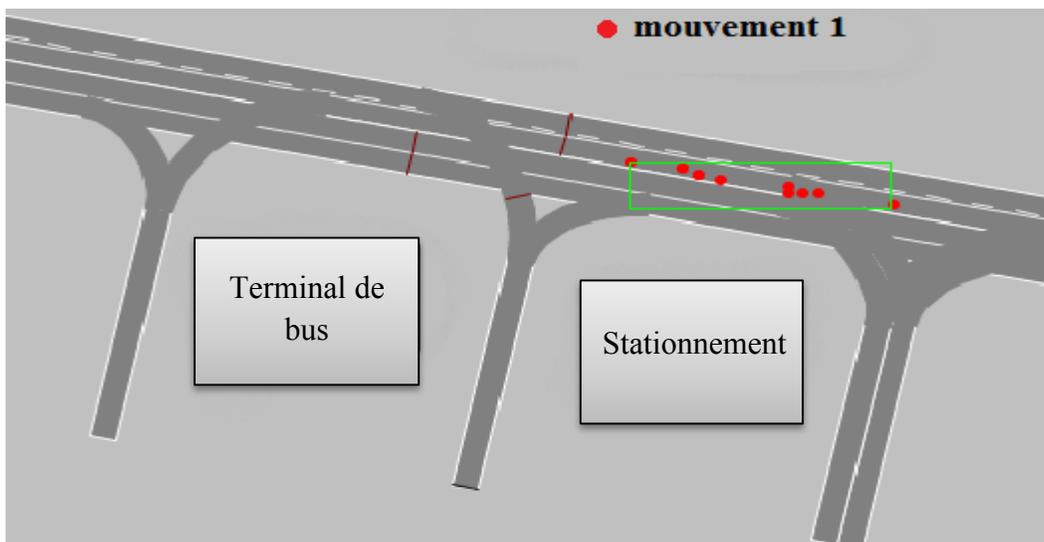


Figure 66. Représentation des conflits sur le réseau avec le contrôle de trafic modifié

Un filtre intégré a été appliqué pour éliminer les conflits causés par chaque mouvement mesuré, en lisant l'information couplée correspondante. Les coordonnées du réseau VISSIM des conflits détectés (où les valeurs temps d'après empiètement minimales ont été atteintes) ont été enregistrées et pourraient être appliquées pour reproduire approximativement la zone étudiée. Les endroits où des conflits ont été détectés étaient tracés automatiquement sur l'image de réseau générée par l'outil SSAM. Les conflits causés par chaque mouvement étaient montrés par des formes différentes sur le plan généré. La Figure 65 et la Figure 66 montrent la répartition spatiale

Rapport final – R706.1

de tous les conflits causés par les mouvements mesurés tracés respectivement sur le réseau original et sur celui de contrôle modifié.

5.3.3.6 Analyse de comparaison de la sécurité et des opérations de circulation

Cette section présente une analyse de sensibilité à propos des effets de différents niveaux de demande de trafic (p. ex. une augmentation de 10, 20 ou 30 % du volume de circulation observé à partir d'un niveau de départ) sur l'alignement géométrique existant et sur des scénarios de remplacement proposés. La Figure 67 et la Figure 68 montrent l'incidence de différents volumes de trafic sur les opérations de circulation (le retard) et la sécurité (les conflits).

On peut constater que, comme prévu, une augmentation de la demande de trafic entraîne une augmentation du retard moyen. On constate aussi que, parmi les trois types d'interactions analysées, les mouvements 2 et 3 (ceux associés à l'entrée et la sortie d'un autobus de la gare) subissent un retard considérablement plus élevé que les véhicules sur la chaussée est-ouest. Cela s'explique par le fait que les autobus doivent tourner à gauche depuis et vers la chaussée; ils n'ont donc pas la priorité de passage. De plus, l'analyse de la sécurité routière (l'évaluation des interactions véhiculaires par l'outil SSAM) montre que pour tous les niveaux de demande de trafic, la vaste majorité des conflits, à plus de 85 %, sont causés par ce même mouvement des autobus qui entrent et qui sortent de la gare. Beaucoup de conflits sont liés à l'utilisation temporaire non autorisée de la voie réservée par des automobiles dans le but d'éviter de faire la file derrière les autobus devant céder le passage avant d'avoir accès à la gare. De plus, des conflits venant d'un changement de voie ont été observés entre autobus passant de la voie réservée à la voie de circulation générale afin d'entreprendre un virage à gauche vers la gare.

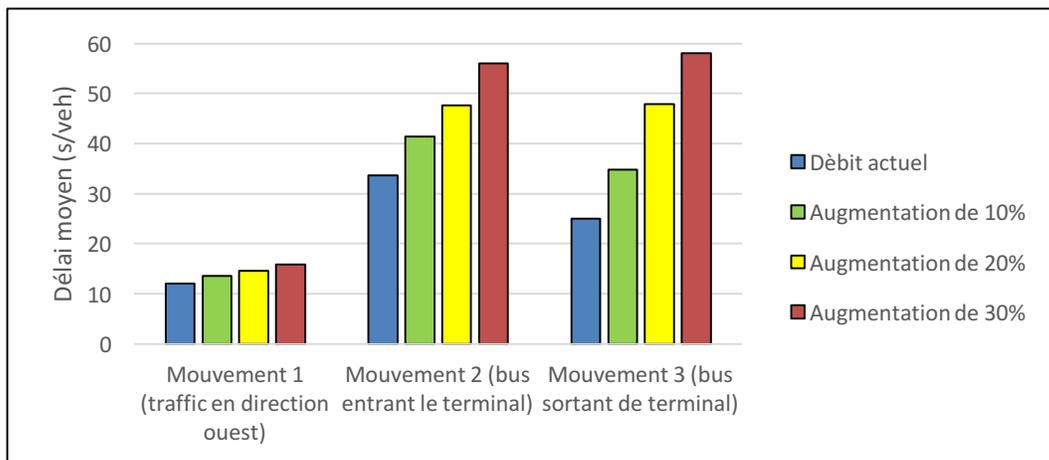


Figure 67. Effets de l'augmentation de débit sur le délai moyen par véhicule



Figure 68. Analyse de la distribution des conflits (statu quo)

À partir des conditions existantes et de l'analyse de sensibilité concernant l'augmentation de la demande, les effets des deux scénarios possibles décrits dans la section précédente ont été évalués. Les résultats du premier plan de conception possible (l'interdiction de tourner à gauche depuis et vers la gare et le stationnement, et donner accès à ces installations depuis l'intersection avec la rue secondaire) sont exposés dans la Figure 69 et montrent les effets de différents volumes de trafic sur les opérations de circulation (le retard) et la sécurité (les conflits) lorsque le premier scénario possible a été appliqué (la présence d'un obstacle physique sous la forme de terre-plein central sur l'artère est-ouest, et un accès et une sortie de la gare depuis l'intersection et la rue secondaire avoisinante).

Comme prévu, en installant un terre-plein entre les deux sens de la circulation, tous les conflits liés aux virages à gauche depuis et vers la gare ou le stationnement sont éliminés. De plus, la

Rapport final – R706.1

synchronisation des feux de circulation a été maintenue dans ce plan, et l'analyse de sensibilité présentée dans la Figure 68 montre que les opérations de circulation ne sont pas touchées. On peut constater qu'il existe un léger effet positif sur le retard moyen des véhicules pour le mouvement 1 (les véhicules roulant vers l'ouest sur la route 116), mais qu'il y a un effet positif important pour le retard moyen des autobus qui accèdent à la gare (une réduction du retard de l'ordre de 85 %). Toutefois, les mouvements des autobus cherchant à sortir de la gare sont entravés pour la plupart des chiffres liés à la demande de trafic. Le retard supplémentaire vécu par les autobus qui quittent la gare s'explique par le fait qu'à l'intersection à proximité, la synchronisation du feu de circulation n'a pas été optimisée pour aider les véhicules qui tournent à gauche depuis la rue secondaire (la même voie d'accès est utilisée à la fois par les autobus et les véhicules qui quittent le stationnement incitatif, ce qui nuit à la congestion pour ce mouvement).

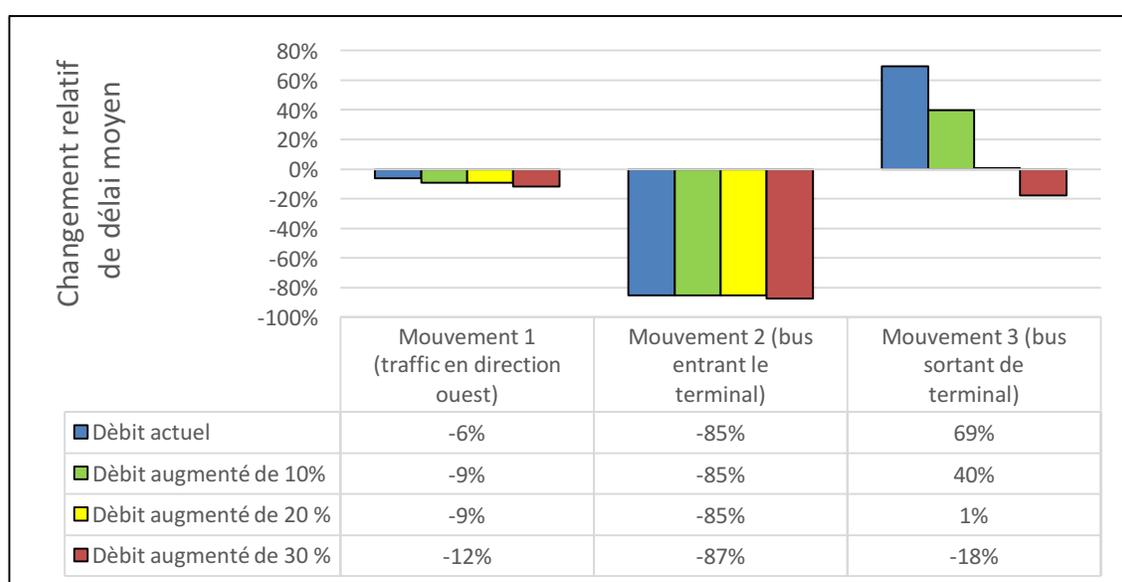


Figure 69. Effets de la première variante sur le délai moyen (nouvel alignement géométrique)

Les résultats du deuxième plan de conception possible (contrôler les accès et sorties des autobus pour les mouvements 2 et 3 grâce à un feu de circulation déclenché par les véhicules afin de réduire les interactions des véhicules avec les autobus) sont présentés dans la Figure 70.

On peut y voir que ce plan réduit considérablement le retard des autobus entrant et sortant de la gare (mouvements 2 et 3), et qu'il augmente le retard des véhicules roulant vers l'ouest le long de l'artère de moins de 17 %.

Surtout, l'analyse de ces résultats en ce qui a trait aux conflits entre véhicules montre l'élimination des conflits venant de l'entrecroisement (mouvements 2 et 3) liés aux autobus qui entrent et quittent la gare en tournant à gauche en traversant les voies réservées et de circulation générale. De plus, ce plan n'a pas d'incidence sur la faible fréquence des conflits pour les mouvements 1 (les véhicules se déplaçant vers l'ouest sur l'artère).

Rapport final – R706.1

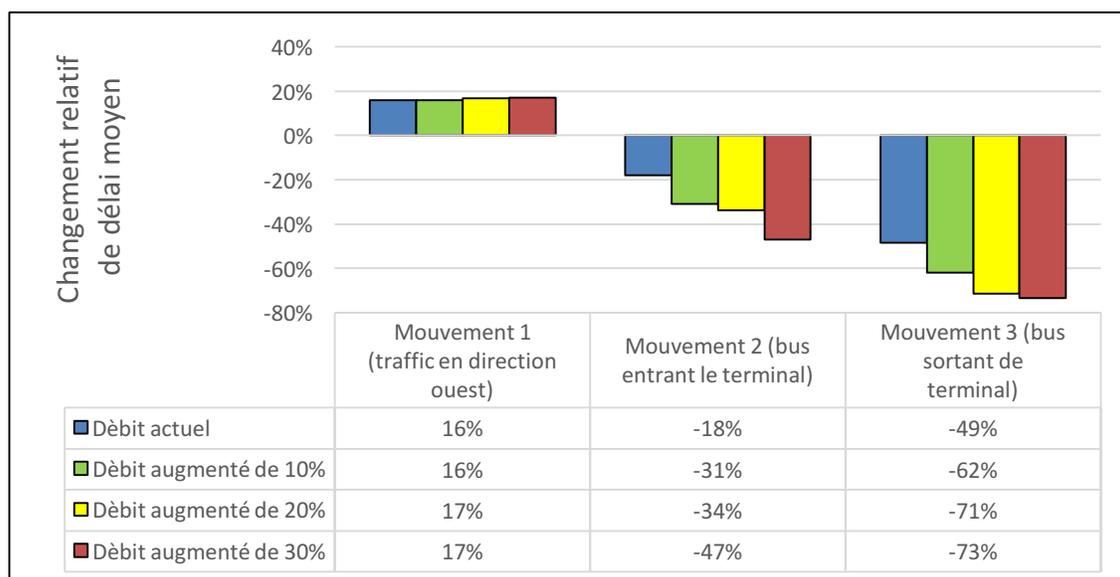


Figure 70. Effets de la deuxième alternative sur le délai moyen (nouveau contrôle de la circulation)

De nombreux aspects des plans proposés sont traités à la fin de la présente section. Le retard dans le débit de circulation vers l'ouest sur l'artère durant la période de pointe a été comparé pour les trois scénarios (autrement dit la conception actuelle, le terre-plein, et le feu de circulation). Il a été constaté que la solution du feu de circulation a la pire incidence sur le retard des véhicules; toutefois, l'ajout du feu de circulation n'augmente le retard des véhicules que de 20 minutes pour toute la circulation vers l'ouest pendant l'heure de pointe. De plus, alors que la fréquence des conflits ne diffère pas de façon considérable entre la conception actuelle et l'ajout proposé d'un feu de circulation, les arrêts au feu rouge risquent d'entraîner des conflits venant de l'arrière plus graves. D'un autre côté, la modification du parcours des autobus et des usagers du stationnement incitatif à travers l'intersection par le biais de la rue secondaire semble constituer le meilleur choix, parce qu'elle éliminerait complètement tous les conflits dus aux véhicules virant à gauche, alors que l'incidence sur les opérations de circulation est négligeable et peut être atténuée grâce à une meilleure synchronisation du feu de circulation à l'intersection.

La conception actuelle connaît une grande fréquence de conflits pour les autobus virant à gauche qui cèdent le passage avant d'avoir accès à la gare. Les résultats montrent que ce genre de conflit est éliminé à l'aide des conceptions de remplacement. De plus, les modifications proposées à l'alignement actuel sont avantageuses pour les opérations de circulation parce qu'elles réduisent considérablement le retard moyen des véhicules. Toutefois, lorsque des feux de circulation sont utilisés pour mettre en place un virage à gauche protégé ou que le parcours des autobus est détourné pour passer par l'intersection avoisinante, l'analyse et l'optimisation de la temporisation des feux est nécessaire.

Rapport final – R706.1

De façon similaire, l'analyse du mouvement 3 (les autobus allant vers l'ouest en quittant la gare) répertorie un grand nombre de conflits venant de l'entrecroisement dans la circulation est-ouest sur l'artère principale. L'élimination de ces conflits pourra être obtenue soit si ce mouvement est protégé grâce à un feu de circulation qui réagit à la présence d'un autobus à la sortie de la gare, soit si les deux directions sur l'artère sont séparées par un terre-plein et que les autobus sont détournés vers l'intersection avoisinante. Des deux options, la conception qui comprend la priorité de passage protégée par un feu de circulation donne aussi les meilleurs résultats sur le plan des opérations de circulation (autrement dit, le retard est plus faible). Ce résultat montre que le réseau avec un plan de contrôle de substitution est le meilleur pour les autobus sortants.

Comme prévu, l'analyse de sensibilité révèle qu'une augmentation du volume de circulation sur l'artère principale entraîne des effets négatifs sur la fréquence des conflits et sur le retard moyen des véhicules, peu importe la conception utilisée. Toutefois, alors que les conceptions de remplacement permettent l'élimination ou une réduction considérable des conflits, l'incidence sur les opérations de circulation est seulement négative pour les véhicules voyageant sur l'artère, et des améliorations peuvent être obtenues grâce à une refonte du plan de temporisation du feu de circulation.

L'étude sur la région de Lévis a donné l'occasion d'analyser les enjeux de sécurité des installations possédant une voie réservée située à côté d'une gare de transport en commun. Les conditions de circulation en heure de pointe du *statu quo* et des deux plans géométriques ou de contrôle de substitution ont été simulées avec l'outil de microsimulation à l'aide de paramètres d'entrée observés. Trois types de mouvements ont été mesurés et les données obtenues sur le retard et les conflits ont été analysées sur le plan des opérations et de la sécurité à des fins comparatives. Les résultats indiquent que le *statu quo* est lié à d'importants problèmes de sécurité dus aux autobus en fin de parcours traversant directement l'artère principale. On peut en conclure que la conception de remplacement permettant aux autobus en fin de parcours de voyager sur un lien externe élimine efficacement les conflits de circulation. De plus, le plan de contrôle de substitution réduit le retard des autobus en donnant la priorité aux transports en commun.

6 Résumé et conclusion

Le présent rapport constitue le rapport final du projet en cours. Il regroupe l'information présentée dans les deux rapports d'étape précédents et dans le travail d'enquête accompli après le dépôt du deuxième rapport d'étape. La conclusion comprise dans cette section résume tous les résultats des travaux réalisés par l'équipe de recherche.

6.1 Revue de la documentation

La première étape du projet portait sur un examen de la documentation disponible sur les voies réservées, avec une attention particulière accordée à la sécurité routière. Deux principales découvertes ont été répertoriées. Premièrement, il existe différentes méthodes d'enquête en matière de sécurité routière (statistique, empirique, par calcul théorique, etc.) et leur choix dépend de la disponibilité des données (les études avant-après ne peuvent qu'être réalisées après que la voie réservée a été mise en place, etc.), du type de voie réservée (route ou artère, séparée par une démarcation ou par un terre-plein, autobus seulement ou véhicules à taux d'occupation élevée, etc.) et de la portée de l'étude (analyse de la fréquence des accidents ou prévention des conditions dangereuses, etc.). Deuxièmement, il a été découvert que les résultats des études qui tentaient de déterminer les avantages ou d'enquêter sur les problèmes possibles associés à une voie réservée précise étaient influencés par la méthode d'analyse choisie. Par conséquent, les auteurs du présent rapport sont d'avis qu'une analyse de la sécurité routière solide et fiable, sans égard au tronçon de route analysé (voie réservée ou non), doit chercher à valider ses résultats à l'aide de deux méthodes indépendantes, lorsque possible. Les études ont été séparées en deux catégories (routes et artères) pour les raisons citées plus haut et parce que dans la plupart des territoires nord-américains, y compris le Québec, les voies réservées déployées le long des routes sont habituellement du ressort d'organismes de transport de plus haut niveau (fédéral ou provincial), alors que les voies réservées sur les artères sont habituellement du ressort des administrations municipales. Toutefois, il faut reconnaître que l'analyse de toute autre voie réservée serait en grande partie semblable à celle d'un des deux types de voies réservées étudiées, nonobstant que certains paramètres (pente abrupte, visibilité limitée, etc.) doivent être pris en compte (étalonnés et mis à l'essai). Aussi, il est intéressant de remarquer qu'aucune étude traitant précisément de l'impact des conditions climatiques extrêmes, telles que les conditions hivernales, sur la sécurité des voies réservées n'a été recensée.

6.1.1 Sécurité des voies réservées aux véhicules à taux d'occupation élevée sur les routes

Un résumé des aspects précis de la sécurité routière recensés dans la documentation étudiée est exposé dans cette section. Quelques auteurs ont découvert que dans certaines conditions, la mise en place d'une voie réservée avait un effet négatif sur la sécurité, comme démontré par Case (1997), Cooner et al. (2006), et Jang et al. (2009). D'autres études ont conclu que la mise en place de voies réservées avait une incidence négligeable sur la sécurité routière (voir Golob et al.,

Rapport final – R706.1

1989; Sullivan et al., 1993). Toutefois, d'autres auteurs encore signalent que les voies réservées sur les routes peuvent mener à des améliorations quant à la sécurité (Kobelo et al., 2008; Jang et al., 2009).

Alors qu'aucune opinion forte ne se dégage quant au caractère positif ou négatif des voies réservées en général, la documentation étudiée répertorie plus systématiquement les nombreux paramètres qui déterminent la sécurité routière. Par exemple, quelques auteurs ont découvert que, dans le cas des voies réservées séparées par des lignes blanches continues, l'écart de vitesse, la suffisance de l'espace et la largeur de la voie réservée semblent être les facteurs les plus importants (Cooner et al., 2006). Quelques auteurs ont découvert que la taille de la zone tampon a une incidence importante sur la fréquence des accidents (Case, 1997; Jang et al., 2009). Pour les corridors réservés aux VTO avec une séparation physique, les changements spatio-temporels dans le schéma de congestion routière touchant particulièrement les voies de circulation générale constituaient le facteur ayant le plus d'incidence sur la sécurité routière répertorié (Golob et al., 1989; Farnsworth et al., 1993). Toutefois, certaines études ont déterminé que les voies réservées aux VTO, lorsqu'étayées par des voies réservées aux camions, peuvent améliorer la sécurité du corridor (Kobelo et al., 2008), alors que d'autres études ont conclu que cette combinaison de voies réservées sur les routes peut mener à des conditions moins sécuritaires (Lord et al., 2005). De plus, Siuhi et al. (2007) indiquent que lorsque des voies sont réservées pour les véhicules à taux d'occupation élevée et pour les camions, il faut aussi évaluer les effets sur les opérations de circulation, en plus de ceux sur la sécurité routière. D'autres études (Vanderschuren, 2007) se sont servies de simulations microscopiques pour démontrer les effets positifs pour la sécurité de l'utilisation de voies réservées aux VTO associées à des systèmes de transport intelligents tels que des systèmes de régulation de vitesse adaptatifs et des systèmes de comptage des accès.

6.1.2 Sécurité des voies réservées aux véhicules à taux d'occupation élevée sur les artères

Très peu d'études ont porté précisément sur les effets de la mise en œuvre de voies réservées aux VTO accessibles aux véhicules de covoiturage sur les artères. Parmi celles recensées sur le sujet, la plupart étudiaient l'efficacité opérationnelle. Par exemple, certaines études ont montré que les voies réservées permettaient d'économiser du temps de déplacement (McCormick Rankin Corporation 2007; Polus et al., 2001). Pour ce qui est de la sécurité, McCormick Rankin Corporation (2007) souligne de nombreux problèmes, notamment quant aux interactions avec les cyclistes et aux virages depuis les voies de circulation générale. Le taux de non-conformité très élevé des voies réservées aux VTO à trois occupants ou plus a aussi été mentionné par McCormick Rankin Corporation (2007), alors que le problème de renforcement a été souligné par Texas Transportation Institute et al. (1998) et par Stoddard (1996).

En ce qui concerne les voies réservées aux autobus, certaines études ont été trouvées sur les gains de temps, dont une étude menée à Montréal (Olivier, 1991). Pour ce qui est de la sécurité, diverses questions déjà posées sur les voies réservées aux VTO ouvertes aux véhicules de

Rapport final – R706.1

covoiturage ont également été posées par rapport aux voies réservées aux autobus, par exemple sur l'interaction avec les cyclistes (Laville, 2010). Toutefois, l'étude des voies réservées aux autobus s'est révélée particulièrement intéressante dans sa comparaison de différents contextes. Sur ce point, Duduta et al. (2012) ont conclu que les voies à contresens sont particulièrement dangereuses, confirmant certaines observations précédentes (Société de transport de Montréal, 2005). Duduta et al. (2012) ont également révélé que les voies d'autobus installées du côté du trottoir ont tendance à causer plus d'accidents que les réseaux à voies médianes.

6.1.3 Remarques sur la sécurité routière

L'examen de la documentation touchant la sécurité des voies réservées aux VTO montre que les agences de transport adoptent différentes solutions lorsqu'il est question d'instaurer de telles voies. Nous avons inclus un résumé de différentes solutions pour la mise en œuvre des voies réservées aux VTO, et fait ressortir les motivations et préoccupations liées à ces voies. Nous avons également inclus des examens et des analyses des règlements et des mises en œuvre à travers le Canada et les États-Unis afin de repérer certaines tendances. Enfin, nous avons mené une analyse approfondie des différentes méthodes d'analyse de la sécurité routière se concentrant sur les systèmes de voies réservées aux VTO. Certaines études ayant évalué ces méthodes dans le cadre d'études de cas réelles ont également été utilisées à des fins d'illustration.

L'analyse des résultats de différentes études montre que les mêmes mesures de contrôle de la circulation mises en œuvre dans des endroits différents peuvent mener à des résultats différents et parfois contradictoires. Nous avons donc choisi de mettre davantage l'accent sur les méthodes disponibles pour permettre à l'équipe de recherche de sélectionner les outils d'analyse appropriés. Ces outils incluent certaines méthodes plus récentes qui n'ont pas encore été largement utilisées par les professionnels du transport pour des évaluations de la sécurité routière, comme le recours à la détection automatique de conflits à l'aide de données vidéo.

6.2 Analyse des études de cas examinées

Les opérations de circulation sur les artères urbaines ayant des voies réservées aux autobus peuvent avoir un impact négatif sur le temps moyen de déplacement des véhicules sur les rues secondaires. De plus, selon l'alignement, ce type de voies réservées peut présenter un nombre élevé de conflits entre les véhicules des voies adjacentes et ceux de la voie réservée en raison de manœuvres de convergence ou de divergence et d'entrecroisement.

L'examen de la documentation existante montre que les études évaluant cette incidence sur la sécurité routière sont en nombre limité, et il a été déterminé qu'il existe différentes méthodes empiriques qui font appel à la simulation de circulation pour améliorer les indicateurs de sécurité routière. Les produits de simulation microscopique de circulation représentent une solution rapide et efficace pour les chercheurs analysant les problèmes liés à la sécurité du transport. Comme il a été démontré dans le rapport, les outils de simulation de la circulation et d'évaluation de la sécurité (c.-à-d. VISSIM et SSAM, respectivement) peuvent être combinés dans une

méthodologie en deux étapes. Cette approche permettrait d'améliorer les résultats en matière de classification des types de conflits et de mieux évaluer l'incidence des différentes options d'alignement géométrique des voies réservées aux autobus sur les opérations de circulation.

6.2.1 Remarques sur l'autoroute A-15

Les résultats concernant la voie réservée aux VTO (deux occupants ou plus) dans la zone d'étude de l'A-15 ont révélé un certain nombre de lacunes en matière de rendement et de sécurité. Afin de résoudre le problème des volumes peu élevés sur cette voie durant les périodes de pointe, il est important de promouvoir le covoiturage et d'augmenter les volumes de débit des personnes. Un exemple de telles mesures serait l'utilisation de campagnes de sensibilisation présentant les avantages des voies réservées aux VTO et du covoiturage, comme une réduction des congestions, du temps de déplacement et des émissions polluantes. Ensuite, les programmes de covoiturage doivent être plus efficaces et attrayants pour les usagers afin d'augmenter les volumes le long des voies réservées aux VTO.

Le deuxième enjeu touchant le rendement des voies réservées aux VTO est lié aux taux de non-conformité. Puisque les taux de non-conformité observés sont environ quatre fois plus élevés que celui de 10 % suggéré par la documentation existante, il devient nécessaire d'aborder ce problème. Bien que les taux de non-conformité soient très élevés, les conducteurs non conformes aident de façon non intentionnelle à réduire la congestion en remplissant la voie sous-utilisée, réduisant ainsi la congestion sur les voies de circulation générale (on s'attend toutefois à ce que l'impact soit plutôt minime sur les longues heures de congestion, attisant plutôt la frustration des autres conducteurs). En raison de l'attrait important qu'exerce une voie vide sur les conducteurs, une plus grande participation sur la voie réservée aux VTO permettrait tout à la fois d'améliorer le rendement et de faire chuter les taux de non-conformité. Une contre-mesure supplémentaire pourrait être l'installation de systèmes infrarouges le long de la voie réservée. Le système peut détecter les taux d'occupation et donner des amendes à partir de la plaque d'immatriculation du véhicule. Le problème de cette contre-mesure est son coût élevé de construction et d'utilisation, du moins pour l'instant, et la difficulté d'évaluer sa fiabilité. On s'attend à ce que les systèmes automatisés permettant de faire respecter les voies réservées aux VTO deviennent prochainement plus abordables et plus fiables.

Le troisième enjeu relié aux voies réservées aux VTO sur l'A-15 est la différence de vitesse observée entre la voie réservée et les voies de circulation générale durant les périodes de congestion routière. La différence de 20 à 25 km/h est très importante, et peut faire augmenter la fréquence et la gravité des conflits sur le segment de l'autoroute (Hughes, 1999). Une contre-mesure possible serait d'installer une zone tampon plus large entre les voies afin de réduire au minimum les interactions pouvant survenir entre elles. Le principal problème avec cette solution est la limite de l'espace disponible le long de l'autoroute, surtout aux viaducs. Autrement, la voie réservée aux VTO pourrait passer d'un accès continu à un accès limité, dans le but de réduire les mouvements entre les voies. Comme mentionné précédemment, les études ont démontré qu'un

Rapport final – R706.1

accès limité aux voies réservées ne réduit pas nécessairement les conflits en raison de la densité autour des zones d'entrecroisement.

6.2.2 Remarques sur la route 134

L'étude de cas de la route 134 (boulevard Taschereau) a permis d'illustrer les conflits d'étalonnage des données brutes. Selon les tests statistiques, on distingue différents degrés de gravité des conflits potentiels. Par exemple, en utilisant les seuils de l'indicateur de temps estimé avant la collision (p. ex. 1,5 seconde, 1,0 seconde et 0,5 seconde, respectivement), il est possible de déterminer différents niveaux de conflits. Cette séparation peut être représentée par le modèle pyramidal classique de Hydén (Hydén, 1987) : collisions, conflits graves, conflits mineurs, conflits potentiels et passage sans entrave. La Figure 71 décrit ce modèle. La pyramide représente également la relation entre les conflits et les accidents. Selon de précédentes études, un modèle de simulation correctement étalonné peut être utilisé pour prédire la répartition de ces types de conflits dans différents scénarios (changements dans l'alignement géométrique, jour par rapport à la nuit, etc.). En outre, le rendement en matière de sécurité peut être mesuré non seulement par l'observation de conflits, mais aussi sous forme de prédictions d'accidents. Toutefois, ce type d'analyse nécessite des données plus exactes sur l'historique des accidents que celles dont nous disposons actuellement. Par exemple, les données fournies concernant les occurrences d'accidents sur des voies précises n'incluent pas de renseignements exacts sur les types de véhicules.

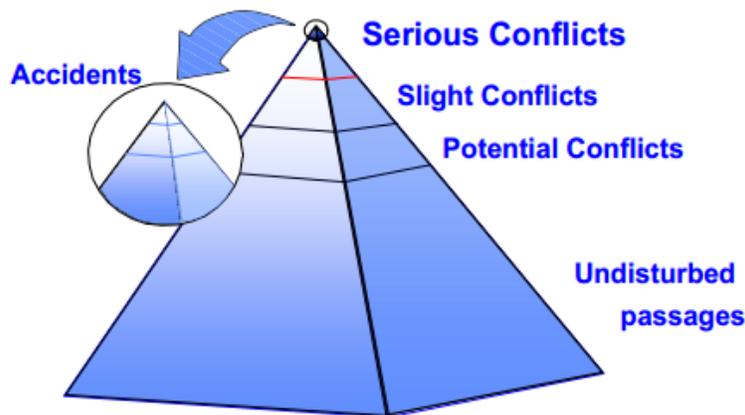


Figure 71. Pyramide représente les accidents et les conflits (Hydén, 1987)

6.2.3 Impacts des plans géométriques et de contrôle

Différents organismes utilisent plusieurs types de zones tampons de séparation pour voies réservées, en fonction de différents facteurs géométriques et de priorité de passage. Le Tableau 11 présente certaines recommandations tirées de quelques organismes du Canada et des États-Unis quant aux valeurs seuils minimales et optimales de différents éléments d'alignement

Rapport final – R706.1

géométrique. Les valeurs ci-dessous sont recommandées par ces organismes afin de s'assurer de respecter les exigences minimales et optimales de sécurité.

Tableau 11. Exigences géométriques (sources résumées de *AASHTO, 2004*) (*AASHTO, 1994*), (*FHWA, 2009*), et départements de transport suivantes (*California Dept. of Transportation, 2003*) (*Texas Transportation Institute et al., 1998*) (*Ontario Ministry of Transportation, n.d.*)

	Valeurs recommandés	Valeurs minimales
Largeur de la voie	12 pieds (3.6 m)	N/A
Largeur du zone tampon	2 - 4 pieds (0.6 m - 1.2 m)	2 pieds (0.6 m)
Largeur de la barrière	10 pieds (3 m)	6 pieds (1.8 m)
Largeur de l'accotement	10 pieds (3 m)	2 pieds (0.6 m)

Plusieurs études montrent que le rendement en matière de sécurité diffère selon la conception géométrique. La détermination d'un seuil adéquat est essentielle et il n'est pas possible d'établir des lignes directrices générales, mais plutôt des contraintes locales précises, afin d'obtenir les valeurs appropriées. Les sites étudiés dans le cadre du présent projet ne présentaient pas de valeurs d'éléments géométriques suffisamment variables (zone tampon, obstacles, etc.); il n'a donc pas été possible d'effectuer une évaluation de sécurité comparative sur le terrain. Par contre, un modèle étalonné de la route 134 (boulevard Taschereau) a été utilisé pour déterminer la section optimale pour les véhicules traversant la voie réservée aux VTO. On a déterminé qu'une section de 30 m est la meilleure solution pour cette artère précise.

L'étude sur la région de Lévis a donné l'occasion d'analyser les enjeux de sécurité des voies réservées aux VTO situées à côté d'une gare de transport en commun. Les conditions de circulation en heure de pointe du *statu quo* et des deux plans géométriques et de contrôle de substitution sont présentées. Trois types de mouvements ont été mesurés et les données obtenues sur le retard et les conflits ont été analysées sur le plan des opérations et de la sécurité à des fins comparatives. Les résultats indiquent que le *statu quo* est lié à de graves problèmes de sécurité dus aux autobus en fin de parcours traversant directement l'artère principale. La conception géométrique de remplacement qui permet aux autobus en fin de parcours de voyager sur un lien externe élimine efficacement les conflits de circulation.

En plus de la gestion des conflits fondée sur les caractéristiques géométriques, la gestion des entrées et des sorties devrait être prise en considération, puisque différents types de séparation ou de stratégie de contrôle ont une forte incidence sur la sécurité. L'étude de cas de la région de Lévis montre que la conception de contrôle de substitution réduit les retards pour les autobus ainsi que les conflits venant de l'entrecroisement en donnant la priorité au transport en commun.

Rapport final – R706.1

De nombreuses études s'intéressent aux améliorations pouvant être apportées aux voies réservées aux VTO en ce qui concerne l'incidence positive de l'alignement géométrique sur la sécurité et les mesures du rendement des opérations de circulation. Toutes ces études s'entendent sur le fait que les opérations de circulation et la sécurité des artères urbaines et des routes avec voies réservées aux autobus peuvent être grandement touchées. Parmi certaines mesures du rendement, on compte : le temps moyen de déplacement des véhicules sur les rues secondaires, le nombre de conflits entre les véhicules des voies adjacentes et ceux de la voie réservée en raison de manœuvres de convergence ou de divergence et d'entrecroisement.

6.2.4 Conclusion

Plusieurs recommandations sont formulées à partir d'une synthèse de l'analyse de tous les sites. Premièrement, il faut augmenter la sensibilisation au sujet des voies réservées aux VTO en faisant la promotion du covoiturage. Il convient d'installer davantage de panneaux avant et le long de la voie réservée pour s'assurer que les conducteurs sont conscients de son existence. Deuxièmement, il faut appuyer l'application de la réglementation le long de la voie en augmentant la présence policière à court terme ou de façon périodique. En outre, l'investissement dans des systèmes de surveillance de l'occupation le long de la voie pourrait être bénéfique, pourvu qu'une certaine demande minimale soit observée (afin de maintenir la fluidité pour les usagers admissibles plutôt que pour les conducteurs non conformes). Troisièmement, afin d'utiliser adéquatement la voie réservée aux VTO, une mise en œuvre dynamique pourrait être plus adaptée lorsqu'une technologie plus abordable et plus performante sera accessible. Ainsi, des systèmes de surveillance en temps réel pourraient être installés le long d'un segment d'intérêt afin d'évaluer les conditions de circulation (vitesse, volume, interaction des véhicules, etc.). Un algorithme logique pourrait évaluer en temps réel les avantages d'ouvrir ou de fermer une voie dynamique réservée aux VTO ou de changer sa désignation (véhicules à deux occupants ou plus, véhicules à trois occupants ou plus, véhicules électriques, etc.). De plus, ce système devrait utiliser des panneaux de messages dynamiques le long de la route pour afficher de l'information publique, accessible à l'administration routière. Enfin, l'installation de systèmes de surveillance constituerait une occasion potentielle de convertir la voie réservée aux VTO en voie réservée aux véhicules à taux d'occupation élevée à accès spécial tarifé. Ces voies sont ouvertes aux véhicules ayant un nombre minimal de passagers ainsi qu'aux véhicules à occupant unique payant un tarif à l'aide du transpondeur installé dans leur véhicule. Ce système pourrait être mis en œuvre sur les artères et les routes, en fonction des ressources et des besoins.

Bibliographie

- AASHTO. (1994). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. AASHTO.
- AASHTO. (2004). *Guide for High-Occupancy Vehicle (VTO) Facilities*. AASHTO.
- Admundsen, F., & Hyden, C. (1977). Proceedings of first workshop on traffic conflicts. Oslo: Institute of Transport Economics.
- Agrawal, A., Goldman, T., & Hannaford, N. (2012). *Shared-Use Bus Priority Lanes on City Streets: Case Studies in Design and Management*. MINETA Transportation Institute.
- American Public Transportation Association. (2010). *Recommended Practice - Designing Bus Rapid Transit Running Ways*. APTA.
- AMT. (2013). *carte du réseau de voies réservées de l'AMT*. Consulté le September 1, 2013, sur <http://www.amt.qc.ca/voiesreservees/>
- Ball, L. (2012, September 20). *Ontario-bound VTO lane on Champlain Bridge closed Friday morning*. Consulté le January 9, 2013, sur The Province: <http://www.ottawacitizen.com/Ontario+bound+lane+Champlain+Bridge+closed+Friday+morning/7274197/story.html#ixzz2HWOXPHEt>
- Barcelo, J., Dumont, A., Perarnau, J., & Torday, A. (2003). SAFETY INDICATOR FOR MICROSIMULATION-BASED ASSESSMENTS. *Annual meeting of Transportation Research Board*. Washington D.C.: Transportation Research Board.
- Basak, S. (2003). *Microscopic Operational Analysis of VTO lane Option for Three Major Expressways in Toronto*. Toronto: University of Toronto.
- Basak, S., & Abdulhai, B. (2004). Microscopic Operational Analysis of VTO Lane Options for Three Major Expressways in Toronto. *Transportation Research Board Annual Meeting*. Washington D.C.
- Brinckerhoff, P. (2006). *VTO/Managed Lanes and Ramp Metering Design Manual*. Las Vegas, NV: Nevada Dept. of Transportation Commission on Southern Nevada .
- British Columbia Ministry of Transportation and Highways. (1998). *Manual of standard traffic signs & pavement markings*. Victoria, BC.
- California Dept. of Transportation. (2003). *High Occupancy Vehicle (VTO) Guidelines for Planning, Design and Operations*.
- Case, R. (1997). Traffic Congestion and Traffic Safety in the 21st Century : challenges, innovations, and opportunities. *Proceedings of the Conference Sponsored by Urban*

Rapport final – R706.1

- Transportation Division, ASCE, Highway Division.* Chicago Illinois: American Society of Civil Engineering.
- Chang, M. (., Wiegmann, J. (., & Bilotto, C. (. (2008). *A Compendium of Existing VTO Lane Facilities in the Unites States*. Federal Highway Administration.
- Coifman, B., Beymer, D., McLauchlan, P., & Malik, J. (1998). A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance. *Transportation Reserch Part C: Emerging Technologies* 6(4), 271-88.
- Cooner, S. A., & Ranft, S. E. (2006). Safety Evaluation of Buffer Separated High-Occupancy Vehicles Lanes in Texas. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1959), 168-177.
- Dehghani, Y. (1990). PLANNING AND DESIGN CONCEPTUALIZATIONS OF VTO AND TRANSITWAY FACILITIES: A SUMMARY REVIEW.
- Department for Transport. (2006). *TRAFIC ADVISORY LEAFLET, High Occupancy Vehicle Lane*. UK: Department for Transdport, UK.
- Dixon, C., & Alexander, K. (2005). *Literature Review of VTO Lane Schemes*. UK: SSR Division, Highways Agency.
- Duduta, N., Adriaola, C., Wass, C., Hidalgo, D., & Lindau, L. A. (2012). *Traffic Safety on Bus Corridors: Pilot Version - Road Test*. Consulté le March 6, 2013, sur EMBARQ: <http://www.embarq.org/en/traffic-safety-bus-corridors-pilot-version-road-test>
- Eisele, W. L., Parham, A. H., & Cothron, A. S. (2001). *Guidance for planning, operating and designing managed lane facilities in Texas*. Texas Transportation Institute.
- Farnsworth, G., & Ulberg, C. (1993). EVALUATION OF SEATTLE'S SOUTH I-5 INTERIM HIGH-OCCUPANCY VEHICLE LANES. 1394.
- Federal Highway Administration. (2009). *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*. Federal Highway Administration.
- Garber, N., & Ehrhart, A. (2000). Effect of Speed, Flow, and Geometric Characteristics on Crash Frequency for Two-Lane Highway. 1717.
- Gettman, D., & Head, L. (2003). *Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models, Final Report*. McLean, Virginia: US Department of Transportation, FHWA.
- Gettman, D., Pu, L., Sayed, T., & Shelby, S. (2008). *Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report*. U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration.

Rapport final – R706.1

- Golob, T. F., Recker, W. W., & Levine, D. W. (1989, November). Safety of High-Occupancy Vehicle Lanes without Physical Separation. *Journal of Transportation Engineering*, 115(6).
- Golob, T. F., Recker, W. W., & Levine, D. W. (1990, February). Safety of freeway median high occupancy vehicle lanes: a comparison of aggregate and disaggregate analyses. *Accident Analysis & Prevention*, 22(1), pp. 19-34.
- Google. (2009, January). *Maps*. Consulté le March 2013, sur Google: <http://maps.google.ca/>
- Haljackey. (2010, April 6). *Canadian Highways*. Consulté le January 9, 2013, sur skyscrapercity forums: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=489565&page=73>
- Highway Capacity Manual. (1997). *Highway Capacity Manual*. Washington, D.C.: Transportation Research Board (TRB).
- Ishak, S., & Trifirò, F. (2007). Neural Networks. Dans A. I. Committee, *Transportation Research Circular: Artificial Intelligence in Transportation*. Transportation Research Board.
- ITE Technical Council Committee 6A-37. (1988, February). A summary report: The Effectiveness of High-Occupancy Vehicle Facilities. *ITE Journal*.
- Jang, K., Chung, K., Ragland, D., & Chan, C. (2009). Safety Performance of High-Occupancy-Vehicle Facilities: Evaluation of VTO Lane Configurations in California. (2009).
- Juan, Z., Wei, Z., Haoxue, L., & Weihua, Z. (2010). Road Safety Evaluation Based on BP Neural Network. *International Conference on Logistics Engineering and Intelligent Transportation Systems* (pp. 1-4). IEEE. doi:10.1109/LEITS.2010.5664961
- Kobelo, D., Patrangenaru, V., & Mussa, R. (2008, July). Safety Analysis of Florida Urban Limited Access Highways with Special Focus on the Influence of Truck Lane Restriction Policy. *Journal of Transportation Engineering*, 134(7), pp. 297-306. doi:10.1061/(ASCE)0733-947X(2008)134:7(297)
- Kopelias, P., Papadimitriou, F., Papandreou, K., & Prevedouros, P. (2007). Urban Freeway Crash Analysis: Geometric, Operational, and Weather Effects on Crash Number and Severity. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2015, 123-131. doi:10.3141/2015-14
- Laville, J. (2010, August). *Fiche 09 vélo - vélos et transports publics - partage de la voirie*. Consulté le January 5, 2013, sur La Boutique Certu: <http://www.certu-catalogue.fr/fiche-velo-amenagements.html>
- Lee, J. D., & Spripathi, H. (2007). Safety Impacts of Freeway Managed-Lane Strategy, Inside Lane for High-Occupancy Vehicle Use and Right Shoulder Lane as Travel Lane During Peak Periods. 2012.

Rapport final – R706.1

- Leeds City Council. (2010). *INTRODUCTION TO THE A647 HIGH OCCUPANCY VEHICLE (VTO) LANE IN LEEDS*. Leeds City: Leeds City Council.
- Lord, D., Middleton, D., & Whitacre, J. (2005). Does Separating Trucks From Other Traffic Improve Overall Safety? *84th Annual meeting of the Transportation Research Board*. Washington D.C.: Transportation Research Board.
- Manitoba Public Insurance. (2011). *Manitoba drivers handbook*.
- Martin, P. T., Lahon, D., & Stevanovic, A. (2004). *High Occupancy Vehicle Lanes Evaluation II - Traffic Impact, Safety Assessment and Public Acceptance*. University of Utah Traffic Lab.
- McCormick Rankin Corporation. (2007). *Artériel VTO Lanes in Canada*. Canadian Urban Transit Association.
- METRO. (2012, May). *VTO Lanes*. Récupéré sur The Los Angeles County Metropolitan Transit Authority (METRO): <http://www.metro.net/projects/VTO/>
- Ministère des Transports du Québec. (2000). *Signalisation routière: Tome V*. Sainte-Foy: Publications du Québec.
- Ministère des Transports du Québec. (2012). *Ouvrages routiers (Vol. V - Signalisation routière)*. Publications Québec.
- MTBC. (2012, May). *Types of VTO lane*. Récupéré sur Ministry of Transportation of British Columbia: <http://www.th.gov.bc.ca/OkanaganValley/projects/VTOKelowna/types.htm>
- MTO. (2012, May). *VTO Lanes*. Récupéré sur Ministry of Transportation of Ontario: <http://www.mto.gov.on.ca/english/traveller/VTO/faq.shtml>
- New York State Dept. of Transportation. (1998). *Highway design manual - Revision 32*. Albany, NY.
- Olivier, R. (1991). Voie réservée Pie-IX - Résultats. *Sécurité et qualité, les priorités du transport. 26^e congrès annuel* (pp. 122-141). Québec: Association Québécoise du transport et des routes inc.
- Ontario Ministry of Transportation. (2001). *Ontario Traffic Manual book 11 supplement - Making it work*. St. Catherine's, ON.
- Pollet, A., Beubat, M., & Madier De Champvermeil, P. (2005). *Analyse des possibilités et des conditions d'utilisation des bandes d'arrêt d'urgence sur voies rapides aux fins de circulation d'autocars*. Ministère de l'équipement, des transports, de l'aménagement du territoire, du tourisme et de la mer.

Rapport final – R706.1

- Polus, A., & Reshetnik, I. (2001). Optimal Setback Planning and Delay Analysis for VTO Lanes. *127(6)*.
- Rees, T. (2002). *Assessment Strategy for the Active Traffic Management Pilot*. England: TSS Division, Highways Agency.
- Ronglong, Z. (2010). A research on comprehensive evaluation for VTO lane based on analytic hierarchy process. *International Conference on Education Management and Technology (ICEMT)*. China: IEEE.
- Saunier, N., & Sayed, T. (2006). A feature-based tracking algorithm for vehicles in intersections. *The 3rd Canadian conference on IEEE.*, (p. 59).
- Saunier, N., & Sayed, T. (2007). Automated Analysis of Road Safety With Video Data. *2019(2007)*.
- Schofer, J., & Czepiel, E. (2007). Success Factors and Decision Issues for High-Occupancy Vehicle Facilities. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1711, 1711(2000)*, 13-22.
- Shen, Y., Hermans, E., Ruan, D., Wets, G., Vanhoof, K., & Brijs, T. (2008). Development of a Composite Road Safety Performance Indicator based on Neural Networks. *3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering. 1*, pp. 901-906. Xiamen: IEEE.
- Siuhi, S., & Mussa, R. (2007). Simulation Analysis of Truck-Restricted and High-Occupancy Vehicle Lanes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2012*, 127-133. doi:10.3141/2012-15
- Smith, I., & Garland, S. (2010). *Travel Demand Management Guidance, High Occupancy Vehicle Lanes*. UK.
- Sobhani, A., Young, W., & Sarvi, M. (2011). A simulation based approach to assess the safety performance of road locations. *3rd International Conference of Road Safety and Simulation*. Indianapolis: Elsevier. doi:10.1016/j.trc.2012.10.001
- Société de transport de Montréal. (2005, July 13). *Rapport du coroner sur la voie réservée Pie-IX - La STM accueille favorablement les recommandations*. Consulté le January 11, 2013, sur STM INFO: <http://www.stm.info/info/infostm/2005/050713.pdf>
- Stoddard, A. M. (1996). Development of Artériel High-Occupancy-Vehicle Lane Enforcement Techniques. *1554*.
- Sullivan, E. C., & Devadoss, N. (1993). HIGH-OCCUPANCY VEHICLE FACILITY SAFETY IN CALIFORNIA. *1394*.

Rapport final – R706.1

- Tarko, A., Davis, G., Saunier, N., Sayed, T., & Washington, S. (2009). *White Paper: Surrogate measures of safety*. ANB20(3) Subcommittee on Surrogate Measures of Safety.
- Technical Committee on Public Transportation Facilities Design. (2004). *Guide for High-Occupancy Vehicle (VTO) Facilities*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Texas Transportation Institute et al. (1998). *VTO Systems Manual*. Transportation Research Board.
- Transport Scotland. (2009). *Strategic Transport Projects Review: Appendix G – Complementary Measures, High Occupancy Vehicle Lanes*. Scotland: Transport Scotland.
- Transportation Association of Canada. (1999). *Geometric design guide for Canadian roads*. Ottawa.
- Turnbull, K. F. (2003, September). *Houston Managed Lanes Case Study: The Evolution of the Houston VTO System*. Consulté le January 9, 2013, sur Federal Highway Administration: <http://ops.fhwa.dot.gov/docs/houston/index.htm>
- Ulberg, C., & Jacobson, K. (1988). *An Evaluation of the Cost Effectiveness of VTO Lanes: Technical Report*. Washington Seattle: Washington State Transportation Center (TRAC).
- Universitaet fuer Bodenkultur - Institute for Transportation Studies. (1999). *Final Report: Increase of CAR Occupancy through innovative measures and technical instruments*. European Commission, Vienna.
- Vanderschuren, M. (2007). Safety Improvements through Intelligent Transport System: A South African case study based on microscopic Simulation Modeling. 5(1).
- Ville de Montréal. (s.d.). *Service rapide par bus Pie-IX*. Consulté le January 11, 2013, sur portail officiel de la Ville de Montréal: http://ville.montreal.qc.ca/portail/page?_pageid=8957,99621783&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Washington State Dept. of Transportation. (1989). *Design manual*. Olympia, WA.
- Wellander, C., & Leotta, K. (2007). Are High-Occupancy Vehicle Lanes. 1711.
- Yi, Z., Wang, Y., Tian, D., Lu, G., & Xia, H. (2010). A Road Safety Evaluation Method Based on Clustering Neural Network. *International Conference on Optoelectronics and Image Processing*. Haiko, Hainan, China: Proceeding of International Conference on Optoelectronics and Image Processing, IEEE.

Rapport final – R706.1

Appendix – Liste des déploiements VTO examinés dans cette étude

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
1	Newport News/ Hampton	I-64 WB Peninsula	Jefferson Ave. to I-664 Ramp B	VA	Dec-01	3/1	9.5 / 9.5	Autoroute	2+	Concurrent - médián	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	37.073395/ -76.440325
2	Newport News/ Hampton	I-64 EB Peninsula	Jefferson Ave. to Mercury Blvd.	VA	Dec – 01	3/1	9.0 / 9.0	Autoroute	2+	Concurrent - médián	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	37.073395/ -76.440325
3	Sacramento	US 50	Sunrise Blvd. - El Dorado Blvd.	CA	Mar-02	2 / 1	22.0/ 11.0	Autoroute	2+	Concurrent - médián	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	38.635176/ -121.208053
4	Sacramento	I-80	Roseville Rd. - Antelope Rd.	CA	Oct-03	4 / 1	16.0 / 8.0	Autoroute	2+	Concurrent - médián	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	38.691003/ -121.326342
5	Sacramento	SR 99	Elk Grove Blvd. - US 50	CA	Nov-90	3 / 1	28.0/ 14.0	Autoroute	2+	Concurrent - médián	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	38.487323/ -121.43662
6	Bay Area	SR 92 WB	Hesperian Blvd. to San Mateo Bridge Toll Plaza	CA	Oct – 89	3 / 1	3.0 / 3.0	Autoroute	2+	Concurrent - médián	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	
7	Bay Area	I-880 SB	Marina Blvd. to Mission Blvd.	CA	Sept-91	4 / 1	20.5/ 20.5	Autoroute	2+	Concurrent - médián	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	37.621013/ -122.07703
8	Bay Area	I-880 NB	Mission Blvd. to South of Rte. 238 I/C	CA	Sept-91	4 / 1	16.7/ 16.7	Autoroute	2+	Concurrent - médián	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	37.661987/ -122.105035
9	Bay Area	SR 4 WB	West of Railroad Ave. to Port Chicago Hwy.	CA	May-01	4 / 1	7.5 / 7.5	Autoroute	2+	Concurrent - médián	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	38.019834/ -121.984734
10	Bay Area	SR 4 EB	Port Chicago Hwy. to West of Railroad Ave.	CA	Aug-01	4 / 1	7.0 / 7.0	Autoroute	2+	Concurrent - médián	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	38.019834/ -121.984734
11	Twin Cities	I-35 W. SB	66th St. to Burnsville Pkw.	MN	NA	2 / 1	7.5 / 7.5	Autoroute	2+	Concurrent - médián	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	44.851305/ -93.298059

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
12	Montreal	15	Blvd Cote Vertu - Autoroute 440 (Laval)	QC		3 / 1	5.5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	45.532237/ -73.695391
13	Memphis	I-40	US 64 to Sycamore View Rd.	TN	May-02	3 / 1	17.4 / 8.7	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	35.170932/ -89.846463
14	Memphis	I-55	Winchester Rd. to I-240	TN	Jul-07	3 / 1	4.2 / 2.1	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	35.058315/ -90.016015
15	Nashville	I-24	SR 840 to Harding Place	TN	May-99	3 / 1	36,8/ 18,4	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	36.028972/ -86.636667
16	Nashville	I-40	Old Hickory Blvd. to Mt. Juliet Rd.	TN	1996	3 / 1	16.0 / 8.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	36.1692/ -86.566143
17	Nashville	I-40	Donelson Pike to Old Hickory Blvd.	TN	May-02	3 / 1	8,4 / 4,2	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	36.161578/ -86.620002
18	Nashville	I-65	SR 96 to Amory Drive	TN	9/93 to 7/05	3 / 1	30.0/ 15.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	36.030499/ -86.78278
19	Norfolk/Virginia Beach	I-64 EB Southside	Battlefield Blvd. to I-264	VA	Apr-93	3/1	5.0 / 5.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	36.801038/ -76.199226
20	Norfolk/Virginia Beach	I-64 WB Southside	Battlefield Blvd. to I-264	VA	Apr-93	3/1	5.0 / 5.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	36.801038/ -76.199226
21	Norfolk/Virginia Beach	I-264 EB	Brambleton Ave. to Rosemont Road	VA	Sept-92	3/1	9.0 / 9.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	36.84501/ -76.172361
22	Washington Metro	Dulles Toll WB	Sully Road (Rte 28) to I-495	VA	Dec-98	3/1	12.0/ 12.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	38.945525/ -77.339745
23	Washington Metro	Dulles Toll EB	Sully Road (Rte 28) to I-495	VA	Dec-98	3/1	12.0/ 12.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	38.945525/ -77.339745
24	Washington Metro	I-66 EB (outside)	Rte. 234 to Capital Beltway, I-495	VA	1982	4/1	18.0/ 18.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	38.806808/ -77.498589
25	Washington Metro	I-66 WB	Rte. 234 to Capital Beltway, I-495	VA	1982	4/1	18.0/ 18.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	38.806808/ -77.498589
26	Bay Area	I-80 WB	Contra Costa Co. Line to Powell St.	CA	Feb-98	4/1	4.2 / 4.2	Autoroute	3+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	37.859438/ -122.301614

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
27	Bay Area	I-80 EB	I-880 Viaduct to Contra Costa Co. Line	CA	Jul-98	4/1	5.3 / 5.3	Autoroute	3+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	37.859438/ -122.301614
28	Bay Area	I-880 NB	West Grand Ave. to Rte. 80	CA	Nov-03	2 / 1	1.1 / 1.1	Autoroute	3+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	37.82465/ -122.290987
29	Bay Area	I-80 WB	Rte. 4 to Alameda Co. Line	CA	Mar-97	4/1	9.7 / 9.7	Autoroute	3+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	
30	Bay Area	I-80 EB	Alameda Co. Line to Rte. 4	CA	Feb-97	3 / 1	9.9 / 9.9	Autoroute	3+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	
31	Washington Metro	I-270 western spur	North of Democracy Blvd.	MD	9/93 - 7/94	2/2	6.0 / 3.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne continue	39.025902/ -77.141923
32	Portland	I-5 NB	Going Street to Marine Drive	OR	Oct-98	2/1	3.5 / 3.5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne continue	45.581247/ -122.67854
33	Norfolk/Virginia Beach	I-264 WB	Brambleton Ave. to Rosemont Road	VA	Sep-92	3/1	9.0 / 9.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne continue	36.84501/ -76.172361
34	Puget Sound	I-405 SB	Swamp Creek Interchange to I-90	WA	1994-2002	3/1	16.0/ 16.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne continue	47.729625/ -122.190743
35	Puget Sound	I-405 NB	I-90 to Swamp Creek	WA	1994-2002	3/1	19.7/ 19.7	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne continue	47.729625/ -122.190743
36	Puget Sound	I-405 SB	I-90 to Southcenter	WA	1986-1995	3/1	10.3/ 10.3	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
37	Puget Sound	I-405 NB	Southcenter to I-90	WA	1986-1995	3/1	10.5/ 10.5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
38	Puget Sound	I-90 EB	Mercer Island to Issaquah	WA	1994	4/1	6.0 / 6.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
39	Puget Sound	I-90 WB	Issaquah to Mercer Island	WA	1993	4/1	6.3 / 6.3	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
40	Puget Sound	SR 167 SB	Renton to Auburn	WA	1994	2/1	10.0/ 10.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
41	Puget Sound	SR 167 NB	Auburn to Renton	WA	1994-1999	2/1	9.7 / 9.7	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
42	Boston	I-93	Somerville to Boston	MA	NA	2/1	2.0 / 2.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Barrière	

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
43	Pittsburgh	I-579	I-279 to Mellon Arena	PA	1988	NA / 2	6.0 / 3.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Barrière	
44	Pittsburgh	I-279	PNC Park to Perryville Park-n-Ride	PA	1988	NA / 2	12.0 / 6.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Barrière	
45	Puget Sound	I-90 EB Réversible	Rainier Ave. S. to Bellevue	WA	1992	3/2	5.5 / 5.5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Barrière	
46	New York/New Jersey	I-278	Verr. Br. - Battery Tunnel	NY	1995	3/1	4.0 / 4.0	Autoroute	3+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Barrière	
47	Phoenix	I-10	Loop 101 to Loop 202	AZ	1988	8 / 2	57.0/ 28.5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Zone tampon	
48	Phoenix	I-17	Thomas Road to Loop 101	AZ	1995	8 / 2	27.0/ 13.5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Zone tampon	
49	Phoenix	US 60	I-10 to Val Vista Drive	AZ	2004	8 / 2	26.0/ 13.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Zone tampon	
50	Phoenix	SR 51	I-10 to Shea Blvd.	AZ	NA	NA / 2	17.0 / 8.5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Zone tampon	
51	Phoenix	Loop 202	I-10/SR 51 T.I. to Loop 101/Loop 202 T.I.	AZ	1995	NA / 2	19.0 / 9.5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Zone tampon	
52	Long Island	I-495	exit 33 to exit 64	NY	1994	6/2	80.0/ 40.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Zone tampon	
53	Bay Area	I-680 SB	Route 84 to Route 237 Calaveras Blvd.	CA	Nov-02	3 / 1	14.0/ 14.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Zone tampon	37.560347/ -121.909493
54	LA	SR 14	Rte. 5 to Palmadale Blvd	CA	5/98 to 8/02	3 / 1	70 / 35	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Zone tampon	34.411282/ -118.445646
55	Washington Metro	I-270 eastern spur	West of MD 187	MD	9/93 - 7/94	2/2	6.0 / 3.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Zone tampon	39.042353/ -77.147802
56	Twin Cities	I-394 EB	C.R. 101 to Minnesota 100	MN	1992	2 / 1	7.0 / 7.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Zone tampon	44.970886/ -93.450783
57	Twin Cities	I-394 WB	Minnesota 100 to C.R. 101	MN	1992	2 / 1	7.0 / 7.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Zone tampon	44.970886/ -93.450783
58	Twin Cities	I-35 W. NB	Burnsville Pkw. to 86th St.	MN	NA	2 / 1	5.7 / 5.7	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Zone tampon	44.805925/ -93.29097

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
59	Dallas	I-35 E. (Stemmons Fwy)	Frankfort to I-635	TX	Sep-96	3 / 1	14.6 / 7.3	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Zone tampon	32.945734/ -96.905007
60	Bay Area	SR 84 WB	Newark Blvd. to Dumbarton Bridge Toll Plaza	CA	Oct-82	2/1	1.8 / 1.8	Autoroute	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Ligne continue	37.545309/ -122.061004
61	Vancouver	Hway 1	Between Grandview Hway and Cape Horn	BC	1998	3	19 / 9,44	Autoroute	2+ (?)	Concurrent - médian	À temps partiel	limited	Ligne continue	49.240774/ -122.957575
62	Bay Area	I-880 NB	16th St. to SFOBB Toll Plaza	CA	May-98	2 / 1	1.2 / 1.2	Autoroute	3+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Ligne continue	37.820023/ -122.29633
63	Bay Area	I-80 EB	Carquinez Bridge Toll Plaza	CA	Aug-91	3 / 1	0.1 / 0.1	Autoroute	3+	Concurrent - médian	À temps partiel	Limited	Ligne continue	38.064936/ -122.225586
64	Riverside	I-215	University Ave. to Rte. 60 Junction	CA	Jun-01	4 / 1	7.6 / 3.8	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Continu	Ligne pointillée	33.98657/ -117.34639
65	Puget Sound	I-5 SB	S. Everett to Northgate	WA	1983-1998	3/1	16.6/ 16.6	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Continu	Ligne continue	47.861578/ -122.248186
66	Puget Sound	I-5 NB	Northgate to S. Everett	WA	1983-1999	4/1	16.6/ 16.6	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Continu	Ligne continue	47.861578/ -122.248186
67	Puget Sound	I-5 SB	Mercer to S 320th St.	WA	1990-2003	4/1	23.2/ 23.2	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Continu	Ligne continue	
68	Puget Sound	I-5 NB	S 320th St. to I-90	WA	1991-2003	4/1	21.1/ 21.1	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Continu	Ligne continue	
69	Denver	US 36 WB	Pecos St. to Federal Blvd.	CO	Mar-01	4 / 1	1,1 / 1,1	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	39.833949/ -105.016816
70	Denver	US 36 EB	Sheridan Blvd. to Pecos St.	CO	Feb-95	3 / 1	3,4 / 3,4	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	39.833949/ -105.016816
71	Hartford	I-91 SB	Exit 40 in Windsor to Leibert Rd. in Hartford	CT	1993	3/1	8.6 / 8.6	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	41.79464/ -72.65517
72	Hartford	I-91 NB	South of exit 33 in Hartford to South of exit 39 in Windsor	CT	1993	3/1	7.1 / 7.1	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	41.79464/ -72.65517

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
73	Hartford/ Tolland	I-84 WB	Exit 64 in Vernon to East of exit 56 in East Hartford	CT	1989	5/1	9.8 / 9.8	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	41.771216/ -72.6035
74	Hartford/ Tolland	I-84 EB	West of exit 58 in East Hartford to exit 64/65 in Vernon	CT	1989	5/1	9.0 / 9.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	41.771216/ -72.6035
75	Ontario	403	Between ONT 410 and ONT 407	ON	Dec-05	3 / 1	19 / 9,7	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	limited	Zone tampon	43.580391/ -79.666085
76	LA	I-210	Rte. 134 to San Bernardino County Line	CA	12/93 to 11/02	0 / 2	43.0/ 21.5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	34.135181/ -117.992578
77	Riverside	SR 60	Valley Way to Rte. 60/91/215 I/C	CA	Jun-01	2 / 1	15.9 / 9.4	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	34.005178/ -117.388494
78	Greater Toronto	Ont 404	between Ont 401 and Hway 7	ON	Dec-05	3 / 1	11 / 5,5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	43.800898/ -79.344814
79	Ottawa	417	Between Eagleson Rd and Moodie Dr.	ON	2009	3 / 1	2,5 / 2,5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	45.333202/ -75.854602
80	Greater Toronto	QEW	Between Trafalgar Rd and Guelph Line	ON	after 2008	4 / 1	19 / 9,6	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	43.45742/ -79.688047
81	LA	I-105	Rte. 405 to Rte. 605	CA	Oct-93	4 / 1	32.0/ 16.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	33.913271/ -118.132557
82	LA	I-605	Orange County line to Rte. 10	CA	4/97 to 3/01	4 / 1	34.0/ 17.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	33.82105/ -118.081271
83	LA	I-5	I-5/SR 1 to Beach Blvd.	CA	10/92 to 1/02	5 / 1	74.4/ 36.8	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	33.713917/ -117.786584
84	LA	SR 57	Rte. 60 to Orange County line	CA	Aug-97	4 / 1	9.0 / 4.5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	33.993829/ -117.841551
85	LA	SR 91	Rte. 110 to Orange County	CA	6/85 to 11/94	4 / 1	28.6/ 14.3	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	33.877364/ -118.145006

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
			line											
86	LA	SR 118	Ventura County line to Rte. 5	CA	Mar-97	4 / 1	22.8/ 11.4	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	34.274489/ -118.54326
87	LA	I-110	Adams Blvd. to Rte. 91	CA	Jun-96	6 / 2	21.4/ 10.7	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	33.98351/ -118.28054
88	LA	SR 134	Rte. 101/170 to Rte. 210	CA	10/95 to 8/96	4 / 1	26.6/ 13.3	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	34.155817/ -118.297141
89	LA	SR 170	Rte. 101/134 to Rte. 5	CA	02/11/1996	4 / 1	12.2 / 6.1	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	34.17943/ -118.395202
90	LA	I-405 SB	Orange Co. line to Century, Bellflower to Rte. 605, Waterford to Rte. 5	CA	4/93 to 1/02	4 / 1	52 / 52	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	34.117916/ -118.481054
91	LA	SR 60	Brea Canyon Rd. to County line	CA	02/02/1999	4 / 1	17.0 / 8.5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	34.007491/ -117.966571
92	Atlanta	I-75	South I-285 interchange to Akers Mill Road	GA	1996	5 / 1	40 / 20	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	33.829749/ -84.425476
93	Atlanta	I-20	Downtown to I- 285	GA	12/14/1994	NA / 2	17.0 / 8.5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	33.742756/ -84.331498
94	Atlanta	I-85	I-75 interchange to SR 316	GA	1996	5 / 1	47.8/ 23.9	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	33.91644/ -84.200283
95	Charlotte	I-77	I-277 to proposed I-485	NC	2004	6/2	20.0/ 10.0	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	35.342155/ -80.848439
96	Dallas	I-635 EB (LBJ)	Luna Rd. to Hillcrest Rd.	TX	Mar-97	4 / 1	6.8 / 6.8	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	32.915621/ -96.862049
97	Dallas	I-635 WB (LBJ)	Luna Rd. to Hillcrest Rd.	TX	Mar-97	4 / 1	6.8 / 6.8	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	32.915621/ -96.862049
98	Dallas	US 67	Camp Wisdom Rd. to I-35 E. (S. RL Thornton)	TX	Mar-00	2 / 1	5.0 / 2.5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	limited	Zone tampon	32.682152/ -96.851957

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
99	Salt Lake City	I-15	600 North to University Parkway in Orem	UT	Sep-06	3/1	76 / 38	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Zone tampon	
100	Lower Mainland, BC	Highway 17		BC		2 / 1	1.25 / 1.25	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Ligne continue	49.104163 / -123.057361
101	San Diego	I-5 NB	I-5/I-805 Interchange to Via de la Valle exit	CA	Jul-00	2/1	5.6 / 5.6	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Ligne continue	
102	Hartford	CT Rte. 2 WB / TR 829	From I-84 in East Hartford to Founders Bridge	CT	2001	2 / 1	0.5 / 0.5	Autoroute	2+	Concurrent - médian	permanent	Limited	Ligne continue	41.766959 / -72.655368
103	Ft. Lee	I-95	I-95 approach to George Washington Bridge toll plaza	NJ	1986	8/1	1.0 / 1.0	Autoroute	3+	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	40.855468 / -73.970788
104	Puget Sound	SR 520 EB	I-405 to Redmond	WA	1999	2/1	5.8 / 5.8	Autoroute	2+	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
105	Puget Sound	SR 520 WB	Redmond to I-405	WA	1999	3/1	5.8 / 5.8	Autoroute	2+	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
106	Quebec, Montreal area	25		QC		2 / 1	6 / 3	Autoroute	2+	Concurrent - côté droit	À temps partiel	limited	Ligne continue	45.683587 / -73.649659
107	Puget Sound	Pacific Highway South (State Route 99)	S. 356th St. - S. 116th St.	WA	1996 - 2008	4/2	28.0 / 14.0	Autoroute	2+	Concurrent - côté droit	permanent	Continu	Ligne pointillée	
108	Puget Sound	SR 520 WB	I-405 to Evergreen Point Floating Bridge	WA	1973	2/1	2.2 / 2.2	Autoroute	3+	Concurrent - côté droit	permanent	Continu	Ligne continue	
109	Honolulu	Nimitz Highway	west of Sand Island Access Rd. to east of Alakawa St.	HI	November 2003	6/2	2.0 / 2.0	Autoroute	3+	Contre-traffic	À temps partiel	Limited	Cones	21.324039 / -157.8818
110	Boston	I-93	Quincy to Boston	MA	11/15/1995	4/1	5.2 / 5.2	Autoroute	2+	Contre-traffic	À temps partiel	Limited	Barrière mobile	
111	Dallas	I-30 (E. RL Thornton)	Jim Miller Rd. to S. Central	TX	Sep-91	8/1	10.4 / 5.2	Autoroute	2+	Contre-traffic	À temps partiel	Limited	Barrière mobile	

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
			Expy.											
112	Dallas	I-30 (Tom Landry Highway.)	I-35 E. to Collins	TX	Nov-07	6 / 2	56.0 / 11.4	Autoroute	2+	Contre-traffic	À temps partiel	Limited	Barrière mobile	32.790305 / -96.761423
113	Dallas	I-30 (E. RL Thornton)	Jim Miller Rd. to Belt Line	TX	Nov-07	6/1	13.4 / 6.7	Autoroute	2+	Contre-traffic	À temps partiel	Limited	Barrière mobile	34.005178 / -117.388494
114	Honolulu	H-1	Managers Dr. to Pearl Harbor interchange	HI	8/18/1998	3 / 1	9.1 / 9.1	Autoroute	3+	Contre-traffic	À temps partiel	Limited	Barrière mobile	21.393463 / -158.012974
115	New York/New Jersey	I-495	Maurice Ave. to QM Tunnel	NY	mid-late 1990's	3/1	2.6 / 2.6	Autoroute	3+	Contre-traffic	À temps partiel	Limited	Barrière mobile	
116	San Diego	I-15	SR-163 to SR-56	CA	Oct-88	0/2	14.6 / 7.3	Autoroute	2+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	32.908415 / -117.116332
117	Denver	US 36	Pecos St. to I-25	CO	05/08/2001	0 / 1	1.2 / 1.2	Autoroute	2+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	39.827592 / -104.992044
118	Denver	I-25	Downtown Denver to 70th Ave./US 36	CO	10/02/1995	0 / 2	13.2 / 6.6	Autoroute	2+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	39.798893 / -104.986146
119	Twin Cities	I-394 EB	Minnesota 100 to I-94	MN	Jun-05	2 / 2	6.6 / 3.3	Autoroute	2+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	44.970385 / -93.316598
120	Dallas	I-35 E. (S. RL Thornton)	US-67 to I-30	TX	Mar-02	8/1	13.0 / 6.5	Autoroute	2+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	32.745847 / -96.811724
121	Houston	I-45 NB	CBD to FM 1960	TX	1979-1999	NA	0 / 19.9	Autoroute	2+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	
122	Houston	I-45 SB	CBD to Choate Rd. (Clear Lake City)	TX	1985-1999	NA	NA	Autoroute	2+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	
123	Houston	US 59 SB	CBD to SH 6 (Sugarland)	TX	1987-2006	NA	0	Autoroute	2+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	
124	Houston	US 59 NB	CBD to FM 1960	TX	1985-2005	NA	0 / 20.2	Autoroute	2+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	
125	Norfolk/Virginia Beach	I-64 Réversible	I-264 -I-564	VA	9/14/1992	0/2	18.0 / 9.0	Autoroute	2+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	36.884117 / -76.221607
126	Puget Sound	I-5 SB Réversible	Roanoke to Cherry (CBD)	WA	1970-1985	2/1	2.6 / 2.6	Autoroute	2+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	
127	Puget Sound	I-5 NB Réversible	SR 522 to Northgate	WA	1987	3/1	1.8 / 1.8	Autoroute	2+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	47.66963 / -122.322185

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
128	Puget Sound	I-90 WB Réversible	Bellevue to Rainier Ave. S.	WA	1992	4/2	5.5 / 5.5	Autoroute	2+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	
129	Washington Metro	I-395 NB	Capital Beltway to Washington DC	VA	1969	4/2	18.0 / 9.0	Autoroute	3+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	
130	Washington Metro	I-95 NB	Rte. 234 to Capital Beltway, I-495	VA	1995	4/2	36.0 / 18.0	Autoroute	3+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	
131	Washington Metro	I-95 SB	Rte. 234 to Capital Beltway, I-495	VA	1995	4/2	36.0 / 18.0	Autoroute	3+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	
132	Washington Metro	I-395 SB	Capital Beltway to Washington DC	VA	1969	4/2	18.0 / 9.0	Autoroute	3+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	
133	Houston	US 290	I-10 to SH 6	TX	1988-1999	NA	0 / 13.5	Autoroute	variable 2+ 3+	Réversible	À temps partiel	Limited	Barrière	
134	New Orleans	US 90 Business E.	New Orleans - Gretna	LA	1994?	4/2	NA	Autoroute	2+	Réversible	permanent	Limited	Barrière	
135	Dallas	I-35 E. (Stemmons)	I-635 to Royal Ln.	TX	Sep-96	6/1	0.7 / 0.7	Autoroute	2+	Réversible	permanent	Limited	Barrière	32.901209/ -96.897913
136	Washington Metro	I-66 WB	Washington DC to I-495	VA	1982	0 / 2	20.0 / 10.0	Autoroute	2+	Route séparée	À temps partiel	Limited	Route séparée	
137	Washington Metro	I-66 EB	I-495 to Washington DC	VA	1982	0 / 2	20.0 / 10.0	Autoroute	2+	Route séparée	À temps partiel	Limited	Route séparée	
138	Bay Area	I-80 WB	Bay Bridge Toll Plaza	CA	4/17/1970	0 / 1	2.9 / 2.9	Autoroute	3+	Route séparée	À temps partiel	Limited	Route séparée	37.826849/ -122.298937
139	Bay Area	I-80 VTO Fly Over Ramp WB	Powell St. to Bay Bridge	CA	02/02/1998	0 / 1	1.0 / 1.0	Autoroute	3+	Route séparée	À temps partiel	Limited	Route séparée	
140	Hartford/ Tolland	I-384 EB	I-84 in East Hartford to exit 1 / Spencer St. in Manchester	CT	1989	4/1	1.3 / 1.3	Autoroute	2+	Route séparée	permanent	Limited	Route séparée	41.769755/ -72.578533
141	East Hartford/ Hartford	I-84, Silver Lane EB	Silver Lane in East Hartford to I-84 in East Hartford	CT	1989	0 / 1	0.3 / 0.3	Autoroute	2+	Route séparée	permanent	Limited	Route séparée	
142	East Hartford/ Hartford	I-84, Silver Lane WB	I-84 in East Hartford to	CT	1989	0 / 1	0.4 / 0.4	Autoroute	2+	Route séparée	permanent	Limited	Route séparée	

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
			Silver Lane in East Hartford											
143	New York/New Jersey	I-278	Slosson Ave. to VN Bridge	NY	late 1990's	6/2	5.2 / 2.6	Autoroute	bus	Concurrent - médián	permanent	Limited	Ligne continue	40.607143/ -74.08571
144	Laval	A-25	montée St- François - montée Masson	QC		3 / 1	1,86/ 1,86	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	none	45.639007/ -73.651149
145	Twin Cities	I-94 4th St. exit	Plymouth Ave. to 4th Ave. N.	MN	Jun-05	NA	1.0 / 1.0	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
146	Twin Cities	I-94 3rd St. ramp	7th Ave. N to 26th Ave. N.	MN	Jun-05	NA	1.3 / 1.3	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
147	Twin Cities	TH 100	Excelsior Blvd. to TH 7	MN	Jun-05	NA	0.5 / 0.5	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
148	Twin Cities	I-394	W. of Xenia to E. of TH 100	MN	Jun-05	NA	0.9 / 0.9	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
149	Twin Cities	I-94	E. of Snelling to W. of Snelling	MN	Jun-05	NA	0.5 / 0.5	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
150	Twin Cities	I-694	Hemlock Lane to Brooklyn Blvd.	MN	Jun-05	NA	4.2 / 4.2	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
151	Twin Cities	I-35 E.	TH 110 to TH 13	MN	Jun-05	NA	1.3 / 1.3	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
152	Twin Cities	TH 5	Market Blvd. to Fuller	MN	Jun-05	NA	3.1 / 3.1	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
153	Twin Cities	TH 5	Fuller to Market Blvd.	MN	Jun-05	NA	2.8 / 2.8	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
154	Twin Cities	I-94	Hemlock bridge to Hemlock ramp	MN	Jun-05	NA	0.3 / 0.3	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
155	Twin Cities	TH 36	I-35 E. to I-35 W.	MN	Jun-05	NA	4.1 / 4.1	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
156	Twin Cities	TH 36	I-35 W. to I-35 E.	MN	Jun-05	NA	4.4 / 4.4	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
157	Twin Cities	I-35 W.	26th St. to Lake St.	MN	Jun-05	NA	0.4 / 0.4	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
158	Twin Cities	I-35 W.	35th St. to 60th St.	MN	Jun-05	NA	3.3 / 3.3	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
159	Twin Cities	I-35 W.	66th St. to 76th St.	MN	Jun-05	NA	0.9 / 0.9	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
160	Twin Cities	I-35 W.	57th St. to 44th St.	MN	Jun-05	NA	1.4 / 1.4	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
161	Twin Cities	I-35 W.	76th St. to 66th St.	MN	1996	NA	0.9 / 0.9	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
162	Twin Cities	I-35 E.	TH 36 to Cayuga bridge	MN	1997	NA	2.0 / 2.0	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
163	Twin Cities	I-35 E.	Cayuga bridge to TH 36	MN	1997	NA	2.0 / 2.0	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
164	Twin Cities	I-35 W.	CR C to I-694	MN	1997	NA	3.2 / 3.2	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
165	Twin Cities	I-35 W.	I-694 to CR C	MN	1997	NA	3.2 / 3.2	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
166	Twin Cities	I-494	TH 169 to Bush Lake Rd.	MN	1997	NA	1.6 / 1.6	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
167	Twin Cities	I-494	Bush Lake Rd. to TH 212	MN	1997	NA	3.2 / 3.2	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	44.859824/ -93.418479
168	Twin Cities	I-94	under Shingle Creek Pkwy.	MN	1997	NA	0.4 / 0.4	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
169	Twin Cities	TH 36	Edgerton to I- 35 E.	MN	1998	NA	0.6 / 0.6	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
170	Twin Cities	I-35 W.	TH 280 to 8th St. SE	MN	1998	NA	3.1 / 3.1	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
171	Twin Cities	I-35 W.	8th St. SE to Stinson Blvd.	MN	1998	NA	0.9 / 0.9	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
172	Twin Cities	US 169	TH 55 to 36th Ave. N.	MN	1998	NA	2.6 / 2.6	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
173	Twin Cities	US 169	36th Ave. to TH 55	MN	1998	NA	2.3 / 2.3	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
174	Twin Cities	I-35 W.	CR I to I-694	MN	1999	NA	2.8 / 2.8	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
175	Twin Cities	I-35 W.	I-694 to CR I	MN	1999	NA	3.1 / 3.1	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
176	Twin Cities	I-94	Mounds Blvd. to 6th St. on ramp	MN	1999	NA	0.6 / 0.6	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
177	Twin Cities	I-94	TH 61 to McKnight Rd.	MN	1999	NA	2.1 / 2.1	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
178	Twin Cities	I-94	McKnight Rd. to TH 61	MN	1999	NA	2.8 / 2.8	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
179	Twin Cities	I-94	Western Ave. to Cedar Ave.	MN	2000	NA	5.8 / 5.8	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
180	Twin Cities	I-94	Cedar Ave. to John Ireland Blvd.	MN	2000	NA	7.2 / 7.2	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
181	Twin Cities	TH 36	West of 35E to I-694	MN	2000	NA	6.9 / 6.9	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
182	Twin Cities	TH 36	I-694 to West of I-35 E.	MN	2000	NA	6.4 / 6.4	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
183	Twin Cities	TH 100	Minnehaha Creek to Excelsior Blvd.	MN	2000	NA	1.3 / 1.3	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
184	Twin Cities	TH 100	Benton Blvd. to Minnehaha Creek	MN	2001	NA	1.3 / 1.3	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
185	Twin Cities	I-35 E.	TH 36 to I-694	MN	2001	NA	1.4 / 1.4	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
186	Twin Cities	I-35 E.	Little Canada Road to TH 36	MN	2001	NA	1.1 / 1.1	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
187	Twin Cities	I-35 E.	West of Kellogg to Randolph	MN	2001	NA	2.2 / 2.2	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
188	Twin Cities	I-35 E.	south of Randolph to Grand	MN	2001	NA	2.4 / 2.4	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
189	Twin Cities	I-35 W.	Franklin Ave. to 26th St.	MN	2001	NA	0.5 / 0.5	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
190	Twin Cities	US 10	south of Foley Blvd. to Thurston Ave.	MN	2001	NA	8.5 / 8.5	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
191	Twin Cities	US 10	Thurston Ave. to south of Foley Blvd.	MN	2001	NA	8.4 / 8.4	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
192	Twin Cities	I-394	Linden Ave. to VTO lane	MN	2002	NA	0.3 / 0.3	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
			entrance											
193	Twin Cities	I-694	Main St. to Mississippi River	MN	2002	NA	0.5 / 0.5	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
194	Twin Cities	I-35 W.	Co. Road I to 95th Ave.	MN	2002	NA	2.5 / 2.5	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
195	Twin Cities	I-35 W.	95th Ave. to Co. Road I	MN	2002	NA	2.2 / 2.2	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
196	Twin Cities	US 169	I-494 to TH 55	MN	2002	NA	8.0 / 8.0	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
197	Twin Cities	US 169	36th Ave. N to between 63rd & I-694	MN	2002	NA	3.5 / 3.5	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
198	Twin Cities	US 169	between 63rd & I-694 to 36th Ave. N.	MN	2002	NA	3.9 / 3.9	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
199	Twin Cities	US 169	TH 55 to I-494	MN	2002	NA	8.1 / 8.1	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
200	Twin Cities	I-94	John Ireland Blvd. to Western Ave.	MN	2002	NA	0.5 / 0.5	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
201	Twin Cities	I-94	Co. Road 30 to Weaver Lake Road	MN	2003	NA	1.4 / 1.4	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
202	Twin Cities	I-94	Weaver Lake Road to Co. Road 30	MN	2003	NA	1.7 / 1.7	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
203	Twin Cities	I-94	Dowling Ave. to I-694	MN	2003	NA	3.4 / 3.4	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
204	Twin Cities	I-35 W.	Stinson Blvd. to Cleveland Ave.	MN	2004	NA	2.1 / 2.1	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
205	Twin Cities	I-35 E.	I-694 to Hwy. 96	MN	2004	NA	1.8 / 1.8	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
206	Twin Cities	I-35 E.	Hwy. 96 to I- 694	MN	2004	NA	1.8 / 1.8	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
207	Twin Cities	I-94	Hwy. 52 to Mounds Blvd.	MN	2004	NA	0.9 / 0.9	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombr e de voies (Réguliè re / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
208	Twin Cities	US 10	Thurston Ave. to Armstrong	MN	2005	NA	3.1 / 3.1	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
209	Twin Cities	US 10	Armstrong to Thurston Ave.	MN	2005	NA	2.9 / 2.9	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
210	Twin Cities	TH 10	Thurston to Armstrong	MN	2005	NA	3.1 / 3.1	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
211	Twin Cities	TH 10	Armstrong to Thurston	MN	2005	NA	2.9 / 2.9	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
212	Twin Cities	TH 62	Hwy. 77 to Portland	MN	2005	NA	1.0 / 1.0	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
213	Twin Cities	TH 62	Portland to Hwy. 77	MN	2005	NA	1.0 / 1.0	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
214	Twin Cities	I-94	Shingle Creek Pkwy. to 7th St. exit	MN	2005	NA	6.0 / 6.0	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
215	Twin Cities	TH 62	Penn to Hwy. 212	MN	2005	NA	4.8 / 4.8	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
216	Twin Cities	TH 62	Hwy. 212 to Penn	MN	2005	NA	4.7 / 4.7	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
217	Twin Cities	I-494	Hwy. 5 to Hwy. 169	MN	2005	NA	2.0 / 2.0	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
218	Twin Cities	I-94	McKnight Road to Century Ave.	MN	2005	NA	0.9 / 0.9	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
219	Twin Cities	I-94	Century Ave. to McKnight Road	MN	2006	NA	1.3 / 1.3	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	
220	Montreal	A-20 (East)	55eme Avenue / 32eme avenue)	QC		3 / 1	1 / 1	Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Limited	Ligne continue	45.4483/ -73.714449
221	Ottawa	WB-Queensway		ON		4/1		Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	permanent	Limited	Ligne continue	45.334575/ -75.851487

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
222	Ottawa	EB-Road 174		ON		2/1		Autoroute	bus	Concurrent - côté droit	permanent	Limited	Ligne continue	45.456684/ -75.577655
223	Union City Weehawken	Route 495	Route 495; Lincoln Tunnel Bus Lane	NJ	Dec-70	6/1	2.5 / 2.5	Autoroute	bus	Contre-traffic	À temps partiel	Limited	Zone tampon	
224	Montreal	Pont Champlain	Bldv G. Laberge / Bldv. Chevrier			3 / 1	11 / 5,84	Autoroute	bus	Contre-traffic	À temps partiel	Limited	cones	45.468348/ -73.516867

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
225	Laval	Bldv Chomedey	Bldv Le carrefour / bldv H. bourassa	QC	NA	4 / 2	7,4 / 3,7	Artériel	bus + taxi	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	45.541495/ -73.736336
226	Montreal	Bldv H. bourassa	Bldv St Laurent /Bldv Lacordaire	QC	NA	6 / 2	9,8 / 4,9	Artériel	bus + taxi	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	45.587495/ -73.648939
227	Montreal	Park Avenue	Bldv. R. Levesque / Ave. Van Horne	QC	NA	6 / 2	5,4 / 2,7	Artériel	bus + taxi	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	45.515249/ -73.586783
228	Montreal (LaSalle)	Newmann	Bldv Angrignon / 90eme avenue	QC	NA	4 / 2	3,8 / 1,9	Artériel	bus + taxi	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	45.441947/ -73.618383
229	Ottawa	Albert Streets	Elgin St. to Slater St.	ON	NA	2 / 1	1.6 / 1.6	Artériel	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	45.420248/ -75.699685
230	Ottawa	Slater Streets	Elgin St. to Albert St.	ON	NA	2 / 1	1.6 / 1.6	Artériel	bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	45.415942/ -75.707686
231	Calgary	9 Avenue	8 Street / 15 Street S.E.	AB	NA	2 / 2	2.6 / 1.3	Artériel	bus + vélos	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne continue	51.042332/ -114.037185
232	Toronto	Dufferin Ave.	Downsview Station – Finch Avenue	ON	2009	4 / 2	4.8/ 2.4	Artériel	bus	Concurrent - côté droit	permanent	Continu	Zone tampon pointillé	43.758528/ -79.464876
233	Laval	Boulevard des Laurentides	rue Renaud O. / Bldv St Martin	QC	NA	2 / 1	0,12 / 0,12	Artériel	bus + taxi	Concurrent - côté droit	permanent	Continu	Zone tampon pointillé	45.582974/ -73.70702

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
234	Laval	Boulevard des Laurentides	rue st michel / Bldv St Martin	QC	NA	2 / 1	0,12 / 0,12	Artériel	bus + taxi	Concurrent - côté droit	permanent	Continu	Zone tampon pointillé	45.580992/ -73.704275
235	Brossard	Bldv Taschereau	Bldv de Rome / Ave. Auguste	QC	NA	6 / 2	4,10 / 2,05	Artériel	bus + taxi	Concurrent - côté droit	permanent	Continu	Zone tampon pointillé	45.477466/ -73.466463
236	Montreal - repentigny	QC 138	Pont Le gardeur	QC	NA	2 / 1	0,31 / 0,31	Artériel	bus + taxi	Concurrent - côté droit	permanent	Limited	Zone tampon	712592/ -73.478844
237	Vancouver	Marine Drive	Ambleside Youth Center / Taylor Way	BC	NA	5 / 1	0.75 / 0.75	Artériel	bus	Concurrent - côté droit	permanent	limited	Ligne continue	49.326989/ -123.13689
238	Washington Metro	US 1 (Henry St. SB)	Mont- gomery St to Duke St	VA	NA	2 / 1	1.3 / 1.3	Artériel	2+	Concurrent - médian	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	38.805303/ -77.051475
239	Ottawa	Portage bridge(SB)	Rue Laurier to Wellington Street	ON	1995	2 / 1	0.5 / 0.5	Artériel	VTO +3, taxis, Bus	Concurrent - médian	permanent	Continu	Ligne pointillée	45.41963/ -75.711765
240	Vancouver	Highway 17	Highway99 - Ladner Trunk Road(High- way 10)	BC	NA	4 / 1	1.8 / 1.8	Artériel	VTO 2+, motos, vélos, Bus	Concurrent - médian	permanent	Limited	Ligne continue	49.099672/ -123.05733
241	Toronto	Dundas Street West	Dixie Road – Aukland Road	ON	1992	4 / 2	10 / 5	Artériel	VTO 3+, taxi, vélos, Bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	43.617685/ -79.574747

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
242	Toronto	Don Mills Road	Overlea Boulevard – Finch Avenue	ON	1993	4 / 2	19.4 / 9,7	Artériel	VTO 3+, taxi, vélos,	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	43.724405/ -79.340107
243	Toronto	Eglinton Avenue East	Leslie Street to Kingston Road	ON	Mid- 1990s	4 / 2	22.6 / 11,3	Artériel	VTO 3+, taxi, vélos	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	43.725367/ -79.30908
244	Toronto	Pape Avenue	Millwood Avenue to Danforth Subway Station	ON	1993	2 / 2	4.2 / 2,1	Artériel	VTO 3+, taxi, vélos, Bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	43.683081/ -79.3464
245	Toronto	Yonge Street	Bishop Avenue to Clarke- Avenue	ON	1993	4 / 2	5.6 / 2,8	Artériel	VTO 3+, taxi, vélos, Bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	43.791327/ -79.418449
246	Ottawa	Bldv. Maisonneuve	Verdun St. to Laurier St.	ON	1991	4 / 2	2.24 / 1,12	Artériel	VTO +3, taxis	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	45.434117/ -75.712452
247	Gatineau	Bldv Fournier	Lady Aberdeen Bridge to. Rue Laurier	QC	1996	4 / 2	0.6 SB + 1.0 NB / 1.0	Artériel	VTO +3, taxis	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	45.445349/ -75.71301
248	Gatineau	Bldv Greber	Approaches to Lady Aberdeen Bridge	QC	1996	5 / 1	0.4 / 0,4	Artériel	VTO +3, taxis	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	45.464616/ -75.700092
249	Ottawa	Chemin d'Aylmer	Chemin Vanier – Rue Chateau- briand	ON	1997	2 / 2	9.6 / 4,8	Artériel	VTO +3, taxis, Bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	45.402051/ -75.801222
250	Quebec	Bldv de la rive Sud	Chemin du Sault to 4th Avenue	QC	1995	2 / 1	3.26 / 3,26	Artériel	VTO 2+, taxis	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	46.73416/ -71.264915

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
251	Quebec	Route du pont	Rue de l'Aquifère – Pont Pierre- Laporte (Route 73)	QC	1995	2 / 1	1.98 / 1,98	Artériel	VTO 3+, taxi	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	46.738331/ -71.292475
252	Washington Metro	N. Washington Street	Green St. to First St.	VA	1984	4 / 2	3.0 / 3.0	Artériel	2+	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	38.815268/ -77.044802
253	Bay Area	San Tomas Expressway	Budd Ave. to Walsh Ave.	CA	1982	4 / 2	14.4 / 7.2	High standard Artériel	2+	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	37.297544/ -121.961632
254	Bay Area	Central Expressway	Bowers Ave., Scott Boulevard	CA	NA	2 / 2	NA	High standard Artériel	2+	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	37.374284/ -121.972961
255	Bay Area	Capitol Expressway	Silver Creek Rd. to Capitol Ave.	CA	1998	6 / 2	7.6 / 3.8	High standard Artériel	2+	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	
256	Bay Area	Lawrence Expressway	Stevens Creek Blvd. - Tasman Dr. (gap at US 101 I/C)	CA	1984	6 / 2	12.2 / 6.1	High standard Artériel	2+	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	37.342253/ -121.995621
257	Bay Area	Montague Expressway	Mission College Blvd. - Milpitas Blvd. (gap at I-880 I/C)	CA	1983	6 / 2	10.8 / 5.4	High standard Artériel	2+	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	37.392664/ -121.947985
258	Washington Metro	US 1 (Patrick St. NB)	Duke St. - Fayette St.	VA	1984	2 / 1	1.0 / 1.0	Artériel	2+	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	38.812142/ -77.049964
259	Vancouver	Granville Street	63rd Ave- 71 st Ave	BC	1996	5 / 1	0,75 / 0.75	Artériel	VTO 3+, motos	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	49.209858/ -123.140557

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
260	Vancouver	Lougheed Highway (Highway 7)	Pitt River Bridge-Harris Road	BC	1990s	5 / 1	2,8 / 2.8	Artériel	VTO 3+, Bus, motos, vélos	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	49.24345/ -122.720021
261	Vancouver	Barnet-Hastings	St. John's Road / Clarke Road	BC	1996	4 / 2	33 / 16.5	Artériel	VTO 2+, motos, taxis	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	49.276667/ -122.863755
262	Vancouver	Georgia Street-1	Richards street-Nicola Street	BC	2003	4 / 1	1.4 / 1.4	Artériel	VTO 3+, motos, vélos, Bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	49.291322/ -123.131762
263	Calgary	Centre Street	20 Avenue North - 3 Avenue S	AB	2000	2 / 2	5.0 / 2.5	Artériel	VTO 2+, vélos, Bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	51.057554/ -114.062376
264	Toronto	Dufferin Street/ Allen Road	Finch Avenue to Transit Road	ON	1994	4 / 2	6.6 / 3,3	Artériel	VTO 3+, taxi, vélos, Bus	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	43.762426/ -79.465372
265	Toronto	Overlea Boulevard	Don Mills Road to Millwood Avenue	ON	1994	2 / 2	3.6 / 1.8	Artériel	VTO 3+, taxi, vélos	Concurrent - côté droit	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	43.707469/ -79.343526
266	Vancouver	Willingdon Ave.	Deer Lake Parkway - Canada Way	BC	2000	4 / 2	2.6 / 1.3	Artériel	VTO 6+, vélos, Bus	Concurrent - côté droit	permanent	Continu	Ligne pointillée	49.245934/ -123.003388
267	Ottawa	Portage bridge(NB)	Rue Laurier to Wellington Street	ON	1995	2 / 1	0.5 / 0.5	Artériel	VTO +3, taxis, Bus	Concurrent - côté droit	permanent	Continu	Ligne pointillée	45.41963/ -75.711765
268	Vancouver	Marine Drive	Marine Drive to	BC	NA	2 / 1	0,2 / 0.2	Artériel	HOC 3+,	Concurrent - côté droit	permanent	Limited	Ligne continue	49.326912/ -123.128218

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
			north end of Lion's Gate Bridge						Bus					
269	Vancouver	Georgia Street-2	Nicola Street-park	BC	1990s	5 / 1	0.65 / 0.65	Artériel	VTO 3+, motos, vélos, Bus	Concurrent - côté droit	permanent	Limited	Ligne continue	49.293911/ -123.135649
270	Houston	Saint Joseph Parkway	Jackson St. - Brazos St.	TX	September 2003	2 / 1	0.7 / 0.7	Artériel	2+	Concurrent - deuxième voie	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	29.747779/ -95.366242
271	Houston	Lamar Street	LaBranch St. - Bagby St.	TX	May 2005	1 / 1	0.7 / 0.7	Artériel	2+	Concurrent - deuxième voie	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	29.753899/ -95.361698
272	Houston	Congress Street	Jackson St. - Louisiana St.	TX	July 2004	2 / 1	0.6 / 0.6	Artériel	2+	Concurrent - deuxième voie	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	29.763469/ -95.362707
273	Houston	Fannin Street	Commerce St. - Pierce St.	TX	December 2002	2 / 1	2.6 / 2.6	Artériel	2+	Concurrent - deuxième voie	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	29.750835/ -95.368559
274	Houston	Franklin Street	Chenevert St. - Louisiana St.	TX	July 2002	2 / 1	0.7 / 0.7	Artériel	2+	Concurrent - deuxième voie	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	29.762273/ -95.359011
275	Houston	Jefferson Street	Brazos St. - Travis St.	TX	May 2005	2 / 1	0.3 / 0.3	Artériel	2+	Concurrent - deuxième voie	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	29.752269/ -95.371778
276	Houston	Louisana Street	Pierce St. - Congress St.	TX	July 2001	2 / 1	2.1 / 2.1	Artériel	2+	Concurrent - deuxième voie	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	29.754207/ -95.370855
277	Houston	McKinney Street	Bagby St. - Austin St.	TX	February 2001	2 / 1	0.6 / 0.6	Artériel	2+	Concurrent - deuxième voie	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	29.751766/ -95.371006
278	Houston	Pierce Street	Brazos St. - Jackson St.	TX	September 2003	2 / 1	0.7 / 0.7	Artériel	2+	Concurrent - deuxième voie	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	29.747686/ -95.367851

Rapport final – R706.1

ID	Zone urbaine	Nom de la route	Limité par	Etat/ Province	Date de mise en service	Nombre de voies (Régulière / VTO)	Longueur de voie par longueur de route	Classification	Usagers	Type (emplacement)	Heure de l'opération	Type d'accès	Type de séparation	Emplacement (Latitude / Longitude)
279	Houston	San Jacinto Street	Pierce St. - Commerce St.	TX	May 2001	2 / 1	2.7 / 2.7	Artériel	2+	Concurrent - deuxième voie	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	29.755585/ -95.363388
280	Houston	Smith Street	Congress St. - Gray St.	TX	May 2005	2 / 1	2.0 / 2.0	Artériel	2+	Concurrent - deuxième voie	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	29.754356/ -95.371993
281	Houston	Travis Street	Pierce St. - Commerce St.	TX	September 2005	1 / 1	2.4 / 2.4	Artériel	2+	Concurrent - deuxième voie	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	29.756442/ -95.366521
282	Houston	Milam Street	Commerce St. - Pierce St.	TX	January 2004	2 / 1	2.3 / 2.3	Artériel	2+	Concurrent - deuxième voie	À temps partiel	Continu	Ligne pointillée	29.753163/ -95.370469
283	Ottawa	Champlain bridge	Taché Boulevard - Ottawa River Parkway	ON	2002	2 / 1	1.15N B + 1.38S B / 1.38	Artériel	VTO 2+, taxis, Bus	Réversible	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	45.424163/ -75.725575
284	Ottawa	Bldv Alexandre Tache	Rue Montcalm to Rue Millar	ON	1994	3 / 1	0.65 / 0.65	Artériel	VTO +3, taxis, Bus	Réversible	À temps partiel	Continu	Zone tampon pointillé	45.423704/ -75.730938
285	Pittsburgh	Wabash Tunnel	Woodruff St. to West Carson St.	PA	2004	0 / 2	1.0 / 1.0	Artériel	2+	Réversible	À temps partiel	Limited	Route séparée	40.430877/ -80.013431
286	New York	West Drive (Central Park)	Lenox Ave. to 7th Ave.	NY	January 3, 2005	0 / 4	3.5 / 3.5	Artériel	2+	Route séparée	À temps partiel	Limited	Route séparée	