

*Lignes directrices pour la planification,  
la conception, l'exploitation et l'évaluation  
des systèmes de voies à sens réversible*

## **AVIS DE NON-RESPONSABILITÉ**

Le contenu du présent document a fait l'objet d'une recherche attentive et d'une préparation minutieuse. Cependant, l'exactitude de son contenu ou des extraits de publication utilisés à des fins de référence ne peut être garantie de manière expresse ou implicite. Le fait de diffuser ce document n'engage en rien la responsabilité de l'ATC, de ses chercheurs ou de ses collaborateurs dans le cas d'omissions, d'erreurs ou de fausses informations susceptibles de résulter de l'utilisation ou de l'interprétation du contenu du document.

Tous droits réservés 2010  
Association des transports du Canada  
2323, boul. St-Laurent, Ottawa (Ontario) K1G 4J8  
Téléphone (613) 736-1350 ~ Télécopieur (613) 736-1395  
[www.tac-atc.ca](http://www.tac-atc.ca)  
ISBN 978-1-55187-326-5

## FICHE DE DOCUMENTATION DU RAPPORT DE L'ATC

<b>Titre et sous-titre</b>  <b>Lignes directrices pour la planification, la conception, l'exploitation et l'évaluation des systèmes de voies à sens réversible</b>		
<b>Date du rapport</b>  Février 2010	<b>Nom et adresse de l'organisme de coordination</b>  Association des transports du Canada 2323, boul. Saint-Laurent Ottawa (Ontario) K1G 4J8	<b>N° ITRD</b>
<b>Auteur(s)</b>  Alfred A. Guebert	<b>Nom et adresse de l'organisme affilié</b>  AECOM Canada Ltd. 2540, route Kensington Nord-Ouest Calgary (Alberta) T2N 3S3 Canada	
<b>Sommaire</b>  Une route à sens réversible est une route sur laquelle le sens de la circulation est inversé pour une durée déterminée sur une ou plusieurs voies ou sur les accotements. Le principe consiste à exploiter la capacité non utilisée d'une voie dans le sens de la circulation hors pointe pour accroître la capacité dans le sens de la circulation de pointe, et ainsi, éviter ou retarder la construction de voies additionnelles.  Le présent document renferme un ensemble de lignes directrices pancanadiennes et de recommandations à l'égard de la planification, de la conception, de l'exploitation et de l'évaluation des systèmes de voies réversibles, en vue de favoriser une meilleure compréhension de ces systèmes et d'uniformiser leur mise en œuvre. Nous espérons que les présentes lignes directrices contribueront à rehausser la sécurité et l'efficacité de ces systèmes.  Le présent document poursuit quatre objectifs : <ul style="list-style-type: none"><li>• favoriser une meilleure compréhension de l'utilisation des voies et des routes à sens réversible;</li><li>• servir de guide pratique pour la planification, la conception, la mise en œuvre, la gestion et l'évaluation de ces systèmes;</li><li>• promouvoir l'aménagement de voies réversibles comme une solution viable, durable et économique permettant d'améliorer la mobilité et de réduire la congestion dans les corridors restreints à moindre coût et dans le respect de l'environnement;</li><li>• uniformiser la conception et l'exploitation de ces systèmes pour favoriser une meilleure compréhension chez les usagers de la route, et accroître l'efficacité opérationnelle et la sécurité des voies réversibles.</li></ul>		<b>Mots-clés</b>  Planification de la circulation et du transport - Régulation de la circulation - Voie réversible - Planification - Conception - Régulation de la circulation - Caractéristiques - Recommandations
<b>Information complémentaire</b>		



## Remerciements

L'élaboration des *Lignes directrices pour la planification, la conception, l'exploitation et l'évaluation des systèmes de voies à sens réversible* a été rendue possible grâce à la participation financière de nombreux organismes. L'ATC remercie les parrains suivants pour leur généreux apport au projet.

Ministère des Transports de l'Alberta

Ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique

Ministère des Transports et du Renouvellement de l'infrastructure de la Nouvelle-Écosse

Ministère des Transports de l'Ontario

Ministère des Transports du Québec

Ville de Calgary

Ville d'Edmonton

Municipalité régionale d'Halifax

Ville d'Hamilton

Ville d'Ottawa

Ville de Vancouver

Administration des transports de la côte Sud de la Colombie-Britannique

L'Association québécoise du transport et des routes (AQTR) a pour mission de mobiliser la communauté des transports afin de favoriser l'échange des connaissances et la formation dans le domaine. Elle entretient à cet effet un partenariat continu avec l'Association des transports du Canada (ATC). L'AQTR est heureuse de présenter la version française du *Guidelines for the Planning, Design, Operation and Evaluation of Reversible Lane Systems*, dont la traduction a été financée par l'ATC.

L'AQTR tient à remercier Monsieur André Lemire, consultant, Madame Hélène Bourdeau, de la Ville de Laval, Monsieur Stéphane Tremblay, de Genius conseil, et Monsieur Konrad Jones, de DESSAU, pour leurs efforts consacrés à la relecture et à la révision technique du document.

## Comité directeur de projet

Les présentes lignes directrices ont été rédigées sous la supervision de Comité directeur du projet composé de membres bénévoles. Nous les remercions de leur participation tout au long du projet.

Dave Keenan (président)  
Ville de Calgary

Andrew Beal  
Ministère des Transports de l'Ontario

Gord Cebryk  
Ville d'Edmonton

Winston Chou  
Ville de Vancouver

Richard Chow  
Ministère des Transports de l'Alberta

Phil Corkum  
Ministère des Transports et du Renouveau de l'infrastructure de la Nouvelle-Écosse

David McCusker  
Municipalité régionale d'Halifax

Ed Miska  
Ministère des Transports et de l'infrastructure de la Colombie-Britannique

Jama Mohamed  
Ville d'Ottawa

Hart Solomon  
Ville d'Hamilton

Simon Trépanier  
Ministère des Transports du Québec

Hansel Wang  
Administration des transports de la côte Sud de la Colombie-Britannique  
(TransLink)

Yeatland Wong  
Ville de Calgary

Sandra Majkic  
Gestionnaire de projet, ATC

## Sommaire

Une route à sens réversible est une route sur laquelle le sens de la circulation est inversé pour une durée déterminée sur une ou plusieurs voies ou sur les accotements. Le principe consiste à exploiter la capacité non utilisée d'une voie dans le sens de la circulation hors pointe pour accroître la capacité dans le sens de la circulation de pointe, et ainsi, éviter ou retarder la construction de voies additionnelles.

Le présent document renferme un ensemble de lignes directrices pancanadiennes et de recommandations à l'égard de la planification, de la conception, de l'exploitation et de l'évaluation des systèmes de voies réversibles, en vue de favoriser une meilleure compréhension de ces aménagements et d'uniformiser leur mise en œuvre. Nous espérons que les présentes lignes directrices contribueront à rehausser la sécurité et l'efficacité de ces systèmes.

Le présent document poursuit quatre objectifs :

- favoriser une meilleure compréhension de l'utilisation des voies et des routes réversibles;
- servir de guide pratique pour la planification, la conception, la mise en œuvre, la gestion et l'évaluation de ces systèmes;
- promouvoir l'aménagement de voies réversibles comme une solution viable, durable et économique permettant d'améliorer la mobilité et de réduire la congestion dans les corridors restreints à moindre coût et dans le respect de l'environnement;
- uniformiser la conception et l'exploitation de ces systèmes pour favoriser une meilleure compréhension chez les usagers de la route, et accroître l'efficacité opérationnelle et la sécurité des systèmes de voies réversibles.

Les lignes directrices s'adressent aux spécialistes du transport et autres intervenants du secteur qui envisagent la mise en œuvre de routes et de voies réversibles.



# Tables des matières

<b>Sommaire</b> .....	<b>iii</b>
<b>1. Introduction</b> .....	<b>1</b>
1.1 Contexte .....	1
1.2 Voies réversibles .....	2
1.3 Lignes directrices sur les systèmes de voies à sens réversible (SVSR) .....	2
1.4 Objectifs et destinataires des lignes directrices.....	3
1.5 Méthodologie et plan du document.....	4
<b>2. Cadre général</b> .....	<b>5</b>
2.1 Historique des systèmes de voies réversibles.....	5
2.2 Caractéristiques physiques.....	7
2.3 Caractéristiques temporelles .....	9
2.4 Variantes et types d'aménagement des voies réversibles.....	10
2.4.1 Systèmes de voies réversibles temporaires.....	10
2.4.2 Systèmes de voies réversibles permanents.....	10
<b>3. Pratiques en vigueur</b> .....	<b>11</b>
3.1 Enquête sur les pratiques .....	11
3.1.1 Planification .....	11
3.1.2 Conception .....	12
3.1.3 Exploitation.....	12
3.1.4 Évaluation.....	13
3.1.5 Critères de justification et pannes de système.....	14
<b>4. Planification</b> .....	<b>15</b>
4.1 Principales considérations au stade de la planification .....	15
4.1.1 Facteurs liés à la mobilité.....	16
4.1.2 Facteurs liés à la circulation.....	17
4.1.3 Facteurs liés aux risques et à la sécurité .....	19
4.1.4 Facteurs liés à l'environnement.....	21
4.1.5 Facteurs politiques et sociaux .....	22
4.1.6 Rapport coûts-avantages .....	23
4.2 Évaluation .....	24
4.2.1 Mesures de rendement appropriées .....	24
4.2.2 Évaluation opérationnelle .....	25
4.2.3 Acceptation, sensibilisation et information du public.....	28
4.2.4 Autres aspects de la planification.....	28
4.3 Lignes directrices pour la planification d'un système de voies à sens réversible .....	29

<b>5. Conception .....</b>	<b>31</b>
5.1 Facteurs liés à la conception géométrique .....	31
5.1.1 Éléments du profil en travers.....	31
5.1.2 Alignement horizontal et vertical .....	32
5.1.3 Zones d'approche, de départ et de transition.....	33
5.1.4 Carrefours et échangeurs.....	34
5.1.5 Glissières et barrières .....	34
5.2 Lignes directrices pour la conception géométrique d'un système de voies à sens réversible .....	37
<b>6. Exploitation d'un système de voies réversibles.....</b>	<b>39</b>
6.1 Dispositifs de régulation de la circulation.....	39
6.1.1 Panneaux de signalisation .....	39
6.1.2 Signaux lumineux .....	41
6.1.3 Marques sur la chaussée .....	43
6.1.4 Autres dispositifs .....	44
6.2 Systèmes de détection .....	45
6.2.1 Dispositifs de détection .....	45
6.2.2 Zones de détection.....	45
6.3 Gestion d'un système de voies réversibles.....	46
6.3.1 Architecture STI au Canada.....	46
6.3.2 Système de gestion centrale des voies réversibles .....	47
6.3.3 Gestion des incidents .....	49
6.3.4 Seuil d'inversion des voies.....	50
6.3.5 Période de transition pour l'inversion de la circulation .....	51
6.4 Réseau de transport en commun .....	52
6.5 Facteurs liés à la surveillance et à l'application des règlements .....	52
6.6 Lignes directrices pour l'exploitation d'un système de voies à sens réversible .....	54
<b>Références .....</b>	<b>57</b>

## Liste des figures

Figure 1 :	Voies réversibles sur le boulevard Wilshire à l'angle de l'avenue Western, 1937.....	6
Figure 2 :	Exploitation du système de voies réversibles lors de l'évacuation de Houston, au Texas. .	7
Figure 3 :	Différentes zones des systèmes de voies réversibles.....	8
Figure 4 :	Véhicule de transfert de glissières .....	35
Figure 5 :	Système typique de barrières automatiques, Seattle, Washington. ....	35
Figure 6 :	Panneaux RB-80 (voie réservée) et RB-24 (circulation à double sens).....	39
Figure 7 :	Panneaux sur l'avenue Connecticut, à Washington, District de Columbia. ....	40
Figure 8 :	Signaux d'inversion des voies. ....	42
Figure 9 :	Phases de transition des signaux d'inversion des voies.....	42
Figure 10 :	Exemples de marques sur la chaussée pour des voies centrales réversibles .....	43
Figure 11 :	Organigramme des services aux usagers.....	46
Figure 12 :	Système de gestion centrale des voies réversibles, Vancouver, Colombie-Britannique...	47
Figure 13 :	Exemple d'interface logicielle d'un SVSR, route I-15, Caltrans District 11, San Diego ....	48

## Annexes

A	Mesure du rendement.....	59	
B	Glossaire .....	61	
C	Abréviations	et	acronymes
	.....		6
	2		



# 1. Introduction

## 1.1 Contexte

Partout au Canada, la croissance démographique à l'intérieur et en périphérie des zones urbaines impose des exigences accrues à l'ensemble de l'infrastructure routière existante, en particulier aux routes à accès limité et aux artères principales. La construction de voies en nombre suffisant pour satisfaire à la demande actuelle et future durant les périodes de pointe est souvent perçue comme une solution irréalisable, soit à cause des coûts ou des contraintes liées à l'emprise, soit parce qu'elle va à l'encontre des objectifs à long terme liés à l'environnement et au transport durable.

Or, la gestion active des voies constitue la méthode la mieux adaptée pour répondre aux besoins de mobilité et de durabilité en dépit des contraintes liées à l'emprise et aux budgets. Celle-ci repose sur des stratégies visant à optimiser l'efficacité opérationnelle de l'infrastructure existante, grâce à une réponse dynamique et souple en fonction des variations de la circulation, conformément aux besoins et aux priorités établis de la communauté.

Dans ce contexte, la gestion active des voies de circulation pourrait s'appliquer à toutes les catégories de routes dont la priorité fonctionnelle est la mobilité des véhicules (ces catégories comprennent généralement les routes à accès limité et les artères principales). Elle pourrait s'appliquer à des corridors définis ou à l'ensemble du réseau routier, dans le cadre de stratégies qui :

- augmentent la mobilité globale tout en réduisant la congestion routière;
- offrent un niveau de service privilégié à des types de véhicules précis ou à ceux qui respectent les exigences minimales en matière d'occupation, c'est-à-dire les véhicules multioccupants, en vue d'optimiser la capacité de déplacement des usagers du réseau routier;
- favorisent l'économie de carburant;
- améliorent la qualité de l'air en réduisant les émissions de carbone causées par la congestion routière.

La conception fonctionnelle de voies sous gestion pourrait s'appuyer sur les stratégies de gestion de la circulation suivantes :

- interdiction de stationner dans les rues durant les périodes de pointe;
- réglementation et politiques favorisant les véhicules multioccupants (VMO);
- réglementation et grille de tarifs préférentiels pour les VMO sur les routes à péage;
- voies réservées à des groupes d'usagers particuliers (p. ex., les véhicules d'urgence ou de transport en commun);
- transformation des accotements pavés en voies de circulation réservées ou générales;
- dédoublement des installations permettant de séparer la circulation locale et la circulation interurbaine;
- systèmes de voies à sens réversible (SVSR).

L'adaptabilité temporelle est un élément clé du concept de gestion des voies de circulation. Les stratégies peuvent être mises en œuvre :

- de manière continue, en fonction de la demande;
- durant des périodes définies, à certaines heures ou certains jours de la semaine;
- peu fréquemment, en fonction d'événements spéciaux;
- en cas d'urgence causée par un désastre naturel ou par l'homme.

## 1.2 Voies réversibles

Une route réversible est une route sur laquelle le sens de la circulation est inversé pour une durée déterminée sur une ou plusieurs voies ou les accotements. Le principe consiste à exploiter la capacité non utilisée dans le sens de la circulation hors pointe pour accroître la capacité dans le sens de la circulation de pointe, et ainsi, éviter l'aménagement de voies additionnelles.

De nombreux modèles de gestion active des voies reposent sur l'aménagement de voies ou de routes réversibles, un moyen économique d'optimiser l'utilisation des infrastructures existantes, conformément aux objectifs de mobilité et de développement durable.

Malgré l'apparente simplicité du concept, l'aménagement d'un bon système de voies réversibles (qui soit sécuritaire et efficient) exige une planification, une conception, une mise en œuvre et une gestion minutieuses. Les différentes autorités compétentes n'ayant pas facilement accès à des lignes directrices et à des normes officielles, il en résulte une grande disparité en matière de planification, de conception, d'exploitation et de gestion des voies réversibles.

Ce manque d'uniformité risque de nuire à la compréhension des usagers de la route et de diminuer le rendement, l'efficacité et la sécurité du système. Peu d'études ont été réalisées sur le rapport coûts-avantages des systèmes de voies réversibles, tandis que les mesures de rendement et les points de comparaison applicables, durant la phase de planification ou après la mise en œuvre, ne semblent pas faire consensus. Collectivement, ces lacunes pourraient augmenter le risque de collision, réduire l'efficacité du système et entraîner la mauvaise affectation des ressources. En outre, elles soutiennent l'argument selon lequel les systèmes de voies réversibles compromettent la sécurité des usagers de la route au profit de l'efficacité opérationnelle.

Le *Manual on Traffic Control Devices for Streets and Highways* (2003) et le *Manuel canadien de la signalisation routière* (1998) renferment des lignes directrices sur les voies réversibles, notamment des recommandations relatives à l'affichage, à la signalisation et aux marques sur la chaussée. Dans bien des cas, les traitements locaux et les pratiques ont évolué, malgré l'absence de lignes directrices. Les organisations telles que l'Institute of Transportation Engineers (ITE), l'American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) et la Federal Highway Administration (FHWA) ont élaboré les critères justifiant l'aménagement de voies réversibles, de même que des lignes directrices pour la planification, la conception, l'exploitation et la gestion du système. Il existe toutefois des contradictions entre les critères de justification proposés par ces sources quant à la portée et au but.

## 1.3 Lignes directrices sur les systèmes de voies à sens réversible (SVSR)

Compte tenu de la nécessité d'un document complet sur la planification, la conception et la gestion des voies réversibles, le Transportation Research Board a publié *Synthesis 340: Convertible Roadways and Lanes* (2004). Dans la même veine, la FHWA et le Texas Department of Transportation ont produit un manuel intitulé *Managed Lanes Handbook* (Kuhn et coll., 2005).

En l'absence de lignes directrices complètes relatives aux systèmes de voies réversibles, le présent document découle d'une étude visant, d'une part, à décrire les pratiques ayant trait aux systèmes de voies réversibles qui sont en vigueur en Amérique du Nord et ailleurs dans le monde, d'autre part, à établir un ensemble de lignes directrices pancanadiennes pour ces systèmes. Le projet a été mis sur pied pour favoriser une meilleure compréhension de l'utilisation des voies réversibles par l'ensemble des usagers de la route et établir des lignes directrices préliminaires qui pourront être mises à jour au fur et à mesure de leur mise en œuvre. Les lignes directrices et les aspects exposés dans le présent document s'appuient, entre autres, sur les sources précitées, et comprennent des directives pour harmoniser la planification, la conception, l'exploitation et la gestion des voies réversibles, de même que les mesures de coercition.

Nous espérons, grâce aux lignes directrices, améliorer la sécurité et l'efficacité des systèmes de voies réversibles. Ainsi, les organismes de réglementation du transport et les autres intervenants du domaine qui souhaitent aménager des voies et des routes réversibles trouveront ci-dessous toute l'information utile.

## 1.4 Objectifs et destinataires des lignes directrices

Les principes et les pratiques décrits dans les lignes directrices se fondent sur l'expérience au Canada et à l'étranger, et s'appuient sur des documents de référence clés dans les domaines suivants :

- conception géométrique;
- éléments applicables au facteur humain (les usagers de la route);
- uniformité et cohérence dans le choix, la conception et l'application des dispositifs de régulation de la circulation.

Les lignes directrices aideront l'ensemble des spécialistes du transport à planifier, à concevoir et à exploiter un système de voies réversibles selon un modèle commun.

Voici les objectifs du présent document :

- favoriser une meilleure compréhension de l'utilisation des voies réversibles;
- servir de guide pratique pour la planification, la conception, la mise en œuvre, la gestion et l'évaluation de ces systèmes;
- promouvoir l'aménagement de voies réversibles comme une solution viable, durable et économique permettant d'améliorer la mobilité et de réduire la congestion dans les corridors restreints à moindre coût et dans le respect de l'environnement;
- uniformiser la conception et l'exploitation de ces systèmes pour favoriser une meilleure compréhension chez les usagers de la route et accroître l'efficacité opérationnelle et la sécurité des voies réversibles.

Nous estimons que le présent document favorisera la normalisation, l'adoption des pratiques actuelles, l'utilisation économique, l'efficacité opérationnelle et la sécurité des voies réversibles sur les routes du Canada. En effet, une meilleure compréhension de leurs caractéristiques et de leurs exigences opérationnelles permettrait d'uniformiser et d'étendre la mise en œuvre de telles stratégies à l'avenir.

## 1.5 Méthodologie et plan du document

Pour élaborer les lignes directrices, nous avons examiné la documentation existante en Amérique du Nord et à l'étranger, étudié les pratiques en vigueur dans les diverses régions du Canada et synthétisé les constatations. Les principes et les pratiques recommandés dans le document sont le fruit de la recherche et de la sélection des critères les plus appropriés pour chaque composante de la mise en œuvre d'un système de voies réversibles.

Les lignes directrices se divisent en six chapitres :

1. Introduction
2. Cadre général
3. Pratiques en vigueur
4. Planification
5. Conception
6. Exploitation du système de voies réversibles

## 2. Cadre général

Le principe des routes réversibles est simple : il s'agit de configurer les voies pour améliorer la fluidité de la circulation. L'Institute of Transportation Engineers (ITE) définit le système des voies réversibles comme « *une ou plusieurs voies destinées à la circulation dans un sens durant une partie de la journée, puis en sens inverse durant une autre partie de la journée* » (Meyer, 1997). Cette solution présente l'avantage d'exploiter la capacité inutilisée des voies dans le sens de la circulation hors pointe pour accroître la capacité dans le sens de la circulation de pointe, et ainsi, optimiser les infrastructures existantes. L'exploitation des voies réversibles est généralement considérée comme l'une des méthodes les plus économiques pour accroître la capacité d'une route sans en modifier le profil en travers. Plus particulièrement, la mise en œuvre efficace d'un système de voies réversibles peut éviter, ou du moins retarder, l'aménagement de voies additionnelles (TRB 2004) dans le seul but de faciliter l'écoulement de la circulation durant les périodes de pointe. Ces systèmes sont particulièrement avantageux sur les routes de largeur restreinte, par exemple sur les ponts ou dans les tunnels.

Le présent chapitre est une introduction au concept et à l'aménagement des systèmes de voies réversibles. Il traite des éléments suivants :

- un bref historique des systèmes de voies réversibles;
- les caractéristiques physiques communes aux différents systèmes;
- les caractéristiques temporelles communes aux différents systèmes;
- les variantes et les types d'aménagement de voies réversibles.

### 2.1 Historique des systèmes de voies réversibles

La première allusion à l'utilisation de voies réversibles remonte à 1928 et décrit une voie convertible appelée voie de circulation décalée (TRB 2004). Cette invention de Ralph T. Dorsey (Los Angeles, Californie) a été testée pour la première fois en 1928 dans la 8<sup>e</sup> Rue, au centre-ville de Los Angeles. Le matin, trois voies ont été réservées à la circulation vers l'est et une seule voie à la circulation vers l'ouest. À l'inverse, le soir, trois voies ont été réservées à la circulation vers l'ouest et une seule à la circulation vers l'est. En 1937, la même méthode a été appliquée au boulevard Wilshire, sur une distance de six milles (figure 1). L'initiative a eu un immense succès. Cependant, le boulevard Wilshire étant la principale artère commerciale de Los Angeles, il fallait répondre à la fois aux besoins de la circulation locale et à ceux de la circulation de transit. Par conséquent, le conseil municipal a mis fin à l'initiative trois ans plus tard.



**Figure 1 : Voies réversibles sur le boulevard Wilshire à l'angle de l'avenue Western, 1937**

(Source : <http://www.ci.la.ca.us/ladot/TopicsAndTales/Pavementmark4.pdf> - Novembre 2008)

Entre les années 1940 et les années 1960, une période marquée par la multiplication des autoroutes, les voies réversibles ont proliféré sur les grandes artères des centres urbains. Plus tard, dans les années 1970, le système a été étendu aux autoroutes, aux ponts et aux tunnels, partout en Amérique du Nord et ailleurs dans le monde, surtout en Europe et en Australie.

À la fin des années 1970 et dans les années 1980, les stratégies de gestion des voies ont abondamment exploité les systèmes de voies réversibles dédiées, par exemple les voies réservées aux véhicules multioccupants (VMO) sur les autoroutes et les voies réversibles réservées aux autobus dans les centres urbains.

Bien qu'on dispose de peu d'information à ce sujet, les voies réversibles ont en outre été largement exploitées pour faciliter l'écoulement de la circulation à l'occasion d'événements spéciaux, par exemple de grandes manifestations sportives, des concerts ou des festivals. Récemment, les États-Unis ont eu recours à ce système pour permettre aux véhicules de circuler à contresens sur l'autoroute lors de l'évacuation des grandes villes à l'approche d'un ouragan (TRB 2004) (figure 2).



**Figure 2 : Exploitation du système de voies réversibles lors de l'évacuation de Houston, au Texas**

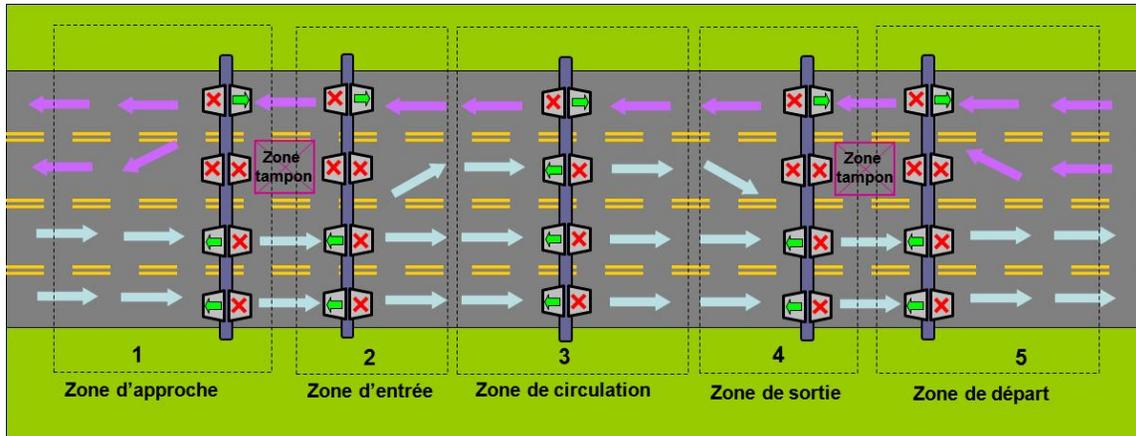
(Source : <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:RitaHoustonEvacuation.jpg> – Novembre 2008)

## 2.2 Caractéristiques physiques

Voici les principaux éléments physiques d'une route configurée à l'aide d'un système de voies réversibles :

- les caractéristiques géométriques, telles que la longueur hors tout, le profil en travers, l'alignement horizontal et vertical, les points d'entrée et de sortie intermédiaires, le nombre de voies de circulation de transit, la présence de voies auxiliaires, d'échangeurs et de carrefours, les accès privés, les passages pour piétons, ainsi que la configuration et la longueur des zones de transition;
- les dispositifs de régulation de la circulation directement liés au système de voies réversibles, c'est-à-dire les feux de circulation, les panneaux de signalisation de prescription, de danger et d'indication (statiques ou à messages variables), les feux d'utilisation des voies, ainsi que les marques et les délinéateurs sur la chaussée;
- les barrières et glissières qui permettent de délimiter les voies, de guider et de diriger la circulation, et de prévenir la circulation à contresens;
- l'éclairage routier.

Les systèmes de voies réversibles comportent généralement cinq zones. Celles-ci sont illustrées à la figure 3.



**Figure 3 : Différentes zones des systèmes de voies réversibles**

1. *Zone d'approche* – Tronçon de la route où les usagers doivent être avertis qu'ils approchent d'une zone comportant une ou plusieurs voies réversibles et informés des critères à respecter pour y circuler (p. ex., le nombre d'occupants, la catégorie de véhicule, les péages ouverts ou fermés, etc.).
2. *Zone d'entrée* – Point où l'utilisateur de la route doit décider s'il passe sur la voie réversible ou s'il demeure dans le flux général de la circulation. Cette zone se caractérise habituellement par des manœuvres de divergence et une augmentation du risque de conflits entre véhicules. Pour atténuer ce risque, on peut aménager une zone tampon au début de la zone d'entrée, c'est-à-dire un tronçon de la route où la circulation est interdite.
3. *Zone de circulation* – Zone dans laquelle a été établi le système de voies réversibles permettant d'accroître la capacité des voies dans le sens de la circulation de pointe. Selon la configuration du système (p. ex., sur une route dont l'accès n'est pas limité), les usagers de la route peuvent accéder à la voie réversible ou la quitter à l'intérieur de la zone de circulation. Une signalisation indique constamment aux usagers de la route les voies qui sont à leur disposition et les critères pour y circuler. Cette signalisation est essentielle étant donné que, si les voies adjacentes sont ouvertes à la circulation dans le sens inverse, l'utilisateur de la route qui ne prête pas attention à l'information ou qui l'interprète mal risque d'entrer en collision avec un véhicule circulant dans le sens inverse.
4. *Zone de sortie* – Zone de transition où les véhicules circulant dans la voie réversible réintègrent les voies principales. Les usagers de la route doivent quitter la ou les voies réversibles pour rejoindre le flux général de la circulation. Il importe de mettre en place dans cette zone des panneaux ou d'autres dispositifs de régulation de la circulation afin d'indiquer aux conducteurs la fin de la voie réversible. Comme dans les zones de sortie intermédiaires, les manœuvres de changement de voie exécutées dans cette zone augmentent les risques de conflits entre véhicules. Une zone tampon à la fin de la zone de sortie, c'est-à-dire un tronçon de route où la circulation est interdite, permet d'atténuer ce risque.
5. *Zone de départ* – Extrémité finale de la voie réversible. La circulation à contresens est interrompue et la circulation normale reprend son cours.

## 2.3 Caractéristiques temporelles

Voici les principaux éléments temporels d'un système de voies réversibles :

- Fréquence et durée d'une configuration particulière :
  - la plupart des systèmes sont « à heures fixes », c'est-à-dire qu'ils commencent et se terminent aux mêmes heures, généralement la semaine;
  - certains systèmes sont manuels, c'est-à-dire qu'ils sont mis en œuvre par un opérateur (ou une équipe sur le terrain) lorsqu'on le juge nécessaire;
  - certains systèmes sont automatisés, c'est-à-dire qu'ils sont mis en œuvre dans certaines conditions, par exemple lorsque le débit de la circulation, le nombre de véhicules ou la longueur de la file d'attente atteignent un seuil minimal. Les systèmes automatisés doivent également tenir compte de la période durant laquelle ces seuils sont atteints, afin de ne pas actionner le système pour une très courte période de pointe.
- Le temps nécessaire pour modifier le sens de la circulation :
  - la plupart des systèmes calculent la durée de transition selon la longueur du tronçon réversible ou la vitesse de la circulation;
  - certains systèmes modifient le sens de la circulation en déplaçant des barrières sur la voie;
  - certains systèmes contrôlent en temps réel la circulation sur la voie réversible (par l'intermédiaire d'un système de télévision en circuit fermé ou en personne), puis exécutent le changement lorsque la voie est libre.

Il est clair que les modifications du sens de la circulation sur les voies gérées constituent les périodes cruciales de l'exploitation d'un système de voies réversibles. Même s'il existe un risque permanent de collision frontale sur une voie réversible dénuée de barrières ou glissières de séparation, la transition représente une période de vulnérabilité pour tous les types de systèmes de voies réversibles.

Du point de vue de l'efficacité, la période de transition doit être aussi brève que possible. Or, du point de vue de la sécurité routière, la transition doit s'opérer sur une période suffisamment longue pour laisser aux usagers de la route le temps de percevoir et de comprendre le changement de sens de la circulation, puis d'agir en conséquence. Durant cette période, les automobilistes doivent libérer la ou les voies sur lesquelles le sens de la circulation sera modifié, avant que la circulation ne soit autorisée dans le sens inverse. Par exemple, la Ville d'Edmonton calcule la durée de la transition selon le temps nécessaire pour parcourir la totalité du tronçon de voie réversible, auquel s'ajoute la durée d'un cycle complet des feux de circulation compris dans le corridor.

Il importe de tenir compte des caractéristiques temporelles des variations de la demande et durant les périodes de transition. Les systèmes manuels et temporaires (ceux qui ne sont pas exploités par un centre de gestion de la circulation) font appel à la police ou au personnel de l'agence routière pour déplacer les barrières, les glissières ou les délinéateurs qui séparent les véhicules circulant en direction opposée, afin de libérer les voies réversibles. Les signaux d'inversion des voies permettent d'exécuter une transition « en cascade » qui raccourcit la période de transition.

## 2.4 Variantes et types d'aménagement des voies réversibles

On recourt de plus en plus aux systèmes de voies réversibles pour réduire la congestion de la circulation, car ils permettent de modifier le sens de la circulation sur ces voies en fonction de la demande. Cette stratégie permet aux autorités compétentes d'améliorer l'exploitation des corridors où il serait économiquement ou physiquement difficile d'accroître la capacité. On a souvent recours à un système de voies réversibles lorsque l'augmentation de la demande est causée par des écarts entre les débits de la circulation, des travaux de construction sur la route, des événements spéciaux ou des évacuations d'urgence. Ainsi, il existe divers types d'aménagement et différentes méthodes d'exploitation des systèmes de voies réversibles en fonction du problème causant la congestion. Les deux principaux types de systèmes sont les aménagements temporaires et les installations permanentes.

### 2.4.1 Systèmes de voies réversibles temporaires

L'aménagement temporaire de voies réversibles est généralement mis en œuvre de façon non officielle par les autorités (p. ex., les services d'urgence). De plus, un système temporaire peut être mis en œuvre en fonction de la demande, lorsque le débit de la circulation est clairement plus élevé dans un sens que dans l'autre. Des voies réversibles sont temporairement aménagées dans les cas suivants :

- Périodes de travaux : pour maintenir la capacité pendant qu'une partie de la route est occupée par une zone de travaux.
- Événements peu fréquents ou spéciaux (p. ex., les Jeux olympiques) : pour faciliter la circulation dans le sens où le débit est important, en direction ou à la sortie d'un lieu particulier.
- Évacuations d'urgence : pour utiliser la majorité ou la totalité de la capacité de la route en vue de faciliter l'évacuation d'une ville.

### 2.4.2 Systèmes de voies réversibles permanents

Il existe deux principaux types d'aménagements permanents : les voies physiquement séparées et les voies excentrées. Les deux systèmes permettent de réduire la congestion dans le sens où la circulation est dense (notamment aux heures de pointe).

Les systèmes de voies séparées s'intègrent à l'infrastructure à l'aide de rampes, de glissières ou de barrières, comme le système automatique de voies réversibles aménagé sur l'autoroute Kennedy, à Chicago (Anderson et Murphy, 1998). Ces aménagements sont réservés aux véhicules multioccupants (VMO) et aux couloirs à péage. L'AASHTO les désigne comme des infrastructures de circulation à contresens lorsqu'elles sont exploitées sur une route à chaussées séparées.

L'aménagement excentré consiste à affecter une ou plusieurs voies dans le sens de la circulation à faible débit (hors pointe) à l'usage des véhicules dans le sens de la circulation à haut débit en période de pointe. En général, il s'agit d'inverser la circulation sur les voies à une heure précise et pour une durée déterminée. Dans certains cas, le système est activé en fonction du débit de la circulation, et non à des heures fixes. Ce système peut être aménagé sur des artères principales ou des tronçons d'autoroutes, sans qu'il soit nécessaire de modifier la configuration du réseau routier ni d'ajouter des voies.

## 3. Pratiques en vigueur

Afin d'obtenir les données les plus récentes, nous avons réalisé une enquête sur les routes réversibles exploitées antérieurement ou actuellement. Le présent chapitre dresse un sommaire des pratiques en vigueur.

### 3.1 Enquête sur les pratiques

L'enquête comptait plusieurs questions sur cinq aspects clés : la planification, la conception, l'exploitation, la sécurité et les modes d'évaluation. Les questions visaient à déterminer si des critères et des seuils préétablis encadrent la mise en œuvre des systèmes de voies réversibles. Elles permettaient en outre d'évaluer dans quelle mesure l'aménagement des voies s'appuie sur des normes de conception.

Après avoir répondu au premier questionnaire, toutes les agences participantes ont reçu un questionnaire de suivi qui nous a fourni des renseignements détaillés sur les caractéristiques de chaque système de voies réversibles.

Les systèmes de voies réversibles sont généralement aménagés en vue de réduire la congestion durant les heures de pointe. On étudie également la possibilité d'aménager de tels systèmes à des fins d'évacuation d'urgence, dans le cas de détours temporaires ou pour réduire la congestion à l'occasion d'événements spéciaux. Les résultats de l'enquête montrent que les systèmes de voies réversibles au Canada sont utilisés pour améliorer la fluidité de la circulation sur les routes à accès limité, où il serait très onéreux, voire impossible, d'ajouter des voies de circulation, ainsi que sur les principales artères congestionnées. Les sections ci-dessous présentent les résultats de l'enquête sur les pratiques en vigueur relatives à la planification, à la conception, à l'exploitation et aux modes d'évaluation des systèmes de voies réversibles.

#### 3.1.1 Planification

Il est apparu que la planification des aménagements réversibles ne diffère pratiquement pas de celle des aménagements normaux. Selon l'examen des pratiques en vigueur, la décision d'aménager des voies réversibles est surtout motivée par la nécessité d'améliorer la fluidité de la circulation dans un sens.

- À Calgary, à Edmonton, à Montréal et à Halifax, les systèmes de voies réversibles sont mis en œuvre lorsque le débit de la circulation dans une direction excède considérablement la capacité des voies et qu'il est possible d'améliorer la situation en inversant le sens de la circulation sur une ou plusieurs voies. La perte de capacité qui résulte d'un tel aménagement pour les véhicules circulant dans le sens opposé est aussi considérée.
- La Commission de la capitale nationale (CCN), à Ottawa, a indiqué avoir appliqué un système de voies réversibles réservé aux véhicules multioccupants.
- À Montréal, le système de voies réversibles permet d'accroître la capacité là où l'on ne dispose pas de l'emprise suffisante pour élargir la route. L'appui politique est un élément clé dans la décision de mettre en œuvre le système.
- À Halifax, des systèmes de voies réversibles sont surtout aménagés pour la circulation de transit sur les routes où le virage à gauche est peu fréquent aux carrefours.

- Le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, la Commission de la capitale nationale et la Municipalité régionale d'Halifax ont déclaré envisager une analyse coûts-avantages afin d'évaluer la possibilité d'aménager des systèmes de voies réversibles.
- Certaines municipalités attachent une importance particulière à la sécurité dans leurs analyses.

### 3.1.2 Conception

L'examen des publications sur les infrastructures de voies réversibles montre qu'aucun document de référence ne régit leur conception. L'enquête révèle également que ces voies sont généralement conçues comme des voies de circulation normales, conformes aux normes nationales et provinciales. Plus précisément :

- Les intervenants du ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique et de la Ville de Montréal s'appuient sur les normes de conception géométrique édictées dans le *Guide canadien de conception géométrique des routes* (1999) et le *Manuel canadien de la signalisation routière* (1998), de même que sur les avis d'ingénieurs, pour s'assurer que les systèmes de voies réversibles sont conçus et exploités de façon appropriée.
- À Montréal, les voies réversibles doivent avoir une largeur réglementaire de 4,0 mètres, afin de tracer une double ligne sur la chaussée et d'offrir une zone tampon aux véhicules. Les autres voies doivent avoir une largeur minimale de 3,20 mètres pour permettre aux camions et aux autobus d'y circuler.
- Le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique mesure la vitesse des véhicules, le débit et la densité de la circulation à l'aide de boucles de détection, tandis que la Commission de la capitale nationale collecte uniquement des données sur le débit de la circulation. Dans tous les autres cas, les systèmes de voies réversibles sont conçus pour une exploitation à heures fixes, sans système de détection.

### 3.1.3 Exploitation

L'examen des dispositifs de régulation de la circulation, y compris les marques sur la chaussée, les panneaux de signalisation et les signaux lumineux pour les voies réversibles, révèle des différences importantes dans la conception et l'aménagement de ces dispositifs. Les zones de transition des voies réversibles exploitées au Canada diffèrent quant à la longueur minimale, au type et aux dimensions des signaux lumineux, à l'espacement entre les signaux lumineux, et enfin, au fonctionnement et à l'aménagement des dispositifs de régulation de la circulation.

- Dans la rue Jarvis, au centre-ville de Toronto, seules les voies réversibles sont munies de signaux lumineux en hauteur, alors qu'ailleurs, on les installe généralement au-dessus de chaque voie.
- Des panneaux de signalisation statique ou à messages variables préviennent les conducteurs qu'ils approchent de voies réversibles. La Ville d'Edmonton a installé des panneaux à messages variables (PMV) en plus des marques sur la chaussée pour guider les conducteurs sur les voies réversibles. La distance entre les panneaux de signalisation et les signaux lumineux est calculée de sorte que, tout le long du système de voies réversibles, les conducteurs puissent voir au moins deux panneaux de signalisation ou signaux lumineux à l'avance.
- La Ville de Montréal utilise des flèches clignotantes jaunes en hauteur pour indiquer aux conducteurs les voies sur lesquelles ils devront se déplacer.

- En ce qui concerne les marques sur la chaussée, la plupart des autorités compétentes ont opté pour la double ligne jaune discontinue de chaque côté des voies réversibles.
- Dans presque toutes les municipalités, la flèche verte pointant vers le bas est remplacée durant la période de transition par un "X" rouge clignotant pour une période variant de moins d'une minute à 15 minutes, puis par un "X" rouge fixe, avant d'autoriser la circulation en sens inverse sur la voie. À Edmonton, la durée de la transition équivaut au temps nécessaire pour parcourir les voies réversibles sur toute leur longueur, auquel s'ajoute la durée du cycle de feux de circulation le plus long sur le tronçon de voies réversibles.
  - Vancouver et Montréal ont adopté des types légèrement différents de signaux graduels durant la période de transition. Les signaux lumineux au-dessus des voies réversibles affichent durant une certaine période (entre une et 15 minutes) un "X" jaune clignotant puis fixe à Vancouver, ou une flèche jaune pointant vers le bas à Montréal, qui permettent de libérer les voies et d'assurer une transition harmonieuse.
  - À Halifax et sur la route d'accès Sherman à Hamilton, on utilise des barrières comme dispositifs complémentaires durant les périodes de transition.
- Le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique mesure la vitesse des véhicules, le débit et la densité de la circulation à l'aide de boucles de détection, tandis que la Commission de la capitale nationale collecte uniquement des données sur le débit de la circulation. Dans tous les autres cas, les systèmes de voies réversibles sont conçus pour une exploitation à heures fixes, sans système de détection.
- On a tenté à quelques reprises dans le passé de moderniser les méthodes de régulation à heures fixes des voies réversibles existantes. Par exemple, pour améliorer la méthode de régulation de la circulation à heures fixes, le ministère de la Colombie-Britannique a lancé en 1992 un projet de « gestion optimale de la circulation à contresens » reposant sur un modèle d'évaluation de la demande à l'aide des données sur le débit de la circulation collectées près du tunnel. Après plusieurs années d'utilisation du logiciel d'optimisation de la circulation à contresens, il est apparu que le patron des déplacements ne variait pas suffisamment pour justifier les coûts d'exploitation et d'entretien continu du système. Celui-ci a donc été abandonné.
- Aucune procédure d'entretien particulière n'a été établie pour les systèmes de voies réversibles. Cependant, la Ville de Montréal a déclaré qu'elle donnait la priorité absolue à l'entretien des systèmes de voies réversibles par rapport aux autres routes.
- Montréal est la seule municipalité à faire appel à la police pour punir et prévenir les infractions.
- En ce qui concerne les systèmes de gestion des incidents, aucune stratégie n'a été établie, sauf pour les aménagements de la Ville d'Edmonton, où un "X" rouge clignotant dans les deux sens de la circulation signale un incident aux conducteurs et les invite à libérer les voies indiquées.

### 3.1.4 Évaluation

À la lumière de l'examen des pratiques en vigueur, il n'existe aucun programme d'évaluation standard. Très peu de municipalités ont observé, évalué et décrit le rendement des systèmes de voies réversibles.

- À Montréal, les projets de voies réversibles soulèvent une certaine appréhension chez les citoyens à cause de la suppression de places de stationnement le long des rues commerciales.
- Les évaluations réalisées à Halifax et à Montréal tiennent compte des risques pour la sécurité et des conséquences des collisions.

- À Montréal, la sécurité des piétons est un élément primordial dans le cadre de l'analyse de la sécurité de tels systèmes. Pour renforcer leur caractère sécuritaire, les autorités ont conçu le système de régulation de telle sorte que, si un ou plusieurs signaux lumineux sont défectueux dans une zone, le contrôleur mette fin à l'exploitation de l'ensemble du système de voies réversibles.
- Le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique a utilisé les données des boucles de détection afin d'évaluer la capacité du système et le débit de la circulation. Le Ministère a également réalisé des études comparatives avant et après la mise en œuvre de projets de grande envergure.

### 3.1.5 Critères de justification et pannes de système

De nombreuses analyses coûts-avantages et des estimations de l'augmentation de la capacité attendue ont amplement justifié la mise en œuvre de systèmes de voies réversibles.

- La Ville de Vancouver, le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, la Ville d'Edmonton, la Commission de la capitale nationale et la Ville d'Halifax ont amélioré la capacité routière durant les périodes de pointe.
- Le ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique a mené une étude coûts-avantages pour son système, et la Ville de Calgary a justifié l'aménagement d'un futur système de voies réversibles grâce à une évaluation coûts-avantages.

Les gestionnaires du réseau routier ont fourni de l'information sur la réaction des usagers de la route en cas de panne du système. Les réactions sont partagées.

- La Ville de Vancouver a reçu des appels des usagers, mais n'a signalé aucun incident sur la route.
- Les navetteurs à Edmonton et à Ottawa (CCN) ont réagi à la panne comme s'il s'agissait d'une transition et ont donc libéré les voies réversibles.
- La Ville d'Hamilton signale uniquement une confusion générale chez les automobilistes.
- À Calgary, durant la panne du système, les conducteurs se sont comportés comme si la circulation était inversée, en dépit des indications contraires. La circulation a été confuse, en particulier aux carrefours à feux de circulation, mais en fin de compte, les automobilistes ont respecté les priorités de passage.

L'examen des pratiques en vigueur a fourni de l'information utile pour l'élaboration des lignes directrices. Les sections suivantes traitent de la planification, de la conception et de l'exploitation des systèmes de voies réversibles.

## 4. Planification

Le processus de planification des projets routiers comprend le diagnostic et la définition du problème, l'établissement des objectifs et des mesures de rendement du projet, l'évaluation des conditions et des contraintes existantes, et enfin, l'élaboration et l'évaluation de solutions diverses afin de retenir celle qui satisfait le mieux aux exigences. Sur la base de la solution choisie, on élabore un concept fonctionnel et une stratégie d'exploitation, dont les coûts et les avantages sont ensuite analysés en détail avant de poursuivre la conception et la mise en œuvre.

Le système de voies réversibles est l'une des solutions envisageables dans le cadre du processus de planification, mais de nombreux facteurs entrent en ligne de compte – dont certains s'appliquent uniquement aux systèmes de voies réversibles. Le présent chapitre donne un aperçu des facteurs et des lignes directrices à prendre en considération durant la planification.

### 4.1 Principales considérations au stade de la planification

L'aménagement de voies réversibles est toujours motivé par plusieurs objectifs, notamment l'accroissement de la capacité de la route, l'augmentation de la vitesse de la circulation et la réduction de la congestion aux heures de pointe. Il n'est donc pas étonnant que les critères établis pour guider leur mise en œuvre se fondent sur ces mêmes objectifs. Les facteurs qui influencent la mise en œuvre de voies réversibles ont évolué au fil des ans, à mesure que les ingénieurs de la circulation se sont familiarisés avec les caractéristiques liées à leur utilisation, notamment les coûts et les avantages inhérents. Bien que ces aspects aient quelque peu changé avec le temps, les concepts généraux qui justifient l'aménagement de voies réversibles sont restés sensiblement les mêmes :

- une répartition très inégale du débit de la circulation dans les deux directions (dans une proportion d'au moins 65 contre 35 %) qui s'inverse à différentes heures du jour;
- une sursaturation des voies (durant une période prolongée) dans le sens de la circulation de pointe, qui s'accompagne d'une sous utilisation des voies dans la direction opposée;
- une réduction de la vitesse de la circulation de plus de 25 %;
- une emprise restreinte ou dont les coûts d'acquisition sont prohibitifs;
- l'espace suffisant et les conditions adéquates pour aménager les zones d'approche et de départ;
- les virages à gauche peu fréquents sur toute la longueur du système de voies réversibles;
- des éléments profil en travers qui conviennent à la circulation mixte (camions et autobus);
- la diminution globale des retards subis par les usagers grâce à la mise en œuvre du système.

La décision d'aménager des voies réversibles se fonde souvent sur la détermination des limites des zones de congestion et les prévisions de croissance des débits. Bien qu'il n'existe aucun ensemble de critères universels pour évaluer la nécessité d'un tel système, une pratique uniforme s'est généralement imposée. Les organismes professionnels du domaine des transports, tels que l'AASHTO et l'ITE, ainsi que de nombreux organismes routiers à l'étranger, ont élaboré des guides cohérents. Certains des critères varient légèrement selon que l'aménagement de voies réversibles sera adapté à une infrastructure existante ou conçu pour une nouvelle infrastructure.

Lathrop (1972) suggère aux autorités de répondre à quelques questions simples durant la planification d'un système de voies réversibles, de sorte que celui-ci, une fois mis en œuvre, ait bel et bien des effets positifs, et non nuisibles, sur l'ensemble du réseau routier. Voici la liste de ces questions :

- Le système sera-t-il sécuritaire et fiable?
- Sera-t-il fiable peu importe les conditions météorologiques?
- Le système sera-t-il conçu conformément au principe de la redondance, afin d'assurer son fonctionnement sécuritaire en cas de défaillance de l'un de ses composants?
- Le système sera-t-il conçu pour être utilisable en cas de panne générale?
- Le système sera-t-il acceptable d'un point de vue esthétique?
- L'amélioration du débit de la circulation justifiera-t-elle les coûts du système (les coûts de mise en œuvre et les coûts opérationnels liés à l'entretien et à la sécurité du système)?

#### 4.1.1 Facteurs liés à la mobilité

Le Livre vert de l'AASHTO indique que les opérations de changement de sens de la circulation sont justifiées lorsqu'au moins 65 % des véhicules se déplacent dans la même direction aux heures de pointe (AASHTO 2001). Conformément au principe général (dont il sera question plus loin dans ce chapitre) selon lequel il n'est pas recommandé de conserver moins de deux voies dans le sens de la circulation hors pointe, l'AASHTO suggère également que, sur une route comportant six voies et où la répartition de la circulation est d'environ 65 % dans un sens contre 35 % dans l'autre, quatre voies soient destinées à la circulation de pointe et deux voies à la circulation hors pointe.

L'ITE suggère pour sa part d'évaluer une combinaison de critères et d'études de la circulation afin de déterminer s'il est nécessaire d'aménager un système de voies réversibles et, le cas échéant, de s'assurer que sa mise en œuvre est avantageuse. À défaut d'une telle évaluation, l'installation d'une voie réversible risque de causer un nouveau problème de circulation du côté où le débit est faible. Voici les critères d'évaluation que propose l'ITE :

1. On observe une réduction d'au moins 25 % de la vitesse moyenne sur l'autoroute par rapport à la vitesse normale durant les périodes de congestion, ou des embouteillages aux carrefours à feux de circulation d'une telle ampleur que les véhicules doivent attendre plusieurs cycles avant de passer.
2. Les solutions de rechange sont limitées (l'absence d'une rue adjacente adéquate exclut l'option de transformer la route en sens unique). Des facteurs de coût peuvent entrer en ligne de compte, par exemple l'emprise restreinte qui empêche d'élargir les infrastructures existantes ou de construire une route parallèle sur une emprise séparée.
3. La circulation est congestionnée. Selon les lignes directrices de l'ITE, on peut envisager d'aménager des voies réversibles lorsque la demande excède la capacité de la route et que les épisodes de congestion sont périodiques et prévisibles.
4. Le ratio de la circulation à haut et à faible débit atteint au moins 2:1 et idéalement 3:1 (une autre étude indique qu'un système de voies réversibles fonctionne mieux quand plus de 70 % de la circulation se dirige dans le sens de la pointe

#### Recommandations liées à la mobilité dans la mise en œuvre d'un SVSR :

##### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ On prévoit une répartition inégale du débit de la circulation
- ✓ On prévoit des files d'attente d'une longueur démesurée dans le sens de la pointe
- ✓ Événement spécial

##### Artère (accès niveau du sol, réservé ou libre)

- ✓ La circulation est répartie inégalement (proportion de 65 contre 35 %)
- ✓ Longues files d'attente le long du corridor
- ✓ La demande excède la capacité des voies dans le sens de la pointe
- ✓ La demande est périodique et prévisible (forte proportion de navetteurs)
- ✓ La congestion se prolonge généralement sur une longue période (plus de 60 minutes) aux heures de pointe

##### Autoroute (accès limité)

- ✓ La circulation est répartie inégalement (proportion de 65 contre 35 %)
- ✓ Réduction de la vitesse de plus de 25 % dans le sens de la pointe
- ✓ La demande est périodique et prévisible (forte proportion de navetteurs)
- ✓ La congestion se prolonge généralement sur une longue période (plus de 60 minutes) aux heures de pointe

[Bretherton et Elhaj, 1996]). L'ITE recommande de procéder au comptage de la circulation à divers endroits en vue de déterminer le débit dans chaque direction et de délimiter le début et la fin des voies réversibles.

5. On doit pouvoir aménager une entrée et une sortie adéquates, qui permettent une transition harmonieuse entre les voies de circulation normale et les voies réversibles. Dans le cas contraire, la voie à contresens pourrait causer des embouteillages et d'autres problèmes de circulation qui aggraveraient la congestion initiale.
6. Une forte proportion de navetteurs souhaitent traverser la zone sans faire de virages ni d'arrêts, et les conditions des extrémités facilitent l'utilisation optimale des voies additionnelles.
7. L'ITE insiste sur l'importance de conserver au moins deux voies pour la circulation dans chacune des directions. L'absence de voies réservées pour les virages à gauche ou à droite causerait une grave congestion, puisqu'un seul véhicule à l'arrêt, qui attend un créneau dans la circulation en sens opposé pour tourner, suffit à créer une longue file d'attente. L'expérience des voies à contresens réservées aux autobus a démontré que la présence de véhicules lourds et même les accidents mineurs peuvent considérablement réduire l'efficacité d'une voie unique réservée à la circulation hors pointe (Link 1975).
8. La capacité des accès au tronçon de voie réversible est un facteur essentiel parfois négligé dans le processus d'évaluation. L'ITE recommande de maintenir une capacité adéquate aux deux extrémités et de faire en sorte que le passage du tronçon normal au tronçon de voies réversibles, de même que l'action inverse, soit facile pour les conducteurs. Une capacité insuffisante à ces endroits causerait des embouteillages qui réduiraient (voire annuleraient) l'utilité du tronçon de voies réversibles.

#### 4.1.2 Facteurs liés à la circulation

##### Répartition de la circulation sur les voies

Le fondement de l'exploitation des voies réversibles consiste à répartir la capacité selon les conditions de la circulation. Les politiques qui régissent cette répartition influent directement sur la capacité de la route et peuvent en outre se répercuter sur l'exploitation des routes adjacentes lorsque la circulation est détournée vers celles-ci et que les conducteurs sont contraints de modifier leur itinéraire pour atteindre leur destination.

Bien qu'il semble logique de déterminer le sens des voies sur l'unique base du ratio de débit de la circulation, il est essentiel de prévoir une capacité suffisante pour répondre à la demande dans le sens de la circulation hors pointe, même si cette répartition ne correspond pas au ratio de débit. Cette règle vaut particulièrement lorsque la demande de la circulation dans une direction dicterait l'utilisation d'une seule voie.

#### Recommandations liées à la circulation dans la mise en œuvre d'un SVSR :

##### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ Interdiction de stationner pour libérer une voie additionnelle
- ✓ Prévoir des mesures de gestion des incidents si le système comporte une voie unique dans une direction

##### Artère (accès niveau du sol, réservé ou libre)

- ✓ Peu de véhicules doivent tourner à gauche (ou à droite) le long du corridor
- ✓ Prévoir des mesures de gestion des incidents si le système comporte une voie unique dans une direction
- ✓ Possibilité d'interdire le stationnement pour faciliter le passage (fournir au besoin une aire de stationnement d'appoint)

##### Autoroute (accès limite)

- ✓ Il est possible d'utiliser l'accotement comme une voie de circulation (pour maintenir deux voies dans le sens inverse)
- ✓ Il existe ou il est possible de créer des carrefours
- ✓ Il est possible de modifier la limite de vitesse (vitesse conseillée)

Dans la pratique, le processus de répartition se fonde sur un certain nombre de facteurs associés à des endroits précis. On dénombre trois configurations de base des voies réversibles (ITE 1999) :

1. l'inversion de la circulation sur toutes les voies d'une rue à sens unique dans la direction opposée, de manière à créer une rue à sens unique entièrement réversible;
2. l'inversion de la circulation sur toutes les voies d'une rue à double sens, pour exploiter une rue à sens unique durant certaines périodes et une rue à double sens le reste du temps;
3. l'inversion d'une ou de plusieurs voies d'une rue à double sens, qui résulte en une exploitation asymétrique durant certaines périodes et une exploitation symétrique à double sens le reste du temps.

Lorsqu'il est possible d'exploiter une seule voie dans le sens inverse (3:1), il importe de prévoir des mesures de gestion des incidents dans cette voie, particulièrement pour les véhicules d'urgence. Sur les artères, on peut envisager d'exploiter les voies de stationnement ou les larges voies en bordure. Dans le cas des autoroutes, où il est nécessaire de maintenir deux voies dans le sens inverse, on peut utiliser l'accotement pour permettre les dépassements et les changements de voie.

L'ITE reconnaît également les avantages et les inconvénients de ces diverses configurations (ITE 1992); certains sautent aux yeux, d'autres sont plus subtils. Voici les principaux avantages :

- capacité additionnelle pour la circulation dans la direction principale;
- possibilité d'accroître la capacité d'une même rue pour la circulation de pointe le matin et en début de soirée;
- élimination des rues « jumelées » requises pour les routes exclusivement à sens unique;
- utilisation plus efficace des artères parallèles;
- suppression des déplacements de la circulation vers des rues adjacentes.

Parmi les inconvénients, citons :

- baisse de la capacité dans le sens de la circulation hors pointe;
- difficultés opérationnelles aux extrémités;
- besoin de surveillance policière pour prévenir les violations des voies auxquelles l'accès est interdit.

L'ITE souligne par ailleurs les coûts élevés d'installation et d'exploitation des dispositifs de régulation de la circulation permanents et périodiques. Cependant, de nombreuses municipalités ayant aménagé des voies réversibles estiment que les avantages du système compensent les coûts additionnels.

Le processus logique de répartition des voies de circulation consiste à répartir la capacité des voies en fonction du débit de la circulation.

### Recommandations liées au réseau routier dans la mise en œuvre d'un SVSR :

Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)
✓ Peu d'itinéraires de rechange

Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)
✓ Peu d'itinéraires de rechange ayant la capacité suffisante pour dévier la circulation
✓ Entrées et sorties en quantité suffisante
✓ Possibilité de dépassement et de changement de voie dans la circulation hors pointe pour permettre le passage des véhicules d'urgence
✓ Tenir compte des itinéraires des transports en commun (zones d'arrêt et changements de service) dans le cadre du système
✓ Si le système comporte une voie unique dans le sens inverse, prévoir des mesures de gestion des incidents

Autoroute (à accès limité)
✓ Prévoir des voies pour permettre aux véhicules d'urgence circulant en sens inverse d'effectuer dépassements et changements de voie (maintenir 2 voies)
✓ Élaborer une matrice origine-destination pour localiser les points d'entrée et de sortie

Cependant, d'autres considérations l'emportent généralement sur cette pratique, notamment la nécessité de maintenir un nombre minimal de voies dans le sens de la circulation hors pointe et, dans certains cas, la création d'une zone tampon en laissant une voie libre entre les couloirs de circulation opposés. En général, il faut prévoir au moins deux voies dans le sens de la circulation hors pointe (pour permettre le passage des véhicules d'urgence et de la circulation mixte). Toutefois, dans certains cas, une seule voie suffit (lorsque le débit est très faible dans le sens de la circulation hors pointe ou dans le cas d'une artère à chaussée unique).

### **Interdiction de tourner à gauche**

Les virages à gauche sont habituellement interdits sur les tronçons de voies réversibles asymétriques. L'interdiction de tourner à gauche est importante du point de vue de l'efficacité opérationnelle et de la sécurité. Sur le plan opérationnel, les véhicules qui attendent un créneau dans la circulation opposée pour tourner à gauche ralentissent et souvent bloquent la circulation principale. Les virages à gauche nuisent à l'efficacité des voies réversibles, si l'on considère qu'elles visent en premier lieu à améliorer la fluidité de la circulation principale (mouvement tout droit). D'autres facteurs peuvent semer la confusion chez les automobilistes : par exemple, ils ne savent pas quelle voie est la dernière voie de gauche ni comment réagir dans les principaux carrefours à feux.

### **Interdiction de stationner le long des trottoirs**

Comme c'est le cas d'autres politiques sur la circulation routière, l'interdiction de stationner le long des trottoirs sur les routes réversibles dans les zones urbaines denses peut avoir des conséquences mixtes. L'interdiction de stationner vise essentiellement à mettre à la disposition de la circulation une plus grande partie de chaussée de la route. Si sa largeur le permet, la voie de stationnement peut devenir une voie de circulation additionnelle des deux côtés de la route. Cette méthode comporte le double avantage d'augmenter la capacité dans le sens de la circulation de pointe et d'ajouter une voie additionnelle dans le sens inverse. Il est préférable de prévoir au moins deux voies dans le sens de la circulation hors pointe, afin d'atténuer les risques d'embouteillage et de files d'attente sur les routes réversibles. Ainsi, il est plus facile de contourner les véhicules qui rejoignent ou quittent la route.

L'interdiction de stationner comporte un autre avantage, soit de réduire le risque de collision. Une étude menée sur l'un des premiers tronçons de route réversible au Michigan a montré une baisse importante du nombre de collisions durant les périodes d'exploitation. Ce résultat n'a rien d'étonnant, puisque bon nombre des collisions survenaient auparavant entre des véhicules circulant sur la voie et des véhicules en manœuvre de stationnement.

Bien que l'interdiction de stationner ait généralement un effet positif sur la fluidité de la circulation, elle cause des inconvénients pour les résidents locaux et les commerces établis le long d'une route réversible. Il est recommandé de lancer un processus proactif de consultation du public avant de mettre en œuvre un système de voies réversibles.

### **4.1.3 Facteurs liés aux risques et à la sécurité**

Le risque de collision est l'une des principales préoccupations liées aux voies réversibles. Plusieurs problèmes de sécurité se posent, notamment les conflits entre les véhicules en direction opposée sur la voie principale, la circulation de transit et les véhicules qui effectuent des virages, ceux qui rejoignent la voie à partir des rues transversales ou des accès privés, sans compter la confusion générale chez les conducteurs pour qui l'exploitation de voies réversibles, les systèmes de régulation et les mouvements de la circulation ne sont pas familiers. Par ailleurs, comme les collisions sont peu fréquentes, l'évaluation du rendement sécuritaire des systèmes de voies réversibles doit s'étendre sur une longue période (au moins trois ans après la mise en œuvre de l'aménagement). Aucun facteur de modification des collisions (FMC) n'a été relevé dans la documentation qui analyse les effets sur la sécurité de la transformation d'un aménagement normal en système de voies réversibles.

Selon Markovetz et coll. (1995), trois types de collision sont généralement associés à l'exploitation de voies réversibles sur les artères, et ces collisions sont toujours causées par des virages à gauche quittant ou rejoignant une voie réversible, ou par des virages à gauche à partir des voies adjacentes aux voies réversibles. Une autre étude, menée par Bretherton et Elhaj (1996), conclut également que les virages à gauche sont les principales sources de conflit. Elle révèle en outre que les collisions arrière impliquant des véhicules qui tournent à gauche à partir des voies de circulation principales sont les plus fréquentes. Par conséquent, le nombre de collisions impliquant un véhicule qui tourne à gauche constitue un bon indicateur du degré de sécurité d'un système de voies réversibles.

La sécurité des piétons constitue un autre enjeu important dans le cadre de l'exploitation de voies réversibles sur les artères. Le rapport du NCHRP, *Synthesis 340* (TRB 2004), cite des exemples de voies réversibles (celle de la rue Charles à Baltimore, au Maryland) où des piétons et, dans une certaine mesure, des cyclistes, ont commis des erreurs de jugement quant à la direction de la circulation sur la voie réversible. Cette situation représente un risque immense pour la sécurité routière. Le risque pour les piétons est encore plus important sur les routes entièrement réversibles, où la circulation dans la voie adjacente au trottoir change de direction selon l'heure du jour. Par conséquent, le nombre de collisions impliquant des piétons fournirait une bonne mesure de la sécurité des systèmes de voies réversibles.

Les questions relatives à la sécurité des voies réversibles sur les autoroutes diffèrent quelque peu de celles qui touchent les artères, étant donné que l'accès aux autoroutes est limité. Cependant, l'exploitation de tels systèmes sur les autoroutes n'est pas dénuée de risques, par exemple les collisions frontales et les conflits qui surviennent aux points d'entrée et de sortie du tronçon. Dans le cas des autoroutes, la fréquence des collisions frontales fournit le meilleur critère d'évaluation du rendement de la sécurité.

Il importe en outre d'examiner attentivement d'un point de vue sécuritaire l'utilisation de différents dispositifs de régulation de la circulation, notamment des panneaux de signalisation, des signaux lumineux, des marques sur la chaussée, des balises de signalisation, des barrières (automatisées ou à battants) ou des glissières (permanentes ou mobiles), etc.

### Recommandations liées aux risques et à la sécurité dans la mise en œuvre d'un SVSR :

#### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ Il est possible de réduire le risque de collisions frontales
- ✓ La conception du système peut faciliter la tâche des conducteurs
- ✓ La sécurité des piétons peut être assurée
- ✓ Il est possible d'aménager des zones de transition adéquates pour les changements de voie

#### Artère (accès niveau du sol, réservé ou libre)

- ✓ Peu de véhicules provenant des routes transversales accèdent aux voies réversibles
- ✓ Il est possible d'aménager des zones de transition adéquates pour les changements de voie
- ✓ Il est possible de réduire le risque de collisions frontales
- ✓ La conception du système peut faciliter la tâche des conducteurs
- ✓ La sécurité des piétons peut être assurée

#### Autoroute (à accès limité)

- ✓ En l'absence de barrière physique, il faut réduire le risque de collision frontale (p. ex., en abaissant la limite de vitesse)
- ✓ La conception du système peut faciliter la tâche des conducteurs
- ✓ Il est possible d'aménager des zones de transition adéquates pour les changements de voie

#### 4.1.4 Facteurs liés à l'environnement

L'aménagement de systèmes de voies réversibles est notamment motivé par la réduction de la pollution atmosphérique et de la consommation de carburant. Les effets sur l'environnement peuvent se mesurer en fonction de la vitesse de déplacement.

La plupart des zones urbaines s'intéressent de près aux questions environnementales. Lorsque la circulation est congestionnée, les véhicules réduisent leur vitesse, ce qui a pour effet d'augmenter la pollution sonore et atmosphérique. La circulation fluide génère beaucoup moins d'émissions de gaz d'échappement et réduit la consommation de carburant. Sur une distance égale, la circulation congestionnée entraîne beaucoup plus de pollution et consomme plus de carburant que la circulation fluide. Un système de voies réversibles contribue donc à améliorer la qualité de l'air et à économiser l'énergie en diminuant la consommation de carburant. La somme réelle des économies réalisées devrait être soulignée pour renforcer les arguments qui s'appuient sur les critères environnementaux. Ces aspects rallient généralement l'opinion des groupes environnementaux en faveur des systèmes de voies réversibles. Certains groupes s'opposent toutefois à la mise en œuvre de tels systèmes, invoquant l'utilisation accrue du terrain ou l'augmentation de la capacité de la route.

Les voies réservées aux autobus ont généralement un impact favorable sur la mobilité et contribuent par le fait même à améliorer la qualité de l'air, à économiser l'énergie grâce à la baisse de la consommation de carburant, ainsi qu'à freiner l'augmentation des distances parcourues par les véhicules. L'accès interdit aux poids lourds et les infrastructures qui leur sont propres permettent en outre d'améliorer la qualité de l'air.

#### Recommandations liées à l'environnement dans la mise en œuvre d'un SVSR :

##### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ Réduction potentielle des émissions polluantes (mesurées par modélisation) et économies d'énergie (analyse du réseau, et non pas seulement du corridor)

##### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ Réduction potentielle des émissions polluantes (mesurées par modélisation) et économies d'énergie (analyse du réseau, et non pas seulement du corridor)
- ✓ Utilisation optimale des infrastructures existantes
- ✓ Diminution des ressources énergétiques requises pour construire des voies additionnelles
- ✓ Retarde ou élimine l'acquisition d'emprise supplémentaire

##### Autoroute (à accès limité)

- ✓ Réduction potentielle des émissions polluantes (mesurées par modélisation) et économies d'énergie (analyse du réseau, et non pas seulement du corridor)
- ✓ Meilleure utilisation des infrastructures existantes
- ✓ Retarde ou élimine l'acquisition d'emprise supplémentaire

#### 4.1.5 Facteurs politiques et sociaux

<b>Facteurs politiques et sociaux dans la mise en œuvre d'un SVSR :</b>	
<b>Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Répercussions sur les commerces</li> </ul>
<b>Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Véhicules particuliers (autobus, VMO)</li> <li>✓ Circulation de transit dans les quartiers périphériques</li> <li>✓ Répercussions sur les commerces</li> <li>✓ Accès au quartier</li> <li>✓ Mobilité des marchandises</li> </ul>
<b>Autoroute (à accès limité)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Véhicules particuliers (autobus, VMO)</li> <li>✓ Politique d'intervention rapide (programmes pour les véhicules de service)</li> <li>✓ Mobilité des marchandises</li> </ul>

#### Politiques d'utilisation temporaire et en cas d'urgence

Les politiques d'utilisation temporaire ou en cas d'urgence des tronçons réversibles sont beaucoup plus perturbatrices et restrictives. Dans la plupart des cas, les forces de l'ordre et les responsables des transports locaux préparent ensemble des plans pour bloquer les points d'accès aux tronçons sur lesquels la circulation est inversée durant une évacuation. La planification préalable de l'aménagement d'un système de voies réversibles en cas d'urgence facilite l'inversion des voies à des fins d'évacuation et dissipe la confusion aux points d'accès, où les véhicules prendraient la route dans la « mauvaise » direction. Étant donné que l'inversion de la circulation à des fins d'évacuation est déclenchée par une situation d'urgence, et non pour des raisons pratiques, les plans prévoient en général un choix limité d'itinéraires.

Afin de permettre aux personnes évacuées de quitter l'autoroute pour faire le plein d'essence, pour manger et pour utiliser les installations sanitaires, tous les plans de circulation à contresens doivent prévoir des sorties à intervalles réguliers sur le tronçon intermédiaire, tout en permettant d'accéder de nouveau au tronçon sur les voies dans le sens normal de la circulation.

#### Politiques d'admissibilité de types de véhicules

Les politiques associées aux critères d'admissibilité de certains types de véhicules se répercutent également sur l'utilisation des

infrastructures réversibles. Ces politiques donnent la priorité d'accès aux voies réversibles à certains types de véhicules ou imposent des restrictions à d'autres véhicules. En général, les politiques de gestion de l'accès aux infrastructures réversibles, en particulier sur les autoroutes, ont pour objet de réserver ces voies aux transports en commun et aux véhicules multioccupants (VMO). Plusieurs centres urbains en Floride et au Texas ont mis en œuvre de telles mesures sur des autoroutes. D'autres ont opté pour l'aménagement de voies réversibles à péage. Bien que ces politiques limitent le nombre d'utilisateurs, elles peuvent globalement réduire la congestion tout en offrant une source de revenus aux organismes routiers.

#### Facteurs sociétaux

Il importe également de prendre en considération les répercussions d'un système de voies réversibles sur les commerces et les résidents locaux. En effet, l'interdiction de stationner, la restriction des mouvements de marchandises et l'accès limité à leur établissement sont autant de facteurs susceptibles de nuire aux commerces établis le long du corridor. L'accès aux zones résidentielles risque également d'être perturbé par les virages interdits ou la circulation de transit dans les environs. Cependant, la mise en œuvre d'un système de voies réversibles peut contribuer à réduire la circulation de transit grâce à l'augmentation de la capacité le long du corridor principal.

#### 4.1.6 Rapport coûts-avantages

La mise en œuvre des systèmes de voies réversibles exige un minimum d'investissement, comparativement au coût très élevé, parfois exorbitant, de la construction de nouvelles voies. Les coûts d'exploitation des voies réversibles se mesurent généralement des points de vue fonctionnement, sécurité, répercussions sur l'environnement, ou encore construction, entretien et exploitation. Aux mesures de rendement décrites ci-dessus, qui évaluent le nombre de collisions et les retards dans les deux sens de même que les coûts qui y sont associés, il faut ajouter les coûts directs de construction et d'entretien périodique de tels systèmes. L'exploitation et la gestion des infrastructures du système entraînent d'autres coûts fixes liés notamment à la surveillance policière pour assurer le respect des règles d'utilisation des voies, au personnel d'entretien chargé d'installer, de surveiller et de retirer les dispositifs de régulation de la circulation, de même qu'aux opérateurs du système qui en assurent la gestion stratégique. Par conséquent, il faut bien tenir compte des coûts de construction, d'entretien et d'exploitation des systèmes de voies réversibles dans l'évaluation.

Les avantages et les inconvénients d'un système de voies réversibles dans un corridor doivent être chiffrés et documentés afin de justifier sa mise en œuvre. Certes, son installation exige des investissements initiaux importants, mais les avantages d'un tel système compensent largement ces dépenses. Certaines autorités au Canada s'appuient sur une analyse coûts-avantages et des grilles d'analyse multicritères pour justifier l'aménagement d'un système. En général, les coûts des immobilisations et de l'exploitation du système doivent être inférieurs aux bénéfices liés aux éléments suivants :

- amélioration de la capacité (réduction de la congestion et du temps de déplacement);
- report (ou élimination) des coûts d'immobilisations pour l'élargissement du corridor en vue de répondre à la demande de la circulation (y compris les coûts de l'emprise additionnelle);
- réduction de la circulation de transit dans les quartiers périphériques;
- amélioration de la mobilité des marchandises;
- amélioration de la qualité de l'air (grâce à la réduction des émissions).

D'autres autorités justifient leurs projets en présentant des analyses de rentabilisation.

#### Rapport coûts-avantages dans la mise en œuvre d'un SVSR :

##### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ Zone de travaux restreinte
- ✓ Retarde ou élimine la nécessité de construire des voies additionnelles
- ✓ Analyse coûts-avantages (comptes multiples) (peut se mesurer par modélisation)

##### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ Élaboration d'une analyse de rentabilité pour le SVSR
- ✓ Coût des contraintes physiques
- ✓ Retarde ou élimine la nécessité de construire des voies additionnelles
- ✓ Analyse coûts-avantages (comptes multiples) (peut se mesurer par modélisation)

##### Autoroute (à accès limité)

- ✓ Élaboration d'une analyse de rentabilité pour le SVSR
- ✓ Coût des contraintes physiques
- ✓ Retarde ou élimine la nécessité de construire des voies additionnelles
- ✓ Analyse coûts-avantages (comptes multiples) (peut se mesurer par modélisation)

## 4.2 Évaluation

L'évaluation du rendement des voies réversibles est une étape essentielle pour justifier et optimiser leur mise en œuvre. Si l'on examine la documentation et les pratiques en vigueur, on constate une réelle volonté d'évaluer les avantages et les coûts des voies réversibles. Ces évaluations se limitent cependant à des sites particuliers, et aucune méthode commune n'a été appliquée. L'annexe A présente un bref historique des études réalisées pour évaluer le rendement de systèmes de voies réversibles.

Les méthodes d'évaluation doivent faire écho aux motifs sous-jacents à la mise en œuvre. La réduction de la congestion et l'amélioration de la mobilité (tant sur les routes réversibles que sur les routes parallèles ou adjacentes), l'amélioration de la fiabilité et de la sécurité du système, la diminution des répercussions sur l'environnement (notamment des émissions et de la consommation de carburant), l'amélioration des services de transport en commun, la diminution des coûts de construction et d'entretien et la hausse du taux de satisfaction des usagers sont autant de facteurs qui justifient la mise en œuvre de systèmes de voies réversibles. Par ailleurs, ce type de système est le seul à exiger une gestion très active (parfois en temps réel) en vue d'atteindre d'autres objectifs bien précis (p. ex., les niveaux de service des transports en commun, le débit des personnes, le ralentissement des véhicules, etc.) qui ne correspondent pas toujours avec ceux d'une route polyvalente. En raison des multiples motifs de mise en œuvre, des problèmes de gestion uniques et des diverses configurations et méthodes d'exploitation des systèmes de voies réversibles, l'évaluation du succès ou de l'échec de ces systèmes n'est pas une tâche aisée.

Selon le rapport du NCHRP, *Synthesis 340* (TRB 2004), ces systèmes ont affiché un rendement positif relativement stable en près de 80 ans d'histoire (c'est-à-dire qu'ils ont accru la capacité des routes dans les deux sens à différentes périodes de la journée). Or, les coûts ont évolué avec le temps à mesure que les systèmes de régulation et les stratégies opérationnelles se sont complexifiés et que le système a été appliqué à des routes de catégorie supérieure, telles que des autoroutes. La façon dont les spécialistes du transport, les élus et le public perçoivent ces avantages et ces coûts a également évolué. La présente section effectue un survol des évaluations des routes réversibles, qui porte sur les aspects suivants :

- les mesures de rendement employées pour l'évaluation;
- les différentes perspectives pour la mesure du rendement;
- les techniques d'évaluation;
- les coûts associés à leur utilisation;
- leur acceptation par le public;
- l'utilisation de techniques d'évaluation en appui aux décisions de modifier, de poursuivre ou de cesser l'exploitation du système.

### 4.2.1 Mesures de rendement appropriées

Le choix des mesures de rendement appropriées, l'établissement de techniques d'évaluation adaptées et, par voie de conséquence, la définition des données requises pour évaluer avec exactitude si les objectifs des systèmes de voies réversibles ont été atteints sont les conditions essentielles pour établir un programme réussi d'évaluation et de surveillance du rendement de ce type de système.

Selon Kuhn et coll. (2005), les mesures de rendement de ces systèmes sont idéalement :

- peu nombreuses, pour éviter que les ressources et les décideurs de l'agence routière ne soient submergés de données et d'analyses;
- simples et compréhensibles, définies et interprétées de manière cohérente pour répondre aux besoins de divers intervenants, mais néanmoins suffisamment précises, exactes et détaillées pour faciliter l'amélioration du système ou du programme;
- faciles à collecter, soit de manière automatique à l'aide de technologies appropriées, soit manuellement, avec un minimum de saisie et de traitement de données pour produire des résultats utilisables;
- sensibles au changement et capables de capter les modifications observées dans le système ou le rendement du programme;
- délimitées géographiquement selon les besoins des décideurs, c'est-à-dire appliquées à un corridor, à une région, à une province, voire à l'échelle nationale.

L'objectif global des voies réversibles est resté sensiblement le même au fil des ans – c'est-à-dire, accroître la capacité de la route dans un sens à différentes périodes, en vue de répondre à la demande et de rééquilibrer la circulation sans construire de voies ou de routes additionnelles. La réduction du temps de déplacement et la fiabilité sont des facteurs primordiaux. Bien que la sécurité et les conséquences sur l'environnement soient également des facteurs importants, ils restent toutefois secondaires par rapport aux objectifs liés à la mobilité, sauf dans les cas où les voies réversibles sont mises en œuvre pour remédier à un problème particulier sur les plans de la sécurité ou de l'environnement.

#### 4.2.2 Évaluation opérationnelle

En général, des procédures classiques permettent de mesurer et d'évaluer les systèmes de voies réversibles. Les méthodes employées pour l'évaluation d'un tel système doivent faire écho aux motifs sous-jacents à sa mise en œuvre. La réduction de la congestion et des émissions polluantes, l'amélioration du service de transports en commun et la capacité de répondre à la demande en période de pointe sont autant d'objectifs applicables à chacun des aménagements. Pour évaluer le succès ou l'échec d'un système de voies réversibles, il importe de tenir compte des routes parallèles et adjacentes où le débit de la circulation peut changer de façon radicale pendant et après la mise en œuvre du système. Les mesures présentées ci-dessous correspondent aux méthodes appropriées pour évaluer le succès ou l'échec du système en fonction de sa raison d'être.

##### Évaluation de la mobilité et de la fiabilité

Les modes d'évaluation classiques des carrefours, tronçons de route et artères valent aussi bien pour les systèmes de voies réversibles que pour toute autre type d'aménagement. L'inversion de la circulation ne modifie pas fondamentalement les attentes à l'égard des infrastructures routières. Les diverses méthodes décrites dans le *Highway Capacity Manual* (HCM) (TRB 2000) et le *Canadian Capacity Guide* (CCG) (ITE 2007), par exemple, sont donc tout à fait valables pour ce type d'emploi par les autorités compétentes.

En général, sur le plan de l'exploitation, le nombre de personnes desservies et la vitesse de déplacement atteignent des valeurs supérieures dans les systèmes de voies réversibles. Il n'est donc pas étonnant que, selon le rapport du NCHRP, *Synthesis 340* (TRB 2004), la mesure d'efficacité la plus courante pour les systèmes de voies réversibles est le débit de la circulation, mesuré par 15 minutes, par heure ou par période de pointe. D'autres évaluations se sont plutôt concentrées sur des mesures telles que le temps de déplacement, la vitesse et le niveau de service dans l'ensemble du tronçon. L'évaluation de la mobilité doit se fonder sur le temps de déplacement ou une mesure analogue exprimée en fait de vitesse ou de retards, que les spécialistes peuvent facilement communiquer et faire comprendre au public. Les mesures ci-dessous représentent les méthodes appropriées pour évaluer la mobilité et l'efficacité des systèmes de voies réversibles.

### Capacité

L'évaluation de la capacité d'un système de voies réversibles doit tenir compte du sens de la circulation. Il est essentiel de collecter des données dans les deux sens de la circulation puisque, dans le sens de la circulation hors pointe, la capacité se trouve réduite à cause des voies réversibles. Le débit de la circulation (aux heures de pointe ou à l'occasion d'un événement spécial) est le motif généralement invoqué pour mettre en œuvre un système de voies réversibles. Voilà pourquoi il importe de tenir compte du débit total, et non du débit de chaque voie.

Les systèmes de voies réversibles ont des besoins opérationnels uniques. Comme ils se situent généralement là où le flot de circulation générale est prioritaire, il est parfois souhaitable de limiter ou d'éliminer les virages. Les virages à gauche peuvent en effet annihiler les effets positifs de l'inversion du sens de la circulation. Il faut donc procéder à une analyse approfondie pour déterminer les carrefours où les virages seront autorisés. La question des virages ne se pose pas sur les ponts et les autres infrastructures à accès limité, mais demeure pertinente à la fin de la voie réversible.

L'évaluation de la capacité d'une voie simple peut être utilisée pour les routes de banlieue où l'offre de transport en commun est limitée. En général, un système de voies réversibles doit offrir une capacité accrue dans une direction par rapport à la configuration normale. L'un des principes fondamentaux en matière de transport affirme qu'il n'existe pas de corrélation linéaire entre l'ajout de voies et l'accroissement de la capacité. De même, la suppression de voies dans le sens de la circulation secondaire peut avoir des conséquences importantes sur la capacité.

### Niveau de service

Les modes d'évaluation classiques des carrefours, tronçons de route et artères valent aussi bien pour les systèmes de voies réversibles que pour tout autre type d'aménagement. L'inversion de la circulation ne modifie pas fondamentalement les attentes à l'égard des infrastructures routières. Par conséquent, les diverses méthodes (le *Highway Capacity Manual* et le *Canadian Capacity Guide*, par exemple) sont encore valides.

### Enjeux de l'évaluation

#### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ Rarement exécutée

#### Artère

- ✓ Analyse avant et après (débit, vitesse, temps de déplacement, collisions, longueur des files d'attente, niveau de service)
- ✓ Effet du système en amont et en aval
- ✓ Évaluation de la fiabilité
- ✓ Effet du système sur le transfert modal

#### Autoroute (à accès limité)

- ✓ Analyse avant et après (débit, vitesse, temps de déplacement, collisions, longueur des files d'attente, niveau de service)
- ✓ Effet du système en amont et en aval
- ✓ Évaluation de la fiabilité
- ✓ Effet du système sur le transfert modal

L'analyse du niveau de service s'applique idéalement aux zones de convergence et de divergence et des raccordements d'entrée et de sortie d'un système de voies réversibles. Ces zones critiques se situent au début et à la fin de l'aménagement, de même qu'aux carrefours où les virages sont autorisés. Le niveau de service est une valeur absolue qui ne devrait pas servir à exprimer le rendement moyen de l'ensemble du système. Prenons l'exemple d'une artère où le sens de la circulation est inversé à l'heure de pointe : une série de carrefours présentent un niveau de service A ou B, alors que la zone terminale du système présente un niveau E. Par conséquent, le niveau de service global du système équivaut au niveau le plus faible, soit le niveau E, et non au niveau moyen C.

Dans un système de voies réversibles, les entrecroisements ont un effet négatif sur l'exploitation et la capacité globale du système. La conception de l'aménagement doit donc tenir compte de la matrice origine-destination des véhicules qui l'empruntent. Les zones critiques d'entrecroisement et de convergence des voies doivent faire l'objet d'une évaluation au stade de la planification.

### **Temps de déplacement, vitesse et retards**

Le mouvement efficace de la circulation, y compris des véhicules de transport en commun, peut se mesurer en fait de vitesse et de retards. On peut évaluer un corridor en mesurant le débit sur toute la longueur du tronçon du système de voies réversibles. Le temps de déplacement entre les jonctions clés constitue une mesure utile pour déterminer si, oui ou non, l'inversion de la circulation améliore réellement le débit global. En combinant les données sur le temps de déplacement et le nombre de véhicules, il est possible de calculer le retard total pour la route.

### **Répercussions sur les feux de circulation et les feux pour piétons**

Le cycle des feux de circulation le long du corridor du système de voies réversibles reste la même, que le système soit ou non en exploitation. La seule modification de la signalisation consiste à installer du matériel indiquant les conditions d'utilisation des voies. Ce matériel sert à communiquer de l'information aux conducteurs, et non à réguler la circulation. L'inversion de la circulation ne devrait pas se répercuter sur les mouvements des piétons, à condition que ceux-ci traversent la voie aux passages pour piétons. Le sens de la circulation ne modifie en rien le temps accordé aux piétons pour traverser la voie. Par conséquent, l'inversion de la circulation ne devrait avoir que peu ou pas d'effets sur les passages pour piétons.

La transformation d'une infrastructure en route à sens unique peut avoir une incidence sur les transports en commun. Il importe donc de prendre en considération l'itinéraire des véhicules de transport en commun et l'emplacement des arrêts. L'inversion du sens de la circulation risque d'accroître la complexité des manœuvres d'entrecroisement pour les véhicules de transport en commun (selon leur origine et leur destination). Il est possible de prévoir des exceptions pour les transports en commun aux carrefours où les virages à gauche sont interdits, mais uniquement dans les cas d'absolue nécessité.

### **4.2.3 Acceptation, sensibilisation et information du public**

De nombreuses études visant à évaluer dans quelle mesure le public comprend et accepte les systèmes de voies réversibles ont été menées. Bien que l'uniformisation des dispositifs de régulation de la circulation et l'harmonisation des pratiques d'exploitation permettent de communiquer plus clairement les indications aux conducteurs, on recense au fil des ans de nombreux cas où l'opinion publique, d'abord divisée, s'est ralliée en faveur du système. Comme la mise en œuvre de systèmes de voies réversibles demeure une pratique relativement peu répandue, de nombreux usagers de la route connaissent mal le fonctionnement et les stratégies de gestion de tels systèmes. Par conséquent, la réaction des conducteurs passe généralement de la confusion et de l'aversion initiales à l'acceptation enthousiaste. Les usagers de la route finissent généralement par appuyer l'initiative lorsqu'ils jouissent des avantages de la capacité additionnelle, de la diminution de la congestion et de la réduction du temps de déplacement.

Afin de favoriser la compréhension et l'acceptation des usagers, il est recommandé de lancer un programme stratégique de sensibilisation du public, en particulier pour les municipalités qui mettent en œuvre le premier système de voies réversibles dans leur région. Les groupes de discussion, les enquêtes de préférences déclarées et les enquêtes de préférence révélée sont autant de moyens de collecter des données sur la perception du public, afin d'évaluer son niveau de satisfaction à l'égard du système de voies réversibles.

### **4.2.4 Autres aspects de la planification**

C'est également au stade de la planification que sont abordées un certain nombre de questions touchant à l'exploitation des voies réversibles, par exemple l'établissement d'accords intermunicipaux dans les cas où le système de voies réversibles s'étend sur le territoire de plus d'une municipalité, les responsabilités en matière de sécurité et, plus récemment, des questions liées à la qualité de vie des résidents et au développement durable.

### 4.3 Lignes directrices pour la planification d'un système de voies à sens réversible

Le tableau ci-dessous résume les lignes directrices pour la planification d'un système de voies à sens réversible.

Facteurs de planification pour la mise en œuvre d'un SVSR	Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)	Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)	Autoroute (à accès limité)
Facteurs liés à la mobilité (congestion)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ On prévoit une répartition inégale du débit de la circulation</li> <li>✓ On prévoit des files d'attente d'une longueur démesurée dans le sens de la circulation de pointe</li> <li>✓ Événement spécial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La circulation est répartie inégalement (proportion de 65 contre 35 %)</li> <li>✓ Longues files d'attente le long du corridor</li> <li>✓ La demande excède la capacité des voies dans le sens de la circulation à de pointe</li> <li>✓ La demande est périodique et prévisible (forte proportion de navetteurs)</li> <li>✓ La congestion se prolonge généralement sur une longue période (plus de 60 minutes) aux heures de pointe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La circulation est répartie inégalement (proportion de 65 contre 35 %)</li> <li>✓ Réduction de la vitesse de plus de 25 % dans le sens de la circulation de pointe</li> <li>✓ La demande est périodique et prévisible (forte proportion de navetteurs)</li> <li>✓ La congestion se prolonge généralement sur une longue période (plus de 60 minutes) aux heures de pointe</li> </ul>
Facteurs liés à la circulation, au stationnement et aux piétons	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Interdiction de stationner pour libérer une voie additionnelle</li> <li>✓ Prévoir des mesures de gestion des incidents si le système comporte une voie unique dans une direction</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Peu de véhicules doivent tourner à gauche (ou à droite) le long du corridor</li> <li>✓ Prévoir des mesures de gestion des incidents si le système comporte une voie unique dans une direction</li> <li>✓ Possibilité d'interdire le stationnement pour faciliter le passage (fournir au besoin une aire de stationnement d'appoint)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Il est possible d'utiliser l'accotement comme une voie de circulation (pour maintenir deux voies dans le sens inverse)</li> <li>✓ Il existe ou il est possible de créer des carrefours</li> <li>✓ Il est possible de modifier la limite de vitesse (vitesse conseillée)</li> </ul>
Facteurs liés au réseau routier	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Peu d'itinéraires de rechange</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Peu d'itinéraires de rechange ayant la capacité suffisante pour dévier la circulation</li> <li>✓ Entrées et sorties en quantité suffisante</li> <li>✓ Espace suffisant pour permettre aux véhicules d'urgence circulant en sens inverse d'effectuer dépassements et changements de voie</li> <li>✓ Tenir compte des itinéraires des transports en commun (zones d'arrêt et changements de service) dans le cadre du système</li> <li>✓ Si le système comporte une voie unique dans le sens de la circulation hors pointe, prévoir des mesures de gestion des incidents</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Prévoir des voies pour permettre aux véhicules d'urgence circulant en sens inverse d'effectuer dépassements et changements de voie (maintenir 2 voies)</li> <li>✓ Élaborer une matrice origine-destination pour localiser les points d'entrée et de sortie</li> </ul>

Facteurs de planification pour la mise en œuvre d'un SVSR	Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)	Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)	Autoroute (à accès limité)
Facteurs liés aux risques et à la sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Il est possible de réduire le risque de collisions frontales</li> <li>✓ La conception du système peut faciliter la tâche des conducteurs</li> <li>✓ La sécurité des piétons peut être assurée</li> <li>✓ Il est possible d'aménager des zones de transition adéquates pour les changements de voie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Peu de véhicules provenant des routes transversales accèdent aux voies réversibles</li> <li>✓ Il est possible d'aménager des zones de transition adéquates pour les changements de voie</li> <li>✓ Il est possible de réduire le risque de collisions frontales</li> <li>✓ La conception du système peut faciliter la tâche des conducteurs</li> <li>✓ La sécurité des piétons peut être assurée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ En l'absence de barrière physique, il faut réduire le risque de collision frontale (p. ex. en abaissant la limite de vitesse)</li> <li>✓ La conception du système peut faciliter la tâche des conducteurs</li> <li>✓ Il est possible d'aménager des zones de transition adéquates pour les changements de voie</li> </ul>
Facteurs liés à l'environnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Réduction potentielle des émissions polluantes (mesurées par modélisation) et économies d'énergie (analyse du réseau, et non pas seulement du corridor)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Réduction potentielle des émissions polluantes (mesurées par modélisation) et économies d'énergie (analyse du réseau, et non pas seulement du corridor)</li> <li>✓ Utilisation optimale des infrastructures existantes</li> <li>✓ Diminution des ressources énergétiques requises pour construire des voies additionnelles</li> <li>✓ Retarde ou élimine l'acquisition d'emprise supplémentaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Réduction potentielle des émissions polluantes (mesurées par modélisation) et économies d'énergie (analyse du réseau, et non pas seulement du corridor)</li> <li>✓ Meilleure utilisation des infrastructures existantes</li> <li>✓ Retarde ou élimine l'acquisition d'emprise supplémentaire</li> </ul>
Facteurs politiques		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Véhicules particuliers (autobus, VMO)</li> <li>✓ Circulation de transit dans les quartiers périphériques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Véhicules particuliers (autobus, VMO)</li> <li>✓ Politique d'intervention rapide (programmes pour les véhicules de service)</li> </ul>
Facteurs sociétaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Répercussions sur les commerces</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Répercussions sur les commerces</li> <li>✓ Accès au quartier</li> <li>✓ Mobilité des marchandises</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mobilité des marchandises</li> </ul>
Rapport coûts-avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Zone de travaux restreinte</li> <li>✓ Retarde ou élimine la nécessité d'aménager des voies additionnelles</li> <li>✓ Analyse coûts-avantages (comptes multiples) (peut se mesurer par modélisation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Élaboration d'une analyse de rentabilité pour le SVSR</li> <li>✓ Coût des contraintes physiques</li> <li>✓ Retarde ou élimine la nécessité d'aménager des voies additionnelles</li> <li>✓ Analyse coûts-avantages (comptes multiples) (peut se mesurer par modélisation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Élaboration d'une analyse de rentabilité pour le SVSR</li> <li>✓ Coût des contraintes physiques</li> <li>✓ Retarde ou élimine la nécessité d'aménager des voies additionnelles</li> <li>✓ Analyse coûts-avantages (comptes multiples) (peut se mesurer par modélisation)</li> </ul>
Considérations en matière d'évaluation	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Rarement exécutée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Analyse avant et après (débit, vitesse, temps de déplacement, collisions, longueur des files d'attente, niveau de service)</li> <li>✓ Effet du système en amont et en aval</li> <li>✓ Évaluation de la fiabilité</li> <li>✓ Effet du système sur le transfert modal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Analyse avant et après (débit, vitesse, temps de déplacement, collisions, longueur des files d'attente, niveau de service)</li> <li>✓ Effet du système en amont et en aval</li> <li>✓ Évaluation de la fiabilité</li> <li>✓ Effet du système sur le transfert modal</li> </ul>

## 5. Conception

Les critères de conception des tronçons de voies réversibles sont semblables à ceux des routes ordinaires. L'examen des pratiques et de la documentation montre que les caractéristiques de la conception des routes réversibles, notamment des éléments tels que les rayons de virage, les distances de visibilité, la longueur des biseaux et la largeur des voies, étaient en tous points identiques aux normes et aux politiques prescrites dans le *Guide canadien de conception géométrique des routes* (GCG) (ATC, 1999), le MCSR (ATC, 1998), le « Livre vert » de l'AASHTO (AASHTO, 2001) et aux autres normes établies par les autorités compétentes. Certes, les caractéristiques relatives aux véhicules et aux conducteurs sont les mêmes, quelle que soit la nature de l'exploitation de l'infrastructure. Mais les similitudes observées s'expliquent également par le fait que la plupart des systèmes de voies réversibles ont été mis en œuvre sur des routes conçues à l'origine pour la circulation ordinaire.

### Recommandations liées aux éléments du profil en travers dans la conception d'un SVSR :

#### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ *Guide canadien de conception géométrique des routes* (1999) (profil en travers, largeur des voies)
- ✓ Largeur de voie souhaitable : 3,7 m
- ✓ Largeur de voie minimale : 3,0 m

#### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ *Guide canadien de conception géométrique des routes* (1999) (profil en travers, largeur des voies)
- ✓ Largeur de voie souhaitable : 3,7 m
- ✓ Largeur de voie minimale : 3,2 m

#### Autoroute (à accès limité)

- ✓ *Guide canadien de conception géométrique des routes* (1999) (profil en travers, largeur des voies, accotements, terre-pleins)
- ✓ Possibilité d'aménager des voies séparées (surélevées ou sur le terre-plein)
- ✓ Aménagement bidirectionnel des glissières de sécurité, des atténuateurs d'impacts, des dispositifs de rupture et de la pente transversale
- ✓ Largeur minimale entre les barrières : 6,0 m

### 5.1 Facteurs liés à la conception géométrique

Les sections qui suivent décrivent sommairement les normes, les principes et les critères de conception des aménagements réversibles. Les différences entre les aménagements (par exemple entre les artères à chaussées séparées et les artères à chaussée unique) sont indiquées, le cas échéant.

Les principes qui régissent la conception des systèmes de voies réversibles diffèrent de ceux des routes ordinaires. Ces différences sont surtout attribuables à la nécessité d'aménager des zones de transition, des points d'entrée et de sortie au milieu du tronçon et aux bretelles, ainsi qu'un profil en travers de la largeur adéquate. L'AASHTO (1992) a proposé des lignes directrices pour la conception et l'exploitation de diverses configurations de voies réservées aux VMO sur des routes à accès limité ou non. Le guide de l'AASHTO renferme également des recommandations pour la conception de zones de franchissement du terre-plein et les configurations du profil en travers pour les voies à contresens sur les artères et les autoroutes.

#### 5.1.1 Éléments du profil en travers

Les principales caractéristiques du profil en travers d'une route sont les voies et les accotements, de même que leurs éléments latéraux, tels que les terre-pleins et les remblais. Leur conception est axée sur la nécessité de séparer les flux de circulation opposés, d'atténuer le risque de franchissement des voies et d'assurer un drainage suffisant de la chaussée. Il s'agit notamment de déterminer la largeur, l'inclinaison et les propriétés de la chaussée appropriées.

La conception du profil en travers des routes réversibles exige une attention particulière en raison du changement périodique du sens de la circulation sur certaines voies. Les dispositifs de sécurité tels que les glissières de sécurité, les atténuateurs d'impact et les dispositifs de rupture, de même que les pentes transversales des voies sur les autoroutes, qui sont conçus en fonction du sens de la circulation, doivent parfois être adaptés pour la circulation dans les deux sens. Dans certains cas, il faut élargir la voie pour séparer les flux de circulation opposés, à l'aide de dispositifs portatifs de régulation de la circulation, tels que des cônes, ou des dispositifs fixes permanents comme des glissières de sécurité.

Là où l'emprise est extrêmement restreinte, il est possible de construire deux voies réversibles surélevées sur le terre-plein (comme on l'a fait sur l'autoroute Lee Roy Selmon à Tampa, en Floride). Cependant, sur les profils en travers de largeur restreinte, il n'existe pas d'accotement pour faciliter le passage des véhicules d'urgence ou les arrêts en cas d'urgence.

La largeur des voies est un autre élément du profil en travers qui varie dans bon nombre de systèmes de voies réversibles modifiés. La norme en vigueur (ATC, 1999) fixe à 3,7 mètres la largeur normale d'une voie, valeur qui peut varier selon le type de route. Cette largeur convient à la plupart des véhicules tout en offrant aux conducteurs une zone tampon latérale; elle maintient en outre une séparation entre les flux de circulation qui se déplacent dans la même direction ou dans des directions opposées. L'une des difficultés lorsqu'il est question de modifier des routes pour y aménager un système de voies réversibles consiste à ajouter une voie au profil existant. Malgré tous les efforts déployés pour conserver des voies d'une largeur de 3,7 mètres, il est fréquent que l'aménagement de voies réversibles exige de transformer des zones qui ne sont pas destinées à la circulation, comme les voies de stationnement le long des trottoirs, les voies de virage à gauche dans les deux sens et l'emprise limitée, pour créer des voies additionnelles. Cette pratique a souvent pour effet de rétrécir les voies, parfois jusqu'à aussi peu que 3,0 mètres.

### 5.1.2 Alignement horizontal et vertical

En général, une route réversible possède les mêmes caractéristiques d'alignement horizontal et vertical qu'une route normale. En effet, les exigences relatives à un tel système (p. ex., une exploitation efficiente, une distance de visibilité sécuritaire et un drainage approprié) sont identiques à celles d'une route ordinaire.

#### Recommandations liées à l'alignement horizontal dans la conception d'un SVSR :

##### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ *Guide canadien de conception géométrique des routes* (1999) (véhicules de conception, vitesse de conception, biseaux)
- ✓ Tenir compte de l'extrémité du terre-plein ou des bouts d'îlots dans la configuration des changements de voie
- ✓ Tenir compte des distances de visibilité

##### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ *Guide canadien de conception géométrique des routes* (1999) (véhicules de conception, vitesse de conception, biseaux)
- ✓ Tenir compte de l'extrémité du terre-plein ou des bouts d'îlots dans la configuration des changements de voie
- ✓ Tenir compte du traitement des carrefours
- ✓ Tenir compte de des distances de visibilité

##### Autoroute (à accès limité)

- ✓ *Guide canadien de conception géométrique des routes* (1999) (véhicules de conception, vitesse de conception, biseaux)
- ✓ Lorsque la limite de vitesse est élevée, il est essentiel de respecter les normes de l'ATC
- ✓ Tenir compte des distances de visibilité

Il est crucial, dans le cadre de l'aménagement d'un système de voies réversibles, de tenir compte des aspects suivants :

- les distances de visibilité pour la voie réversible (distance de visibilité d'arrêt et distance de visibilité d'anticipation);
- à chaque carrefour le long du corridor, des extrémités de terre-plein central et d'îlot adaptées à l'exploitation du système de voies réversibles.

### Recommandations liées aux zones d'approche, de départ, tampon et de transition dans la conception d'un SVSR :

#### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ *Guide canadien de conception géométrique des routes* (1999) – selon la vitesse et la catégorie de la route (entrecroisements, biseaux)
- ✓ MCSR (1998) – Conditions temporaires – selon la vitesse et la catégorie de la route

#### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ *Guide canadien de conception géométrique des routes* (1999) – selon la vitesse et la catégorie de la route (entrecroisements, biseaux)
- ✓ MCSR (1998) – Conditions temporaires – selon la vitesse et la catégorie de la route
- ✓ Capacité des zones de rétrécissement ou de convergence

#### Autoroute

- ✓ *Guide canadien de conception géométrique des routes* (1999) – selon la vitesse et la catégorie de la route (entrecroisements, biseaux)
- ✓ MCSR (1998) – Conditions temporaires – selon la vitesse et la catégorie de la route
- ✓ Capacité des zones de rétrécissement ou de convergence
- ✓ Zone de convergence et de divergence – la conception des zones de franchissement du terre-plein comprend une voie de transition avec un biseau, puis une voie d'accélération terminée en biseau
- ✓ Vitesse de conception réduite pour les zones de franchissement de terre-plein et d'élargissement ou de rétrécissement de la route (ajout ou élimination de voies)

### 5.1.3 Zones d'approche, de départ et de transition

Les zones terminales d'entrée et de départ sont déterminantes pour l'efficacité globale des tronçons de voies réversibles (Bartelsmeyer, 1962). La capacité et la qualité du service sur le tronçon tout entier dépendent de la capacité adéquate de ces zones et de la transition harmonieuse qui s'y opère. Si de la friction diminue le nombre de véhicules entrant dans le tronçon, il sera impossible d'y maximiser le débit de la circulation. De même, si l'écoulement de la circulation est perturbée dans la zone de sortie, notamment dans la zone de perte de voies, la congestion s'étendra en amont et causera des embouteillages qui diminueront l'efficacité du tronçon. Si la conception de la zone d'entrée a pour effet de restreindre la capacité des véhicules, la capacité globale du système de voies réversibles s'en trouve réduite.

Les débits entrants et sortants de la voie réversible varient selon la nature de l'utilisation de la voie et le type d'aménagement. On peut en outre améliorer l'écoulement de la circulation à l'entrée et à la sortie du système grâce à une conception efficace ou à des dispositifs de régulation de la circulation, ou mieux encore, à la conjugaison des deux. D'autres types de routes réversibles utilisent une multitude de configurations et de systèmes, allant de l'absence de dispositif jusqu'à des systèmes complexes de barrières automatiques et de dispositifs d'arrêt.

### 5.1.4 Carrefours et échangeurs

Alors que les zones de transition, d'entrée et de sortie des voies réversibles sur les artères sont généralement exploitées à l'aide de dispositifs de régulation de la circulation uniquement (dont il sera question au chapitre suivant), les transitions sur les tronçons d'autoroute réversible sont plus complexes, et leur conception doit donc permettre de bien diriger le conducteur. Dans l'ensemble, la conception des points d'entrée et de sortie des voies réversibles sur les routes à accès limité ne diffère pas de celle des bretelles sur les infrastructures ordinaires. Les plus simples sont les zones de franchissement des terre-pleins qui comprennent un biseau amont suivi d'une voie de transition, puis une voie d'accélération suivi d'un biseau aval, qui dirigent la circulation latéralement d'une voie à l'autre. On utilise généralement un modèle semblable pour les manœuvres d'entrée et de sortie sur un tronçon. On peut également faciliter les mouvements aux extrémités grâce à diverses configurations de bretelles de sortie en direction et en provenance de la voie de circulation principale, ou encore en direction et en provenance du réseau de rues.

### 5.1.5 Glissières et barrières

On emploie divers types de glissières sur les voies réversibles, pour la plupart de conception classique. Toutefois, les systèmes novateurs de glissières amovibles gagnent en popularité. Ces glissières amovibles sont installées de façon permanente sur les routes et les ponts, et temporairement dans les zones de travaux où les débits de circulation ne sont pas équilibrés. De nombreux ponts dans le monde entier en sont équipés – notamment le pont Coronado à San Diego et le pont Tappan Zee à New York (Dietrich et Krakow, 2000). En plus de raccourcir la durée des transitions grâce à un modèle en cascade, la glissière amovible délimite clairement les voies et sépare les flux de circulation en sens opposé (figure 4).

#### Recommandations liées aux croisements et aux échangeurs dans la conception d'un SVSR :

##### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ Considérer l'utilisation de divers dispositifs temporaires de régulation de la circulation (barrières, cônes, panneaux, signaux, marques sur la chaussée)

##### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ Considérer l'utilisation de divers dispositifs de régulation de la circulation (panneaux, signaux, marques sur la chaussée)

##### Autoroute (à accès limité)

- ✓ Considérer différentes configurations de bretelles de sortie en direction et en provenance de la voie de circulation principale, ou encore en direction et en provenance du réseau de rues
- ✓ Considérer la transition des voies réversibles dans les échangeurs



**Figure 4 : Véhicule de transfert de glissières**

(Source : <http://www.flickr.com/photos/scleroplex/370697446/sizes/l/> - Novembre 2008)

Les glissières en béton amovibles ressemblent aux glissières en béton fixes et offrent un rendement égal (Cottrell, 1994). Elles se distinguent des glissières fixes par la prise à l'extrémité supérieure de chaque segment, qui permet au véhicule de transfert de les soulever et de les déplacer latéralement. Le véhicule atteint une vitesse maximale de 16 km/h et peut déplacer les glissières à travers deux voies.

Les systèmes de barrières automatiques sont très répandus dans les endroits où le sens de la circulation change fréquemment, par exemple deux fois par jour, aux heures de pointe. Le système consiste en une série de barrières automatiques de différentes longueurs qui bloquent l'accès aux voies médianes réversibles (figure 5). À certains endroits, un panneau à messages variables en hauteur indique le sens de la circulation sur ces voies. On a récemment conçu une variante du système pour des bretelles d'échangeur où l'on planifiait des évacuations à contresens (B&B Electromatic Inc., 2003). Ce type de système se compose d'une seule barrière automatique, semblable à celles qu'on utilise aux passages à niveau, mise en place manuellement. Celle-ci ressemble également aux barrières automatiques qu'on utilise dans les États de l'Ouest américain et des Plaines, où les tempêtes de neige occasionnent régulièrement la fermeture des autoroutes.



**Figure 5 : Système typique de barrières automatiques, Seattle, Washington**

(Source : *High Occupancy Vehicle (HOV) Interactive 1.0*, 1996)

La conception des points de transition des tronçons d'évacuation à contresens, rarement utilisés, exige une installation fixe et permanente qui bloque l'accès à la voie de circulation en sens inverse. Il est toutefois crucial de pouvoir modifier rapidement le sens de la circulation. Par conséquent, il existe plusieurs configurations. Les barrières automatiques décrites ci-dessus demeurent en position ouverte jusqu'à ce qu'il soit nécessaire de fermer la voie. Mais dans la plupart des cas, les barrières de transition ferment les zones de franchissement jusqu'à ce qu'on ait à les ouvrir. Aux zones terminales de tronçons d'évacuation à la Nouvelle-Orléans, en Louisiane et à Columbia, en Caroline du Sud, on utilise des glissières remplies d'eau, plus légères, sur les voies de franchissement du terre-plein. On a aussi recours à des systèmes de glissières remplies d'eau en France pour séparer les flux de circulation opposés à contresens.

Or, l'expérience montre que les divers systèmes de glissières et de barrières automatiques ne réussissent pas à bloquer complètement l'accès aux voies réversibles. Pour prévenir les accidents causés par des véhicules circulant à contresens, divers systèmes d'arrêt ont été intégrés aux tronçons de voies réversibles.

### Recommandations liées aux barrières dans la conception d'un SVSR :

Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ MCSR (1998) – Conditions temporaires
- ✓ Barrières temporaires

Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ Barrière portative ou aucune barrière

Autoroute (à accès limité)

- ✓ Considérer l'installation d'une barrière séparant les flux de circulation opposés
- ✓ On utilise des barrières de béton fixes ou amovibles à divers endroits

## 5.2 Lignes directrices pour la conception géométrique d'un système de voies à sens réversible

Le tableau ci-dessous résume les lignes directrices pour la conception géométrique d'un système de voies réversibles.

Recommandations liées à la conception géométrique d'un SVSR	Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)	Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)	Autoroute (à accès limité)
Profil en travers	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i> (profil en travers, largeur des voies)</li> <li>✓ Largeur de voie souhaitable : 3,7 m</li> <li>✓ Largeur de voie minimale : 3,0 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i> (profil en travers, largeur des voies)</li> <li>✓ Largeur de voie souhaitable : 3,7 m</li> <li>✓ Largeur de voie minimale : 3,2 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i> (profil en travers, largeur des voies, accotements, terre-pleins)</li> <li>✓ Possibilité d'aménager des voies séparées (surélevées ou sur le terre-plein)</li> <li>✓ Conception bidirectionnelle des glissières de sécurité, des coussins anticollision atténuateurs d'impacts, des dispositifs de rupture et de la pente transversale</li> <li>✓ Largeur minimale entre les barrières : 6,0 m</li> </ul>
Alignement horizontal et vertical	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i> (véhicules de conception, vitesse de conception, biseaux)</li> <li>✓ Tenir compte de l'extrémité du terre-plein ou des bouts d'îlots dans la configuration des changements de voie</li> <li>✓ Tenir compte des distances de visibilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i> (véhicules de conception, vitesse de conception, biseaux)</li> <li>✓ Tenir compte de l'extrémité du terre-plein ou des bouts d'îlots dans la configuration des changements de voie</li> <li>✓ Tenir compte du traitement des carrefours</li> <li>✓ Tenir compte des distances de visibilité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i> (véhicules de conception, vitesse de conception, biseaux)</li> <li>✓ Lorsque la limite de vitesse est élevée, il est essentiel de respecter les normes de l'ATC</li> <li>✓ Tenir compte des distances de visibilité</li> </ul>
Zones d'approche et de départ	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i> – selon la vitesse et la catégorie de la route</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i> – selon la vitesse et la catégorie de la route</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i> – selon la vitesse et la catégorie de la route</li> </ul>
Zones de transition à l'entrée et à la sortie	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i> (entrecroisements, biseaux)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i> (entrecroisements, biseaux)</li> <li>✓ Capacité des zones de rétrécissement et des zones de convergence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i> (entrecroisements, biseaux)</li> <li>✓ Zone de convergence et de divergence – la conception des zones de franchissement du terre-plein comprend un biseau amont suivi d'une voie de transition, puis une voie d'accélération suivi d'un biseau aval</li> <li>✓ Vitesse de conception réduite pour les zones de franchissement du terre-plein et d'élargissement ou de rétrécissement de la route (ajout ou élimination de voies)</li> </ul>
Zones tampon	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i></li> <li>✓ MCSR (1998) – Conditions temporaires – selon la vitesse et la catégorie de la route</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i></li> <li>✓ MCSR (1998) – Conditions temporaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <i>Guide canadien de conception géométrique des routes (1999)</i></li> <li>✓ MCSR (1998) – Conditions temporaires</li> </ul>

Recommandations liées à la conception géométrique d'un SVSR	Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)	Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)	Autoroute (à accès limité)
Carrefours et échangeurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Considérer l'utilisation de divers dispositifs temporaires de régulation de la circulation (barrières, cônes, panneaux, signaux lumineux, marques sur la chaussée)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Considérer l'utilisation de divers dispositifs de régulation de la circulation (panneaux, signaux lumineux, marques sur la chaussée)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Considérer différentes configurations de bretelles de sortie en direction et en provenance de la voie de circulation principale, ou encore en direction et en provenance du réseau de rues</li> <li>✓ Considérer la transition des voies réversibles dans les échangeurs</li> </ul>
Glissières	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ MCSR (1998) – Conditions temporaires</li> <li>✓ Glissières temporaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Glissière portative ou aucune glissière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Considérer l'installation d'une glissière séparant les flux de circulation opposés</li> <li>✓ On utilise des glissières de béton fixes ou amovibles à divers endroits</li> </ul>

## 6. Exploitation d'un système de voies à sens réversible

### 6.1 Dispositifs de régulation de la circulation

On emploie généralement des panneaux de signalisation, des signaux lumineux et des marques sur la chaussée pour diriger et réguler la circulation à l'entrée, à la sortie et tout le long des tronçons de voies réversibles. L'examen des pratiques d'hier et d'aujourd'hui montre que la majorité des installations, en particulier les installations permanentes, emploient les dispositifs du *Manuel canadien de la signalisation routière* (MCSR), parfois adaptés pour l'exploitation de voies réversibles. L'histoire enseigne également que bon nombre des installations actuelles recommandées dans le MCSR résultent de nombreuses années d'évolution et d'essais et d'erreurs.

#### 6.1.1 Panneaux de signalisation

L'information indiquée sur les panneaux de signalisation n'a pas vraiment changé depuis l'invention des voies réversibles, voilà près de 80 ans. Ils ont toujours servi à communiquer des renseignements tels que les heures d'exploitation, les voies ouvertes à la circulation et les zones de changement du sens de la circulation. Les panneaux sur les tronçons de voies réversibles sont placés soit au-dessus des voies, soit aux abords de la route. La circulation sur les premiers tronçons réversibles était presque exclusivement dirigée à l'aide de panneaux, et parfois d'agents de la circulation.

#### Recommandations liées aux panneaux dans l'exploitation d'un SVSR :

##### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ MCSR (1998) – Conditions temporaires
- ✓ Affectation éventuelle de signaleurs
- ✓ Les panneaux doivent fournir des indications claires aux conducteurs
- ✓ Utilisation éventuelle de PMV portatifs
- ✓ Vitesse habituellement réduite

##### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ Les panneaux doivent fournir des indications claires aux conducteurs; il est recommandé d'installer des panneaux dans les rues principales et secondaires
- ✓ Utilisation éventuelle de PMV

##### Autoroute (à accès limité)

- ✓ MCSR (1998)
- ✓ Les panneaux doivent fournir des indications claires aux conducteurs
- ✓ Utilisation éventuelle de PMV

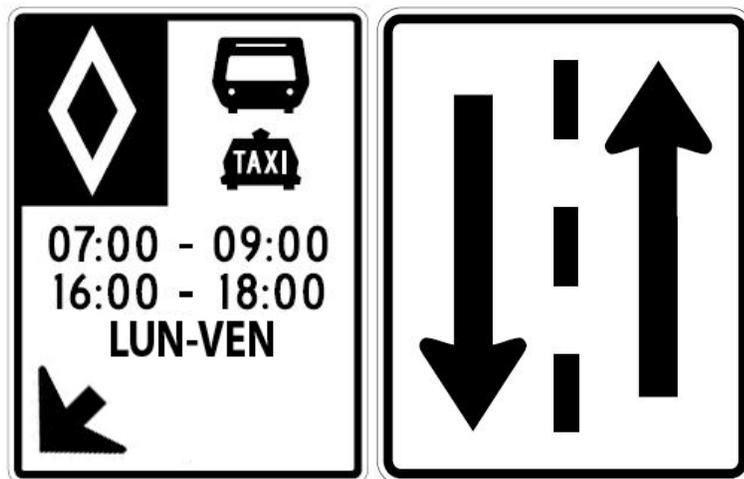


Figure 6 : Panneaux RB-80 (voie réservée) et RB-24 (circulation à double sens)

(Source : MCSR, 4<sup>e</sup> édition, Association des transports du Canada, 1998)

De nombreux autres panneaux ont évolué au fil des ans, comme celui de la figure 7, qui indique le nombre de voies dans chaque direction aux heures de pointe. Ce type de panneau est utilisé lorsque le système de voies réversibles est exploité à heures fixes.



**Figure 7 : Panneaux sur l'avenue Connecticut, à Washington, District de Columbia**

(Source : NCHRP, *Synthesis 340*, Transportation Research Board, 2004)

## 6.1.2 Signaux lumineux

Les signaux d'inversion de voies servent à indiquer, sur une route réversible, les voies ouvertes (ou fermées) à la circulation dans un sens. Pour ce faire, on utilise deux types de signaux : la flèche verte pointant vers le bas et le "X" rouge, tous deux sur fond noir. Le "X" rouge est tantôt clignotant, tantôt fixe. Les lentilles doivent avoir un diamètre d'au moins 300 mm.

Dans un système de voies réversibles, les signaux lumineux doivent être visibles dans les deux sens de la circulation. Le système ne doit pas permettre l'affichage simultané d'une flèche verte dans les deux directions. Chacune des voies d'un système de voies réversibles doit être munie d'un signal d'inversion de la voie (ou d'un panneau de 900 mm x 900 mm désignant le sens de la voie, s'il ne change pas) afin de diriger clairement les conducteurs.

Comme l'indique la figure 8, on compte quatre phases d'exploitation pour chaque voie réversible :

- **Phase 1 :** Une flèche verte pointant vers le bas s'affiche dans la direction A, et un "X" rouge fixe dans la direction B. La phase 1 suit toujours la phase 4.
- **Phase 2 :** Un "X" rouge clignotant s'affiche dans la direction A, et un "X" rouge fixe dans la direction B. La phase 2 sert de période de transition entre la phase 1 et la phase 3. Il est recommandé d'afficher un "X" rouge fixe dans les deux directions avant de passer à la phase 3.
- **Phase 3 :** Un "X" rouge fixe s'affiche dans la direction A, et une flèche verte pointant vers le bas dans la direction B. La phase 3 suit toujours la phase 2.
- **Phase 4 :** Un "X" rouge fixe s'affiche dans la direction A, et un "X" rouge clignotant dans la direction B. La phase 4 est une période de transition entre la phase 3 et la phase 1.

En plus de ces indications, le MCSR décrit leur fonctionnement selon la direction d'approche et les besoins de transition. Le manuel renferme en outre des indications sur la position horizontale et verticale des signaux lumineux et précise que ceux-ci doivent être visibles à une distance de 700 m. Les exigences relatives à la visibilité des signaux lumineux sont les mêmes que pour les panneaux de signalisation, c'est-à-dire qu'ils doivent être installés de manière que les conducteurs voient au moins un et de préférence deux signaux en permanence.

Il importe de prévoir un processus de prévention de l'interférence entre les signaux lumineux d'un système de voies réversibles, afin de protéger les usagers contre les conséquences de signaux contradictoires.

### Recommandations liées aux signaux dans l'exploitation d'un SVSR :

#### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ Généralement sans signaux (utilisation de panneaux et de marques sur la chaussée)

#### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ Flèche verte pointant vers le bas, X rouge clignotant, X rouge fixe
- ✓ Si les signaux d'inversion des voies se trouvent à proximité des feux de circulation, il est recommandé d'éteindre les flèches vertes lorsque les feux de circulation passent au rouge
- ✓ À intervalles de 75 m ou selon la situation (au milieu des îlots lorsque ceux-ci courts)
- ✓ Les conducteurs doivent voir au moins deux signaux à l'avance
- ✓ Il importe de tout mettre en œuvre pour placer les signaux d'inversion des voies de sorte qu'ils n'entrent pas en conflit avec les feux de circulation (c.-à-d. à distance d'au moins 35 mètres)
- ✓ Exercer une surveillance pour prévenir les signaux contradictoires

#### Autoroute (à accès limité)

- ✓ Flèche verte pointant vers le bas, X rouge clignotant, X rouge continu
- ✓ Les conducteurs doivent voir au moins deux signaux à l'avance
- ✓ Si les voies sont séparées par une barrière, les signaux ne sont nécessaires que dans les zones de transition
- ✓ Exercer une surveillance pour prévenir les signaux contradictoires

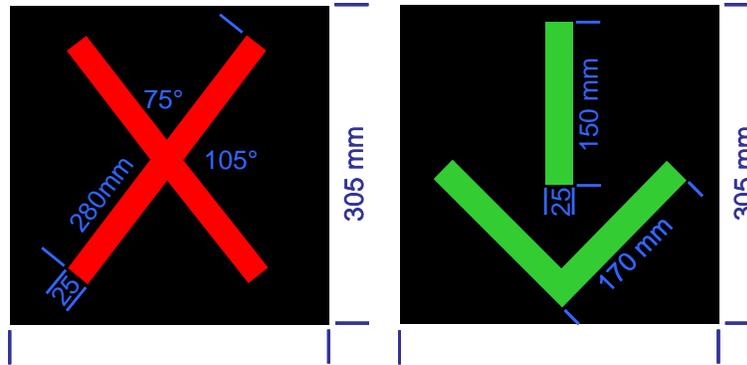


Figure 8 : Signaux d'inversion des voies

PHASE	SIGNAL AU-DESSUS DE LA VOIE RÉVERSIBLE DIRECTION B	SIGNAL AU-DESSUS DE LA VOIE RÉVERSIBLE DIRECTION A
<p>1. La voie réversible est ouverte à la circulation dans la direction A. Dans la direction B, un "X" rouge fixe s'affiche au-dessus de la voie réversible. Une flèche verte est affichée dans la direction A.</p>		
<p>2. La voie réversible entre dans une phase de transition. Un "X" rouge clignotant s'affiche au-dessus de la voie réversible dans la direction A.</p>		
<p>2a. Le signal au-dessus de la voie réversible affiche un "X" rouge fixe dans les deux directions.</p>		
<p>3. La circulation sur la voie réversible passe dans la direction B. Une flèche verte est affichée au-dessus de la voie réversible dans la direction B.</p>		
<p>4. La voie réversible entre dans une phase de transition. Un "X" rouge clignotant s'affiche au-dessus de la voie réversible dans la direction B. Le signal passe ensuite au "X" rouge fixe, comme à la phase 2a, puis le cycle reprend à la phase 1.</p>		

Figure 9 : Phases de transition des signaux d'inversion des voies

### 6.1.3 Marques sur la chaussée

Dans un système de voies réversibles, les marques sur la chaussée servent à diriger la circulation sur la voie réversible. Les marques sur la chaussée des systèmes de voies réversibles sur les artères et les autoroutes sont généralement permanentes. Pour les zones de travaux temporaires, les marques sont peintes sur la chaussée.

En général, les marques sur la chaussée doivent être conformes aux normes de conception provinciales, à celles du MCSR et à toute autre norme en vigueur. Les doubles lignes jaunes discontinues sont recommandées pour délimiter les flux de circulation dans les sens opposés sur la voie réversible.

Les doubles lignes jaunes discontinues sur la chaussée des voies réversibles doivent être conformes aux recommandations du MCSR (1998) : longueur de 3,0 m avec un écart longitudinal de 6,0 m; largeur de 100 mm à 150 mm, avec un écart latéral de 100 mm à 150 mm.

#### Recommandations liées aux marques sur la chaussée dans l'exploitation d'un SVSR :

##### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ MCSR (1998) - C.2.7.1 : double ligne jaune discontinue séparant les flux de circulation dans les sens opposés à différentes heures du jour

##### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ MCSR (1998) - C.2.7.1 : double ligne jaune discontinue séparant les flux de circulation dans les sens opposés à différentes heures du jour

##### Autoroute (à accès limité)

- ✓ Une séparation physique est préférable à des marques sur la chaussée pour séparer la circulation dans les sens opposés sur les autoroutes
- ✓ S'il est impossible d'aménager une séparation physique, il est recommandé de réduire la limite de vitesse, en plus de la double ligne jaune discontinue, en vertu de l'alinéa C.2.7.1 du MCSR (1998)

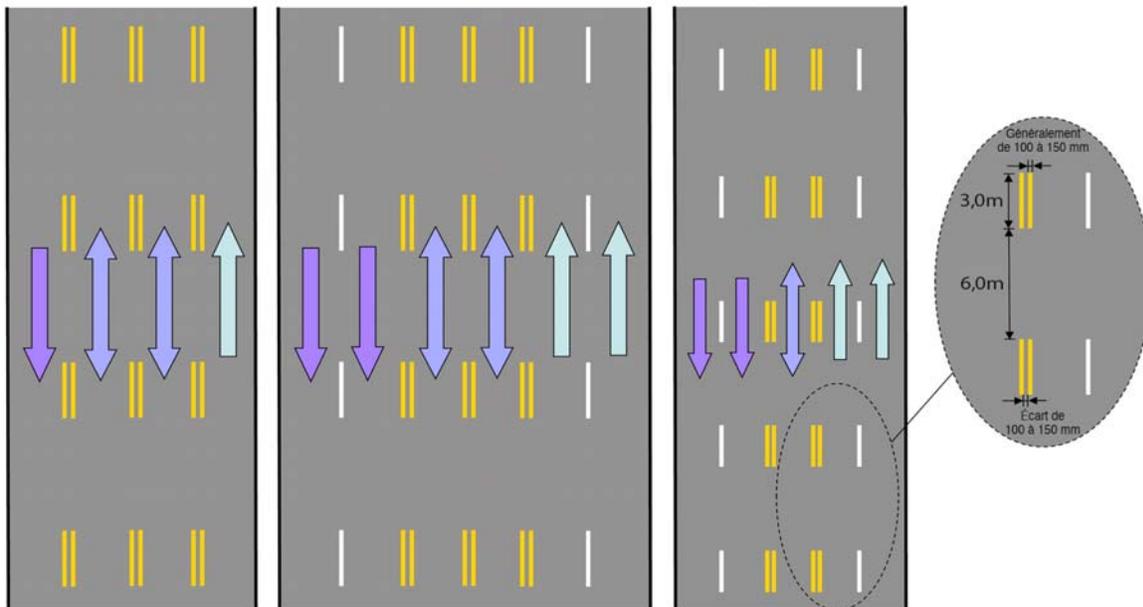


Figure 10 : Exemples de marques sur la chaussée pour des voies centrales réversibles

## 6.1.4 Autres dispositifs

Il existe de nombreux autres dispositifs de régulation de la circulation : des barrières automatisées et des barrières pivotantes aux zones terminales, des caméras de surveillance, des détecteurs de véhicules, des glissières permanentes et amovibles, ainsi que différents types de repères visuels (des panneaux à messages variables (PMV), des panneaux désignant les voies réversibles et des balises de signalisation).

Les barrières automatisées et les barrières pivotantes indiquent aux conducteurs que la voie réversible est fermée à la circulation dans leur direction. On peut les employer dans les systèmes permanents de voies réversibles. Pour des raisons de sécurité, la hauteur de la barrière ne doit pas excéder 760 mm, afin d'éviter qu'elle ne heurte le pare-brise d'un véhicule en cas de collision.

On peut installer un système de télévision en circuit fermé pour surveiller l'état des autres dispositifs de régulation de la circulation, la circulation sur la voie réversible et les incidents, le cas échéant. Des détecteurs de véhicule disposés tout le long du système de voies réversibles permettent en outre de surveiller la circulation. Tous les types de détecteurs de véhicules s'appliquent aux systèmes de voies réversibles permanents, tandis que seuls les détecteurs vidéo et les autres dispositifs portatifs s'emploient dans les systèmes temporaires.

Les panneaux à message variable (PMV) permettent d'indiquer l'état d'une voie réversible, notamment le sens de la circulation, les conditions d'utilisation de la voie et les heures d'exploitation.

On peut aménager des glissières permanentes ou amovibles pour diriger la circulation sur la voie réversible d'une autoroute. Les repères visuels canalisent la circulation sur les voies réversibles temporaires et à court terme.

### Recommandations liées aux autres dispositifs de régulation de la circulation dans l'exploitation d'un SVSR :

#### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ MCSR (1998) – Conditions temporaires
- ✓ Installation de PMV portatifs dans les zones d'approche et de transition pour offrir un complément d'information aux usagers
- ✓ Repères visuels
- ✓ Glissières et glissières temporaires

#### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ On peut installer des glissières escamotables lorsqu'il est préférable d'aménager une séparation physique
- ✓ Des panneaux désignant les voies à sens réversible fournissent d'autres indications aux carrefours
- ✓ Installation de PMV portatifs dans les zones d'approche et de transition pour offrir un complément d'information aux usagers
- ✓ On peut installer des feux d'utilisation des voies à l'approche du système pour faciliter la compréhension des conducteurs

#### Autoroute (à accès limité)

- ✓ On peut installer des glissières amovibles sur certaines autoroutes et certains ponts
- ✓ On peut installer des barrières rétractables si l'automatisation est une priorité
- ✓ Installation de PMV portatifs dans les zones d'approche et de transition pour offrir un complément d'information aux usagers
- ✓ On peut installer des feux d'utilisation des voies à l'approche du système pour faciliter la compréhension des conducteurs
- ✓ On peut incruster des voyants DEL dans la chaussée pour faire ressortir les marques sur la chaussée

### Recommandations liées aux systèmes de détection dans l'exploitation d'un SVSR :

#### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ En général, aucun
- ✓ On surveille parfois les grands chantiers de construction à l'aide d'un système de télévision en circuit fermé

#### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ Utile lorsque la gestion automatisée est préférable (débit, vitesse, densité)
- ✓ Utile également pour la gestion des incidents sur les artères
- ✓ Vidéo ou détecteurs à boucle à induction
- ✓ Système de télévision en circuit fermé pour la surveillance
- ✓ Détection automatisée des incidents pour réduire les besoins en personnel
- ✓ Zone de détection généralement située au milieu du SVSR

#### Autoroute (à accès limité)

- ✓ Utile lorsque la gestion automatisée est préférable (débit, vitesse, densité)
- ✓ Utile également pour la gestion des incidents sur les autoroutes et les ponts ou dans les tunnels
- ✓ Vidéo ou détecteurs à boucle à induction
- ✓ Système de télévision en circuit fermé pour la surveillance
- ✓ Détection automatisée des incidents pour réduire les besoins en personnel
- ✓ Zone de détection généralement située entre les échangeurs ou tous les 500 m

## 6.2 Systèmes de détection

Les détecteurs ont diverses utilités dans le cadre de l'exploitation d'un système de voies réversibles. Ils permettent la collecte de données sur le débit, la vitesse et la densité de la circulation à divers endroits le long du corridor. Par la suite, ces données peuvent servir à déclencher l'exploitation du système lorsque des seuils prédéfinis sont franchis, ou encore à prendre les mesures d'intervention qui s'imposent en cas d'incident.

En général, on n'installe pas de détecteurs dans les zones de travaux temporaires; le personnel sur les lieux exécute les changements voulus dans le cadre de l'exploitation du système. Toutefois, sur les grands chantiers de construction, on utilise parfois des détecteurs pour mieux gérer l'exploitation des voies réversibles.

### 6.2.1 Dispositifs de détection

Il existe divers types de dispositifs de détection : les traditionnelles boucles de détection, détecteurs à micro-ondes ou détecteurs vidéo. Le choix du système de détection dépend de la capacité des autorités compétentes d'installer et d'entretenir les dispositifs. En plus des détecteurs pour l'exploitation des systèmes de voies réversibles, on peut utiliser un système de télévision en circuit fermé à des fins de gestion des incidents.

### 6.2.2 Zones de détection

Dans les systèmes de voies réversibles aménagés sur des artères, les zones de détection se situent d'habitude au milieu du système de voies réversibles, où elles permettent de mieux mesurer la vitesse et la densité de la circulation (moins perturbée qu'aux carrefours en amont et en aval). Des détecteurs devraient être placés sur chacune des voies pour mesurer leur débit individuel et repérer les incidents.

Sur les autoroutes, les zones de détection se situent en général entre les échangeurs mais à un maximum de 500 mètres d'intervalle. Là également, des détecteurs devraient être placés sur chacune des voies pour mesurer leur débit individuel et repérer les incidents.

### 6.3 Gestion d'un système de voies réversibles

Les systèmes de voies réversibles doivent être planifiés, conçus et exploités comme des systèmes de voies gérées. Le système est composé des dispositifs classiques de régulation de la circulation énumérés ci-dessus, en plus des composants spécialisés qui servent à communiquer de l'information et des directives aux conducteurs dans des situations particulières. La technologie des systèmes de transport intelligents (STI) permet d'améliorer l'efficacité et le rendement des voies réversibles en milieu urbain, grâce à des panneaux à message variable et à l'automatisation du changement de sens de la circulation. Un centre local de gestion des déplacements (CGD) peut assurer la surveillance et la gestion de l'ensemble du système.

#### Recommandations liées à la gestion et à l'exploitation d'un SVSR :

##### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ Aucune en général
- ✓ Dans certains cas, un CGD

##### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ CGD
- ✓ Opérateurs du système de régulation

##### Autoroute (à accès limité)

- ✓ CGD
- ✓ Opérateurs du système de régulation

#### 6.3.1 Architecture STI au Canada

L'architecture STI au Canada propose un cadre uniforme pour l'intégration des différents composants du STI dans un système. Chaque volet de service aux utilisateurs de STI comporte un certain nombre de services qui décrivent les fonctions STI du point de vue de l'utilisateur. Par exemple, le volet de services de gestion des déplacements comprend la gestion de la demande de déplacement, qui à son tour se subdivise en trois services : 1) la gestion des voies réservées aux véhicules multioccupants, 2) la gestion des voies réversibles et 3) la gestion prédictive de la demande. L'organigramme à la figure 9 illustre cet exemple.

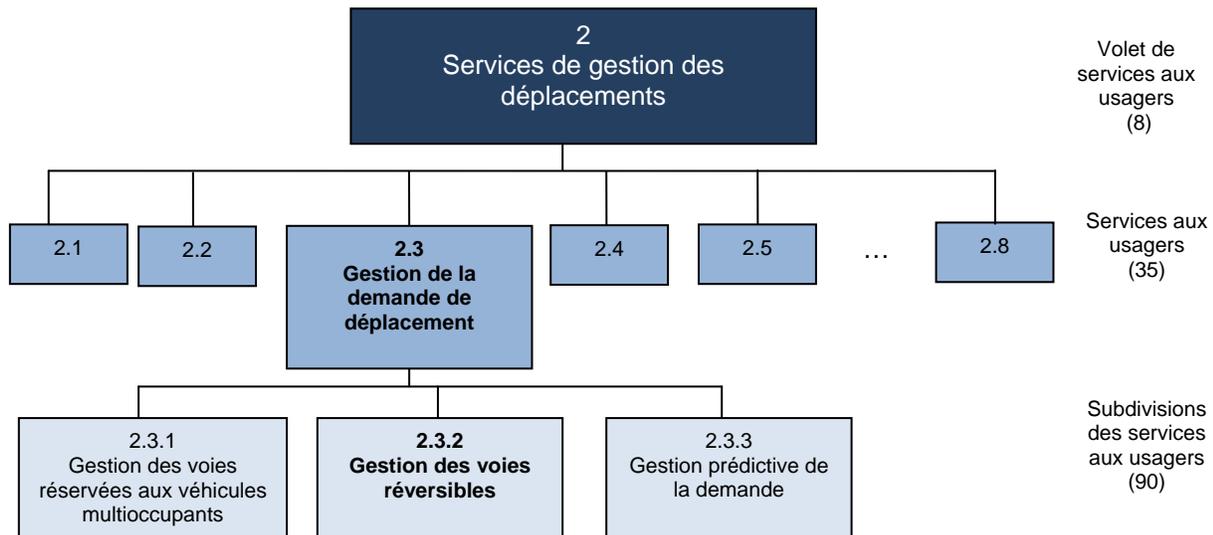


Figure 11 : Organigramme des services aux usagers

La gestion des voies réversibles est donc une subdivision des services de gestion des déplacements. Ce service comprend la surveillance des voies réversibles, les fonctions de détection des véhicules circulant en sens interdit et les autres fonctions de surveillance particulières visant à diminuer les risques pour la sécurité associés à l'exploitation de voies réversibles. La subdivision des services aux usagers comprend l'équipement sur le terrain, la gestion de l'accès aux voies et les dispositifs électroniques qui gèrent et optimisent la circulation sur ces voies. Elle comprend également l'équipement électronique employé pour la reconfiguration des carrefours et la gestion de la priorité de passage, pour répondre aux variations dynamiques de la demande et aux événements spéciaux.

Le sous-système de voies réversibles comprend l'équipement installé sur la route et ses abords qui permet de surveiller et de gérer la circulation, notamment des radios d'information routière, des panneaux à messages variables, des téléphones cellulaires d'urgence, des systèmes de télévision en circuit fermé et des systèmes de traitement de l'image vidéo pour la détection et la vérification des incidents, les détecteurs de véhicules, les feux de circulation, les systèmes d'avertissement aux passages à niveau et les systèmes de régulation aux bretelles d'entrée des autoroutes. Il facilite la mise en œuvre de zones de travaux intelligentes grâce aux dispositifs de surveillance et de gestion, et permet également d'installer un dispositif le long de la route (par exemple, un capteur et un processeur local) qui détermine les données de sortie d'un autre dispositif le long de la route (par exemple, un panneau à message variable mobile). Le sous-système permet en outre de surveiller les émissions et d'autres paramètres environnementaux, grâce notamment aux capteurs météorologiques, aux détecteurs de formation de glace sur la chaussée, aux détecteurs de brouillard, etc.

### 6.3.2 Système de gestion centrale des voies réversibles

Ce type de système centralise l'exploitation et la gestion d'un système de voies réversibles. Ainsi, les opérateurs du système de gestion centralisée peuvent surveiller le système de voies réversibles, confirmer que le changement de sens de la circulation peut s'opérer de façon sécuritaire et intervenir si nécessaire.



**Figure 12 : Système de gestion centrale des voies réversibles, Vancouver, Colombie-Britannique**

(Avec l'autorisation du ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, 2009)

Le système se situe habituellement dans le centre de gestion des déplacements et comporte :

- un serveur;
- une interface logicielle;
- des moniteurs qui transmettent les images des caméras de surveillance.

L'interface logicielle du système de gestion permet à l'opérateur de gérer le système de voies réversibles du centre de gestion.

Voici les principales fonctions de l'interface logicielle :

- l'état en temps réel des dispositifs sur le terrain et des voies;
- la surveillance en direct par caméra;
- les alertes signalant le mauvais fonctionnement des dispositifs sur le terrain;
- la gestion des dispositifs, qui permet de les modifier manuellement ou de les reprogrammer.

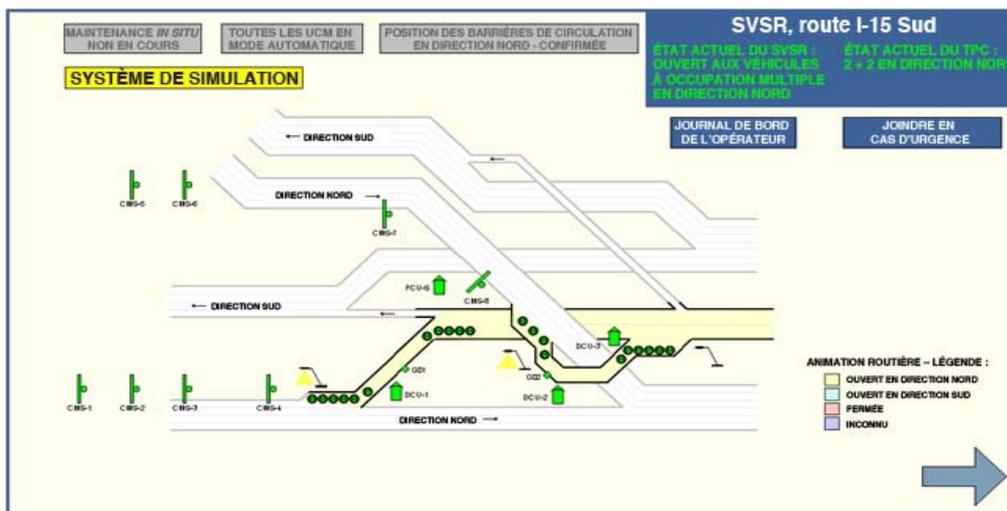


Figure 13 : Exemple d'interface logicielle d'un SVSR, route I-15, Caltrans District 11, San Diego

(Avec l'autorisation de la société ICx 360 Surveillance)

Le principal objectif du logiciel consiste à automatiser la modification de l'état des dispositifs sur le terrain, et plus particulièrement de confirmer que les conditions sont appropriées avant d'autoriser le changement du sens de la circulation. Avant d'inverser la circulation sur la voie, le logiciel doit demander à l'opérateur l'autorisation de procéder. Durant la phase de transition, il est possible que l'opérateur doive confirmer *de visu* que la voie réversible est entièrement libre avant de l'ouvrir à la circulation en contresens.

Le système de gestion doit permettre à l'opérateur de modifier manuellement le système, soit pour enclencher un changement de sens de la circulation non programmé, soit pour annuler l'inversion de la circulation sur une voie.

Le système central de gestion permet par ailleurs de collecter des données et de consigner les incidents, par exemple les heures d'inversion des voies, la détection des incidents et les alertes. Le logiciel de gestion du système doit être en mesure de gérer et de consigner ces événements avec efficacité.

Le système central doit faciliter les diagnostics du système. Il doit générer des alertes lorsqu'il détecte des défaillances du système ou un dysfonctionnement des dispositifs sur le terrain. L'interface logicielle doit obliger l'opérateur à prendre connaissance de l'alerte et à résoudre le problème sur le terrain, s'il y a lieu.

Il est recommandé de munir le système d'une alimentation d'appoint pour garantir la gestion continue des voies réversibles en cas de panne d'électricité.

### 6.3.3 Gestion des incidents

La gestion des incidents sur les voies de circulation générale des routes à accès limité est très bien documentée. Bon nombre des objectifs de gestion des incidents sont les mêmes sur les voies de circulation générale et sur les voies gérées; de nombreuses techniques, politiques et procédures sont donc identiques pour les deux catégories de voies.

Parmi les nombreux principes de gestion des incidents sur les voies de circulation générale, le plus important est sans doute l'établissement et le maintien de relations entre les principaux responsables des organismes participants. Bien que les dirigeants des divers organismes (p. ex., la police, les ministères des Transports provinciaux et les sociétés de transport en commun) se réunissent périodiquement en temps normal, ces relations ne peuvent remplacer les liens de collaboration sains et étroits entre les membres du personnel d'exploitation de ces organismes.

Outre les relations de travail, le succès des programmes de gestion des incidents repose sur la conclusion de diverses ententes, notamment des accords d'aide mutuelle, des conventions de non-responsabilité et des politiques d'enlèvement des véhicules accidentés ou en panne.

Ces éléments des programmes de gestion des incidents, ainsi que beaucoup d'autres, contribuent à réduire la congestion exceptionnelle causée par les incidents sur les voies de circulation générale des autoroutes. Ces éléments sont également communs à tous les programmes de gestion des incidents pour les voies gérées.

Ce sont habituellement les mêmes services (police, services d'incendie, services médicaux d'urgence, gestion des déplacements) qui forment l'équipe d'intervention en cas d'incident sur des voies gérées ou sur des voies de circulation générale. La collaboration entre ces intervenants est un aspect crucial de la gestion efficace des incidents. Ceux-ci doivent être liés par des accords d'aide mutuelle, des clauses de non-responsabilité, des politiques d'enlèvement rapide des véhicules accidentés et abandonnés, et ils doivent en outre dresser le bilan des interventions et se communiquer l'information.

Il importe de communiquer rapidement au public l'information relative à l'intervention sur les voies gérées, ainsi que les messages signalant les incidents. La gestion des incidents sur les voies gérées exige la coordination des communications aux médias par un membre désigné de l'équipe d'intervention (p. ex., un agent d'information du ministère des Transports de la province). En fonction des facteurs financiers propres à la voie gérée, il est possible que les coûts liés au déploiement à l'avance de remorqueuses ou d'autres véhicules d'intervention soient compensés par la capacité d'intervention rapide sur les lieux d'un accident. La décision de déployer à l'avance des remorqueuses repose sur des considérations telles que la fiabilité du temps de déplacement et les répercussions qui en résultent sur les recettes des péages.

#### Recommandations liées à la gestion des accidents dans l'exploitation d'un SVSR :

##### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ Ingénieur de chantier
- ✓ Parfois le CGD

##### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ CGD, avec l'aide des services d'urgence (services d'incendie, police, services médicaux d'urgence) et des opérateurs de dépanneuses

##### Autoroute (à accès limité)

- ✓ CGD, avec l'aide des services d'urgence (services d'incendie, police, services médicaux d'urgence) et des opérateurs de dépanneuses

Lorsque les équipes d'intervention arrivent sur les lieux d'un grave accident sur une voie, elles peuvent décider de fermer une deuxième voie en vue de créer une zone sécuritaire pour le travail des intervenants. Cette décision dépend du lieu de l'accident et de la configuration des voies gérées.

Si les voies gérées sont séparées des voies de circulation générales par une glissière, et si la circulation est fortement congestionnée et très lente, les services d'intervention peuvent emprunter les accotements pour atteindre le lieu d'un incident, à condition que ceux-ci ne servent pas de voie de circulation. Si le meilleur itinéraire pour se rendre sur le lieu d'un incident consiste à emprunter les voies de l'autre côté de la glissière, les véhicules d'urgence peuvent traverser la glissière aux points d'accès qui leur sont réservés.

Toutes les parties prenantes doivent établir un plan de déviation de la circulation, y compris les organismes membres de l'équipe d'intervention en cas d'accident. Il s'agit d'habitude de représentants du ministère des Transports, de la police, de la société de transport en commun, de l'équipe d'intervention en cas d'urgence, du service d'incendie, de l'équipe de gestion des matières dangereuses, des patrouilles d'autoroute, des services médicaux d'urgence (SMU), des services gouvernementaux responsables de la circulation, des entreprises de remorquage, des médecins légistes, du bureau d'information publique de l'organisme désigné, etc.

### 6.3.4 Seuil d'inversion des voies

On peut actionner un système de voies réversibles de trois façons :

- manuellement;
- à heures fixes;
- automatiquement.

La mise en service manuelle repose sur le jugement de l'opérateur; c'est le mode employé en général pour les zones de travaux, les événements spéciaux ou les évacuations d'urgence. Elle exige parfois la mise en place de barrières et de panneaux, en particulier dans les zones de travaux, ou la mise en service à distance d'un système de voies réversibles à partir d'un centre de gestion des déplacements.

#### Seuil recommandé d'inversion des voies d'un SVSR :

##### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ Mise en service manuelle (à heures fixes)
- ✓ Mise en service manuelle (selon l'ordonnancement des travaux)

##### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

- ✓ À heures fixes
- ✓ Automatique, en fonction du nombre de véhicules ou de la longueur des files d'attente

##### Autoroute (à accès limité)

- ✓ À heures fixes
- ✓ Automatique, en fonction du nombre de véhicules ou de la vitesse pratiquée

La plupart des systèmes de voies réversibles au Canada sont actionnés à heures fixes. C'est au stade de la planification d'un système de voies réversibles qu'on détermine les périodes de mise en service appropriées, selon l'analyse des tendances habituelles du débit de la circulation. La mise en service du système correspond en général aux heures de pointe du matin et de l'après-midi. Les usagers de la route acceptent mieux les systèmes de voies réversibles exploités à heures fixes, car ils leur permettent de planifier leurs déplacements en conséquence.

Un système de voies réversibles peut de plus être actionné automatiquement, en fonction de données sur la circulation telles que le ratio débit-capacité, la longueur des files d'attente ou la vitesse pratiquée.

### 6.3.5 Période de transition pour l'inversion de la circulation

Il importe de prévoir une période de transition avant de changer le sens de la circulation, pour permettre aux véhicules dans le sens normal de la circulation de libérer la voie réversible avant de l'ouvrir à la circulation à contresens.

Dans les zones de travaux temporaires, les événements spéciaux et les évacuations d'urgence, les opérateurs et les membres de l'équipe sur le terrain peuvent s'assurer *de visu* que la voie est libre. On utilise parfois un véhicule d'escorte pour évacuer la voie réversible, de concert avec l'équipe sur le terrain ou les opérateurs.

Sur les artères en milieu urbain, on peut calculer la période de transition d'après la distance et la vitesse. Par exemple, la somme de la longueur des zones d'entrée, de circulation et de sortie (voir le schéma ci-dessous) est divisée par la limite de vitesse, et l'on ajoute au résultat obtenu la durée du plus long cycle d'un feu de circulation du système de voies réversibles. Certaines municipalités prévoient un intervalle fixe pour libérer les voies, suivi d'une confirmation *de visu* que les véhicules ont évacué la zone de circulation.

#### Périodes de transition recommandées pour l'inversion de la circulation dans un SVSR :

##### Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)

- ✓ Mise en service manuelle
- ✓ Véhicule d'escorte dans certains cas

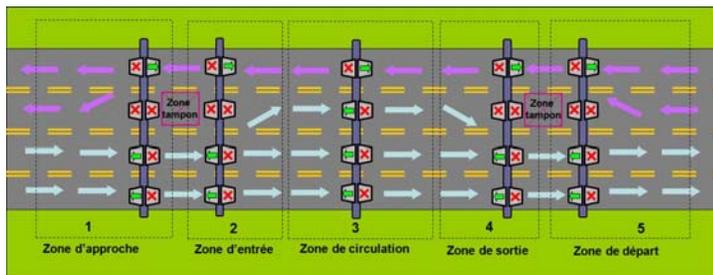
##### Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)

Calculer la période de transition selon l'une des méthodes ci-dessous :

- ✓ (Zones 2, 3 et 4 du SVSR divisées par la limite de vitesse) + la durée du plus long cycle d'un feu de circulation
- ✓ À intervalles fixes, après avoir confirmé *de visu* que la voie est libre
- ✓ Calcul de la distance en fonction de la vitesse

##### Autoroute (à accès limité)

- ✓ (Zones 2, 3 et 4 du SVSR divisées par la limite de vitesse) + temps de PR + facteur de sécurité



Pour les systèmes de voies réversibles sur les autoroutes, la période de transition équivaut à la somme de la longueur des zones d'entrée, de circulation et de sortie (voir la section 2.2) divisée par la limite de vitesse, puis l'on ajoute au résultat obtenu le temps de perception-réaction et un facteur de sécurité.

**Recommandations liées au réseau de transport en commun dans l'exploitation d'un SVSR :**

**Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)**

- ✓ Lorsque les dispositifs de priorité pour les transports en commun sont en marche (prolongement ou retour rapide du feu vert), le SVSR ne devrait pas nuire à la circulation des véhicules de transport en commun
- ✓ Tenir compte du traitement des arrêts de transport en commun dans un SVSR

## 6.4 Réseau de transport en commun

L'exploitation d'un système de voies réversibles peut avoir des conséquences sur le réseau de transport en commun, en particulier dans le cas de routes à double sens converties en sens unique. Il importe de tenir compte de l'itinéraire des transports en commun et de l'emplacement des arrêts. Il faut aménager des espaces d'arrêt adéquats sur les routes à voie unique empruntées par un service de transport en commun.

L'inversion du sens de la circulation risque de compliquer les manœuvres d'entrecroisement des véhicules de transport en commun (selon leur origine et leur destination). On peut se servir du temps de déplacement des véhicules de transport en commun pour mesurer le rendement du système de voies réversibles à ce chapitre.

## 6.5 Facteurs liés à la surveillance et à l'application des règlements

Les politiques et les programmes d'application des règlements constituent un volet essentiel de l'exploitation d'un système de voies réversibles. Des mesures de coercition visibles et efficaces favorisent l'équité et le maintien de l'intégrité du système de voies réversibles, et contribuent à susciter l'adhésion des usagers et du grand public.

L'application des règlements dans un système de voies réversibles exige l'affectation appropriée des ressources disponibles. Il existe diverses stratégies selon le degré de coercition voulu pour exploiter le système de façon efficiente et sécuritaire, conformément aux objectifs. Ces stratégies s'appuient sur la surveillance continue ou, plus simplement, sur la disposition des usagers à se plier au règlement. L'examen des diverses mesures de coercition d'un bout à l'autre du pays révèle de multiples différences en ce qui a trait aux méthodes d'application de la loi sur les voies réversibles, qui obtiennent plus ou moins de succès.

La planification de la surveillance policière sur les voies réversibles est liée aux objectifs de chaque projet, lesquels déterminent la stratégie d'exploitation et les groupes d'usagers visés. Une fois que la stratégie d'exploitation du système est définie (p. ex., le type d'aménagement, les groupes d'usagers autorisés, les points d'accès désignés par groupe d'usagers, etc.), les organismes participant à la conception du projet peuvent déterminer les critères de conformité. L'exploitation d'un système de voies réversibles est étroitement liée à l'application des règlements. Le programme de coercition d'un système de voies réversibles vise à maintenir un temps de déplacement réduit, à dissuader les véhicules non autorisés de circuler sur les voies et à garantir la sécurité continue du système. Des mesures de coercition visibles et efficaces préservent l'intégrité des aménagements et contribuent à susciter l'adhésion du public.

L'application du règlement sur les voies réversibles exige l'aménagement de zones réservées à la surveillance policière. Ces zones sont la plupart du temps adjacentes aux voies gérées pour permettre aux agents de les surveiller, de poursuivre et d'appréhender les conducteurs qui commettent une infraction, puis de leur remettre une contravention.

Les technologies de surveillance des systèmes de voies réversibles évoluent à toute vitesse. Depuis de nombreuses années, on surveille les routes dans le cadre des divers programmes de gestion de la demande des déplacements (GDD) à l'aide de systèmes de transport intelligents (STI). La détection et l'intervention rapides sont des conditions primordiales de la gestion des incidents et de l'utilisation efficace des services d'urgence. Ces progrès laissent entrevoir une utilisation plus approfondie de la technologie pour la surveillance et l'application des mesures de coercition sur les voies gérées.

La surveillance continue des mesures de rendement du système contribue à justifier le système à long terme et à déterminer les modifications recherchées. Dans le cas des systèmes de voies réversibles mis en œuvre à heures fixes, c'est-à-dire en semaine, durant les périodes de pointe le matin et l'après-midi, la surveillance continue de la circulation permet de déterminer à quel moment mettre en œuvre le système. Voici les principales mesures de rendement :

- le calcul du débit de la circulation dans chaque direction à intervalle de 15 minutes;
- le niveau de service dans chaque direction aux heures de pointe;
- le retard par véhicules (ou par personne) dans chaque direction aux heures de pointe.

**Recommandations liées à la surveillance et à l'application des règlements dans l'exploitation d'un SVSR :**

**Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)**

- ✓ Aucune surveillance en général
- ✓ Parfois le CGD (zones de travaux intelligentes)

**Artère**

- ✓ CGD

**Autoroute**

- ✓ CGD

## 6.6 Lignes directrices pour l'exploitation d'un système de voies à sens réversible

Le tableau ci-dessous résume les lignes directrices pour l'exploitation d'un système de voies réversibles.

Recommandations liées à l'exploitation d'un SVSR	Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)	Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)	Autoroute (à accès limité)
Panneaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ MCSR (1998) – Conditions temporaires</li> <li>✓ Affectation éventuelle de signaleurs</li> <li>✓ Les panneaux doivent fournir des indications claires aux conducteurs</li> <li>✓ Utilisation éventuelle de PMV portatifs</li> <li>✓ Vitesse habituellement réduite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ MCSR (1998)</li> <li>✓ Les panneaux doivent fournir des indications claires aux conducteurs</li> <li>✓ Utilisation éventuelle de PMV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ MCSR (1998)</li> <li>✓ Les panneaux doivent fournir des indications claires aux conducteurs</li> <li>✓ Utilisation éventuelle de PMV</li> </ul>
Signaux lumineux	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ En général sans signaux (utilisation de panneaux et de marques sur la chaussée)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Flèche verte pointant vers le bas, X rouge clignotant, X rouge fixe</li> <li>✓ Si les signaux d'inversion des voies sont à proximité des feux de circulation, il est recommandé d'éteindre les flèches vertes lorsque les feux de circulation passent au rouge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Flèche verte pointant vers le bas, X rouge clignotant, X rouge fixe</li> </ul>
Espacement des signaux lumineux		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ À intervalles de 75 m ou selon la situation (au milieu des îlots lorsque ceux-ci courts)</li> <li>✓ Les conducteurs doivent voir au moins deux signaux à l'avance</li> <li>✓ Il importe de tout mettre en œuvre pour placer les signaux d'inversion des voies pour qu'ils n'entrent pas en conflit avec les feux de circulation (c.-à-d. à distance d'au moins 35 mètres)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Les conducteurs doivent voir au moins deux signaux à l'avance</li> <li>✓ Si les voies sont séparées par une glissière, les signaux lumineux ne sont nécessaires que dans les zones de transition</li> </ul>
Marques sur la chaussée	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ MCSR (1998) - C.2.7.1 : double ligne jaune discontinue séparant les flux de circulation dans les sens opposés à différentes heures du jour</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ MCSR (1998) - C.2.7.1 : double ligne jaune discontinue séparant les flux de circulation dans les sens opposés à différentes heures du jour</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Une séparation physique est préférable à des marques sur la chaussée pour séparer la circulation dans les sens opposés sur les autoroutes</li> <li>✓ S'il est impossible d'aménager une séparation physique, il est recommandé de réduire la limite de vitesse, en plus de la double ligne jaune discontinue, en vertu de l'alinéa C.2.7.1 du MCSR (1998)</li> </ul>

Recommandations liées à l'exploitation d'un SVSR	Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)	Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)	Autoroute (à accès limité)
Autres dispositifs de régulation de la circulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ MCSR (1998) – Conditions temporaires</li> <li>✓ Installation de PMV portatifs dans les zones d'approche et de transition pour offrir un complément d'information aux usagers</li> <li>✓ Balises de signalisation</li> <li>✓ Glissières temporaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ On peut installer des glissières escamotables lorsqu'il est préférable d'aménager une séparation physique</li> <li>✓ Des panneaux désignant les voies réversibles fournissent d'autres indications aux carrefours</li> <li>✓ Installation de PMV portatifs dans les zones d'approche et de transition pour offrir un complément d'information aux usagers</li> <li>✓ On peut installer des feux d'utilisation de voies à l'approche du système pour faciliter la compréhension des conducteurs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ On peut installer des glissières amovibles sur certaines autoroutes et certains ponts</li> <li>✓ On peut installer des barrières rétractables si l'automatisation est une priorité</li> <li>✓ Installation de PMV portatifs dans les zones d'approche et de transition pour offrir un complément d'information aux usagers</li> <li>✓ On peut installer des feux d'utilisation de voies à l'approche du système pour faciliter la compréhension des conducteurs</li> <li>✓ On peut incruster des voyants DEL dans la chaussée pour y faire ressortir les marques</li> </ul>
Dispositifs de détection	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ En général, aucun</li> <li>✓ On surveille parfois les grands chantiers de construction à l'aide d'un système de télévision en circuit fermé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Utile lorsque la gestion automatisée est préférable (débit, vitesse, densité)</li> <li>✓ Utile également pour la gestion des incidents sur les artères</li> <li>✓ Vidéo ou détecteurs à boucle à induction</li> <li>✓ Système de télévision en circuit fermé pour la surveillance</li> <li>✓ Détection automatisée des incidents pour réduire les besoins en personnel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Utile lorsque la gestion automatisée est préférable (débit, vitesse, densité)</li> <li>✓ Utile également pour la gestion d'incidents sur les autoroutes et les ponts ou dans les tunnels</li> <li>✓ Vidéo ou détecteurs à boucle à induction</li> <li>✓ Système de télévision en circuit fermé pour la surveillance</li> <li>✓ Détection automatisée des incidents pour réduire les besoins en personnel</li> </ul>
Zones de détection	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ En général, aucune</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Zone de détection, en général située au milieu du SVSR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Zone de détection, en général située entre les échangeurs ou tous les 500 m</li> </ul>
Communications	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ En général, aucune</li> <li>✓ À l'occasion, un système sans fil à des fins de surveillance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ De préférence, cuivre ou fibre pour le CGD</li> <li>✓ On peut utiliser un système redondant sans fil, mais celui-ci n'est pas recommandé comme principal moyen de communication</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ De préférence, cuivre ou fibre pour le CGD</li> <li>✓ On peut utiliser un système redondant sans fil, mais celui-ci n'est pas recommandé comme principal moyen de communication</li> </ul>
Gestion du SVSR	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Aucune en général</li> <li>✓ Dans certains cas, un CGD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ CGD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ CGD</li> </ul>
Gestion des accidents, surveillance et application des règlements	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ingénieur de chantier</li> <li>✓ Parfois le CGD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ CGD, avec l'aide des services d'urgence et des opérateurs de remorqueuses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ CGD, avec l'aide des services d'urgence et des opérateurs de remorqueuses</li> </ul>
Seuils d'inversion des voies	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mise en service manuelle (à heures fixes)</li> <li>✓ Mise en service manuelle (selon l'ordonnement des travaux)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ À heures fixes</li> <li>✓ Automatique, en fonction du nombre de véhicules ou de la longueur des files d'attente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ À heures fixes</li> <li>✓ Automatique, en fonction du nombre de véhicules ou de la vitesse pratiquée</li> </ul>
Périodes de transition pour l'inversion de la circulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mise en service manuelle</li> <li>✓ Véhicule d'escorte dans certains cas</li> </ul>	<p>Calculer la période de transition selon l'une des méthodes ci-dessous :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ (Zones 2, 3 et 4 du SVSR divisées par la limite de vitesse) + la durée du plus long cycle d'un feu de circulation</li> <li>✓ À intervalles fixes, suivies d'une confirmation <i>de visu</i> que la voie est libre</li> <li>✓ Calcul de la distance en fonction de la vitesse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ (Zones 2, 3 et 4 du SVSR divisées par la limite de vitesse) + temps de PR + facteur de sécurité</li> </ul>

Recommandations liées à l'exploitation d'un SVSR	Temporaire (zone de travaux ou événement spécial)	Artère (au niveau du sol, à accès réservé ou libre)	Autoroute (à accès limité)
Réseau de transport en commun		<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lorsque les dispositifs de priorité pour les transports en commun sont en marche (prolongement ou retour rapide du feu vert), le SVSR ne devrait pas nuire à la circulation des véhicules de transport en commun</li> <li>✓ Tenir compte du traitement des arrêts de transport en commun dans un SVSR</li> </ul>	

## Références

- Agent, K. & Clark, J. *Evaluation of Reversible Lanes (Nicholaville Road; Lexington Kentucky) (rapport n° 549)*. Lexington, Kentucky: Kentucky Department of Transportation, 1980.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (Green Book), Fourth Edition*. Washington, District de Columbia: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. *Guide for the Design of High Occupancy Vehicle Facilities*. Washington, District de Columbia: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1992.
- Anderson, Martin E., Murphy, D. G., REVLAC: Turning the Flow in Chicago. Dans *Traffic Technology International*, (février-mars 1998), p. 41-45.
- B&B Electromatic Inc. *Road, Bridge, and Rail Barrier Gates*. Norwood, Louisiane, 2001. [2 juin 2003]. [www.bb gates.com/products02a.html](http://www.bb gates.com/products02a.html)
- Bartelsmeyer, R. Reversible Freeway Lanes on the Northwest Expressway in Chicago. Dans *Traffic Quarterly*, 16, 2 (1962), p. 155-172.
- Bretherton, W. M. & Elhaj, M. Is a Reversible Lane System Safe? *Compendium of Technical Papers of the 66<sup>th</sup> Annual Meeting of the Institute of Transportation Engineers*; Minneapolis, Minnesota, 1996, p. 277-281.
- Cottrell, B. *Evaluation of a Movable Concrete Barrier System (rapport n° FHWA/VA 94-R10)*. Washington, District de Columbia: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 1994.
- DeRose, F. Reversible Center-Lane Traffic System: Directional and Left-Turn Usage. Dans *Highway Research Record*, 151, (1966), p. 1-17.
- Dietrich, W. & Krakow, T. Reversible HOV Lane: US 101 Gap Closure Project. *Compendium of Technical Papers of the 6<sup>th</sup> Annual Meeting*; San Diego, Californie, avril 2000.
- Federal Highway Administration. *The 1974 Annual Report on Urban Area Traffic Operations Improvement Programs*. Washington, District de Columbia: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 1974.
- Institute of Transportation Engineers. *Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections, Third Edition*. Committee on Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections, Institute of Transportation Engineers, District 7 - Canada, 2007.
- Institute of Transportation Engineers. *Traffic Engineering Handbook, Fourth Edition*, J.L. Pline (Ed). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc, 1992, 491 p.
- Institute of Transportation Engineers. *Traffic Engineering Handbook, Fifth Edition*, J.L. Pline (Ed). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc, 1999, 718 p.
- Kuhn, Beverly, Goodin, Ginger, Ballard, Andrew, Brewer, Marcus, Brydia, Robert, Carson, Jodi, Chrysler, Susan, et al. *Managed Lanes Handbook (Report No. 0-4160-24)*. College Station, Texas: Texas Department of Transportation and Federal Highway Administration, 2005.
- Link D. Freeway Contraflow Bus Lanes: Some Policy and Technical Issues. Dans *Traffic Engineering*, 44, 1 (1975), p. 31-34.
- Makovetz, S., Royer, D., & Dorroh, R. Leetsdale Drive Reversible Lane Design Study. *Compendium of Technical Papers of the 65<sup>th</sup> Annual meeting of the Institute of Transportation Engineers*; Denver, Colorado, 1995, p. 142-146.

- Meyer, Michael D. *A Toolbox for Alleviating Traffic Congestion and Enhancing Mobility*. Washington, District de Columbia: Institute of Transportation Engineers, 1997.
- Narrow Median, Shoulders Force Expressway into the Air. In *Civil Engineering*, 70, 4 (2000), p. 14.
- National Cooperative Highway Research Program. *Convertible Roadways and Lanes: A Synthesis of Highway Practice (Synthesis 340)*. Washington, District de Columbia: Transportation Research Board, 2004.
- Association des transports du Canada. *Manuel canadien de la signalisation routière*, 4<sup>e</sup> éd., Ottawa (Ontario), Association des transports du Canada, 1998.
- Association des transports du Canada. *Guide canadien de conception géométrique des routes*, Ottawa (Ontario), Association des transports du Canada, 1999.
- Transportation Research Board. *Highway Capacity Manual*. Washington, District de Columbia: Transportation Research Board, 2000.

## ANNEXE A – Mesure du rendement

En dépit des préoccupations liées à l'exploitation des systèmes de voies réversibles, les évaluations documentées du rendement des tronçons réversibles sont relativement peu nombreuses. Une étude menée avant et après la mise en œuvre de l'un des premiers tronçons de route réversible à Dearborn, au Michigan (DeRose, 1966), se fondait sur quatre critères de comparaison : le débit, le temps de déplacement, la vitesse de la circulation et le nombre de collisions.

- À trois endroits immédiatement en amont et en aval de trois carrefours à feux de circulation le long du tronçon de 1,2 mille, on a collecté des données sur le débit de la circulation aux périodes de pointe le matin et l'après-midi, durant la totalité des trois heures, puis durant les deux heures, l'heure et les 15 minutes où la circulation est la plus perturbée. La comparaison des résultats avant et après la mise en œuvre du système de voies réversibles montre des hausses du débit de la circulation de 3,5 %, de 3,4 %, de 7,1 % et de 5,9 % durant les périodes respectives de trois heures, de deux heures, d'une heure et de 15 minutes.
- La comparaison des temps de déplacement et de la vitesse de la circulation révèle également une amélioration par rapport aux voies ordinaires non réversibles. Les données comparatives ont été collectées durant les périodes de pointe du matin (de 7 h à 9 h) et de l'après-midi (de 16 h à 18 h). D'après l'analyse comparative du temps de déplacement, le temps nécessaire pour parcourir le tronçon de voies réversibles a chuté en moyenne de 16,5 %. De même, l'analyse comparative de la vitesse de la circulation indique une augmentation moyenne de 21,6 % de la vitesse moyenne enregistrée aux trois points du tronçon.
- Le nombre de collisions a diminué de 3,5 %, soit de 345 à 335 durant la première année d'exploitation du système, puis a chuté de 19 % pour s'établir à 279 collisions durant la deuxième année. Bien que certains types de collisions aient augmenté au cours des deux années de l'étude, il semblerait que cette hausse ne soit pas attribuable au système de voies réversibles. L'étude conclut enfin que la diminution considérable du nombre de collisions découle de l'interdiction de stationner le long des trottoirs durant les périodes d'exploitation des voies réversibles. Le nombre d'accidents sur le tronçon en dehors des périodes d'exploitation du système est demeuré relativement stable durant la période étudiée (TRB, 2004).

Les voies réversibles sur Memorial Drive, à Atlanta, en Géorgie, ont fait l'objet d'une évaluation dans le cadre d'un projet visant à améliorer l'exploitation du système.

- Malgré une modeste hausse du débit de la circulation après les améliorations, le temps de déplacement le matin a chuté de 25 % dans le sens de la pointe, et de 5 % dans le sens opposé.
- Durant la période de pointe en fin d'après-midi, le temps de déplacement a été réduit de 24 % dans le sens de la pointe, et de 3,5 % dans le sens opposé (FHWA, 1974, citée dans TRB, 2004).

Une autre étude réalisée par le département des Transports du Kentucky (KDOT) (Agent & Clark, 1980) sur un tronçon de 2,6 milles de la route Nicholasville (US-27) à Lexington, au Kentucky, conclut au succès de l'exploitation du système de voies réversibles.

- L'étude du KDOT sur la sécurité de la route Nicholasville n'a pas révélé de hausse notable du nombre de collisions avant et après la mise en œuvre de la voie réversible. On a comparé les données sur des périodes d'un an avant et après le changement, en fonction de la gravité des accidents, du type de collision, du lieu où elles se sont produites et du sens de la circulation durant les périodes de pointe le matin et l'après-midi, et hors pointe.

- Les ralentissements de la circulation ont été atténués et les vitesses augmentées durant les périodes de pointe le matin et l'après-midi, et on a estimé le ratio coûts-avantages à 6,90 contre 1. On a toutefois observé une intensification des ralentissements dans le sens de la circulation hors pointe tant durant la période hors pointe que durant la pointe de la fin d'après-midi.
- Les responsables du KDOT ont cru pouvoir atténuer le problème en incitant les conducteurs qui se déplacent dans le sens de la circulation hors pointe à emprunter un autre parcours. Ailleurs, pourtant, l'expérience a démontré qu'il est préférable de maintenir plus d'une voie dans la direction où le débit de la circulation est faible.
- L'étude s'est également intéressée à divers facteurs, notamment le bruit, la pollution atmosphérique, la consommation de carburant et les temps d'arrêt, ainsi qu'à des études des retards aux abords des carrefours secondaires et sur les routes parallèles adjacentes.

L'aménagement de la route US-78 dans le comté de Gwinnett, en Géorgie, a donné lieu à une autre étude détaillée de la sécurité sur les routes réversibles (Bretherton et Elhaj, 1996). L'étude énonce et teste quatre hypothèses sur les collisions causées par la confusion chez les conducteurs, les virages à gauche, la signalisation sur la voie et les virages à partir des rues perpendiculaires et des accès privés.

- Les résultats indiquent une apparente confusion chez les conducteurs à la vue des signaux lumineux au-dessus des voies. On n'observe pas de variation notable quant au nombre de collisions causées par les virages vers la route réversible, en comparaison avec une route à six voies.
- Selon les résultats de l'étude, le fait de changer les doubles lignes jaunes de 10 pieds de long à 30 pieds d'intervalle pour des lignes de 10 pieds de long à 10 pieds d'intervalle a eu peu d'effet sur le nombre de collisions.
- En somme, l'étude conclut que, sur le tronçon réversible, le nombre d'accidents n'est pas plus élevé que sur une route à six voies comportant une voie de virage à gauche dans les deux sens. En revanche, les taux d'accidents avec blessures et d'accidents mortels sont beaucoup plus élevés que sur une route comportant une voie de virage à gauche dans les deux sens.
- En dernière analyse, le système de voies réversibles a été jugé dangereux; le tronçon de route a donc été réaménagé en route à chaussées séparées (TRB 2004)

## **ANNEXE B – Glossaire**

### **Opérations et aménagements aux fins d'utilisation variable des voies**

L'expression « conditions d'utilisation variable des voies » est plus utilisée à l'étranger, notamment en Europe et en Australie, pour désigner autant les cas où les conditions de circulation ne sont pas équilibrées que les structures et les techniques utilisées pour gérer ces situations. Toutefois, c'est l'équivalent du concept de voie réversible qui est l'expression utilisée aux États-Unis et au Canada.

### **Opérations de circulation à contresens et aménagements afférents**

La circulation à contresens est un type précis d'inversion du sens de la circulation défini simplement par l'AASHTO comme l'inversion du sens de la circulation sur une route divisée. Cette distinction est marquée parce que les opérations à contresens de la circulation sont généralement jugées difficiles à gérer et à contrôler, en particulier à proximité des carrefours où un nombre important de véhicules effectuent des virages ou proviennent de la route transversale et où il y a une présence piétonnière. Le cas le plus extrême d'exploitation des voies à contresens découle d'un phénomène beaucoup plus récent nécessitant la planification à une grande échelle d'une opération d'inversion du sens de la circulation sur l'autoroute afin d'évacuer les régions côtières menacées par les ouragans.

### **Opération excentrée**

Le terme « excentré » a été utilisé pour désigner deux types d'opérations connexes. Le premier décrit une opération excentrée comme « une situation qui survient lorsque le nombre de voies dédiées à la circulation dans un sens n'est pas égal au nombre de voies dans l'autre ».

### **Opérations modulables et aménagements afférents**

Les voies modulables sont celles dont le mode d'exploitation varie périodiquement. Ainsi, le changement peut s'appliquer au sens de la circulation, au type de manœuvres et de virages autorisés, aux véhicules autorisés ou aux frais imposés aux usagers pour l'utilisation de ces infrastructures. Les voies normales de circulation et les accotements peuvent également être concernés.

### **Voies gérées et infrastructures afférentes**

Le concept de voies gérées regroupe une diversité de configurations et de stratégies opérationnelles. Les opérations de gestion des voies peuvent être ajustées à tout moment pour mieux cadrer avec les objectifs régionaux. Les voies gérées comprennent aussi bien les voies réversibles que d'autres types d'infrastructures à usage spécial et prioritaire tels que les voies dédiées aux véhicules multioccupants, les voies réservées et les couloirs de péage.

### **Voies réversibles et aménagements afférents**

Les voies réversibles regroupent également une gamme de modes d'exploitation et d'opérations. Toutefois, il s'agit d'une forme plus particulière d'aménagement modulable permettant l'écoulement de la circulation, dans l'un ou l'autre sens, dans une voie ou sur un tronçon à des moments différents ou, dans le cas des voies de virage à gauche pour les deux sens, au même moment.

## ANNEXE C – Abréviations et acronymes

### **AASHTO**

American Association of State Highway and Transportation Officials

### **AHS**

Autoroute automatisée, autoroute intelligente

### **QCA**

Quartier central des affaires, centre-ville

### **CCG**

Canadian Capacity Guide of Signalized Intersections

### **FMC**

Facteur de modification des collisions

### **SMU**

Services médicaux d'urgence

### **FHA**

Administration fédérale des autoroutes (É.-U.)

### **HCM**

Highway Capacity Manual

### **CPVMO**

Couloir de péage pour véhicules multioccupants

### **VMO**

Véhicule multioccupant

### **NDS**

Niveau de service

### **MCSR**

Manuel canadien de la signalisation routière

### **NCHRP**

National Cooperative Highway Research Program (É.-U.)

### **SVR**

Système de voies réversibles

### **ATC**

Association des transports du Canada

### **GCV**

Gestion de la circulation des véhicules

### **CGD**

Centre de gestion des déplacements

### **HDJ**

Heure du jour

### **UPS**

Système d'alimentation ininterrompible

### **V/C**

Ratio volume/capacité

### **PMD**

Panneau à messages dynamiques

### **PMV**

Panneau à messages variables

### **STI**

Système de transport intelligent