



Transports
Canada

Transport
Canada

TP 14224 F

Synthèse sur la sécurité des dispositifs de contrôle de la circulation

Mars 2003

Préparé par

La Direction de la sécurité routière et de la réglementation automobile

Canada

Synthèse sur la sécurité Synthèse sur la sécurité

des dispositifs de contrôle de
la circulation



RAPPORT FINAL

Mars 2003

**SYNTHÈSE SUR LA SÉCURITÉ DES DISPOSITIFS DE CONTRÔLE
DE LA CIRCULATION**

Rapport final

Mars 2003

Consultant :

Gerry Forbes, Intus Road Safety Engineering Inc.

Gestionnaire de projet :

Leanna Belluz, Transports Canada

Équipe de conseillers techniques :

David Banks, Association des transports du Canada

Andrew Chimko, Ville de Winnipeg

Paul Hunt, Voirie et Transports Saskatchewan

Don Mason, Transports Nouveau-Brunswick

Kurt Maynard, Transports de Ontario

Larry McCormick, Ville d'Edmonton

David McCusker, Municipalité régionale de Halifax

Eduards Miska, Transports et Voirie Colombie-Britannique

Hart Solomon, Ville de Hamilton

1. N° de rapport	2. N° de commande	3. N° ISBN S/O
4. Titre et sous-titre Synthèse de la sécurité des dispositifs de contrôle de la circulation	5. Date du rapport Mars 2003	
	6. Code INTUS	
7. Auteur(s) Gerry Forbes, M.Eng., P.Eng., P.T.O.E.	8. . N° de rapport INTUS	
9. Nom et adresse de l'organisation responsable Intus Road Safety Engineering Inc. 4261 Price Court Burlington, ON L7M 4X3 Canada	10. Adresse de courriel Intus@intus.ca	
	11. N° de contract T8056-010057/001/SS	
12. Nom et adresse de l'organisme parrain Transports Canada, Réseaux routiers Tour C, Place de Ville 330, rue Sparks, 8 ^e étage Ottawa (Ontario) K1A 0N5	13. Type de rapport Rapport final	
	14. Gestionnaire de projet de l'organisme parrain Leanna M. Belluz Ingénieure en recherche routière	
15. Notes supplémentaires		
16. Résumé La présente synthèse réunit à l'intention des praticiens canadiens la meilleure information disponible au sujet des incidences sur la sécurité des diverses stratégies de gestion et de contrôle de la circulation. Seuls les résultats d'études et de travaux de recherche sur la fréquence et la gravité des collisions ou des données de substitution ayant une corrélation démontrée avec les collisions ont été utilisés. Chaque étude fait l'objet d'un examen critique visant à déterminer l'exactitude de ses résultats et les situations particulières auxquelles ceux-ci s'appliquent. La présente synthèse n'est pas exhaustive et elle sera éventuellement supplantée par les fruits de la recherche en cours dans le domaine de la sécurité routière. Le praticien doit se tenir au courant de l'évolution des connaissances sur la sécurité des dispositifs de contrôle de la circulation. Dans l'ensemble, la synthèse doit être utilisée par les professionnels en sécurité routière dans le but d'utiliser des pratiques dans ce domaine, pratiques souscrivant à la vision nationale visant à faire des routes du Canada les plus sécuritaires au monde.		
17. Mots clés Circulation, sécurité, collision, accident, dispositif de signalisation	18. Rapport de distribution	22. Organisme de distribution Transports Canada, Réseaux routiers Tour C, Place de Ville 330, rue Sparks, 8 ^e étage Ottawa, ON K1A 0N5
19. Code de sécurité	20. Prix	21. Nbre de pages xix, 284

DISCLAIMER

The material presented herein was carefully researched, reviewed, and presented. However, no warranty expressed or implied is made on the accuracy of the contents; nor shall the fact of distribution constitute responsibility by Transport Canada, Intus Road Safety Engineering Inc., or any of the Technical Advisory Team for omissions, errors or possible misrepresentations that may result from use or interpretation of this document.

DÉNI DE RESPONSABILITÉ

L'information qui suit a été compilée, étudiée et présentée soigneusement. Cependant, nous ne formulons aucune garantie expresse ou implicite à l'égard du contenu de cette information, et après la publication du présent rapport, nul ne pourra tenir Transports Canada, Intus Road Safety Engineering Inc. ou toute autre équipe de consultation technique responsable d'une quelconque omission, erreur ou conséquence éventuelle découlant de l'utilisation ou de l'interprétation de ce document.

REMERCIEMENTS

La présente synthèse a été préparée afin de répondre au besoin évident, dans le milieu de la circulation routière au Canada, d'une étude poussée et d'une compréhension accrue de la sécurité routière. Elle a été amorcée et financée par Transports Canada.

Transports Canada et l'auteur désirent exprimer leur reconnaissance envers l'Équipe de conseillers techniques qui a beaucoup aidé à la mise en forme du contenu de la présente synthèse et qui a donné une rétroaction inestimable sur les documents qui lui étaient présentés. Nous voulons également remercier les professionnels canadiens en sécurité routière qui ont toujours fourni avec sincérité la documentation ou l'aide dont l'auteur avait besoin. L'auteur désire remercier en particulier M. Sany Zein, qui lui a remis de nombreux rapports de recherche sur des études canadiennes effectuées par son cabinet.

Nous voulons remercier M. Andrew Beal du ministère des Transports de l'Ontario et M. Rino Beaulieu du ministère des Transports du Nouveau-Brunswick, qui ont révisé la version préliminaire de la présente synthèse et formulé de précieux commentaires.

L'auteur tient à remercier Leanna Belluz, gestionnaire de projet à Transports Canada, dont il a apprécié la patience et le souci marqué de la qualité.

EXECUTIVE SUMMARY

Traffic operations practitioners are continually making decisions that impact on the safety performance of the transportation network. In order to make the best possible decisions the practitioner must be aware of the best available evidence on safety. The trouble is that the road safety knowledge base is expanding and it is difficult for the practitioner to keep abreast of the conventional wisdom. Moreover, once found, critically appraising, and determining the usefulness of safety-operations research is a daunting task. Practitioners are in need of a document that synthesises the safety impacts of various traffic operations and control strategies for their day-to-day use. This Synthesis is intended to serve that purpose. It contains information on the safety impacts of traffic operations and control strategies that are most urgent/useful to practitioners, and attempts to highlight the conditions in which the impacts are likely to be realised.

The overarching goals of this Synthesis are to promote *evidence-based road safety* (EBRS) among the Canadian transportation sector, and to help Canada achieve its objective of making Canadian roads the safest in the world. EBRS is the conscientious and judicious use of current best evidence in providing road safety for individuals, facilities, and transportation systems.

Mindful of the above goals, the Synthesis was developed with the following objectives:

- *Focus on traffic operations and control strategies;*
- *The target audience is practitioners and other transportation professionals that make decisions and recommendations respecting traffic operations and control strategies;*
- *Include research and studies that report on crash occurrence, crash severity, or crash surrogates with a proven correlation to crashes; and*
- *As much as possible synthesise Canadian research using Canadian datasets.*

This last objective proved to be overly optimistic. At the start of the project it was believed that practitioners had a vast storehouse of traffic safety research that was unpublished. As it turns out, this is not the case. While certainly some information is unpublished and residing in government files, it appears that mainly due to human and financial resource limitations, practitioners are not undertaking evaluations.

In order to identify the issues and information that would be most valuable to Canadian practitioners, a technical advisory team comprised of provincial and municipal

transportation engineering professionals from across Canada was assembled and consulted. The subject matter of this Synthesis was suggested by the advisory team. The main topics presented herein are:

- *Intersection control including signalization, all-way stop control, intersection control beacons, signal timing, and traffic signal design and operation;*
- *Traffic signs;*
- *Pavement markings;*
- *Pedestrian safety;*
- *Bicycle safety;*
- *Legislation and enforcement;*
- *Turn lanes; and*
- *Traffic calming.*

Literature synthesized in this document was gained through the following means:

- *Conventional literature searches of known databases;*
- *Internet search using appropriate key words; and*
- *Personal contact with Canadian academics and road safety practitioners.*

This Synthesis attempts to provide the reader with pertinent information concerning the parameters of the research, and the limitations of the study so that a critical appraisal is possible. In this way the practitioner is better able to judge whether the safety impacts identified are applicable to their particular situation. The key elements of the critical appraisal included a review of how the sites were selected for treatment, the treatment used, the study methodology employed, and the results.

In many instances the documented research relating safety to traffic operations and control is not fully reported. That is to say, the results are available, but all of the information necessary to critically appraise the findings is not always available. The primary shortcoming of reported research is the lack of information on site selection procedures. It is well known that evaluation of crash countermeasures that have been implemented at sites selected because of a high incidence of crashes will overestimate the countermeasure effectiveness. A failure to report the site selection process/criteria will leave the practitioner with a deficiency in information.

It is generally accepted that the appropriate metric for road safety is motor vehicle crash (MVC) occurrence and severity. Therefore, only research that assesses the impacts of a particular treatment on MVC occurrence and/or severity are included in the Synthesis. Research that used MVC surrogates are also included if the surrogate has been demonstrated to correlate well with MVCs. This action expands the available literature and remains true to the goal of promoting evidence-based road safety. In the end,

operating speed, and traffic conflicts were the two surrogates that have definitive links to MVC occurrence or severity, and are included in the Synthesis.

As the road safety knowledge-base is continually growing, it is important that the practitioner have an understanding of how to appraise new evidence and integrate the findings with those contained herein. To this end, appendices have been provided on evidence-based road safety, critically reviewing literature, and the proper use of safety performance functions. In hopes that practitioners will be encouraged to conduct and document their own research, a further appendix is provided on conducting and authoring research.

Finally, readers should exercise caution in applying the results contained in this Synthesis to situations under examination. Apart from the critical review for methodological flaws in the research, readers must also consider the limitations of transferring research conducted in one jurisdiction to another jurisdiction. Specially, differences in crash reporting, crash severity classifications, driver populations, the vehicle fleet, road system legislation, and design standards may limit the applicability of the reported results to the jurisdiction in which the research was performed.

SOMMAIRE

Les praticiens de la circulation doivent constamment prendre des décisions qui ont une incidence sur le degré de sécurité du réseau de transport. Afin de prendre les meilleures décisions possibles, un praticien doit avoir connaissance de la meilleure information disponible sur la sécurité. La difficulté réside dans le fait que la base de connaissances sur la sécurité routière évolue constamment, et qu'il est difficile pour le praticien d'en avoir une connaissance complète. De plus, après avoir trouvé diverses études sur la sécurité, il demeure difficile d'en faire une évaluation critique et d'en déterminer l'utilité. Le praticien a souvent besoin d'un document d'application quotidienne qui présente la synthèse des effets sur la sécurité de diverses stratégies et initiatives de gestion et de contrôle de la circulation. C'est là l'objet même de la présente synthèse. Elle contient pour les praticiens de l'information à propos des effets sur la sécurité des stratégies de gestion et de contrôle de la circulation particulièrement urgentes/utiles, et elle tente de déterminer les situations dans lesquelles ces effets se manifesteront probablement.

L'un des objectifs de cette synthèse est de promouvoir la *sécurité routière fondée sur l'observation (SRFO)* dans le secteur canadien de la gestion des transports, et d'aider le Canada à réaliser son objectif qui consiste à faire du réseau routier canadien le plus sûr au monde. Le principe de la SRFO conduit à une utilisation judicieuse et consciencieuse des meilleures preuves/observations actuellement disponibles en vue d'optimiser la sécurité routière pour les automobilistes ainsi que pour les installations et les réseaux de transport.

Compte tenu des objectifs généraux énoncés ci-dessus, la synthèse a été élaborée sur la base des critères suivants :

- *Concentration sur les stratégies de contrôle et de gestion de la circulation;*
- *Auditoire cible constitué de praticiens et autres professionnels des transports qui prennent des décisions et formulent des recommandations à l'égard des stratégies de contrôle et de gestion de la circulation;*
- *Prise en compte des études et travaux de recherche sur les collisions et leur gravité, ou des données de substitution ayant une corrélation démontrée avec les collisions; et*
- *Prise en compte optimale des travaux de recherche canadiens et des données recueillies au Canada.*

Ce dernier objectif s'est avéré être particulièrement optimiste. Au début du projet, on pensait que les praticiens avaient accès à une grande quantité d'études non publiées sur la sécurité routière, mais ce n'était en fait pas le cas. Tandis qu'on peut certainement trouver dans les dossiers gouvernementaux une certaine quantité d'information non publiée, il semble bien que – essentiellement du fait de la limitation des ressources humaines et financières – les praticiens n'en font pas l'évaluation.

Pour l'identification des questions et de l'information qui seraient particulièrement utiles pour les praticiens canadiens, une équipe de consultation technique réunissant des professionnels de l'ingénierie des transports des provinces et de municipalités de tout le Canada a été constituée et consultée. C'est cette équipe consultative qui a suggéré l'objet de cette synthèse dont les principaux sujets sont les suivants :

- *Contrôle des intersections, ceci incluant signalisation, obligation d'arrêt sur chaque voie, signaux lumineux de contrôle des intersections, minutage des signaux, ainsi que conception et exploitation de la signalisation routière;*
- *Signalisation routière;*
- *Marquage des chaussées;*
- *Sécurité des piétons;*
- *Sécurité des cyclistes;*
- *Législation et application des lois;*
- *Voies de virage réservées; et*
- *Ralentissement de la circulation.*

Les documents publiés utilisés pour la production de cette synthèse ont été identifiés par les moyens suivants :

- *Recherches documentaires conventionnelles dans les bases de données connues;*
- *Recherches par mots-clés dans le réseau Internet; et*
- *Contacts personnels avec des spécialistes canadiens de la sécurité routière (praticiens et universitaires).*

Dans cette synthèse, on a cherché à présenter au lecteur l'information pertinente aux paramètres de la recherche et aux limitations de l'étude, afin qu'une évaluation critique soit possible. De cette manière, le praticien est mieux en mesure de déterminer si les effets identifiés sur la sécurité devraient être pris en compte dans chaque situation particulière. Les éléments-clés de l'évaluation critique sont les modes de sélection des sites justifiant un dépouillement statistique, le type de dépouillement pratiqué, la méthodologie d'étude et les résultats obtenus.

Dans de nombreux cas, il n'est pas totalement fait rapport des recherches documentées qui font une relation entre la sécurité et le contrôle et la gestion de la circulation, car bien que certains résultats soient disponibles, la totalité de l'information nécessaire pour une évaluation critique des observations ne l'est pas toujours. La principale déficience des travaux de recherche dont il est fait rapport réside dans le manque d'information sur les procédures de sélection des sites. Il est notoire que l'évaluation des mesures mises en œuvre pour réduire le nombre de collisions à des sites sélectionnés en raison justement du grand nombre de collisions qui y ont été observées a tendance à surévaluer l'efficacité

des mesures de prévention. Le défaut de rendre compte des critères et procédures de sélection des sites ne peut qu'ajouter au manque d'information du praticien.

Il est généralement accepté que le nombre de collisions de véhicules à moteur (CVM) et la gravité des collisions sont des facteurs de quantification appropriés pour l'évaluation de la sécurité routière. Par conséquent nous n'avons inclus dans la synthèse que les travaux de recherche dans lesquels on a évalué les effets d'une mesure particulière de réduction du nombre, et/ou de la gravité des CVM.

Les travaux de recherche dans lesquels on a utilisé des données de substitution du nombre de CVM ont également été inclus, si la corrélation entre ces dernières et le nombre de CVM pouvait être démontrée. Cette approche a permis de multiplier le nombre de documents utilisables et demeure parfaitement légitime en regard de l'objectif de promotion de la sécurité routière fondée sur l'observation. En dernier ressort, la vitesse de circulation et les conflits de circulation sont les sources de données quantitatives de remplacement qui établissent une corrélation claire avec le nombre ou la sévérité des CVM. Les études basées sur ces facteurs ont été incluses dans la présente synthèse.

Alors que la base de connaissance sur la sécurité routière se développe constamment, il est important que le praticien sache comment évaluer de nouvelles observations et les intégrer avec les résultats déjà connus. À cette fin, nous avons inclus des annexes sur la sécurité routière, basées sur des observations, l'étude critique de la documentation spécialisée et l'utilisation adéquate des fonctions de performance dans le domaine de la sécurité. Dans l'espoir que les praticiens soient incités à exécuter leurs propres recherches et à en rendre compte adéquatement, une autre annexe a été incluse sur l'exécution des projets de recherche et la présentation des rapports.

Finalement, le lecteur devrait être circonspect en ce qui concerne l'application des résultats présentés dans cette synthèse à l'égard de chaque situation spécifique. En plus d'une analyse critique pour l'identification de déficiences méthodologiques dans les travaux de recherche, le lecteur doit également prendre en compte les limitations affectant la possibilité de transfert des résultats de recherche, d'une juridiction à une autre. Spécifiquement, des facteurs comme les variations sur le mode de rapport des collisions, la classification de la sévérité des collisions, la population de conducteurs, le nombre de véhicules en circulation, la législation routière et les normes de conception, peuvent limiter l'application des résultats identifiés dans un rapport à la juridiction dans laquelle l'étude a été exécutée.

TABLE DES MATIÈRES

DISCLAIMER	ii
DÉNI DE RESPONSABILITÉ	ii
REMERCIEMENTS	iii
EXECUTIVE SUMMARY	iv
SOMMAIRE	vii
TABLE DES MATIÈRES	x
LISTE DES FIGURES	xiii
LISTE DES TABLEAUX	xiv
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	3
Objectifs et étendue des travaux de synthèse	3
Utilisation de la présente synthèse	5
Structure de la synthèse	5
Méthodes et paramètres	6
Méthodes	6
Paramètres	7
Méthodologies d'étude	10
Mises en garde	12
CHAPITRE 2 : DONNÉES DE SUBSTITUTION	17
Respect des panneaux d'arrêt	19
Conflits de circulation	19
Vitesse	20
CHAPITRE 3 : CONTRÔLE DES INTERSECTIONS	23
Signalisation	23
Arrêt toutes directions	44
Contrôle des intersections de réseaux	47
Signaux lumineux de contrôle d'intersection	49
Conception et exploitation des dispositifs de signalisation routière	50
Perception des feux	52
Positionnement des têtes de feux de circulation	56
Ajout d'un ensemble de feux primaires	58
Taille des lentilles	59
Feux clignotants de présignalisation	62
Temps de dégagement aux feux de circulation	65

Coordination des feux de circulation	66
Séquençage des feux de circulation	66
Feu clignotant de nuit	80
CHAPITRE 4 : PANNEAUX DE SIGNALISATION	85
Signalisation générale	85
Signalisation et marquage des courbes de tracé en plan	87
Panneaux avertisseurs de proximité excessive	93
Panneaux avertisseurs de visibilité réduite	94
CHAPITRE 5 : MARQUAGE DES CHAUSSÉES	99
Généralités	99
Lignes de bordure	100
Lignes transversales	106
CHAPITRE 6 : SÉCURITÉ DES PIÉTONS	111
Passages piétonniers marqués	111
Îlots de refuge pour piétons et traversées piétonnières par étapes	112
Feux clignotants accompagnés de panneaux complémentaires	115
Panneaux indiquant que les véhicules qui tournent doivent céder le passage aux piétons	116
Contrôle de la circulation dans les zones scolaires	119
Généralités	120
CHAPITRE 7 : SÉCURITÉ DES CYCLISTES	125
CHAPITRE 8 : LÉGISLATION ET APPLICATION	129
Limites de vitesse	129
Tableaux d'affichage de la vitesse	140
Stationnement le long des rues	141
Rues à sens unique	145
Mesures d'intervention	146
CHAPITRE 9 : VOIES DE VIRAGE	153
Virage à gauche	153
Voies opposées de virage à gauche	161
Virage à droite	167
CHAPITRE 10 : TECHNIQUES DE MODÉRATION DE LA CIRCULATION	173
Dos d'âne allongés	182
Bandes d'alerte transversales	185
CHAPITRE 11 : AUTRES ASPECTS RELATIFS À LA SÉCURITÉ	191
Variabilité des FMC	191
Migration de la sécurité	191
Effet de nouveauté	192
Prolifération	193

CHAPITRE 12 : RÉSUMÉ DES RECHERCHES DOCUMENTAIRES	1987
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	239
ANNEXE A – SÉCURITÉ ROUTIÈRE FONDÉE SUR L’OBSERVATION	253
Qu’est-ce que la SRFO?	253
Pourquoi avons-nous besoin de la SRFO?	254
Comment mettre en pratique la SRFO?	255
Causes et effets	257
État actuel de la SRFO	259
ANNEXE B – EXAMENS CRITIQUES	263
Effectuer un examen critique de la documentation	263
ANNEXE C – MENER ET CONCEVOIR UNE RECHERCHE	269
Effectuer une recherche sur la sécurité routière	269
Proposition de normes en matière de recherche sur la sécurité routière	269
Aide à l’intention du praticien	272
Rédaction d’un document technique	275
ANNEXE D – COMMENT UTILISER LES FONCTIONS D’EFFICACITÉ DE LA SÉCURITÉ	279
Compilation des résultats des FES aux comptes de collisions	279
Exemple	281
Intégrer la gravité des collisions	282
Étalonnage des FES pour différents territoires	282

LISTE DES FIGURES

FIGURE 3.1: Feux clignotants de présignalisation	64
FIGURE 3.2 : Phase auxiliaire de virage à gauche	67
FIGURE 7.1 : Plan type d'une ligne d'arrêt avancée à l'intention des cyclistes	125
FIGURE 8.1 : Facteurs de modification des collisions à l'égard des accidents survenant aux carrefours à la suite de changements de la vitesse limite	133
FIGURE 10.1 : Îlots de modération de la circulation en Australie	177

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 3.1 : Taux des collisions survenues à des intersections de routes express au Kentucky	23
TABLEAU 3.2 : Incidences de la signalisation sur les collisions au Kentucky	24
TABLEAU 3.3 : Gravité des collisions survenues à des intersections situées au Kentucky	24
TABLEAU 3.4 : Incidences de la signalisation sur la sécurité à San Buenaventura, Californie	25
TABLEAU 3.5 : FMC associés à un changement de dispositif de contrôle d'un accès	27
TABLEAU 3.6 : Incidences de la signalisation sur la sécurité au Dakota du Sud	28
TABLEAU 3.7 : FES relatifs aux intersections avec feux de circulation en Ontario	29
TABLEAU 3.8 : Étendue des données utilisées dans l'élaboration de FES pour des intersections sans feux de signalisation situées en milieu urbain	29
TABLEAU 3.9 : FES pour des intersections sans feux de circulation situées en milieu urbain en C.-B.	30
TABLEAU 3.10 : Paramètres de surdispersion d'après l'étude de Vogt (1999)	32
TABLEAU 3.11 : Incidences de la pose de feux de circulation sur la sécurité au Royaume-Uni	33
TABLEAU 3.12 : Caractéristiques des intersections relativement aux FES en provenance de Californie	34
TABLEAU 3.13 : Région de Durham – Intersections avec feux de circulation	38
TABLEAU 3.14 : Région de Durham – Intersections sans feux de circulation	38
TABLEAU 3.15 : Région de Halton – Intersections avec feux de circulation	39
TABLEAU 3.16 : Région de Halton – Intersections sans feux de circulation	39
TABLEAU 3.17 : FMC relatifs aux feux de circulation (Thomas et Smith)	40
TABLEAU 3.18 : FMC relatifs aux feux de circulation avec construction d'une voie de virage (Thomas et Smith)	41
TABLEAU 3.19 : Incidences des feux de circulation sur la sécurité à Waterloo, en Ontario	41
TABLEAU 3.20 : Estimation de paramètres pour les FES en Floride (toutes collisions)	43
TABLEAU 3.21 : Caractéristiques des intersections utilisées dans l'élaboration de FES relatifs aux piétons	43
TABLEAU 3.22 : Paramètres des FES pour les accidents avec piétons aux intersection	44
TABLEAU 3.23 : FMC relatifs à la conversion à des arrêts toutes directions	45
TABLEAU 3.24 : FMC relatifs au contrôle par arrêts toutes directions à Chicago	46
TABLEAU 3.25 : FMC pour des modèles réguliers de contrôle au moyen de panneaux d'arrêt	48
TABLEAU 3.26 : Taux de collisions moyen à des intersections contrôlées par un panneaux d'arrêt ainsi que par un arrêt et un feu clignotant	50
TABLEAU 3.27 : Incidences de l'amélioration de la signalisation sur la sécurité au Dakota du Sud	51

TABLEAU 3.28 : Incidences de la modification de la signalisation sur la sécurité au Royaume-Uni	52
TABLEAU 3.29 : Caractéristiques du site à l'étude aux fins de l'ajout d'un feu stroboscopique au feu rouge	52
TABLEAU 3.30 : Résultats des collisions survenues à des carrefours où un feu stroboscopique a été ajouté au feu rouge	53
TABLEAU 3.31 : Incidences d'une conception alternative des feux sur la sécurité en Colombie-Britannique	54
TABLEAU 3.32 : Fréquence des collisions de nuit aux intersections avec feux modifiés en C.-B.	55
TABLEAU 3.33 : Incidences de nouveaux feux de circulation sur la sécurité à Waterloo, en Ontario	56
TABLEAU 3.34 : Incidences de l'emplacement des feux sur la sécurité à Kansas City	57
TABLEAU 3.35 : FMC relatifs au remplacement de feux montés sur socle par des feux montés sur crose (Thomas et Smith)	57
TABLEAU 3.36 : Incidences de l'ajout d'un ensemble de feux primaires sur la sécurité	59
TABLEAU 3.37 : FMC relatifs à l'ajout d'un ensemble de feux primaires	59
TABLEAU 3.38 : Incidences des lentilles de 12 pouces sur la sécurité	61
TABLEAU 3.39 : Taux de collisions aux carrefours munis de feux clignotants de présignalisation et de panneaux de signal avancé en Californie	62
TABLEAU 3.40 : Incidences des FCP sur la sécurité en Colombie-Britannique	63
TABLEAU 3.41 : Incidences du minutage amélioré de la phase de dégagement sur la sécurité en Californie	65
TABLEAU 3.42 : Incidences de la coordination des feux de circulation sur la sécurité en Californie	66
TABLEAU 3.43 : Incidences d'une phase auxiliaire de virage à gauche sur la sécurité	67
TABLEAU 3.44 : Incidences du retrait de la phase de virage à gauche protégé sur la sécurité	68
TABLEAU 3.45 : Incidences sur la sécurité de la phase de virage à gauche corrélée au débit de circulation et à la présence d'une voie réservée à cette fin	68
TABLEAU 3.46 : Taux de collisions relatifs à la phase spéciale de virage à gauche en début et en fin de feu vert	70
TABLEAU 3.47 : Taux de collisions survenant lors de virages à gauche en Arizona	70
TABLEAU 3.48 : Incidences sur la sécurité de la modification des phases spéciales de virage à gauche en Arizona	72
TABLEAU 3.49 : Sécurité des phases spéciales de virage à gauche	74
TABLEAU 3.50 : FMC relatifs aux phases spéciales de virage à gauche	75
TABLEAU 3.51 : Taux de collisions relatifs à diverses phases spéciales de virage à gauche au Kentucky	76
TABLEAU 3.52 : Incidences sur la sécurité de la phase spéciale de virage à gauche protégé seulement à Atlanta	76
TABLEAU 3.53 : FMC relatifs aux changements dans le minutage des feux	77
TABLEAU 3.54 : FMC relatifs à l'ajout d'une phase spéciale de virage à gauche (Thomas et Smith)	78

TABLEAU 3.55 : FMC relatifs à l'ajout d'une phase et d'une voie de virage à gauche (Thomas et Smith)	79
TABLEAU 3.56 : Incidences du fonctionnement du feu clignotant de nuit sur la sécurité	81
TABLEAU 3.57 : Incidences sur la sécurité du fonctionnement du feu clignotant de nuit, mesurées au moyen d'un groupe témoin	81
TABLEAU 4.1 : Incidences sur la sécurité des améliorations apportées aux panneaux de signalisation au Michigan	85
TABLEAU 4.2 : Incidences sur la sécurité de panneaux de signalisation au Dakota du Sud	86
TABLEAU 4.3 : Incidences sur la sécurité des modifications de la signalisation au Royaume-Uni	87
TABLEAU 4.4 : Incidences sur la sécurité de tableaux d'affichage de la vitesse placés dans des courbes et activés par les véhicules	88
TABLEAU 4.5 : Incidences sur la sécurité de panneaux de chevrons à San Buenaventura, Californie	90
TABLEAU 4.6 : Incidences sur la sécurité de panneaux de chevrons en Nouvelle-Zélande	91
TABLEAU 4.7 : Incidences sur la sécurité des panneaux d'avertissement dynamique de courbe	92
TABLEAU 4.8 : Incidences sur la sécurité des panneaux avertissant les automobilistes suivant de trop près un autre véhicule	93
TABLEAU 4.9 : Incidences sur la sécurité des panneaux indicateurs de « Distance de visibilité réduite »	94
TABLEAU 5.1 : Incidences sur la sécurité des marques de chaussée au Royaume-Uni	99
TABLEAU 5.2 : Incidences sur la sécurité des marques résistantes de chaussée État de la chaussée	100
TABLEAU 5.3 : Sites étudiés aux fins d'évaluation des lignes de bordure en Angleterre	101
TABLEAU 5.4 : Incidences des lignes de bordure sur la gravité des collisions en Angleterre	101
TABLEAU 5.5 : Incidences des lignes de bordure sur les taux des collisions en Angleterre	101
TABLEAU 5.6 : Sites utilisés dans l'évaluation des lignes de bordure larges	103
TABLEAU 5.7 : Caractéristiques des zones géographiques aux fins d'étude des incidences sur la sécurité de la réflectivité des marques de chaussée	104
TABLEAU 5.8 : Incidences sur la sécurité de la réflectivité des marques de chaussée	105
TABLEAU 5.9 : Incidences sur la sécurité des flèches indiquées sur la chaussée	106
TABLEAU 6.1 : Incidences sur la vitesse de passages pour piétons avec marques de chaussée, à des intersections non contrôlées de trois États	112
TABLEAU 6.2 : Efficacité de la sécurité des dispositifs piétonniers à Toronto	113
TABLEAU 6.3 : Types de collisions survenant à des îlots de refuge pour piétons et à des passages de traversée en deux étapes	114

TABLEAU 6.4 : Conflits de circulation à la suite de diverses interventions visant des passages pour piétons	116
TABLEAU 6.5 : Conflits véhicules-piétons lors de virages à gauche	118
TABLEAU 6.6 : Conflits véhicules-piétons lors de virages à droite	118
TABLEAU 6.7 : Incidences sur la vitesse de divers dispositifs de contrôle de la circulation en zone scolaire	120
TABLEAU 7.1 : Incidences sur la sécurité des lignes d'arrêt avancées au Royaume-Uni	126
TABLEAU 8.1 : Incidences des limites de vitesse sur la sécurité	129
TABLEAU 8.2 : Incidences des vitesses limites sur la sécurité à Winnipeg, au Manitoba	130
TABLEAU 8.3 : Incidences des vitesses limites sur la sécurité à Hamilton, en Ontario	131
TABLEAU 8.4 : Incidences des vitesses limites sur la sécurité aux intersections	132
TABLEAU 8.5 : FMC relatifs aux changements de la vitesse limite en Floride	134
TABLEAU 8.6 : Incidences des limites de vitesse sur la sécurité en Californie	136
TABLEAU 8.7 : Vitesses limites et taux de collisions au Nouveau-Brunswick	137
TABLEAU 8.8 : Vitesses limites et gravité des collisions au Nouveau-Brunswick	138
TABLEAU 8.9 : Incidences de la hausse des vitesses limites de 50 km/h à 60 km/h à Edmonton	138
TABLEAU 8.10 : Incidences de la vitesse limite de 30 km/h pour zone scolaire sur la vitesse moyenne à Edmonton	139
TABLEAU 8.11 : Incidences sur la vitesse moyenne des panneaux d'affichage de la vitesse	140
TABLEAU 8.12 : Incidences des panneaux d'affichage de la vitesse sur les automobilistes conduisant vite	141
TABLEAU 8.13 : Incidences sur la vitesse moyenne des panneaux d'affichage de la vitesse après leur retrait	141
TABLEAU 8.14 : Incidences en matière de sécurité de l'interdiction de stationner sur rue	142
TABLEAU 8.15 : Taux de collisions liées au stationnement sur rue au Nebraska	142
TABLEAU 8.16 : Taux de collisions liées au stationnement sur rue au Nebraska	144
TABLEAU 8.17 : Collisions survenant entre les intersections de routes à sens unique et à double sens situées du DAC et qui ne sont pas des artères	145
TABLEAU 8.18 : Collisions survenant entre les intersections de routes à sens unique et à double sens situées à l'extérieur du DAC et qui ne sont pas des artères	146
TABLEAU 8.19 : Collisions à des intersections à l'extérieur du DAC	146
TABLEAU 9.1 : Incidences des voies de virage à gauche aux intersections avec feux	153
TABLEAU 9.2 : Incidences sur la sécurité du réaménagement des chaussées pour offrir des voies de virage à gauche	154
TABLEAU 9.3 : Incidences sur la sécurité des voies de virage à gauche et de la modernisation des feux	155
TABLEAU 9.4 : Incidences des voies de virage à gauche sur la sécurité au Dakota du Sud	156

TABLEAU 9.5 : Facteurs de modification des collisions à l'égard des voies de virage à gauche	157
TABLEAU 9.6 : Incidences des voies de virage à gauche sur la sécurité (Rimiller, 2001)	158
TABLEAU 9.7 : FMC relatifs à l'ajout de voies réservées aux virages (Thomas et Smith)	159
TABLEAU 9.8 : Incidences sur la sécurité des voies de virage à gauche des routes principales	160
TABLEAU 9.9 : Incidences des VOVG sur la sécurité	161
TABLEAU 9.10 : Incidences sur la sécurité des VOVG	162
TABLEAU 9.11 : Incidences des VOVG sur la sécurité, en Amérique du Nord	162
TABLEAU 9.12 : Incidences DES VOVG sur la sécurité, à San Buenaventura, Californie	163
TABLEAU 9.13 : Incidences des VOVG sur la sécurité, au Dakota du Sud	166
TABLEAU 9.14 : Avantages des VOVG en matière de sécurité	166
TABLEAU 9.15 : FMC des voies de tourner dans différents types d'intersections	168
TABLEAU 9.16 : FMC relatifs aux voies de virage à droite	168
TABLEAU 9.17 : Incidences sur la sécurité des virages à droite aux accès des routes principales	170
TABLEAU 10.1 : Descriptions des sites visés aux fins de l'analyse des mesures étendues de modération de la circulation au Royaume-Uni	173
TABLEAU 10.2 : Incidences sur la sécurité des mesures étendues de modération de la circulation au Royaume-Uni	174
TABLEAU 10.3 : Changements de vitesse résultant de mesures de modération de la circulation au Danemark	175
TABLEAU 10.4 : Description des sites choisis de modération de la circulation	176
TABLEAU 10.5 : Incidences des mesures de modération de la circulation sur la fréquence des collisions dans l'agglomération de Vancouver	176
TABLEAU 10.6 : Incidences des mesures de modération de la circulation sur la sévérité des collisions dans la grande région de Vancouver	176
TABLEAU 10.7 : Incidences sur la vitesse des entrées de rues aménagées en Australie	178
TABLEAU 10.8 : Incidences des mesures de modération de la circulation sur la vitesse à Ancaster, en Ontario	179
TABLEAU 10.9 : Incidences des mesures de modération de la circulation sur la sécurité au Royaume-Uni	181
TABLEAU 10.10 : Incidences de la modération de la circulation sur les vitesses au Minnesota	184
TABLEAU 10.11 : Incidences des bandes d'alertes transversales sur la sécurité en Californie	185
TABLEAU 10.12 : Incidences des bandes d'alerte transversales sur la sécurité au Minnesota	186
TABLEAU 10.13 : Incidences des bandes d'alerte transversales sur la sécurité en Iowa	186

TABLEAU 10.14 : Incidences sur la sécurité des bandes d'alerte transversales aux accès de carrefours giratoires au Royaume-Uni	187
TABLEAU 11.1 : Contrôle des intersections dans la zone étudiée	191
TABLEAU 11.2 : Déplacement des collisions	192
TABLEAU 11.3 : Effet de nouveauté associé à la conversion à un dispositif de contrôle par panneaux d'arrêt toutes directions	193
TABLEAU 11.4 : Incidences de la prolifération de la signalisation sur la sécurité	193
TABLEAU 12.1 : FMC relatifs aux changements de dispositifs de contrôle des intersections	198
TABLEAU 12.2 : FMC relatifs aux changements dans le minutage des phases et la conception des feux de circulation	212
TABLEAU 12.3 : FMC associés aux panneaux de signalisation	220
TABLEAU 12.4 : FMC associés aux marques de chaussée	221
TABLEAU 12.5 : FMC associés aux mesures de sécurité relatives aux piétons	223
TABLEAU 12.6 : FMC associés aux lois et codes de la route la législation et à leur application	224
TABLEAU 12.7 : FMC associés aux voies de virage	226
TABLEAU 12.8 : FMC à l'égard des mesures de modération de la circulation	233

Chapitre 1:
Chapitre 1:
Introduction
Introduction

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

La sécurité constitue l'objectif premier que poursuivent les professionnels des transports au chapitre de la conception et l'exploitation du réseau routier. Bien que la sécurité soit d'une importance capitale, la compréhension des incidences que peuvent avoir sur la sécurité les diverses stratégies de gestion et de contrôle de la circulation demeure encore l'un des volets les plus difficiles en matière d'ingénierie des transports. La mesure des incidences sur la sécurité est d'autant plus complexe que certains facteurs problématiques interviennent, dont la nature aléatoire et le caractère sporadique des collisions de véhicules à moteur, ainsi que les conditions imparfaites dans lesquelles se font les évaluations. Il n'est donc pas surprenant de constater que la collectivité des transports ait entrepris aussi peu de recherches de qualité sur les conséquences en matière de sécurité des diverses stratégies de gestion et de contrôle de la circulation et que les praticiens doivent se fonder sur des données non scientifiques.

Dans le passé, les praticiens ont puisé la majeure partie de leurs connaissances en matière de incidences sur la sécurité dans diverses études (en général rares et effectuées souvent à la hâte), dans l'information présentée à des conférences ou dans des rapports et des publications spécialisés. En ce sens, l'information relative aux incidences sur la sécurité des diverses stratégies de gestion et de contrôle de la circulation a été fractionnée. Au cours des deux dernières décennies en revanche, les professionnels des transports ont accordé énormément d'attention à la sécurité routière, ce qui a donné lieu à une augmentation de l'information en la matière. Les recherches sont non seulement plus nombreuses, mais de meilleure qualité.

Il n'en demeure pas moins difficile de trouver des rapports de recherche sur la sécurité, d'en faire une évaluation critique et d'en déterminer l'utilité. Les praticiens ont besoin, dans l'exercice de leurs fonctions quotidiennes, d'un document qui fait la synthèse des incidences sur la sécurité de diverses stratégies et initiatives de gestion et de contrôle de la circulation. C'est l'objet même de la présente synthèse. Elle contient de l'information sur les effets sur la sécurité des stratégies de gestion et de contrôle de la circulation qui sont particulièrement urgentes et utiles pour les praticiens, et elle tente de relever les situations dans lesquelles ces incidences sont susceptibles de se produire.

Objectifs et étendue des travaux de synthèse

L'un des objectifs de la présente synthèse consiste à promouvoir la *sécurité routière fondée sur l'observation (SRFO)* dans le secteur canadien de la gestion des transports et

aussi d'aider le Canada à atteindre son objectif de faire du réseau routier canadien le plus sûr au monde (Conseil canadien des administrateurs en transport motorisé, 2000).

La SRFO se définit de la façon suivante :

Une utilisation judicieuse et consciencieuse des meilleures preuves et observations actuellement disponibles dans le but d'assurer la sécurité des automobilistes, mais aussi des installations et des réseaux de transport.

Avant de poursuivre, il convient d'attirer l'attention sur quelques aspects importants de la définition ci-dessus.

- *Utilisation judicieuse* – La sécurité est l'un des objectifs concurrents de la conception et de l'exploitation des réseaux routiers. Dans certains cas, la protection environnementale, les impératifs économiques, voire d'autres objectifs concurrents, peuvent justifier un compromis en matière de sécurité. Il n'est pas suffisant de ne rechercher que la solution la plus sûre et de forcer sa mise en œuvre sans tenir dûment compte des autres objectifs du système. D'un autre côté, s'il faut compromettre la sécurité en faveur d'autres objectifs, le praticien doit être en mesure de quantifier raisonnablement les conséquences visées.
- *Meilleures preuves et observations actuellement disponibles* – En premier lieu, « actuellement » est destiné à rappeler aux praticiens que l'étude de la sécurité routière est en constante évolution. Bien que des documents tels que la présente synthèse aident à établir les bases des connaissances en la matière, la documentation demeure malgré tout statique et peut, à certains égards, être supplantée par de nouvelles recherches. En second lieu, les termes « preuves » et « observations » doivent servir à rappeler au praticien qu'il doit fonder ses décisions sur de solides connaissances et non sur des anecdotes et le folklore.

L'annexe A contient de plus amples renseignements sur la sécurité routière fondée sur l'observation.

Compte tenu des objectifs généraux ci-dessus, la synthèse a été élaborée sur la base des critères suivants :

- *Concentration sur les stratégies de contrôle et de gestion de la circulation;*

- *Auditoire cible constitué de praticiens et autres professionnels des transports qui prennent des décisions et formulent des recommandations à l'égard des stratégies de contrôle et de gestion de la circulation;*
- *Prise en compte des études et travaux de recherche sur la fréquence et leur gravité ou de données de substitution ayant une corrélation démontrée avec les collisions;*
- *Prise en compte optimale des travaux de recherche canadiens et des données recueillies au Canada.*

Ce dernier objectif s'est avéré particulièrement optimiste. Au début du projet, on pensait que les praticiens avaient accès à une grande quantité d'études non publiées sur la sécurité routière, mais ce n'était en fait pas le cas. Tandis qu'on peut certainement trouver dans les dossiers gouvernementaux une certaine quantité d'information non publiée, il semble bien que – essentiellement du fait de la limitation des ressources humaines et financières – les praticiens n'en font pas l'évaluation.

Utilisation de la présente synthèse

La présente synthèse repose sur une série d'études et de projets de recherche concernant les incidences des stratégies de gestion et de contrôle de la circulation sur la sécurité. Elle n'est pas destinée à servir de norme, de ligne directrice ou de document procédural. Il s'agit plutôt d'un document technique offrant une revue impartiale de la base de connaissances sur la circulation routière et le contrôle en matière de sécurité. Document de référence, son objectif consiste à favoriser, parmi les administrations routières, la prise de meilleures décisions relatives à la sécurité.

La présente synthèse n'est pas censée être un document exhaustif. La recherche sur les incidences de la gestion et du contrôle de la circulation sur la sécurité subit une croissance exponentielle et il n'a pas été possible de trouver, d'examiner et d'inclure toutes les données à cet égard dans le présent document. Il incombe aux praticiens d'approfondir leurs connaissances selon leurs besoins.

Structure de la synthèse

Le présent rapport est divisé en douze chapitres et quatre annexes. Les deux premiers

chapitres offrent au lecteur une introduction et des renseignements contextuels. Les chapitres 3 à 11 font état des résultats de l'étude documentaire effectuée en fonction des sujets suggérés par l'équipe de consultation technique. Le dernier chapitre donne un sommaire de l'information trouvée dans l'étude documentaire. Les annexes contiennent de la documentation connexe qui est destinée à aider le praticien dans la mise en œuvre de la SRFO.

Méthodes et paramètres

La clé de la prise de décisions fondées sur des observations consiste à trouver la « meilleure preuve » disponible et à l'intégrer dans le processus décisionnel.

Méthodes

Synthétiser toute la documentation traitant de sécurité en matière de gestion et de contrôle de la circulation est une tâche impossible en raison de la grande variété des dispositifs de signalisation et des problèmes liés à la gestion de la circulation auxquels se trouve confronté le praticien. Donc, dans le but de déterminer les aspects et l'information particulièrement utiles aux praticiens canadiens, une équipe de consultation technique formée de professionnels de l'ingénierie des transports provenant d'administrations provinciales et municipales de l'ensemble du Canada a été mise sur pied. C'est cette équipe consultative qui a suggéré le sujet de la présente synthèse.

La documentation concernant les incidences sur la sécurité des stratégies de gestion et de contrôle de la circulation, stratégies cernées par l'équipe consultative, a été trouvée par les moyens suivants :

- *Recherches documentaires conventionnelles dans les bases de données connues;*
- *Recherches par mots-clés dans le réseau Internet; et*
- *Contacts personnels avec des spécialistes canadiens de la sécurité routière (praticiens et universitaires).*

Les documents et publications trouvés au moyen de l'étude documentaire et présentant un intérêt aux yeux des praticiens ont été synthétisés dans le présent rapport. Parmi les bases de données consultées, citons notamment la National Transportation Library du département des Transports des États-Unis (y compris le TRIS), la bibliothèque de l'Association des transports du Canada, la H.G. Thode Library of Science and Engineering de l'Université McMaster, la bibliothèque de l'Université de Waterloo et le

catalogue en ligne de la bibliothèque de recherche du ministère des Transports de l'Ontario.

Étant donné que les évaluations et les recherches en matière de sécurité exigent une certaine réserve, il n'est donc pas conseillé de s'en remettre aveuglément aux études considérées. Le praticien doit effectuer une évaluation critique du travail et déterminer sa validité et son utilité par rapport à sa situation particulière. À cette fin, la présente synthèse présente au lecteur l'information pertinente concernant les paramètres de la recherche et les limites de l'étude, afin qu'une évaluation critique soit possible.

Les éléments clés de l'évaluation critique comprennent le mode de sélection des sites aux fins du dépouillement statistique, le mode de dépouillement utilisé, la méthodologie employée dans l'étude et les résultats obtenus. Un outil d'évaluation critique a été élaboré en vue d'examiner la documentation, outil qui se trouve à l'annexe B. Le praticien peut se servir de cet outil pour évaluer, de façon éclairée, d'autres recherches en vue de compléter l'information contenue dans le présent document.

Au cours de la rédaction de la synthèse, nous avons découvert qu'une importante proportion de la recherche documentée relative à la sécurité des mesures de gestion et de contrôle de la circulation n'est pas publiée. Cela signifie que les résultats sont disponibles mais que toute l'information nécessaire à leur évaluation critique n'est pas accessible. Par exemple, de nombreux articles ne donnent pas d'information relativement aux procédures de sélection des sites. Il est notoire que l'évaluation des mesures mises en œuvre en vue de réduire le nombre de collisions, aux sites sélectionnés en fonction d'une indice élevé de collisions, donne trop d'importance à l'efficacité de ces mesures. L'omission des critères et procédures de sélection des sites se traduit par des lacunes dans l'information à laquelle accède le praticien.

Afin de favoriser un meilleur compte rendu des recherches sur la sécurité routière, la présente synthèse comprend une partie traitant de la façon d'exécuter une recherche et d'en rendre compte (voir l'annexe C).

Paramètres

Il est généralement accepté que le nombre de collisions de véhicules à moteur (CVM) et la gravité des collisions constituent des paramètres appropriés d'évaluation de la sécurité routière. Les CVM représentent des défaillances du système et elles sont attribuables à au moins l'un des trois éléments constituant d'un réseau routier : l'environnement (la route et les dispositifs connexes), l'utilisateur de la route et le véhicule.

Étant donné que les CVM sont des événements rares et aléatoires, l'utilité de cette seule mesure de l'efficacité est donc limitée. De nombreuses études d'évaluation ont recours à des données complémentaires à celles sur les collisions afin de mesurer l'efficacité dans des situations où les collisions sont très peu fréquentes, en particulier les résultats des recherches sur la sécurité des usagers vulnérables. Les données de substitution les plus courantes sont les conflits de circulation, les infractions, le comportement de l'utilisateur de la route et la vitesse. L'utilisation de telles données constitue une pratique acceptable pour les fins de la présente synthèse.

La masse des connaissances tirées de la recherche concernant les incidences des stratégies de gestion et de contrôle de la circulation sur lesdites données de substitution est impressionnante et importante. L'idée de départ de n'utiliser que la recherche sur la fréquence et la gravité des collisions comme principaux paramètres de mesure a donc été abandonnée en faveur des recherches visant à mesurer les incidences susmentionnées.

Cependant, afin de respecter l'objectif visant à promouvoir la sécurité routière fondée sur l'observation, la recherche utilisant les données de substitution n'est prise en compte dans la présente synthèse que si l'on peut raisonnablement établir une corrélation avec le nombre ou la gravité des collisions.

Par exemple, la vitesse maximale réalisable est souvent utilisée comme mesure de la « sécurité » d'une situation. On considère que les mesures visant à réduire la vitesse de conduite réelle améliorent la sécurité du système. Étant donné que, selon les connaissances de base en matière de vitesse, une diminution de celle-ci réduit la gravité de la collision, la présente synthèse comporte des évaluations mesurant les incidences des stratégies de limitation de la vitesse. Par ailleurs, les données de substitution telles que le « non-respect des panneaux d'arrêt », en particulier dans des rues locales, ne comportent pas, au meilleur de nos connaissances, de corrélation établie avec les collisions et ne sont donc pas incluses dans la présente synthèse.

Le chapitre 2 comprend une description des données de substitution et fait référence à des recherches prouvant leur corrélation avec les collisions.

En ce qui touche la terminologie, il convient de parler des « incidences sur la sécurité » et des « effets sur la sécurité » plutôt que des « avantages relatifs à la sécurité », étant donné qu'une modification n'entraîne pas toujours l'amélioration attendue en termes de sécurité. Le syntagme « mesure de prévention des collisions » a également été évité, les stratégies de gestion et de contrôle de la circulation n'étant pas toujours motivées par la sécurité. Par exemple, les feux de circulation servent la plupart du temps à contrôler la priorité entre des flux de circulation incompatibles et à réduire les temps d'attente. Les feux de circulation ne sont pas généralement posés dans le but de prévenir les collisions.

Néanmoins, la décision de poser des feux de circulation aura certainement des incidences sur la sécurité d'une intersection.

La science actuelle de la sécurité routière emploie deux différentes méthodes pour mesurer les incidences qu'ont sur la sécurité les choix en matière de gestion et de contrôle de la circulation.

Méthode 1 : Utiliser les fonctions d'efficacité de la sécurité

Le meilleur critère de mesure de la sécurité d'un réseau demeure le nombre prévu de collisions, nombre qui est obtenu à partir d'un modèle complet de prédiction des collisions et que l'on désigne également comme la fonction d'efficacité de la sécurité (FES). En élaborant et en comparant des FES relatives à deux situations différentes, qui ne varient qu'en fonction d'une stratégie donnée de gestion de la circulation, on peut prédire les incidences sur la sécurité de la stratégie en question. Par exemple, prenons les deux FES suivants :

$$N = 0,0012DJM^{0,8116} \text{ pour une circulation dans une artère à double sens} \quad [1.1]$$

$$N = 0,0012DJM^{0,8116} \text{ pour une circulation dans une artère à sens unique} \quad [1.2]$$

où : N = nombre de collisions par kilomètre, par année
 DJM = débit journalier moyen

Si l'artère est actuellement une route à sens unique dans laquelle passent 26 000 véhicules par jour, le nombre de collisions annuelles prévu est de 3,1 par km. Si l'on propose de convertir la route pour y accepter la circulation dans les deux sens, et que l'on ne s'attend pas à ce que le débit de circulation augmente, le nombre de collisions annuelles prévu serait de 4,6 par km. En utilisant les FES, on peut déterminer les conséquences en matière de sécurité d'une mesure donnée.

Cette méthode d'évaluation des incidences sur la sécurité est essentiellement identique au modèle de l'étude transversale. La comparaison de l'efficacité de la sécurité d'au moins deux installations qui sont considérées similaires à tous égards sauf un, révèle que la différence sur le plan de l'efficacité provient vraisemblablement de l'élément différent.

L'exemple ci-dessus est quelque peu simpliste et l'utilisation adéquate des FES nécessite sensiblement plus de travail qu'une saisie de données et un examen des résultats. L'annexe D traite de façon plus approfondie de la façon d'étalonner et d'utiliser les FES.

Méthode 2 : Élaborer des facteurs de modification des collisions

Des études par observation effectuées adéquatement avant et après l'application d'une stratégie de contrôle de la circulation peuvent fournir des renseignements sur le nombre prévu de collisions, renseignements que l'on peut traduire en un facteur de modification des collisions (FMC). Les FMC sont des multiplicateurs qui indiquent le nombre résiduel de collisions associé à une stratégie donnée de gestion ou de contrôle de la circulation. Si le FMC est inférieur à un, on obtient un avantage en matière de sécurité; si le FMC est supérieur à un, il y aura une augmentation du nombre de collisions. Une stratégie de contrôle de la circulation qui permettrait de réduire les collisions de 23 % aurait un FMC de 0,77.

On élabore habituellement les FMC à partir d'études effectuées avant et après l'application d'une stratégie de contrôle de la circulation. Encore une fois, la possibilité d'obtenir des résultats trompeurs est élevée étant donné que les études par observation d'événements rares et aléatoires (collisions) nécessitent de l'expérience et des connaissances en statistiques ainsi qu'une bonne compréhension des conditions et événements susceptibles de rendre les résultats obscurs et confus. Hauer (1997) constitue une excellente référence en ce qui a trait aux études par observation effectuées avant et après une intervention en matière de sécurité routière (« études avant-après »).

Méthodologies d'étude

L'évaluation des incidences sur la sécurité d'une décision de gestion ou de contrôle de la circulation reposant sur des données relatives aux collisions (la plupart du temps la fréquence des collisions) peut prendre diverses formes ayant chacune ses forces et ses faiblesses. Ces méthodologies constituent la base de l'élaboration des FMC et jouent un rôle primordial dans leur fiabilité. Les méthodes les plus communes sont décrites ci-dessous.

- *Étude naïve avant-après : Il s'agit d'une simple comparaison du nombre de collisions (ou taux de collisions) avant et après l'intervention. Le FMC est calculé en divisant le nombre de collisions survenues « après » par le nombre de collisions survenues « avant ». La plupart des études sur la sécurité qui reposent sur l'observation sont effectuées sur place et dans des conditions rarement constantes. L'étude naïve avant-après ne tient donc pas compte des éventuels changements des données sur les collisions résultant d'un changement non relié à l'intervention (c.-à-d. incidences non liées). En outre, dans le cas où les sites d'intervention ont été choisis en raison d'un nombre aberrant de collisions, cette*

méthodologie ne tient pas compte des effets de régression à la moyenne¹.

- *Étude avant-après avec groupe témoin : Le groupe témoin (soit un groupe de sites n'ayant fait l'objet d'aucune intervention) sert à mesurer les incidences non liées. On assume que les changements des données sur les collisions dans le groupe témoin se seraient également produits dans le groupe étudié si celui-ci n'avait été l'objet d'aucune intervention. On calcule donc le FMC par l'équation suivante :*

$$\text{FMC} = \frac{A/C}{B/D} \quad [1.3]$$

où :

- A = les collisions survenues « avant » dans le groupe témoin
- B = les collisions survenues « avant » dans le groupe étudié
- C = les collisions survenues « après » dans le groupe témoin
- D = les collisions survenues « après » dans le groupe étudié

Il s'agit d'une amélioration de l'étude naïve avant-après, mais elle ne permet toujours pas de tenir compte d'un éventuel biais dû à la régression à la moyenne. On doit également s'assurer de disposer d'un groupe témoin de grandeur adéquate, sinon les variations aléatoires dans les données du groupe témoin pourraient compromettre la validité des résultats.

- *Étude transversale : Cette méthodologie repose sur l'étude de deux groupes de sites distincts qui ne diffèrent que par la caractéristique d'intérêt. Par exemple, le nombre de collisions enregistré dans des artères rurales à deux voies ayant une limite de vitesse de 80 km/h serait comparé au nombre de collisions enregistré dans des artères rurales à deux voies où la limite de vitesse est établie à 60 km/h, afin de déterminer les incidences sur la sécurité de la réduction de la limite de vitesse de 80 à 60 km/h. La difficulté la plus évidente de cette méthodologie consiste à trouver deux sites dont toutes les autres caractéristiques pouvant influencer sur la fréquence et la gravité des collisions sont identiques.*
- *Techniques empiriques bayésiennes : Il s'agit d'une étude par observation avant-après où il est fait appel aux mathématiques supérieures afin de minimiser les biais introduits par les incidences non liées et la régression à la moyenne. Elle repose sur une prémisse selon laquelle la valeur réelle en matière de sécurité d'un lieu consiste en une certaine combinaison de la fréquence actuelle des collisions survenant au site même, fréquence pondérée par la moyenne du nombre*

¹ Voir l'annexe C pour obtenir une brève description de l'effet de régression à la moyenne.

de collisions enregistré dans un ensemble de sites présentant les mêmes caractéristiques. Ces deux méthodes de mesure de la sécurité d'un lieu sont conjuguées en fonction de la quantité de données disponibles sur le lieu et la fiabilité de la moyenne du groupe. La technique empirique bayésienne repose habituellement sur l'utilisation de FES (ce dont nous avons déjà traité) et de données relatives à des collisions survenues dans des sites particuliers pendant les périodes avant et après, afin de déterminer les incidences sur la sécurité. L'annexe D traite de l'utilisation de cette méthode de façon plus détaillée.

Ce qui précède constitue une très brève description des méthodes d'étude les plus fréquemment citées dans la documentation, qui n'est ni exhaustive, ni complète. Pour obtenir de plus amples renseignements et des commentaires sur chacune de ces techniques, il convient de consulter Hauer (1997) et Hamilton Associates (1997).

Mises en garde

On doit toujours faire preuve de prudence lorsque l'on tente d'appliquer à un autre lieu analogue les résultats d'une étude entreprise dans un lieu donné. Ceci est d'autant plus important lorsque l'on tente de transférer des résultats obtenus dans une juridiction à une autre. Voici les pièges les plus fréquents que soulève une telle pratique.

Les méthodes de rapport varient entre les champs d'application

La définition d'une « collision à une intersection » constitue un exemple de choix de la diversité des méthodes. Dans certaines juridictions et recherches, les collisions à des intersections sont définies comme toutes les collisions survenant dans les 30 mètres du point d'intersection ainsi que toutes les collisions ayant un lien avec l'intersection. Dans d'autres recherches, la limite s'étend à 250 mètres du point d'intersection.

La classification de la gravité diffère

Toutes les provinces et les territoires du Canada intègrent aux collisions mortelles les collisions entraînant, dans les 30 jours, la mort d'une personne touchée, sauf le Québec qui utilise un seuil de huit jours.

Populations de conducteurs

Il est reconnu que des conducteurs inexpérimentés et novices sont surreprésentés dans certains types de collisions. Des différences dans l'application des systèmes de délivrance graduelle des permis de conduire dans les provinces et les territoires auront nécessairement des incidences sur l'efficacité de la sécurité. Par exemple, les conducteurs

novices sont surreprésentés dans les collisions se produisant la nuit. La comparaison de ces statistiques de collisions provenant de l'Alberta, qui n'a pas de système de délivrance graduelle des permis, à celles de la Nouvelle-Écosse, qui a mis sur pied un tel programme, peut révéler des différences.

Les parcs de véhicules peuvent différer

Les zones et les installations utilisées par des industries reposant essentiellement sur le transport par camion de marchandises (p. ex., l'exploitation forestière et l'industrie sidérurgique) entraînent un pourcentage plus élevé de circulation de camions. On sait que les véhicules plus gros sont associés à un nombre moins élevé de collisions mais tendent à produire des collisions plus graves. L'application des résultats recueillis à un autre endroit doit donc tenir compte des différences au niveau de la flotte de véhicules.

Lois pertinentes

Les variations d'une province à l'autre peuvent également limiter la transférabilité des résultats des recherches. Par exemple, en Colombie-Britannique, les automobilistes doivent, en vertu de la loi, céder le passage aux piétons, lorsque ceux-ci se trouvent dans un passage pour piétons marqué ou non marqué, ce qui peut avoir une incidence sur l'efficacité de la sécurité à ces endroits. Les lois ontariennes n'imposent pas aux automobilistes de laisser la priorité aux piétons sauf dans les sites avec signalisation et les passages pour piétons.

Normes de conception

Bien que l'uniformisation et la normalisation des stratégies de gestion et de contrôle de la circulation relève d'une initiative des professionnels des transports, il reste toutefois une certaine place à des variantes entre les juridictions. Par exemple, l'utilisation de panneaux ainsi que la position des feux de circulation peut varier entre les administrations routières. Des FES qui ont été élaborés pour des intersections avec signalisation dans une juridiction qui ne fait pas une utilisation systématique de panneaux de signalisation, tend à démontrer que les feux de signalisation sur des fûts ne peuvent être appliqués tels quels à une juridiction dont les normes minimales exigent des panneaux et des feux montés sur crosse.

En conclusion de la présente section portant sur les méthodes et paramètres, il suffit de déclarer que :

- *La fréquence et la gravité des collisions constituent les principaux paramètres de la sécurité;*

- *Les données de substitution qui sont avec certitude liées soit à la fréquence, soit à la gravité, constituent des paramètres alternatifs raisonnables;*
- *Les méthodes types utilisées afin de déterminer les incidences sur la sécurité d'une stratégie donnée de gestion ou de contrôle de la circulation doivent avoir recours soit à des fonctions d'efficacité de la sécurité (FES) élaborées de façon appropriée, soit à des facteurs de modification des collisions (FMC);*
- *Les diverses méthodologies d'étude comportent chacune leurs forces et faiblesses inhérentes et constituent des facteurs clés lorsque vient le temps d'établir la fiabilité des résultats d'une étude;*
- *La transférabilité et la validité des FES et FMC doivent être établies par le praticien.*

Chapitre 2:
Chapitre 2 :
Données de substitution
Données de substitution

CHAPITRE 2 : DONNÉES DE SUBSTITUTION

La sécurité d'un réseau est mesurée par la fréquence et la gravité des collisions. Étant donné que les collisions sont des événements aléatoires et rares, et qu'il faut parfois des années pour compiler suffisamment de données « après » aux fins de cerner des incidences, il est courant que les chercheurs dans le secteur de la sécurité routière utilisent des données de substitution. Ces substituts sont des mesures auxiliaires du nombre de collisions ou de leur gravité ainsi que de leur fréquence plus élevée. Les exemples de substituts typiques, trouvés dans la documentation, comprennent notamment le respect du code de la route, la vitesse, les conflits de circulation, le positionnement dans les voies et d'autres formes de conduite ou de comportement de la part des automobilistes.

Dans le cadre de la SRFO, les substituts n'ont de valeur que dans la mesure de la sécurité s'il existe une forte corrélation avec la fréquence ou la gravité des collisions. Cela n'est pas suffisant pour que l'on se fonde sur une étiologie probable. Voici des exemples de cet aspect.

- *De nombreuses études de courbes de tracé en plan utilisent le positionnement latéral de voie comme mesure de la sécurité. La notion voulant que la position la plus « sûre » se trouve au centre constitue souvent l'hypothèse. Il est bien connu que lorsqu'ils traversent des courbes de tracé en plan, les automobilistes se déplacent de l'extérieur de la voie, au début de la courbe, vers l'intérieur de la voie, au sommet de la courbe (Simpson et coll., 1977). Ce phénomène, appelé « allongement de la courbe », indique une grande variance de position dans la voie latérale, et pourvu qu'il n'y ait pas d'accotement ni d'empiétement sur la ligne médiane, il constitue probablement une manœuvre adéquate en matière de sécurité.*
- *Un piéton traverse la route à une intersection dotée de dispositifs de signalisation pendant le signal d'attente. Ce comportement peut servir de mesure de sécurité en vertu de l'hypothèse selon laquelle le fait de traverser la route sans avoir la priorité peut mettre le piéton en situation de conflit avec la circulation routière et pose donc un problème de sécurité. Les statistiques sur les collisions avec des piétons soutiennent certainement cette hypothèse. Les collisions avec des piétons résultent souvent du fait que ceux-ci traversent en dehors des zones où ils ont priorité. Cependant, si un piéton traverse alors que les feux ne lui donnent pas la priorité mais que la visibilité est adéquate et qu'il s'est assuré que la voie était libre, est-ce un comportement à risque en matière de sécurité? À moins que le comportement puisse être corrélé avec des occurrences de collisions, il ne s'agit*

que d'un non-respect du code.

Les exemples ci-dessus traduisent bien l'opinion suivante tirée du rapport final du Guarding Automobile Drivers through Guidance Education and Technology (GADGET) :

Il n'est pas toujours facile d'interpréter, en termes de sécurité, les incidences documentées d'une mesure routière sur le comportement d'un automobiliste. En outre, il nous faut des données relatives aux accidents ou des arguments théoriques probants et pertinents à l'observation du comportement donné en matière de sécurité. (Austrian Road Safety Board, 1999) [Traduction]

Beaucoup de recherches reposent sur l'utilisation de données de substitution pour mesurer les incidences sur la sécurité d'une mesure donnée. Cependant, beaucoup moins de recherches ont été menées dans le but de déterminer s'il existait une corrélation entre ces données de substitution et les collisions.

Dans la présente synthèse, les données de substitution sont fondées sur le comportement. Elles tiennent donc compte du comportement et de la conduite des usagers de la route; elles ne sont pas de portée environnementale et ne tiennent donc pas compte des conditions routières ou environnantes. La route et ses dispositifs accessoires sont des variables que les ingénieurs manipulent afin de hausser le niveau de sécurité. On peut toujours essayer de mesurer la sécurité par d'autres moyens que les collisions, mais on ne peut manipuler une route afin de voir les incidences sur cette route même. Les ingénieurs modifient les routes, ce qui a probablement un effet sur le comportement ou la conduite des usagers qui, à leur tour, influent à la baisse sur la fréquence ou la gravité des collisions.

Il convient de ne pas oublier que la présente synthèse met l'accent sur la sécurité. Des paramètres tels que les infractions au Code de la route, même s'ils ne sont pas corrélés aux collisions, peuvent être utiles aux ingénieurs de la circulation sur d'autres aspects. Par exemple, le manquement à l'obligation de céder le passage aux piétons constitue une préoccupation souvent portée à l'attention des responsables de la circulation municipale. Ces infractions n'ont pas été mises en corrélation avec la fréquence des collisions et ne reflètent pas nécessairement celles-ci. Néanmoins, étant donné que ces infractions posent des préoccupations d'ordre public, elles constituent à tout le moins un problème de qualité de vie. Le praticien doit prendre garde de ne pas propager l'idée fautive selon laquelle les infractions partagent certaines corrélations avec les collisions, mais il peut néanmoins aborder le problème du point de vue de la qualité de vie.

Les données ci-après sur la sécurité ainsi que les recommandations sur leur utilisation sont tirées de la documentation.

Respect des panneaux d'arrêt

Dans une étude reposant sur 2 830 observations effectuées à 66 intersections, Mounce (1981) conclut qu'il n'existe pas de corrélation entre le taux de non-respect du panneau d'arrêt et les collisions. En raison de l'absence d'une quelconque étude approfondie établissant un lien entre ces données de substitution et les collisions elles-mêmes, il ne sera pas tenu compte de l'information à ce sujet dans le présent rapport.

Conflits de circulation

La documentation fait état de nombre de divergences dans l'utilisation des conflits de circulation à titre de données de substitution. Certaines de ces différences sont attribuables aux variantes de la définition des conflits et des méthodes de mesure. La définition et la méthode de mesure prévalentes utilisées en Colombie-Britannique et en Ontario sont définies dans la deuxième édition du *Traffic Conflict Procedure Manual* [Hamilton Associates, 1989]. Dans une étude visant à déterminer la corrélation existant entre les conflits et les collisions, il a été découvert que seuls les conflits les plus graves présentaient une relation statistique avec les collisions. Les conflits les moins graves n'ont pu être corrélés avec des collisions et sont plus susceptibles de refléter une « conduite normale ». Néanmoins, il semble que les conflits aient un certain rapport avec les collisions, ce qui en fait des données de substitution acceptables.

Dans une étude distincte, Salman et Al-Maita (1995) ont établi une corrélation entre les conflits et les collisions survenant dans un croisement à trois embranchements situé à Jordan. Les chercheurs ont utilisé une technique d'analyse des conflits de circulation élaborée par l'Administration fédérale des autoroutes (Parker et Zeeger, 1989). L'étude a porté sur dix-huit sites qui ont été choisis en raison de la disponibilité des données sur les collisions et parce que tous ces sites présentaient une circulation piétonne peu élevée, des voies à double sens, aucune restriction de visibilité, de virage ou de stationnement, ainsi qu'aucune déclivité importante des approches.

Les données sur les collisions ont été rassemblées durant une période de trois ans et portaient sur les collisions survenues par temps de pluie, de nuit et la fin de semaine, les collisions touchant des piétons ayant été exclues de l'analyse. Les études des conflits de circulation ont été menées entre 7 h et 18 h, les jours de semaine, pendant l'été.

Une régression linéaire des collisions et des conflits a donné lieu à une corrélation statistiquement significative, soit :

$$N = 0,744 + 0,0116X \quad [2.1]$$

où :
N = nombre annuel de collisions
X = comptage horaire moyen des conflits

Ensemble, les études de Hamilton Associates et de Salman et Al-Maita donnent une preuve valable de la corrélation existant entre les conflits de circulation et les collisions.

Vitesse

Bien que le lien entre vitesse et collision soit plus ou moins établi, il n'en existe pas moins une forte corrélation entre la vitesse et la gravité des accidents [IBI Group, 1997]. Alors que le débat sur la vitesse et la fréquence des collisions se poursuit, il suffit de savoir qu'il existe un rapport entre vitesse et gravité, ce qui fait de la vitesse une source acceptable de données de substitution.

Les conflits de circulation et la vitesse étant acceptés à titre de sources données de substitution adéquates, il demeure que leur application directe à la gestion de la sécurité peut poser des problèmes. Il est donc nécessaire d'établir une corrélation statistique entre les données de substitution substitut et les accidents ou leur gravité afin de pouvoir utiliser efficacement lesdites données à des fins quantitatives. Une corrélation linéaire permettrait d'utiliser directement les pseudo-FMC des données de substitution au titre de FMC réels., ce que ne permettrait cependant pas des équations non linéaires.

Chapitre 3:
Chapitre 3 :

Contrôle des intersections
Contrôle des intersections

CHAPITRE 3 : CONTRÔLE DES INTERSECTIONS

Signalisation

Agent (1988)

Agent (1988) a examiné les incidences du contrôle des intersections sur les collisions, et ce dans une étude exhaustive de 65 intersections rurales de routes express situées au Kentucky. Les sites ont été choisis afin de présenter une diversité de débits de circulation, de géométries routières et de mesures de contrôle de la circulation. Des 65 sites, 47 étaient dotés de dispositifs signalisation automatiques, 15 intersections de routes secondaires étaient contrôlées par un panneau d'arrêt et 3 carrefours étaient munis de panneau d'arrêt dans tous les sens. Des feux clignotants de contrôle des intersections ont été placés à 16 des 18 sites ne comportant pas de signalisation automatique. D'autres dispositifs de contrôle de la circulation ont aussi été utilisés aux sites étudiés, dispositifs qui variaient selon les intersections : signaux de préavis, progression de signaux, lignes d'arrêt, ralentisseurs sonores, etc.

Au moyen d'une analyse transversale des sites, Agent a recueilli les taux de collisions présentés au tableau 3.1. Le nombre d'intersections dépasse 65 parce que certains sites ont subi des modifications des mesures de contrôle de la circulation au cours de la période d'étude.

TABLEAU 3.1 : Taux de collisions survenues à des intersections de routes express au Kentucky

Type de contrôle	Nombre de sites	Collisions	Taux de collisions (par VM)	FMC*
Panneau d'arrêt	27	338	1,1	---
Panneau d'arrêt + feu clignotant	37	541	1,2	1,09
Feux de circulation	46	1 290	1,2	1,09

* - Dans l'hypothèse d'un panneau d'arrêt comme condition minimale.

En utilisant une étude naïve avant-après de la fréquence des collisions, Agent a également examiné les incidences sur la sécurité de la modification des dispositifs de contrôle de des intersections (tableau 3.2).

TABLEAU 3.2 : Incidences de la signalisation sur les collisions au Kentucky

Contrôle de l'intersection		Nombre de sites	Taux de collisions		FMC
Avant	Après		Avant	Après	
Panneau d'arrêt	Panneau d'arrêt + feu clignotant	11	1,1	1,0	0,91
Panneau d'arrêt	Feux de circulation	16	1,3	1,8	1,38
Panneau d'arrêt + feu clignotant	Feux de circulation	20	1,4	1,1	0,79

Finale­ment, Agent a compilé des données sur la gravité des collisions sur­venues à tous les sites, comme l'illustre le tableau 3.3.

TABLEAU 3.3 : Gravité des collisions sur­venues à des intersections situées au Kentucky

Gravité des collisions	Proportion des collisions (%)			
	Panneau d'arrêt	Panneau d'arrêt + feu clignotant	Feux de circulation	Dans l'ensemble de l'état
Mortelles	1,5	2,6	0,9	0,2
Avec blessures	37,2	39,6	34,1	23,6
Dommages matériels seulement	61,3	57,8	65,0	76,2

Il est difficile de tirer des conclusions significatives de cette recherche. Les résultats de l'analyse transversale et de l'étude avant-après sont contradictoires – dans l'étude transversale, l'ajout d'un feu clignotant dans un lieu ne comportant pas de feux de circulation a eu pour effet d'augmenter les collisions, alors que l'étude avant-après enregistre une diminution. En outre, le remplacement d'un panneau d'arrêt + feu clignotant par des feux de circulation ne se traduit par aucun changement dans le taux de collisions selon l'étude transversale, mais entraîne une diminution substantielle du taux de collisions dans l'étude avant-après.

Lalani (1991)

La ville de San Buenaventura, en Californie, a entrepris de poser des feux de circulation à plusieurs intersections afin d'améliorer la sécurité dans le cadre d'un programme de sécurité globale (Lalani, 1991). Les sites choisis étaient ceux où au moins trois collisions étaient survenues pendant un an, soit des sites à indice élevé de collisions. Les résultats d'une analyse naïve avant-après de la fréquence des collisions survenues à quatre des sites pourvus de feux de signalisation sont illustrés au tableau 3.4. Les périodes avant et après correspondent à un an.

TABLEAU 3.4 : Incidences de la signalisation sur la sécurité à San Buenaventura, Californie

Lieu	Collisions		FMC
	Avant	Après	
A	5	2	0,40
B	8	1	0,13
C	17	0	0,00
D	4	3	0,75
Totaux	34	6	0,18

Lalani ne tient pas compte de l'exposition dans l'analyse de la sécurité mais rapporte que les débits de circulation dans la ville ont enregistré un taux moyen d'augmentation de 6 % par année.

Poch et Mannering (1996)

Dans le but de déterminer les interactions entre les caractéristiques d'accès aux carrefours et les collisions, Poch et Mannering (1996) ont élaboré des modèles de prédiction des collisions pour 63 intersections situées à Bellevue, Washington. Les intersections se trouvaient en milieu urbain et ont été sélectionnées afin de subir des améliorations en termes de gestion de la circulation. Les modèles élaborés visaient les accès aux carrefours; les collisions survenant à chaque intersection ont donc été affectées à un accès donné.

Les modèles ont été élaborés au moyen de la loi binomiale négative, qui se prête bien à la modélisation de nombres entiers dispersés et non négatifs comme c'est le cas des collisions de véhicules à moteur. Au total, 64 variables (caractéristiques d'intersections) ont été analysées. Quatre modèles distincts ont été élaborés, soit pour toutes les collisions, les collisions arrière, les collisions en angle et les collisions à l'entrée de

virages. Le modèle pour toutes les collisions correspond à l'équation 3.1.

$$N_{\text{toutes}} = 0,244 \exp(0,251D_{\text{vg}} + 0,0902D_{\text{vd}} + 0,0523D_i + 0,153V) * \\ \exp(-0,753CC - 0,325CF + 0,27P_2 + 0,61P_8 - 0,468GP) * \\ \exp(-0,336RL - 1,093AL + 1,123DV + 0,201DG - 0,899GA) * \\ \exp(0,0203VL - 0,0075VL_i) \quad [3.1]$$

- où :
- N_{toutes} = Nombre annuel de collisions survenant dans l'accès au carrefour
 - D_{vg} = Débit journalier moyen de virages à gauche exprimé en milliers
 - D_{vd} = Débit journalier moyen de virages à droite exprimé en milliers
 - D_i = Débit journalier moyen de la circulation totale inverse exprimé en milliers
 - L = Nombre de voies directes, de voies de droite directes et de voies de virage à droite
 - CC = Contrôle de la circulation dans l'accès (1 en l'absence de contrôle; sinon 0)
 - CF = Contrôle par feux dans l'accès (1 en la présence de feux; sinon 0)
 - P_2 = Feux diphasés (1 si feux diphasés; sinon 0)
 - P_8 = Feux à huit phases (1 si feux à huit phases; sinon 0)
 - GP = Virage à gauche protégé (1 si protégé; sinon 0)
 - RL = Accès rue locale (1 si rue locale; sinon 0)
 - AL = Tous les accès sont des rues locales (1 si toutes rues locales; sinon 0)
 - DV = Restrictions relatives à la distance de visibilité (1 si restriction; sinon 0)
 - TL = 1 s'il y a une voie directe de gauche ainsi qu'au moins deux voies d'accès; sinon 0)
 - GA = 1 si les virages à gauche ne sont pas alignés et l'accès ne comporte pas de voie unique, de virage à gauche protégé ou de contrôle d'arrêt; sinon 0)
 - VL = Vitesse limite de l'accès (km/h)
 - VL_i = Vitesse limite de l'accès de la circulation inverse (km/h)

Le modèle offre des résultats dignes de mention relativement aux stratégies de gestion et de contrôle de la circulation routière. En premier lieu, grâce à l'utilisation d'une approche non contrôlée comme condition de base, il est possible d'évaluer si un changement dans le contrôle d'une intersection provoquerait dans l'accès à celle-ci une augmentation de la fréquence des collisions en fonction des FMC illustrés au tableau 3.5.

TABLEAU 3.5 : FMC relatifs à un changement du contrôle de l'accès

Contrôle de l'accès		FMC
Non contrôlé		1,00
Contrôlé par un panneau d'arrêt		2,12
Feux de circulation	Diphase	2,01
	À huit phases	1,77

Les résultats ci-dessus sont conformes aux attentes. En appliquant les FMC ci-dessus à une intersection comportant quatre voies d'accès et dont deux voies sont contrôlées par un panneau d'arrêt, des feux de signalisation diminueraient le nombre de collisions dans les deux voies contrôlées par des panneaux d'arrêt et augmenteraient les collisions dans les deux voies non contrôlées. En outre, les résultats indiquent que la modification de la signalisation passant de feux diphases à des feux à huit phases présente un avantage en matière de sécurité.

L'analyse de Poch et Mannering porte sur des intersections ayant été sélectionnées afin de subir des améliorations en matière de gestion de la circulation. Ce fait limite l'applicabilité du modèle et des FMC à des intersections dont le fonctionnement est considéré comme déficient et qui nécessitent des travaux de réfection. Dans cet exemple, les travaux de réfection touchent la reconstruction de l'intersection afin d'améliorer celle-ci, la modification du contrôle de l'intersection, la modification du chronométrage ou des phases des feux de circulation et l'ajout de voies d'accès.

Tople (1998)

Tople (1998) a inclus, dans une évaluation de l'élimination des dangers et des projets relatifs à la sécurité, une étude des avantages en matière de sécurité dans neuf sites situés au Dakota du Sud. L'évaluation était une étude naïve avant-après de la fréquence et de la gravité des collisions. Les incidences sur la gravité des collisions ont été déterminées au moyen de la comparaison de collisions avec dommages matériels seulement présentant une similitude (DMSS), pour lesquelles une conversion monétaire jugée appropriée par l'équipe d'enquête a été effectuée. L'analyse a porté sur des données sur les collisions recueillies au cours des trois antérieures et des trois années subséquentes.

Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 3.6.

TABLEAU 3.6 : Incidences de la signalisation sur la sécurité au Dakota du Sud

Type d'amélioration	Nom -bre de sites	Étendue du DJMA	Collisions			Collisions avec DMSS*		
			Avant	Après	FMC	Avant	Après	FMC
Feu de circulation	9	5 960 – 20 995	188	139	0,74	2 313	2 307,5	1,00

* Les collisions avec DMSS ont été calculées d'après l'équation $(1300*M)+(90*I)+(18*N)+(9.5*P)+DMS$

où : M = collision mortelle

I = collision avec blessure invalidante

N = collision avec blessure non invalidante

P = collision avec blessure possible

DMS = collision avec dommages matériels seulement

L'analyse de Tople présente de nombreuses failles qui pourraient être graves. La plus importante réside dans le fait que les sites ont été choisis afin d'être traités dans le cadre d'un programme de sécurité. Cela signifie que le taux de collisions y était vraisemblablement anormalement élevé et qu'une régression aux artefacts moyens est très probable. Cette lacune est en quelque sorte neutralisée par l'omission de tenir compte des changements relatifs à l'exposition. Les débits de circulation n'ont pas été pris en compte, mais ils tendent naturellement à augmenter, ce qui entraînerait un compte plus élevé de collisions « après ». Finalement, les résultats de l'étude au Dakota du Sud reposent sur un nombre limité de sites et sur des analyses médiocres.

Ministère des Transports de l'Ontario (1988)

Le ministère des Transports de l'Ontario (MTO, 1988) a entrepris une étude exhaustive de ses données sur les collisions afin de déterminer l'efficacité de la sécurité de ses installations, intersections comprises. Pendant le déroulement de l'étude, des FES, subdivisés par gravité, ont été élaborés pour les intersections munies de feux de circulation de la province de l'Ontario. La forme du FES est illustrée à l'équation 3.2, les estimations des paramètres sont données au tableau 3.7.

$$N = a DJMA^b \quad [3.2]$$

où : N = nombre annuel de collisions

DJMA = Débit journalier moyen d'une année dans la route principale

a, b = paramètres définis au tableau 3.10

TABLEAU 3.7 : FES relatifs aux intersections avec feux de circulation en Ontario

Type d'intersection	Type de collisions	a	b	Étendue du DJMA
Feux de circulation, 4 accès	Mortelles	0,0002283	0,54866	1 090 à 34 280
	Avec blessures	0,0103469		
	DMS	0,0169214		
Feux de circulation, 3 accès	Mortelles	0,0000853	0,54925	4 600 à 28 460
	Avec blessures	0,0038654		
	DMS	0,0063216		

Le MTO n'a pas élaboré de FES pour les intersections en Ontario ne comportant pas de feux de circulation. Cela limite l'utilité du FES pour les intersections comportant des feux. Il n'en reste pas moins que le FES constitue une utile mesure de la sécurité.

Sayed et Rodriguez (1999)

Sayed et Rodriguez (1999) ont élaboré des FES pour des intersections sans feux situées en Colombie-Britannique. Ils ont utilisé à cette fin des données sur les collisions et le débit de la circulation touchant des intersections situées dans le District de la région métropolitaine de Vancouver et dans l'île de Vancouver. L'ensemble de données portait sur 186 intersections à trois embranchements et 233 intersections à quatre embranchements. L'élaboration du modèle reposait sur des données réunies au cours d'une période de trois années et les sites ont été choisis en fonction des données disponibles. L'analyse n'a porté que sur les intersections contrôlées par un panneau d'arrêt et comportant des voies à sens unique (aux croisements en T) et des voies à double sens (aux carrefours). Les collisions qui ont eu lieu dans les 30 mètres de l'intersection, ou qui ont été codées comme « reliées à l'intersection » ont été définies comme collisions à un carrefour.

L'étendue des données utilisées dans l'analyse est présentée au tableau 3.8.

TABLEAU 3.8 : Étendue des données utilisées dans l'élaboration de FES pour des intersections sans feux de signalisation situées en milieu urbain

Variable	Statistiques		
	Minimum	Maximum	Moyenne
DJM de route principale	500	47 800	13 343

DJM de route secondaire	100	11 000	1 735
Collisions/année	0,3	11	1,72

Des FES ont été élaborés au moyen de modèles linéaires généralisés dans l'hypothèse d'une distribution binomiale négative. La forme du modèle est illustrée à l'équation 3.3, les estimations des paramètres sont données au tableau 3.9.

$$N = a(\text{DJMA}_{\text{principale}}/1000)^{b_1} (\text{DJMA}_{\text{secondaire}}/1000)^{b_2} \quad [3.3]$$

où :

- N = Nombre de collisions par 3 ans
- DJMA_{principale} = Débit journalier moyen d'une année de la route principale
- DJMA_{secondaire} = Débit journalier moyen d'une année de la route secondaire
- a, b₁, b₂ = constantes illustrées au tableau 3.7

TABLEAU 3.9 : FES pour des intersections sans feux de circulation situées en milieu urbain en C.-B.

Nombre d'accès	a	b ₁	b ₂
3	0,9333	0,4531	0,5806
4	1,5406	0,4489	0,6475

Vogt (1999)

Vogt (1999) a élaboré des modèles de collisions pour des intersections en milieu rural contrôlées par des feux de circulation et par des panneaux d'arrêt en combinant des données recueillies au Michigan et en Californie. L'analyse a porté sur 84 intersections contrôlées par un panneau d'arrêt et comportant trois voies d'accès, 72 intersections contrôlées par un panneau d'arrêt et comportant quatre voies d'accès ainsi que 49 intersections munies de feux de circulation et comportant quatre voies d'accès. Les intersections contrôlées par des panneaux d'arrêt étaient composées de quatre voies dans la route principale et de deux voies dans la route secondaire; les intersections munies de feux étaient composées de deux voies dans tous les accès. On a eu recours à une régression linéaire généralisée reposant sur une distribution binomiale négative afin d'élaborer des modèles de toutes les collisions survenant, respectivement en Californie et

au Michigan, dans une distance de 250 pieds de l'intersection sur la route principale et dans les 100 à 250 pieds de l'intersection sur la route secondaire.

Les modèles résultants sont illustrés dans les équations 3.4 et 3.5. Pour les intersections d'une route principale à quatre voies et d'une route secondaire à deux voies contrôlée par un panneau d'arrêt et comportant trois voies d'accès :

$$N = 0,000000192 \text{ DJM}_p^{1,433} \text{ DJM}_s^{0,269} \exp(-0,0612M + 0,0560E) \quad [3.4]$$

où :

- N = nombre de collisions par année
- DJM_p = Débit journalier moyen de la route principale à deux sens
- DJM_s = Débit journalier moyen de la route secondaire à deux sens
- M = Largeur moyenne de la route principale (en mètres)
- E = Nombre d'entrées de cour sur la route principale dans une distance de 76 mètres du centre de l'intersection

Pour les intersections d'une route principale à quatre voies et d'une route secondaire à deux voies contrôlée par un panneau d'arrêt et comportant quatre voies d'accès :

$$N = 0,0000777 \text{ DJM}_p^{0,850} \text{ DJM}_s^{0,329} \exp(0,110DG - 0,484G) \quad [3.5]$$

où :

- N = nombre de collisions par année
- DJM_p = Débit journalier moyen de la route principale à deux sens
- DJM_s = Débit journalier moyen de la route secondaire à deux sens
- DG = Proportion du trafic de l'heure de pointe arrivant par la route principale tournant à gauche (%)
- G = 0 si la route principale n'a pas de voie de virage à gauche; 1 s'il y a au moins une voie de virage à gauche.

Pour les intersections de routes à deux voies munies de feux de circulation et comportant quatre accès :

$$N = 0,000955 \text{ DJM}_p^{0,620} \text{ DJM}_s^{0,395} \exp(-0,0142DG + 0,0315C) \\ * \exp(-0,675G_T + 0,130V) \quad [3.6]$$

où :

- N = nombre de collisions par année
- DJM_p = Débit journalier moyen de la route principale à deux sens
- DJM_s = Débit journalier moyen de la route secondaire à deux sens
- DG_s = Proportion du trafic de l'heure de pointe arrivant par la route secondaire tournant à gauche (%)

- C = Proportion du trafic de l'heure de pointe accédant à l'intersection constituée de camions (%)
- $G_T = 0$ si la route principale ne comporte pas de virage à gauche protégé; 1 si la route principale comporte au moins une phase de feux de circulation pour le virage à gauche protégé
- $V = 0,5 * (V_p + V_s)$
- V_p = La somme du changement de pente en pourcentage absolu par 100 pieds pour chaque courbe verticale de la route principale, dont chaque portion se trouve dans une distance de 800 pieds du centre de l'intersection, divisée par le nombre de ces courbes.
- V_s = La somme du changement de pente en pourcentage absolu par 100 pieds pour chaque courbe verticale de la route secondaire, dont chaque portion se trouve dans une distance de 800 pieds du centre de l'intersection, divisée par le nombre de ces courbes.

Les modèles ci-dessus ne peuvent servir tels quels à déterminer les incidences sur la sécurité d'un quelconque changement des dispositifs de contrôle d'une intersection. Néanmoins, ils permettent d'obtenir de bonnes estimations de la sécurité à long terme à l'égard des trois types d'intersections. Les FES pour les sites sans feux peuvent être doublés aux données sur les collisions provenant d'intersections existantes afin d'obtenir une meilleure prédiction de la sécurité à long terme du site. La FES pour l'intersection avec feux peut être utilisée de la même façon, ou encore pour prédire l'efficacité de la sécurité d'une intersection sans feux dans l'éventualité où elle en serait munie.

Pour combiner la FES aux données sur les collisions d'un site, on doit connaître le « paramètre de surdispersion » (k). Ces paramètres sont indiqués au tableau 3.10. L'annexe D donne une description de la façon de combiner les estimations de FES aux données sur les collisions.

TABLEAU 3.10 : Paramètres de surdispersion d'après l'étude de Vogt (1999)

Équation	k
3.2	0,389
3.3	0,458
3.4	0,116

Transport Research Laboratory (2000)

Le Transport Research Laboratory (2000) du Royaume-Uni s'est penché sur les incidences sur la sécurité de la pose de feux de circulation, le tout dans le cadre d'un programme de surveillance des effets sur la sécurité de diverses mesures prises par les administrations routières locales. Le Transport Research Laboratory (TRL) garde à jour de l'information sur les améliorations apportées aux routes secondaires en termes de sécurité dans la base de données baptisée Monitoring Of Local Authority Safety SchemES (MOLASSES). Cette base de données est en fonction depuis 1991 et contient de l'information relative à diverses améliorations apportées à la sécurité des routes locales.

Les données sont saisies dans la base de donnée par les administrations routières locales, à titre bénévole. Les données ainsi recueillies s'entendent notamment des suivantes :

- *Débit journalier moyen*
- *Vitesse limite*
- *Milieu (c.-à-d. urbain ou rural)*
- *Lieu (type d'intersection, tronçon de route ou route régionale)*
- *Flux piétonnier*
- *Problème cible en matière de sécurité (évaluation des collisions)*
- *Description des mesures d'intervention de sécurité*
- *Nombre de collisions selon leur gravité au cours des périodes « avant et après »*

On ne connaît pas la façon dont les sites de la base MOLASSES ont été sélectionnés. Des effets de régression à la moyenne peuvent donc entraîner une augmentation des estimations en matière d'efficacité. En outre, les estimations reposent sur des études avant-après de la fréquence des collisions. On n'a pas tenu compte des changements liés à l'exposition ou d'autres éventuelles variables pouvant porter à confusion.

On ne peut qu'obtenir de l'information limitée auprès de la base de données MOLASSES si l'on n'envoie pas de demande personnalisée au TRL. Néanmoins, les incidences sur la sécurité des nouveaux feux de circulation en milieu urbain et en milieu rural sont indiquées au tableau 3.11.

TABLEAU 3.11 : Incidences de l'installation de feux de circulation sur la sécurité au Royaume-Uni

Milieu	Nombre d'installations	Nombre de collisions		FMC
		Avant	Après	
Urbain	26	323	144	0,45
Rural	8	93	20	0,22

Bauer et Harwood (2000)

Bauer et Harwood (2000) ont élaboré des FES pour des intersections à quatre embranchements en milieu urbain en utilisant des données relatives aux collisions et aux infrastructures recueillies pendant trois ans en Californie. Une régression lognormale et loglineaire a été établie relativement à l'ensemble de données décrites au tableau 3.12.

TABLEAU 3.12 : Caractéristiques des intersections relatives aux FES en Californie

Caractéristiques		Contrôlée par un panneau d'arrêt	Contrôlée par des feux de circulation
Nombre d'intersections		1 342	1 306
DJM	Principale	1 100 – 79 000	2 400 – 79 000
	Secondaire	100 – 16 940	101 – 48 000
Nombre moyen de collisions	Toutes	7,4	23,4
	Mortelles + avec blessures	3,3	9,6

L'analyse de régression a donné les FES dans les équations 3.7 et 3.8.

Intersection contrôlée par un panneau d'arrêt

$$N = 0,009429 \text{ DJM}_{\text{principale}}^{0,620} \text{ DJM}_{\text{secondaire}}^{0,281} e^{-0,941X1} e^{-0,097X2} e^{0,401X3} e^{0,120X4} e^{-0,437X5} e^{-0,384X6} e^{-0,160X7} e^{-0,153X8} e^{-0,229X9} \quad [3.7]$$

où :

- X1 = 0 s'il est permis d'effectuer des virages à gauche depuis la route principale; 1 sinon
- X2 = Largeur moyenne de la voie dans la route principale (en mètres)
- X3 = 1 si le nombre de voies de la route principale est de 3 ou moins; 0 sinon
- X4 = 1 si le nombre de voies de la route principale est de 4 ou de 5; 0 sinon
- X5 = 1 si aucune limitation d'accès à la route principale; 0 sinon
- X6 = 1 si le virage à droite NE PEUT être effectué librement à partir de la route principale; 0 sinon

$X7 = 1$ si aucun éclairage; 0 sinon
 $X8 = 1$ si la route principale est une artère secondaire; 0 sinon
 $X9 = 1$ si la route principale est une route collectrice principale;
 0 sinon

Intersection contrôlée par des feux de circulation

$$N = 0,032452 \text{ DJM}_{\text{principale}}^{0,503} \text{ DJM}_{\text{secondaire}}^{0,224} e^{0,063X1} e^{0,622X2} e^{-0,200X3} e^{-0,310X4} e^{-0,130X5} e^{-0,053X6} e^{-0,115X7} e^{-0,225X8} e^{-0,130X9} \quad [3.8]$$

où :

- $X1 = 1$ si feu à cycle fixe; 0 sinon
- $X2 = 1$ si feu entièrement actionné à la demande; 0 sinon
- $X3 = 0$ si feu diphasé; 1 sinon
- $X4 = 1$ si aucune limitation d'accès à la route principale; 0 sinon
- $X5 = 1$ si la route secondaire comporte au plus 3 voies; 0 sinon
- $X6 =$ largeur moyenne de voie dans la route principale (en mètres)
- $X7 = 0$ si le virage à droite n'est pas libre à partir de la route principale; 1 sinon
- $X8 = 1$ si la route principale comporte au plus 3 voies; 0 sinon
- $X9 = 1$ si la route principale comporte 4 ou 5 voies; 0 sinon

Ces modèles peuvent servir à déterminer les incidences de l'installation de feux de circulation (ou de leur retrait). L'utilisation des seuls modèles prédictifs ne doit se faire qu'avec circonspection. En premier lieu, si l'on peut combiner les résultats d'un modèle prédictif avec l'efficacité réelle de la sécurité (c.-à-d. l'historique en matière de collisions), on obtient une meilleure estimation en termes de sécurité à long terme d'un réseau. En second lieu, certains aspects des modèles ci-dessus semblent être contre-intuitifs. Par exemple, dans le modèle élaboré pour les intersections contrôlées par un panneau d'arrêt, des contrôles aux accès et la pose d'éclairage semblent être nuisibles à la sécurité (FES 1,55 et 1,17 respectivement). Les vues traditionnelles en la matière ne sont pas en accord avec ces résultats et remettent en question l'utilité de ces équations.

Harwood et coll. (2000)

Harwood et coll. (2000) ont également élaboré des FES pour des carrefours de routes à deux voies en milieu rural. Les modèles sont les suivants :

Intersection contrôlée par un panneau d'arrêt

$$N = \exp(-9,34 + 0,60 \ln \text{DJM}_{\text{principale}} + 0,61 \ln \text{DJM}_{\text{secondaire}} + 0,13 \text{NE})$$

$$- 0,0054\text{OBLIQUE}) \quad [3.9]$$

- où :
- N = nombre annuel de collisions
 - DJM_{principale} = Débit journalier moyen d'une année de la route principale
 - DJM_{secondaire} = Débit journalier moyen d'une année de la route secondaire
 - NE = nombre d'entrées de propriétés sur les embranchements de la route principale dans les 76 mètres de l'intersection
 - OBLIQUE = Angle d'intersection (en degrés) représentant la moitié de l'angle vers la droite moins la moitié de l'angle vers la gauche pour les angles situés entre le tronçon de la route principale dans la direction des repères croissants et des tronçons droite et gauche, respectivement.²

Intersection contrôlée par des feux de circulation

$$N = \exp(-5,46 + 0,60 \ln \text{DJM}_{\text{principale}} + 0,20 \ln \text{DJM}_{\text{secondaire}} - 0,40\text{GP} - 0,018\text{VG} + 0,11\text{V} + 0,026\text{C} + 0,041\text{NE}) \quad [3.10]$$

- où :
- N = nombre annuel de collisions
 - DJM_{principale} = Débit journalier moyen d'une année de la route principale
 - DJM_{secondaire} = Débit journalier moyen d'une année de la route secondaire
 - GP = 0 si le virage à droite n'est pas protégé à partir de la route principale; 1 sinon
 - VG = Proportion de circulation de la route secondaire tournant à gauche au cours des heures de pointe AM et PM combinées (%)
 - V = Taux de pente de toutes les courbes verticales situées dans les 76 mètres de l'intersection des routes principale et secondaire
 - C = Proportion de camions aux heures de pointe AM et PM combinées (%)
 - NE = Nombre d'entrées de propriétés sur les embranchements de la route principale dans une distance de 76 mètres de l'intersection

² Dans la plupart des cas, l'OBLIQUE est calculée en tant que valeur absolue de l'angle d'intersection moins 90 degrés.

La FES à l'égard des intersections contrôlées par un panneau d'arrêt a été élaboré relativement à 324 intersections situées au Minnesota et d'après des données sur les collisions recueillies pendant cinq ans. La FES à l'égard des intersections contrôlées par des feux de circulation a été élaboré à partir de 18 intersections situées en Californie et de 31 intersections situées au Michigan, selon des données sur les collisions recueillies pendant trois ans.

Région de Durham (2001)

La région de Durham, en Ontario, a récemment élaboré des FES à l'égard de ses installations routières et elle en est arrivée aux résultats exposés dans les équations 3.11 à 3.13 et aux paramètres donnés dans les tableaux 3.13 et 3.14, respectivement pour des intersections avec feux et sans feux.

$$N = a \text{ DJMA}_{\text{principale}}^{b1} \text{ DJMA}_{\text{secondaire}}^{b2} \quad [3.11]$$

$$N = a \frac{(\text{DJMA}_{\text{principale}} + \text{DJMA}_{\text{secondaire}})^{b1}}{(\text{DJMA}_{\text{secondaire}} / (\text{DJMA}_{\text{secondaire}} + \text{DJMA}_{\text{principale}}))^{b2}} \quad [3.12]$$

$$N = a (\text{DJMA}_{\text{principale}} + \text{DJMA}_{\text{secondaire}})^{b1} \quad [3.13]$$

où :
 $\text{DJMA}_{\text{principale}} = \text{DJMA total entrant sur la route principale}$
 $\text{DJMA}_{\text{secondaire}} = \text{DJMA total entrant sur la route secondaire}$

Trois différentes équations sont présentées car celles-ci sont les plus appropriées aux données d'analyse.

TABLEAU 3.13 : Région de Durham – Intersections avec feux de circulation

Type	Milieu	Équation	a		b ₁	b ₂
			Mortelles + avec blessures	DMS		
3-Leg	District d'affaires central (DAC)	3.8	7,71E-2	1,44E-1	0,304	0,157
	Banlieue	3.8	8,22E-2	1,39E-1	0,304	0,157
	Zone rurale/Centre rural	3.8	3,47E-2	6,62E-2	0,304	0,157
	Semi-urbain	3.8	7,40E-2	1,81E-1	0,304	0,157
4-Leg	DAC	3.7	1,44E-6	3,24E-6	1,111	0,373
	Banlieue	3.9	7,11E-5	1,57E-4	0,997	-----
	Zone rurale/Centre rural	3.9	1,04E-4	1,62E-4	0,977	-----
	Semi-urbain	3.7	1,26E-6	3,13E-6	1,111	0,373

TABLEAU 3.14 : Région de Durham – Intersections sans feux de circulation

Type	Milieu	Équation	a		b ₁	b ₂
			Mortelles + avec blessures	DMS		
3-Leg	DAC	3.7	3,42E-6	7,98E-6	1,021	0,219
	Banlieue	3.7	6,38E-7	1,56E-6	1,152	0,292
	Rurale/Centre rural	3.7	4,18E-5	9,03E-5	0,598	0,484
	Semi-urbain	3.7	2,31E-6	5,39E-6	1,021	0,219
4-Leg	DAC	3.8	3,17E-3	1,20E-2	0,676	0,450
	Banlieue	3.8	2,30E-3	4,96E-3	0,676	0,450
	Rurale/Centre rural	3.8	3,25E-3	5,16E-3	0,676	0,450
	Semi-urbain	3.8	2,93E-3	6,03E-3	0,676	0,450

Région de Halton (2001)

La région de Halton, en Ontario, a également élaboré des FES pour ses carrefours avec feux et sans feux, subdivisés par gravité. Ces FES peuvent servir à établir des estimations

des incidences sur la sécurité de la signalisation au moyen de comparaisons. Les FES suivent l'équation 3.14 et les paramètres sont évalués dans les tableaux 3.15 et 3.16, respectivement pour les carrefours avec feux et sans feux.

$$N = a \text{ TOTAL}^{b_1} \text{ RATIO}^{b_2} \quad [3.14]$$

où :

$$\text{TOTAL} = \text{DJMA}_{\text{principale}} + \text{DJMA}_{\text{secondaire}}$$

$$\text{RATIO} = \text{DJMA}_{\text{secondaire}} / \text{TOTAL}$$

DJM_{principale} = Débit journalier moyen d'une année provenant de la route principale
 DJMA_{secondaire} = Débit journalier moyen d'une année provenant de la route secondaire

TABLEAU 3.15 : Région de Halton – Intersections avec feux de circulation

Type	Milieux	a		b ₁	b ₂
		Collisions mortelles + avec blessures	DMS		
3 emb.	Tous	7,0E-5	2,5E-4	0,934	0,165
4 emb.	Ville/Banlieue	8,1E-3	2,32E-2	0,591	0,688
	Rural	1,04E-3	3,16E-3	0,581	-0,940

TABLEAU 3.16 : Région de Halton – Intersections sans feux de circulation

Type	Milieux	a		b ₁	b ₂
		Collisions mortelles + avec blessures	DMS		
3 emb.	Tous	2,5E-3	7,32E-3	0,614	0,5253
4 emb.	Tous	7,2E-4	1,64E-3	0,838	0,591

Thomas et Smith (2001)

Thomas et Smith (2001) ont entrepris l'examen des incidences sur la sécurité de la présence de feux de circulation à 16 carrefours situés dans diverses municipalités de l'Iowa. Le processus de sélection des sites n'est pas décrit; la méthodologie de l'étude consiste en une analyse naïve avant-après reposant sur la fréquence et la gravité des collisions. La fréquence des collisions est tirée de données recueillies pendant trois ans avant et trois ans après, catégorisées par gravité et divers types d'impacts. Certaines « aberrations » ont été retirées de l'ensemble de données, étant donné qu'elles biaisaient les résultats. Les résultats sont présentés au tableau 3.17.

TABLEAU 3.17 : FMC relatifs aux feux de circulation (Thomas et Smith)

Type de collision		Moyenne	Nombre de sites	Intervalles de confiance de 90 %	
				Inférieur	Supérieur
Gravité	Mortelle	S/O	0	S/O	S/O
	Grave	0,57	7	1,29	0,00
	Légère	0,92	16	1,42	0,43
	Possible	1,44	13	2,00	0,88
	DMS	0,60	14	0,71	0,48
Type d'impact	Angle droit	0,25	15	0,34	0,16
	Arrière	0,96	12	1,25	0,68
	Virage à gauche	1,27	12	1,82	0,71
	Autre	0,70	15	0,92	0,48
Total		0,73	15	0,93	0,53

Il est évident, d'après les résultats, qu'à un niveau de confiance de 90 %, on peut s'attendre à des avantages en matière de sécurité dans les cas des collisions avec DMS, à angle droit, les autres types et l'ensemble des collisions. Tous les autres types de collisions ont des intervalles de confiance qui chevauchent l'unité (un FMC de chaque côté du « 1 »). Ceci indique que nous ne pouvons tirer de certitude relativement à une influence positive ou négative des feux sur ces types de collisions.

L'analyse n'a pas tenu compte de l'exposition, les données à cet égard n'étant pas facilement accessibles.

Dans la même étude, Thomas et Smith ont également évalué les incidences sur la sécurité en conjonction avec l'ajout de voies de virage à droite. Une méthodologie similaire a servi à évaluer 11 sites. Les résultats sont présentés au tableau 3.18.

TABLEAU 3.18 : FMC relatifs aux feux de circulation avec construction de voies de virage à droite (Thomas et Smith)

Type de collision		Moyenne	Nombre de sites	Intervalles de confiance à 90 %	
				Inférieur	Supérieur
Gravité	Mortelle	0,00	3	S/O	S/O
	Grave	0,00	9	S/O	S/O
	Léger	0,34	8	0,45	0,23
	Possible	0,73	11	1,13	0,34
	DMS	0,94	11	1,32	0,57
Type de choc	Angle droit	0,37	11	0,52	0,22
	Arrière	1,44	11	2,02	0,86
	Virage à gauche	0,65	11	0,00	0,30
	Autre	0,83	11	1,16	0,50
Toutes les collisions		0.80	11	1,12	0,49

Région de Waterloo (2001)

Dans le cadre d'un programme continu, la région de Waterloo, en Ontario, évalue régulièrement le réseau routier afin de relever les sites présentant un risque élevé de collisions de véhicules à moteur et de mettre en œuvre les contremesures appropriées. La région de Waterloo (2001) rapporte qu'elle a remplacé, en 1998, les panneaux d'arrêt de trois emplacements par des feux de circulation. Les résultats sont présentés au tableau 3.19.

TABLEAU 3.19 : Incidences des feux de circulation sur la sécurité à Waterloo, en Ontario

Lieu	Fréquence des collisions		FMC
	Avant	Après	
A	7	5	0,71
B	8	3	0,38
C	9	4	0,44
Moyenne	8	4	0,50

L'analyse effectuée à Waterloo est une étude naïve avant-après de la fréquence des collisions reposant sur les données recueillies pendant un an avant et un an après. En outre, les feux de circulation ont été installés, du moins en partie, parce que ces

emplacements présentait un taux aberrant d'accidents. Les résultats sont très peu fiables en raison de la taille limitée de l'échantillon, ainsi que du défaut de tenir compte de la régression à la moyenne et de l'exposition.

Pernia et coll. (2002)

L'enquête effectuée par la Floride relativement aux incidences des feux de circulation sur la sécurité comprenait l'élaboration de modèles de prédiction des collisions pour 447 intersections qui ont été munies de feux entre 1990 et 1997 (Pernia et coll., 2002). Les modèles visaient les collisions s'étant produites au plus trois ans avant et après la pose des feux et englobaient toutes les collisions survenues dans les 76 mètres (250 pieds) du point d'intersection dans la route principale. Il est reconnu qu'il peut se trouver dans l'ensemble de données un biais dû à la régression à la moyenne; l'analyse n'en a pas tenu compte.

L'équation utilisée dans l'analyse est la suivante :

$$N = \exp(a + C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n) \quad [3.15]$$

où :

- N = nombre annuel de collisions
- a = constante illustrée au tableau 3.16
- X_n = Variables indépendantes illustrées au tableau 3.16
- C_n = (« Valeur » multipliée par le « coefficient ») d'après le tableau 3.16

Les variables de prédiction, qui ont été sélectionnées en fonction de la disponibilité des données et de certaines considérations techniques, sont les suivantes : le débit de la circulation, l'utilisation du terrain, l'emplacement (c.-à-d. commercial ou autre), le nombre de voies, la vitesse limite affichée, la présence d'un terre-plein et le type d'accotement. Des FES ont été élaborés pour toutes les collisions : à angle, arrière, aux virages à gauche et autres. Les résultats de l'analyse de toutes les circonstances entourant les collisions analysées sont présentés au tableau 3.20.

Ces FES peuvent servir à établir des estimations des incidences des feux de circulation sur la sécurité aux intersections, en fonction de caractéristiques choisies. Cependant, en sélectionnant les intersections qui ont été munies de feux dans le cadre de mesures régulières, l'applicabilité des modèles est limitée aux intersections « justifiant » la pose de feux.

TABLEAU 3.20 : Estimation des paramètres pour les FES en Floride (toutes collisions)

Variable	Catégorie	Valeur	Sans feux		Avec feux	
			Coefficient	FMC	Coefficient	FMC
Alpha			0,6827		0,5718	
DJM	< 15k	0	0,2777	1,32	0,4868	1,63
	15k - 30k	1				
	> 30k	2				
Utilisation du terrain	Urbain	1	0,1193	1,13	0,0949	1,10
	Rural	0				
Lieu	Commercial	1	0,1705	1,19	0,1728	1,19
	Autre	0				
Nombre de voies*	> 4	1	0,2614	1,30	0,2654	1,30
	≤ 4	0				
Vitesse affichée*	> 45 mi/h	1	-0,1695	0,84	NS ⁺	NS ⁺
	≤ 45 mi/h	0				
Terre-plein*	Oui	1	0,2752	1,32	0,1845	1,20
	Non	0				
Aménagement de l'accotement	Pavé	1	-0,1679	0,85	-0,1102	0,90
	Autre	0				

* - sur la route principale

+ - Non significatif au niveau de 80 %

Lyon et Persaud (2002)

Dans une étude visant à élaborer des FES relatifs à des accidents avec piétons aux intersections, Lyon et Persaud (2002) ont utilisé des données recueillies pendant 11 ans à des sites à trois embranchements avec feux/sans feux de circulation situés à Toronto, en Ontario. Les caractéristiques des intersections sont présentées au tableau 3.21.

TABLEAU 3.21 : Caractéristiques des intersections utilisées dans l'élaboration de FES relatifs aux piétons

Site	Nombre de sites	Accidents en 11 ans		DJMA entrant		Circulation de piétons (8 heures)	
		Moyenne	Fourchette	Moyenne	Fourchette	Moyenne	Fourchette

Feux de circulation	263	4,05	0 - 33	29 285	2 451-64 684	1 342	47 – 9 811
Sans feux	122	1,30	0 – 10	30 099	9 352-54 046	432	48 – 3 131

Les FES qui donnent les résultats optimaux suivent l'équation 3.16 ci-dessous et leurs estimations des paramètres figurent au tableau 3.22.

$$N = \ln(a) DJMA^b PIE^c (D_G/DJMA)^d \quad [3.16]$$

où :
 DJMA = Débit total entrant (véhicules/jour)
 PIE = Compte des piétons pendant 8 heures
 V_G = Débit de circulation totale tournant à gauche (véhicules/jour)
 a, b, c, d = paramètres exposés au tableau 3.19

TABLEAU 3.22 : Paramètres des FES pour les accidents avec piétons aux intersections

Type d'intersection	Paramètre				Facteur de surdispersion (k)
	a	b	c	d	
Feux de circulation	-8,18	0,399	0,412	2,841	1,7
Panneau d'arrêt	-9,82	---	0,662	0,531	3,7

Arrêt toutes directions

Lovell et Hauer (1986)

Lovell et Hauer (1986) ont effectué l'analyse la plus exhaustive sur les incidences sur la sécurité du remplacement de panneaux d'arrêt double directions par des panneaux d'arrêt toutes directions. Bien que la recherche ne soit pas très récente, elle demeure la meilleure tentative à ce jour de déterminer l'efficacité du contrôle de la circulation par des panneaux d'arrêt toutes directions. L'étude comprenait un nouveau traitement de données provenant de San Francisco, de Philadelphie, du Michigan et de Toronto au moyen d'une

analyse avant-après et de fonctions de probabilité visant à contrôler la régression à la moyenne.

Les données provenaient principalement d'intersections en milieu urbain, bien que les données du Michigan aient été recueillies dans des milieux ruraux. Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 3.23. Les résultats globaux montrent des avantages notables pour tous les types de collisions.

TABLEAU 3.23 : FMC relatifs à la conversion à des arrêts toutes directions

Type de collision	SF	Philadelphie	Michigan	Toronto	Résultats combinés
Nombre de sites	49	222	10	79	360
Angle droit	0,16	0,22	0,36	0,52	0,28
Arrière	3,05	0,80	0,81	0,78	0,87
Virage à gauche	0,67	---	1,07	0,75	0,80
Piéton	0,34	0,60	---	0,58	0,61
Objet fixe	---	1,30	---	---	---
Avec blessures	0,26	0,26	0,38	0,37	0,29
Total	0,38	0,53	0,41	0,63	0,53

Laplante et Kropidowski (1992)

Laplante et Kropidowski (1992) ont étudié les incidences sur la sécurité des arrêts toutes directions utilisés pour le contrôle de la circulation des routes de dégagement à Chicago. Ils ont examiné trente intersections, dont 16 respectaient toutes les conditions justifiant l'installation de panneaux d'arrêt toutes directions, ce qui n'était pas le cas des autres sites. Le débit de circulation sur les artères se situait entre 3 000 et 23 000 véhicules par jour. Les routes secondaires étaient des rues locales accueillant un débit journalier de moins de 3 000 véhicules.

La méthodologie utilisée consiste en une étude naïve avant-après de la fréquence des collisions reposant sur des données recueillies pendant trois ans avant et trois ans après. En outre, les chercheurs ont réuni des données pendant trois années supplémentaires, dix ans après la pose initiale des panneaux, afin de déterminer si les incidences sur la sécurité avaient varié au fil du temps. Les résultats sont présentés au tableau 3.24.

TABLEAU 3.24 : FMC relatifs au contrôle par arrêts toutes directions à Chicago

Types d'Arrêts toutes directions	Nombre de sites	Type de collision	Fréquence des collisions (collisions/année)			FMC	
			Avant	Après	10 ans après	Immédiat	10 ans
Justifié	16	Toutes	11,0	4,6	3,2	0,42	0,29
		Angle	6,8	1,5	1,4	0,22	0,21
Non justifié	14	Toutes	3,4	4,2	2,2	1,24	0,65
		Angle	1,4	0,8	0,8	0,57	0,57
Non justifié DJM < 12 000	3	Toutes	3,2	1,4	0,8	0,44	0,25
		Angle	1,0	0,5	0,3	0,50	0,30
Non justifié DJM > 12 000	3	Toutes	4,1	10,8	7,0	2,63	1,71
		Angle	1,7	2,2	2,2	1,29	1,29

Les résultats de l'étude de Laplante et Kropidlowski indiquent que lorsque le contrôle de la circulation par des arrêts toutes directions est justifié, cela réduit de façon efficace les collisions à angle et l'ensemble des collisions. Les arrêts toutes directions non justifiés comportent certains avantages en matière de sécurité (à court et à long terme).

Cependant, les chercheurs ont découvert, en approfondissant leurs travaux, que les arrêts toutes directions non justifiés présentaient surtout des avantages en matière de sécurité aux sites où le débit de circulation était inférieur à 12 000 véhicules par jour. Sur les artères comportant un débit de circulation plus élevé, les arrêts toutes directions non justifiés ont entraîné une augmentation des collisions à angle et du total des collisions.

L'étude ne fait pas mention de la méthodologie utilisée pour sélectionner les sites. Néanmoins, les données paraissent indiquer un biais dû à la régression à la moyenne. Les arrêts toutes directions justifiés entraînent une fréquence moyenne de collisions plus de trois fois supérieure à celle des sites ne justifiant pas la pose d'un tel dispositif de contrôle. En outre, la taille relativement petite des échantillons et l'absence de contrevérifications statistiques remettent en question la fiabilité des résultats.

Harwood et coll. (2000)

Harwood et coll. (2000) ont eu recours à un comité d'experts afin d'étudier l'information disponible sur les panneaux d'arrêts toutes directions installés en milieu rural, à des intersections de routes à deux voies et ils ont fixé à 0,53 le FMC découlant du remplacement des panneaux d'arrêt par des arrêts toutes directions sur les routes

secondaires. Les auteurs précisent que cet impressionnant FMC ne peut s'appliquer qu'aux intersections qui justifient entièrement ou presque l'utilisation des arrêts toutes directions. Ce FMC est identique à celui élaboré par Lovell et Hauer dans leur étude menée en 1986; il est fort probable que Harwood et coll. avaient tenu compte de cette étude comme de la meilleure documentation disponible et qu'ils ont décidé d'en utiliser directement les résultats.

Contrôle des intersections de réseaux

Main (1984)

Main (1984) a étudié la sécurité des intersections sans feux de circulation d'un réseau de routes locales et collectrices situées en milieu résidentiel. Aux fins de la gestion de la circulation et du développement d'un modèle régulier de contrôle de la circulation dans la partie la plus ancienne de sa zone urbaine, dont les rues forment un grille, la ville de Hamilton a réglé et mis en place un ensemble de panneaux d'arrêt. Les principes de base de ce modèle sont les suivants :

- toutes les intersections comprenant quatre accès doivent être contrôlées par un panneau d'arrêt;
- les automobilistes doivent s'arrêter à tous les deux pôtés de maisons à l'intérieure de la « grille » formée des routes locales et collectrices.

Les modifications au réseau ont été réduites au minimum par le respect, dans la mesure du possible, du modèle existant de contrôle par panneaux d'arrêt. Il était permis de déroger à la directive relative aux deux pôtés de maisons en cas de champ de vision obstrué ou d'autres conditions justifiant un changement. Dans le cadre du programme, certaines intersections contrôlées par un panneau « Cédez » ont été munies d'un panneau d'arrêt.

L'étude s'est étendue à neuf zones résidentielles dans lesquelles la stratégie de contrôle par panneaux d'arrêt a été appliquée. La méthodologie de l'étude repose sur une analyse naïve avant-après de la fréquence des collisions. L'analyse a porté sur les données recueillies pendant trois années avant et trois années après et les résultats montrent un FMC impressionnant de 0,76 (voir le tableau 3.25).

TABLEAU 3.25 : FMC pour des modèles réguliers de contrôle au moyen de panneaux d'arrêt

Lieu	Collisions		Change- ment	FMC
	Avant	Après		
1	155	91	-41,3	0,59
2	200	183	-8,5	0,91
3	198	129	-34,8	0,65
4	93	74	-20,4	0,80
5	57	62	+8,8	1,09
6	44	26	-40,9	0,59
7	27	26	-3,7	0,96
8	21	23	+9,5	1,10
9	26	12	-53,8	0,46
Total	821	626	-23,8	0,76

Cette analyse a pour principale lacune de ne pas tenir compte de l'exposition. Le modèle régulier de panneaux d'arrêts a été sans conteste mis en place à titre d'outil de gestion de la circulation. L'un des avantages recherchés consistait à réduire le débit de circulation en détournant le trafic de passage vers le réseau d'artères périphériques. Si cette façon de faire est efficace, il s'ensuivrait une baisse de la fréquence des collisions. L'information contenue dans la documentation ne permet pas de conclure avec certitude que le risque de collisions a diminué à la suite de ces mesures.

Laplante et Kropidowski (1992)

Dans une étude similaire, Laplante et Kropidowski (1992) ont examiné les incidences sur la sécurité d'un modèle régulier de panneaux d'arrêt disposés à neuf intersections de la banlieue de Chicago où le débit de circulation était faible. Aucune des intersections ne répondait aux normes des États-Unis sur l'installation d'un système de contrôle par panneaux d'arrêt. Ces intersections étaient donc non contrôlées et elles ont été converties en intersections contrôlées par panneaux d'arrêt dans deux directions. Encore une fois, la disposition des panneaux d'arrêt était telle qu'elle ne permettait pas à un automobiliste de rouler plus de deux pâtés de maisons sans devoir s'arrêter.

La méthodologie reposait sur une étude naïve avant-après de la fréquence des collisions. L'analyse a utilisé les données sur les collisions recueillies au cours de trois années avant et de trois années après. La fréquence moyenne des collisions a diminué de 21,3 collisions/intersection/année à 2,6 collisions/intersection/année (FMC = 0,12). Les mesures prises ont présenté des avantages en matière de sécurité malgré une augmentation moyenne de 11 % des débits de circulation dans la zone à l'étude. Les

chercheurs ont examiné de nouveau la fréquence des collisions 13 ans après la pose des panneaux d'arrêt et ont découvert une augmentation de la fréquence des collisions de 3,3 collisions/intersection/année (FMC = 0,15). Ils n'ont cependant pas pris note des débits de circulation à ce moment.

Laplante et Kropidlowski étaient également préoccupés par un déplacement des collisions aux routes en périphérie du secteur à l'étude. Un examen de la fréquence des collisions survenues aux 10 intersections munies de panneaux d'arrêt dans les quatre routes périphériques (routes de dégagement ou routes collectrices) a révélé une diminution de 27,9 collisions/intersection/année à 19,7 collisions. Une fois encore, il n'est fait mention d'aucune donnée relative aux changements dans le débit de la circulation. Cependant, les analystes notent que le nombre total de collisions à Chicago a augmenté au cours de la période à l'étude.

Les résultats de l'étude de Laplante et Kropidlowski sont douteux si l'on considère un éventuel biais dû à la régression à la moyenne. La méthode de sélection des sites n'est pas expliquée dans la documentation. Cependant, une fréquence de collisions de 21,3 collisions/année à une intersection à faible débit de circulation constitue certainement un résultat anormalement élevé. Il semblerait que ces intersections ont été sélectionnées en fonction d'une fréquence de collisions élevée. En outre, la taille de l'échantillon (neuf intersections) est très petit et le manque d'analyse statistique ne permet pas d'offrir au lecteur de l'information sur la variabilité des résultats.

Signaux lumineux de contrôle d'intersection

Pant et coll. (1999)

Pant et coll. ont entrepris une étude transversale avant-après portant sur six intersections contrôlées par panneaux d'arrêt et sept intersections contrôlées à la fois par des panneaux d'arrêt et des feux clignotants. Il s'agissait d'intersections en milieu rural, en Ohio. Les sites à l'étude ont été choisis en raison de la disponibilité de données exhaustives sur la circulation et les collisions, données recueillies pendant quatre ans et assujetties aux critères géométriques suivants :

- l'angle de l'intersection était d'environ 90 degrés;
- tous les embranchements comportaient une voie d'accès unique;
- toutes les intersections étaient situées en milieu rural et n'étaient pas entourées de lotissements importants;
- la vitesse limite affichée était de 55 mi/h dans la direction principale.

Les chercheurs se demandaient si les intersections avaient été munies de feux clignotants en raison d'un taux anormalement élevé de collisions.

Les résultats de cette analyse transversale sont présentés au tableau 3.26.

TABLEAU 3.26 : Taux de collisions moyen à des intersections contrôlées par un panneau d'arrêt et par un arrêt et un feu clignotant

Intersection	Nombre de sites	Distance de visibilité	Taux de collisions (collisions/10 000 véhicules)			
			Mortelles	Avec blessures	DMS	Angle droit
Panneau d'arrêt + feu clignotant	3	Adéquate	0,43	3,71	3,00	3,86
Arrêt	4		0,48	3,25	2,67	4,05
Panneau d'arrêt + feu clignotant	4	Inadéquate	0,21	4,46	3,41	6,37
Arrêt	2		0,43	3,79	3,79	3,99

Les données sont insuffisantes; il est donc impossible de tirer des conclusions définitives. Néanmoins, il semble que l'ajout de feux clignotants, à des intersections rurales contrôlées par un panneau d'arrêt, contribue de fait à une augmentation du taux global de collisions totales et du taux de collisions avec blessures.

Une évaluation naïve avant-après des sept intersections contrôlées par un panneau d'arrêt et un feu clignotant a été effectuée au moyen des données avant et après portant sur trois ans. Aucune différence importante n'est apparue entre les fréquences des collisions avant et après (niveau de confiance de 95 %).

Conception et exploitation des dispositifs de signalisation routière

Tople (1998)

Tople (1998) a inclus, dans une évaluation de l'élimination des dangers et des projets

relatifs à la sécurité, une étude des avantages en matière de sécurité qui découlaient de l'amélioration de la signalisation routière à cinq sites situés au Dakota du Sud. Il n'est pas fait mention du type d'intervention effectué. L'évaluation était une étude naïve avant-après de la fréquence et de la gravité des collisions. Les incidences sur la gravité des collisions ont été déterminées au moyen de la comparaison de collisions similaires ne comportant que des dommages matériels, comparaison effectuée au moyen d'une conversion monétaire jugée appropriée par l'équipe d'enquête. L'analyse a utilisé les données sur les collisions recueillies au cours de trois années avant et de trois années après. Il n'est pas fait mention de dépouillement statistique.

Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 3.27.

L'analyse de Tople présente de nombre de failles potentiellement sérieuses. La plus importante réside dans le fait que les sites ont été choisis afin d'être traités dans le cadre d'un programme de sécurité. Cela signifie que le taux de collisions y était vraisemblablement anormalement élevé et qu'une régression aux artéfacts moyens est très fort probable. Cette lacune est en quelque sorte neutralisée par l'omission de tenir compte des changements relatifs à l'exposition. Les débits de circulation n'ont pas été pris en compte, mais ils tendent naturellement à augmenter, ce qui entraînerait un compte plus élevé de collisions « après ». Finalement, les résultats de l'étude au Dakota du Sud reposent sur un nombre limité de sites et sur des analyses médiocres.

TABLEAU 3.27 : Incidences de l'amélioration de la signalisation sur la sécurité au Dakota du Sud

Type d'amélioration	Nombre de sites	Étendue du DJMA	Collisions			Collisions avec DMSS*		
			Avant	Après	FMC	Avant	Après	FMC
Amélioration de la signalisation	6	5 085 – 28 200	272	180	0,66	4 673	2 635,5	0,56

* Les collisions avec DMSS ont été calculées de la façon suivante :

$$(1300*M)+(90*I)+(18*N)+(9.5*P)+DMS$$

où : M = collision mortelle
 I = collision avec blessure invalidante
 N = collision avec blessure non invalidante
 P = collision avec blessure possible
 DMS = collision avec dommages matériels seulement

Transport Research Laboratory (2000)

Le TRL (2000) du Royaume-Uni a recueilli de l'information sur les incidences en matière de sécurité des modifications de la signalisation, information tirée de la base de données MOLASSES (voir la partie portant sur la « Signalisation » pour obtenir de plus amples renseignements sur la base MOLASSES). La définition de « modification de la signalisation » n'étant pas donnée, les résultats sont donc généralisés et ne peuvent servir qu'à donner une idée superficielle de l'ampleur possible des améliorations en matière de sécurité. Les résultats sont présentés au tableau 3.28.

TABLEAU 3.28 : Incidences de la modification de la signalisation sur la sécurité au Royaume-Uni

Milieu	Nombre de sites	Nombre de collisions		FMC
		Avant	Après	
Urbain	80	1 130	697	0,62
Rural	10	135	66	0,49

Perception des feux

Cottrell (1995)

Cottrell (1995) a évalué l'utilisation d'un feu stroboscopique blanc en plus du feu rouge, à six sites dotés de feux de circulation et situés en Virginie. Le feu stroboscopique, une barre horizontale, était placé au centre de la lentille rouge de chacun des feux de circulation. L'analyse naïve avant-après de la fréquence des collisions a porté sur les données relatives aux collisions de trois années avant et de trois années après.

Les caractéristiques des intersections à l'étude sont présentées au tableau 3.29. Les résultats de l'analyse des collisions sont présentés au tableau 3.30.

TABLEAU 3.29 : Caractéristiques des sites à l'étude aux fins de l'ajout d'un feu stroboscopique intégré au feu rouge

Site	Nombre de feux stroboscopiques /accès	Nombre d'accès	Route principale		Route secondaire	
			Vitesse limite (mi/h)	DJM	Vitesse limite (mi/h)	DJM
1	1	4	45	11 000	45	6 300
2	1	4	55	21 000	55	11 000
3	2	4	40	9 000	40	4 400
4	2	3	45	14 200	45	1 100

5	2	4	55	9 400	45	2 500
6	1	4	45	11 000	45	2 400

TABLEAU 3.30 : Résultats des collisions survenues à des carrefours où un feu stroboscopique a été intégré au feu rouge

Site	Arrière			À angle			Total		
	Avant	Après	FMC	Avant	Après	FMC	Avant	Après	FMC
1	4	4	1,00	13	8	0,62	19	20	0,95
2	2	7	3,50	1	5	5,00	3	15	5,00
3	4	4	1,00	8	3	0,37	13	7	0,54
4	6	6	1,00	4	1	0,25	12	9	0,75
5	0	0	1,00	1	1	1,00	2	2	1,00
6	3	6	2,00	12	15	1,25	15	28	1,87
Tous	19	27	1,42	39	33	0,85	64	81	1,27

Bien que les résultats de l'analyse indiquent que les feux stroboscopiques peuvent être nuisibles à la sécurité globale d'une intersection, plusieurs lacunes dans la conception de l'étude nous empêchent d'en tirer des conclusions substantielles. En premier lieu, les sites n'ont pas été choisis au hasard et il semble y avoir un effet probable de régression à la moyenne qui pourrait suggérer que les feux stroboscopiques étaient en fait plus nuisibles que ce que les résultats indiquent. En second lieu, l'absence d'un groupe témoin signifie que l'on n'a pas tenu compte d'autres facteurs qui auraient pu avoir une influence sur la fréquence des collisions. En troisième lieu, on n'a pas tenu compte de l'exposition et des débits de circulation plus importants auraient certainement provoqué une augmentation de la fréquence des collisions. Enfin, les feux stroboscopiques ne peuvent avoir un effet sur l'occurrence de collisions que lorsqu'ils sont en fonction (c.-à-d. pendant la phase rouge du feu). Une révision de toutes les collisions, y compris celles s'étant produites lorsque le feu était vert, affecterait les résultats.

Sayed et coll. (1998)

Sayed et coll. (1998) ont effectué des recherches sur les incidences en matière de sécurité d'une configuration modifiée des feux de circulation à dix intersections situées en Colombie-Britannique. Les feux de circulation standard existants sont composés des traditionnels signaux rouges, jaunes et verts, disposés verticalement et dont les lentilles mesurent respectivement de 300 mm, 200 mm et 200 mm, lentilles qui sont encastrées dans un panneau vertico-rectangulaire jaune. La modification des feux consistait à porter la taille des lentilles jaunes et vertes à 300 mm chacune et d'entourer le panneau jaune

d'une bordure réfléchissante de 50 mm.

Les intersections à l'étude étaient composées de quatre embranchements et de voies de dégagement vers la gauche et chaque accès comportait trois ou quatre voies. Les feux primaires étaient montés sur crosse, alors que les feux secondaires étaient montés sur poteau. La visibilité était considérée adéquate à l'égard de la vitesse limite affichée et les intersections se trouvaient en milieu urbain, dans des secteurs commerciaux/de commerce au détail.

Il s'agissait d'une étude avant-après, avec groupe témoin, reposant sur les techniques empiriques bayésiennes afin de tenir compte de la régression à la moyenne. La fréquence et la gravité des collisions servaient de mesure de l'efficacité, et les données disponibles couvraient un an avant et deux ans après. Les résultats sont présentés au tableau 3.31.

TABLEAU 3.31 : Incidences d'une conception alternative des feux sur la sécurité en Colombie-Britannique

Site	FMC	
	Toutes les collisions	Mortelles + avec blessures
1	0,57	0,74
2	0,55	0,68
3	0,66	0,89
4	0,90	0,88
5	0,59	0,54
6	1,10	1,29
7	1,29	1,77
8	0,58	0,90
9	1,05	0,89
10	0,62	0,46
Moyenne	0,79	0,91

Association des transports du Canada (2001)

La deuxième étape de cette étude (ATC, 2001) comprenait une enquête sur les incidences en matière de sécurité du ruban rétro réfléchissant jaune « diamond-gradeTM »* apposé sur des panneaux entourant des feux de circulation. Le ruban a été apposé sur le rebord extérieur du panneau et avait une largeur de 75 mm. Six intersections en Colombie-Britannique ont été munies de ces nouveaux ensembles de feux et ont fait l'objet d'une

* Diamond-grade est une marque de commerce de la compagnie 3M.

étude s'étalant sur une période d'un an avant et de trois ans après. L'analyse relative à la sécurité n'a porté que sur les collisions survenant de nuit. Les résultats sont présentés au tableau 3.32.

TABLEAU 3.32 : Fréquence des collisions de nuit aux intersections dotées de feux modifiés en C.-B.

Type de collision	Avant	Après		
		Année 1	Année 2	Année 3
Angle	1	3	0	1
Virage à gauche	3	1	1	0
Angle droit	1	1	0	0
Arrière	7	2	3	0
Dépassement	0	1	0	0
Sortie de route	0	1	1	1
Inconnu	2	5	0	1
Total	14	14	5	3

Les débits de circulation n'ont pas été utilisés dans l'analyse, mais ils avaient augmenté en moyenne de 2 % par année. Selon les chercheurs, la taille de l'échantillon est petite et la méthodologie de l'analyse est douteuse. Il semble néanmoins que ces mesures aient des avantages dans l'ensemble, en particulier dans la réduction des collisions arrière.

Région de Waterloo (2001)

Dans le cadre d'un programme continu, la Région de Waterloo, en Ontario, évalue régulièrement le réseau routier afin de relever les sites présentant un risque élevé de collisions de véhicules à moteur et de mettre en œuvre des contremesures appropriées. La Région de Waterloo (2001) rapporte qu'en 1998 elle a muni deux emplacements de nouveaux feux de circulation et qu'elle a modifié le chronométrage des signaux afin d'améliorer la sécurité. Les résultats sont présentés au tableau 3.33.

TABLEAU 3.33 : Incidences de nouveaux feux de circulation sur la sécurité à Waterloo, en Ontario

Lieu	Fréquence des collisions		FMC
	Avant	Après	
A*	24	12	0,50
B	34	13	0,38
Moyenne	29	12.5	0,43

* - Le site A a également été modifié par l'ajout d'une voie de virage à droite dans l'un des accès.

L'analyse effectuée à Waterloo est une étude naïve avant-après de la fréquence des collisions et elle repose sur des données recueillies pendant un an avant et un an après. Il est impossible de distinguer les incidences qui pourraient être attribuables aux nouveaux feux de circulation des effets qui pourraient provenir du chronométrage modifié des signaux. En outre, les changements ont été effectués, du moins en partie, parce que ces emplacements présentaient un taux aberrant d'accidents. Les résultats sont très peu fiables en raison de la taille limitée de l'échantillon, ainsi que de l'omission de tenir compte de la régression à la moyenne et de l'exposition.

Positionnement des têtes de feux de circulation

Bhesania (1991)

Bhesania (1991) a examiné les incidences sur la sécurité du remplacement de feux de circulation montés sur poteau par des feux montés sur crosse et ce, à cinq sites situés à Kansas City, au Missouri. L'intervention comprenait également l'ajout d'un intervalle d'une seconde de rouge intégral à la séquence des feux, dans les deux directions. Le mode de sélection des sites aux fins de l'analyse n'est pas précisé. Il s'agit d'une analyse naïve avant-après reposant sur la fréquence des collisions survenues au cours de périodes de 12 mois, avant et après. L'auteur note que les débits de circulation des intersections « demeuraient assez constants » au cours des périodes avant et après et qu'aucune autre mesure n'a été mise en place.

Les résultats de l'analyse de Bhesania sont présentés au tableau 3.34. Il est impossible de distinguer les incidences du changement de position des têtes des feux de circulation des effets de la seconde supplémentaire de rouge intégral. Les effets combinés donnent un FMC d'environ 0,75.

TABLEAU 3.34 : Incidences de la position des têtes des feux de circulation sur la sécurité à Kansas City

Type de collision	Fréquence des collisions		FMC
	Avant	Après	
Angle droit	65	24	0,37
Arrière	37	30	0,81
Virage à gauche	37	50	1,35
Autre	22	16	0,73
Total	161	120	0,75

Thomas et Smith (2001)

Thomas et Smith (2001) ont entrepris l'examen des incidences sur la sécurité du remplacement de feux montés sur socle par des feux montés sur crose, à 33 intersections situées en Iowa. Le processus de sélection des sites n'est pas décrit; la méthodologie de l'étude consiste en une analyse naïve avant-après reposant sur la fréquence et la gravité des collisions. La fréquence des collisions est dérivée de données recueillies pendant trois ans avant et trois ans après, catégorisées par gravité et divers types d'impacts. Les résultats sont présentés au tableau 3.35, certaines aberrations ayant été retirées de l'ensemble des données.

Les résultats indiquent qu'en dessous d'un niveau de confiance de 90 %, on peut s'attendre à des avantages en matière de sécurité pour l'ensemble des collisions.

TABLEAU 3.35 : FMC relatifs au remplacement de feux de circulation montés sur socle par des feux montés sur crose (Thomas et Smith)

Type de collision		Moyenne	Nombre de sites	Intervalles de confiance de 90 %	
				Inférieur	Supérieur
Gravité	Mortel	0,00	1	S/O	S/O
	Grave	0,53	17	0,84	0,23
	Léger	0,87	30	1,11	0,62
	Possible	1,12	31	1,41	0,84
	DMS	0,60	32	0,68	0,52
Type d'impact	Angle droit	0,28	31	0,35	0,21
	Arrière	1,20	32	1,51	0,90
	Virage à gauche	1,02	24	1,23	0,81

	Autre	0,73	31	0,82	0,64
Total		0.64	31	0,72	0,57

Ajout d'un ensemble de feux primaires

Hamilton Associates (1998)

Hamilton Associates (1998) ont entrepris une évaluation des incidences sur la sécurité de l'ajout d'une seconde tête de feux de circulation primaires à des intersections situées dans le secteur méridional continental de la Colombie-Britannique. Ces nouveaux feux étaient placés à l'extrême droite des intersections et se distinguaient des ensembles de feux tertiaires du fait qu'ils étaient situés au-dessus de l'intersection. La méthodologie repose sur une étude transversale des taux de collisions et sur une étude avant-après utilisant les techniques empiriques bayésiennes.

L'étude transversale a comparé les taux de collisions enregistrés à 63 intersections qui présentaient les caractéristiques suivantes :

- Zone urbaine;
- Carrefour à quatre accès;
- Au moins deux voies par accès.

Les accès de quarante-huit des intersections à l'étude étaient contrôlés par un ensemble de feux primaires et ceux des 15 autres intersections étudiées comportaient deux ensembles de feux. Les taux de collisions ont été calculés au moyen des données disponibles sur les accidents, les périodes moyennes étaient de 3,8 années pour les intersections avec un ensemble de feux primaires et de 2,6 années pour les intersections munies de deux ensembles de feux primaires. Les résultats de l'analyse transversale sont présentés au tableau 3.36.

Les différences dans le taux de collisions total et le taux de collisions avec DMS pour les deux types d'intersections sont statistiquement significatives à un niveau de confiance de 90 %.

TABLEAU 3.36 : Incidences sur la sécurité de l'ajout d'un ensemble de feux primaires

Type d'intersec- tion	Fréquence des collisions (collisions/ année)	Taux de collisions (VMB)		
		Total	Mortelles & avec blessures	DMS
Un ensemble de feux primaires	23,1	1,30	0,44	0,86
Deux ensembles de feux primaires	19,7	1,02	0,40	0,62
FMC		0,78	0,91	0,72

L'analyse avant-après a porté sur huit intersections situées à Richmond, en Colombie-Britannique, lesquelles ont été munies d'ensembles de feux primaires supplémentaires 30/20/20. L'étude touche des périodes avant et après d'un ou deux ans, selon la date de l'installation et la disponibilité des données. Les chercheurs ont eu recours aux techniques empiriques bayésiennes et aux méthodes multivariantes de Bayes (MVB) afin d'évaluer les incidences du deuxième ensemble de feux primaires. Les résultats sont présentés au tableau 3.37.

TABLEAU 3.37 : FMC relatifs à l'ajout d'un ensemble de feux primaires

Méthode statistique	FMC		
	Total des collisions	Collisions mortelles & avec blessures	Collisions avec DMS
Empirique bayésienne	0,78	0,79	0,64
Empirique bayésienne multivariante	0,72	0,83	0,69

Les résultats des études avant-après et transversales sont constants et indiquent une réduction vraisemblable du total des collisions de 20 à 30 % ainsi que une réduction des accidents corporels de 10 à 20 %.

Taille des lentilles

Polanis (1998)

Polanis (1998) a examiné les incidences sur la sécurité du remplacement de lentilles de feux de circulation de huit pouces par des lentilles de 12 pouces, à 38 intersections situées à Winston Salem, en Caroline du Nord. Aucun de ces sites ne justifiait de plus grandes lentilles, en vertu des prescriptions du Manuel de signalisation routière des États-Unis (MUTCD). Les sites ont été sélectionnés à la lumière de certaines caractéristiques des collisions qui se prêtaient à l'adoption de mesures correctrices. Il s'agit d'une analyse naïve avant-après reposant sur la fréquence des collisions et ne tenant pas compte de l'exposition.

Il y est indiqué que 11 des 38 sites ont subi de multiples interventions et que l'on ne peut donc attribuer un éventuel effet en matière de sécurité aux seules lentilles des feux de circulation. Les résultats de l'analyse de Polanis, exclusion faite des sites ayant subi de multiples interventions, sont présentés au tableau 3.38.

TABLEAU 3.38 : Incidences des lentilles de 12 pouces sur la sécurité

Site	Collisions cibles			Total des collisions		
	Avant	Après	Change-ment*	Avant	Après	Change-ment*
1	4	0	-100	11	7	-35
2	14	1	-93	31	13	-58
3	20	2	-92	43	25	-53
4	8	1	-87	48	35	-22
5	12	2	-83	33	20	-39
6	10	2	-80	24	9	-63
7	15	3	-80	43	38	-12
8	8	2	-75	24	20	-17
9	17	4	-74	30	21	-21
10	4	1	-71	14	21	+71
11	11	4	-58	28	12	-51
12	12	5	-58	12	6	-50
13	9	3	-57	35	23	-15
14	15	7	-53	49	38	-22
15	15	8	-47	29	38	+31
16	14	8	-45	40	33	-21
17	16	9	-44	26	23	-12
18	12	7	-42	26	13	-50
19	17	12	-31	28	25	-13
20	11	8	-27	15	17	+13
21	8	6	-25	20	13	-35
22	10	8	-20	19	18	-5
23	9	8	-11	23	23	0
24	25	23	-8	41	52	+27
25	14	13	-7	22	22	0
26	8	9	+13	13	14	+8
27	8	13	+63	23	27	+17

* Le changement repose sur le nombre de collisions par mois, en raison résultant de l'inégalité des périodes avant et après.

La réduction moyenne dans les collisions cibles (à angle) est de 48 %, soit un FMC de 0,52; la réduction moyenne dans toutes les collisions est de 16 %, soit un FMC de 0,84. L'analyse n'a pas tenu compte de l'exposition. Dans l'hypothèse où les débits de circulation sont restés constants ou ont augmenté (ce qui semble être le cas), les FMC sont prudents. Cependant, on ne peut déterminer si le processus de sélection des sites a

introduit un biais dans les résultats de l'étude.

Feux clignotants de présignalisation

Gibby et coll. (1992)

Gibby et coll. (1992) ont effectué en Californie des recherches sur les caractéristiques de 40 carrefours isolés, munis de feux de circulation et formés d'accès à circulation rapide. Cette analyse comprenait l'évaluation des panneaux avancés de signalisation et des feux clignotants de présignalisation dont étaient pourvues ces intersections. L'étude a porté sur des données d'accidents recueillies pendant dix ans et sur des sites choisis parmi les intersections les plus et les moins sécuritaires du réseau autoroutier de l'état de la Californie. Les résultats de l'analyse de Gibby et coll. sont applicables aux intersections se trouvant en milieu rural et comportant au moins un accès muni d'un panneau de limite de vitesse de 50 mi/h ou plus ainsi qu'un accès intersectant une route principale de l'État.

Les feux clignotants de présignalisation (FCP) étaient classifiés comme des panneaux avancés de signalisation (PAS) avec feu clignotant ambre de 300 mm. La différence dans les taux de collisions moyens aux différents endroits a été analysée, et les résultats sont donnés au tableau 3.39.

TABLEAU 3.39 : Taux de collisions aux carrefours munis de FCP et de PAS en Californie

Intervention	Nombre d'accès	Taux moyen de collisions par accès	Écart type
Aucune	14	0,84	0,48
PAS	85	2,83	3,10
FCP	77	1,13	1,14
FCP + PAS	14	1,57	1,17

Les résultats de l'analyse indiquent que l'installation de feux clignotants de présignalisation et de panneaux avancés de signalisation à des intersections de routes à circulation rapide, isolées et munies de feux, contribue à une augmentation des taux de collisions. La conclusion semble contre-intuitive et probablement douteuse en raison de deux (principales) lacunes dans la conception de l'étude.

- *L'étude repose sur la méthodologie transversale plutôt que l'analyse avant-après*

dans le but d'examiner les différences dans les taux moyens de collisions. On ne peut se fier à ce type d'analyse en ce qui touche l'incidence sur l'étude des effets combinés des données des diverses intersections. Il est probable que d'autres différences entre les intersections à l'étude aient joué un certain rôle dans les différents taux de collisions.

- *La distribution des sites dans les différents groupes étudiés a vraisemblablement été effectuée en fonction de l'efficacité de la sécurité, ce qui a donc altéré l'analyse. Les sites n'ayant pas subi d'intervention sont probablement ceux dont la sécurité était la plus efficace.*

Sayed et coll. (1999)

Sayed et coll. (1999) se sont penchés sur les incidences en matière de sécurité de l'ajout de feux clignotants de présignalisation (FCP) à des intersections munies de feux de circulation, en Colombie-Britannique. Au total, 106 intersections ont fait l'objet de l'analyse; 25 d'entre elles étaient pourvues de FCP. L'intervention consistait à munir les intersections de panneaux d'avertissement rectangulaires pourvus de deux feux de couleur ambre montés de chaque côté et clignotant en alternance. Les panneaux étaient éclairés, surélevés et installés sur l'accotement. L'emplacement des panneaux et le fonctionnement des clignotants étaient conformes aux pratiques canadiennes généralement admises.

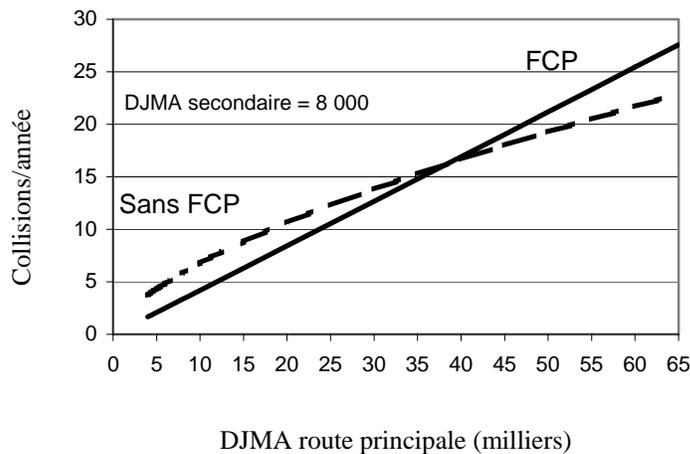
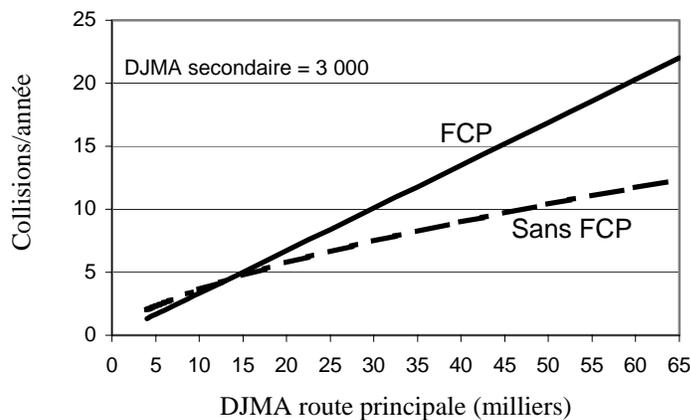
La méthodologie de l'étude comprenait l'élaboration de FES pour les intersections comportant des FCP et pour celles n'en étant pas pourvues, afin de déterminer les incidences sur la sécurité de ces dispositifs. L'utilisation de FES élaborés adéquatement tient compte de la régression à la moyenne. Les FES ont été élaborés et utilisés de trois façons différentes afin d'évaluer les incidences sur la sécurité (c.-à-d. que la forme du FES était constante dans toutes les situations mais les chercheurs ont expérimenté l'élaboration de modèles en variant ou en maintenant constants certains paramètres entre les FES). Les résultats sont présentés au tableau 3.40.

TABLEAU 3.40 : Incidences des FCP sur la sécurité en Colombie-Britannique

Méthode	FMC		
	Total	Mortelles + avec blessures	Arrière
1	0,92	0,91	1,03
2	0,88	0,86	0,97

3	0,82	0,86	0,92
---	------	------	------

Les trois méthodes ont donné des résultats remarquablement similaires. Les méthodes 2 et 3 n'ont pas donné de résultats statistiquement significatifs au niveau de confiance de 95 %. En poursuivant les recherches, Sayed et coll. ont établi que les incidences des FCP sur la sécurité étaient reliées à un débit de circulation peu élevé des routes secondaires aux emplacements dotés de feux de circulation. Les résultats de cette analyse plus approfondie sont présentés à la figure 3.1. Selon ceux-ci, lorsque les débits de circulation des routes secondaires sont relativement peu élevés et que les débits des routes principales sont élevés, les FCP nuisent effectivement à la sécurité. Un débit de circulation peu élevé d'environ 13 000 véhicules par jour est nécessaire pour qu'un FCP soit efficace au plan de la sécurité, quel que soit le débit de circulation de la route principale.



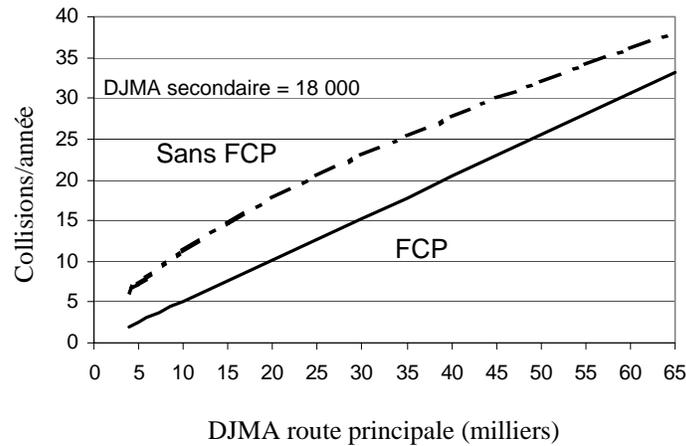


FIGURE 3.1 : Feux clignotants de présignalisation

Temps de dégagement aux feux de circulation

Lalani (1991)

Dans le cadre d'un programme d'envergure portant sur la sécurité, la ville de San Buenaventura, en Californie, a amélioré le temps de dégagement aux feux de circulation de trois carrefours (Lalani, 1991). Les sites ont été choisis parce qu'ils étaient considérés comme des sites à indice élevé de collisions. Il s'agit d'une analyse naïve avant-après reposant sur la fréquence des collisions survenues au cours de périodes d'un an avant et après. Les détails relatifs à l'intervention ne sont pas rapportés (soit, quel était le temps de dégagement initial? Et en quoi consistait exactement les mesures d'amélioration?). Néanmoins, les incidences du séquençage amélioré des feux sur la sécurité sont présentés au tableau 3.41.

TABLEAU 3.41 : Incidences sur la sécurité de l'amélioration du temps de dégagement en Californie

Lieu	Collisions		FMC
	Avant	Après	
A	17	7	0,41
B	7	4	0,57
C	10	6	0,60
Total	34	17	0,50

Lalani ne tient pas compte de l'exposition dans l'analyse de la sécurité mais rapporte que

les débits de circulation dans la ville ont un taux moyen d'augmentation de 6 % par année.

Coordination des feux de circulation

Lalani (1999)

Dans le cadre d'un programme d'envergure portant sur la sécurité, la ville de San Buenaventura, en Californie, a instauré une coordination des feux de circulation dans au moins trois zones de la ville (Lalani, 1991). Les sites ont été choisis parce qu'ils étaient considérés comme des sites à indice élevé de collisions. Il s'agit d'une analyse naïve avant-après reposant sur la fréquence des collisions survenues au cours de périodes d'un an, avant et après. Les détails relatifs aux interventions ne sont pas rapportés. Néanmoins, les incidences sur la sécurité de la coordination améliorée des feux de circulation sont présentées au tableau 3.42.

TABLEAU 3.42 : Incidences sur la sécurité de la coordination des feux de circulation en Californie

Lieu	Collisions		FMC
	Avant	Après	
A	179	129	0,72
B	16	12	0,75
C	129	103	0,80
Total	324	244	0,75

Lalani ne tient pas compte de l'exposition dans son analyse mais il rapporte que les débits de circulation dans la ville enregistrent un taux moyen d'augmentation de 6 % par année.

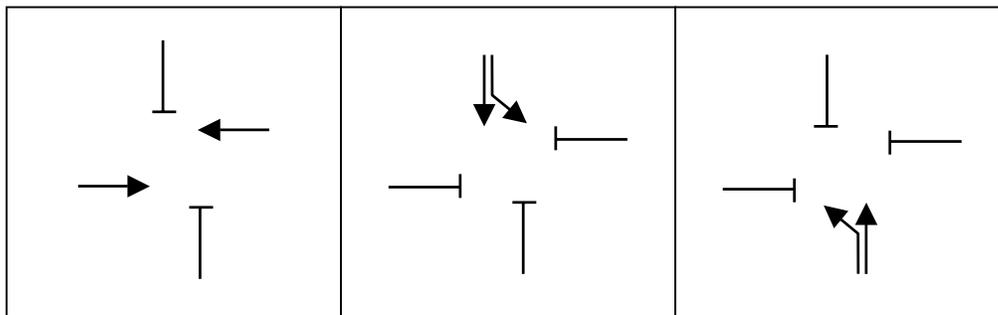
Séquençage des feux de circulation

Greiwe (1986)

La ville d'Indianapolis, en Indiana, a évalué les incidences sur la sécurité de la conversion de feux à deux phases en une séquence à phase partagée de virage à gauche, comme l'illustre la figure 3.2 (Greiwe, 1986). Le processus de sélection des sites n'est

pas précisé. La méthodologie utilisée consiste en une étude naïve avant-après de la fréquence des collisions reposant sur les données recueillies pendant deux ans avant et au moins un an après. Les collisions cibles étaient des collisions au virage à gauche (VG), à angle droit (AD) et arrière (AR). L'auteur note que les débits de circulation demeuraient relativement semblables pendant la période à l'étude, il n'a donc pas été dans l'obligation d'effectuer des ajustements relatifs à l'exposition.

FIGURE 3.2 : Phase partagée de virage à gauche



Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 3.43.

TABLEAU 3.43 : Incidences sur la sécurité d'une phase partagée de virage à gauche

Site	Avant					Après				
	TG	AD	AR	Autres	Toutes	TG	AD	AR	Autres	Toutes
1	4	1	2	3	10	1	1	1	1	4
2	16	3	1	2	22	2	1	2	1	6
3	16	3	11	1	31	5	2	6	3	16
4	4	0	0	2	6	0	0	0	1	1
5	5	1	6	1	13	2	1	5	0	8
6	9	2	2	3	16	2	0	2	1	5
7	4	2	1	0	7	0	2	0	2	4
8	19	0	6	5	30	5	1	6	6	18
Total	77	12	29	17	135	17	8	22	15	62

Les FES sont respectivement de 0,22, 0,67, 0,76 et 0,46 pour les collisions en virage à gauche, à angle droit, arrière, et pour toutes les collisions.

Dans la même étude, Greiwe (1986) a examiné les incidences sur la sécurité du retrait de la phase protégée de virage à gauche jugée non justifiée. Afin d'évaluer si la phase était

justifiée, on a consulté le MUTCD de la FHWA ainsi que les *Guidelines for Signalized Left Turn Treatments*.

Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 3.44.

TABLEAU 3.44 : Incidences sur la sécurité du retrait de la phase protégée de virage à gauche

Site	Avant					Après				
	TG	AD	AR	Autres	Toutes	TG	AD	AR	Autres	Toutes
1	1	1	2	0	4	1	0	1	2	4
2	0	7	4	0	11	3	4	2	2	11
3	0	3	0	3	6	1	2	0	1	4
4	1	2	1	1	5	1	2	1	3	7
5	0	1	2	0	3	0	2	2	3	7
6	3	2	0	0	5	2	0	0	0	2
7	10	1	5	4	20	5	2	3	2	10
8	1	2	2	0	5	1	1	1	0	3
9	2	3	3	2	10	5	4	2	1	12
10	0	0	0	2	2	0	0	0	1	1
11	0	1	0	1	2	1	0	1	0	2
12	2	0	3	0	5	4	1	2	0	7
13	1	0	0	3	4	2	0	2	2	6
14	1	2	3	2	8	11	2	3	2	18
Total	21	23	22	16	82	26	18	17	17	78

Les résultats ne sont pas encourageants. Trois sites n'ont montré aucun changement dans le total des collisions, cinq ont enregistré une baisse du total des collisions et six autres une augmentation de ce même total. Greiwe a tenté d'expliquer les résultats quelque peu variables en mettant en corrélation les incidences sur la sécurité et le débit de circulation, ainsi que la présence d'un virage à gauche. Le retrait de la phase protégée de virage à gauche ne semble pas entraîner de changements, ni provoquer de légers avantages en matière de sécurité, aux intersections accueillant un débit de moins de 20 000 véhicules, qu'il y ait ou non une voie de virage à gauche. Les intersections accueillant des débits de circulation excédant 20 000 véhicules paraissent subir un effet contraire en matière de sécurité en raison du retrait de la phase de virage à gauche.

TABLEAU 3.45 : Incidences sur la sécurité de la phase de virage à gauche corrélée

au débit de circulation et à la présence d'une voie de virage à gauche (VG)

Débit	TG	Collisions		Change- ment
		Avant	Après	
13 520	N	2	2	Aucun changement
14 375	N	4	4	Aucun changement
14 589	N	2	1	Diminution
31 797	N	8	18	Augmenta- tion
10 691	O	5	3	Diminution
12 216	O	5	2	Diminution
12 270	O	4	6	Augmenta- tion
16 384	O	6	4	Diminution
22 694	O	3	7	Augmenta- tion
23 323	O	5	7	Augmenta- tion
25 697	O	11	11	Aucun changement
30 539	O	20	10	Diminution
36 196	O	10	12	Augmenta- tion

N = Non, O = Oui

Hummer et coll. (1991)

Dans un effort d'élaboration de lignes directrices à l'égard de phases réservées de virage à gauche en début et en fin de feu vert à Indianapolis, Hummer et coll. (1991) ont examiné les données sur les collisions provenant d'accès à des carrefours munis de phases de virage à gauche, dont 14 sont en fin de feu vert contre 15 en début de feu vert. Les sites à l'étude étaient presque tous des intersections d'une route à deux sens et d'une route à sens unique situées dans le centre-ville. Tous les emplacements étaient munis de feux à phases fixes. L'étude a porté sur quatre ans de données dans le but de relever les collisions mettant en cause un véhicule tournant à gauche à partir d'un accès donné (les collisions cibles). Les collisions cibles ont été associées aux débits de circulation afin de déterminer les taux de collision utilisables à des fins de comparaison. Les résultats de la

comparaison sont présentés au tableau 3.46.

TABLEAU 3.46 : Taux de collisions en phase de virage à gauche de début et de fin de feu vert

Statistiques	Fin de feu vert	Début de feu vert
Nombre d'accès	14	15
Nombre de collisions en virage à gauche	44	69
Taux de collisions par 10 ⁶ virages à gauche	0,8	0,9
Taux de collisions par VM	0,06	0,09

Les résultats indiquent que la phase de virage à gauche est légèrement plus sécuritaire si elle a lieu en fin de feu vert. Cependant, la taille relativement petite de l'échantillon n'est pas suffisante pour tirer des conclusions définitives. Il convient de noter qu'il aurait peut-être été possible de déterminer la sécurité relative de façon plus exacte par le calcul du taux de collisions, en utilisant comme mesure d'exposition le produit du débit de circulation tournant à gauche et celui de la circulation inverse. Néanmoins, Hummer et coll. ont également examiné la distribution de la gravité des collisions suivant chaque type de phase de virage à gauche. Ils ont découvert que 35 % des collisions survenant lors de la phase de virage à gauche en début de feu vert avaient causé des blessures. Par contre, seulement 7% des collisions survenant lors de la phase de virage à gauche en fin de feu vert avaient causé des blessures. La différence est notable à un niveau de signification de 0,05.

Upchurch (1991)

Au moyen des données sur les collisions provenant de plusieurs accès à des carrefours munis de feux situés en Arizona, Upchurch (1991) a examiné l'efficacité de la sécurité de cinq différents types de phases de virage à gauche : permissive, permissive-exclusive en début de feu vert, permissive-exclusive en fin de feu vert, exclusive seulement en début de feu vert et exclusive seulement en fin de feu vert. Au moyen d'une étude transversale utilisant comme paramètre le taux de collisions survenant lors d'un virage à gauche, il a obtenu les résultats donnés au tableau 3.47.

TABLEAU 3.47 : Taux de collisions survenant lors de virages à gauche en Arizona

Phase de	Deux voies opposées	Trois voies opposées
----------	---------------------	----------------------

	Nombre de sites	Taux moyen de collisions*	FMC	Nombre de sites	Taux moyen de collisions*	FMC
Permissive	162	2,62	---	25	3,83	---
Permissive-exclusive en début de feu vert	62	2,71	1,03	52	4,54	1,19
Permissive-exclusive en fin de feu vert	44	3,02	1,15	35	2,65	0,69
Exclusive en début de feu vert	57	1,02	0,39	80	1,33	0,35
Exclusive en fin de feu vert	4	2,09	0,80	2	0,55	0,14

*Collisions lors de virages à gauche, par million de véhicules tournant à gauche

Les résultats de l'étude transversale indiquent que la phase exclusive, qu'elle soit en début ou en fin de feu vert, comporte un avantage en matière de sécurité par rapport à la phase permissive seulement. Les résultats semblent également indiquer que la phase permissive-exclusive pourrait nuire à la sécurité. Il faut cependant considérer ces résultats avec les réserves que commande l'analyse transversale et tenir compte du fait qu'ils ne sont peut-être pas fiables. En outre, le taux de collisions ne tient pas compte du débit de circulation inverse dans la mesure de l'exposition.

Upchurch complète l'analyse ci-dessus d'une étude avant-après portant sur 194 accès à des carrefours, étude dont les résultats se trouvent au tableau 3.48.

TABLEAU 3.48 : Incidences sur la sécurité de la modification des phases spéciales de virage à gauche en Arizona

Type de phase de virage à gauche	Nombre de sites	Taux de collisions lors de virages à gauche		FMC
		Avant	Après	
<i>Deux voies opposées</i>				
P → P/E en début de feu	17	4,77	3,49	0,73
P → P/E en fin de feu	9	5,44	4,16	0,76
P/E en début de feu → P	14	2,07	2,66	1,29
P/E en début de feu → P/E en fin de feu	35	3,10	2,25	0,73
P/E en début de feu → P/E en début de feu	3	0,93	3,11	3,34
E en début de feu → P/E en fin de feu	6	0,38	1,57	4,13
E en début de feu → E en fin de feu	10	1,46	1,91	1,31
<i>Trois voies opposées</i>				
P → P/E en début de feu	3	4,64	5,55	1,20
P → P/E en fin de feu	8	8,75	1,37	0,16
P → E en début de feu	3	18,96	0,36	0,02
P/E en début de feu → P	3	2,25	5,85	2,60
P/E en début de feu → P/E en fin de feu	38	4,54	2,74	0,60
P/E en début de feu → E en début de feu	2	7,08	0,75	0,11
E en début de feu → P/E en début de feu	22	1,40	4,72	3,37
E en début de feu → P/E en fin de feu	9	2,13	1,03	0,48
E en début de feu → E en fin de feu	12	0,35	0,35	1,00

Les FMC provenant de l'étude menée en Arizona sont en grande partie conformes aux attentes.

- *Le changement d'un mouvement permissif des véhicules à un mouvement plus restrictif (soit permissif exclusif, soit exclusif) est associé à un avantage en matière de sécurité;*
- *Le changement d'un mouvement exclusif-permissif des véhicules à un mouvement exclusif est en général avantageux sur le plan de la sécurité;*
- *Le changement d'un mouvement restrictif des véhicules à un mouvement plus permissif est associé à une diminution de la sécurité.*

Shebeeb (1995)

Shebeeb (1995) a étudié la sécurité de diverses phases de virage à gauche au moyen du taux de collisions comme variable primaire. L'étude portait sur 54 intersections situées au Texas et en Louisiane et plus spécifiquement sur les accès aux carrefours, étant donné que les phases pouvaient varier entre les accès d'une même intersection. Toutes les intersections étudiées comportaient une voie réservée de virage à gauche. L'analyse a porté sur des données concernant les collisions couvrant trois années. Les phases de virage à gauche étudiées comprenaient notamment³ les phases :

- Permissive seulement
- Protégée en début de feu vert – Permissive
- Protégée en fin de feu vert – Permissive
- Protégée en début de feu vert seulement
- Protégée en fin de feu vert seulement

Le taux de collisions a été déterminé au moyen de l'équation 3.17.

$$\text{Taux de collisions} = \frac{A * 10^6}{D_{VI} D_{VG}} \quad [3.17]$$

Où : A = nombre total des collisions lors de virages à gauche

D_{VI} = Débit de véhicules en sens inverse (continuant tout droit et tournant à droite) (vph)

D_{VG} = Débit de véhicules tournant à gauche (vph)

³ Deux autres phases ont fait l'objet de l'étude, soit les phases baptisées *Lead Dallas* et *Lag Dallas*. Elles ne sont cependant pas prises en considération ici.

Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 3.49.

TABLEAU 3.49 : Sécurité des phases spéciales de virage à gauche

Phase	Nombre d'accès	Taux de collisions moyen	Écart type
Permissive seulement	38	49,2	94,3
Protégée en début de feu - Permissive	40	35,6	70,9
Protégée en fin de feu - Permissive	23	61,2	85,9
Protégée en début de feu seulement	45	16,7	26,8
Protégée en fin de feu seulement	13	21,7	30,6

Les taux de collisions ont été soumis à des vérifications statistiques d'hypothèse, suivant la distribution normale. Les conclusions ci-après ont ainsi été tirées.

- Il n'existe pas de différence significative entre les phases protégée-permissive et permissive seulement.
- La phase protégée seulement est plus sécuritaire que la phase protégée-permissive.
- Il n'existe pas de différence significative entre les taux de collisions des phases protégée en début de feu et en fin de feu seulement.
- Il n'existe pas de différence significative entre les taux de collisions des phases protégée en début de feu – permissive et protégée en fin de feu –permissive.

En dépit de l'hypothèse erronée de la distribution normale, les résultats de cette étude viennent soutenir l'intuition selon laquelle la phase de virage à gauche protégée seulement est plus sécuritaire que la phase protégée-permissive, qui à son tour est plus sécuritaire que la phase permissive seulement. Les résultats indiquent que les phases de virage à gauche en début de feu vert sont plus sécuritaires que celles placées en fin de feu.

En utilisant les phases permissives seulement comme condition de base, les données de l'étude de Shebeeb donnent les FMC présentés au tableau 3.50.

TABLEAU 3.50 : FMC relatifs aux phases de virage à gauche

Phase	FMC
Protégée en début de feu - Permissive	0,72
Protégée en fin de feu - Permissive	1,24
Protégée en début de feu seulement	0,34
Protégée en fin de feu seulement	0,44

Bamfo et Hauer (1997)

Bamfo et Hauer (1997) ont utilisé un modèle de régression multi-variantes pour étudier les incidences du minutage des feux de circulation adaptatifs (activés par les véhicules) sur les collisions à angle droit véhicule – véhicule, à Toronto et à Hamilton-Wentworth, en Ontario. Les données recueillies pendant quatre ans à 278 feux de circulation à phases fixes et 28 feux à commande adaptative ont été analysées. Les collisions cibles représentaient 28 % du total des collisions de véhicules survenues à ces carrefours.

La conclusion générale tirée de cette étude révèle que les accès aux carrefours munis de feux à phases fixes sont susceptibles d'enregistrer 15 % de plus de collisions à angle droit que celles aux intersections munies de feux à commande adaptative. Les auteurs notent que la différence à l'égard des collisions n'est probablement pas imputable exclusivement au mode de fonctionnement des feux. D'autres caractéristiques des intersections, telles que la vitesse d'approche ainsi que la distance entre les intersections à proximité, peuvent avoir une incidence.

Stamatiadis et coll. (1997)

Dans le cadre de l'élaboration de lignes directrices à l'égard des phases de virage à gauche au Kentucky, Stamatiadis et coll. (1997) ont effectué une analyse des incidences de ces phases sur la sécurité. Au total, 408 accès à 217 intersections ont été sélectionnés aux fins de l'étude. Les résultats sont présentés au tableau 3.51.

TABLEAU 3.51 : Taux de collisions afférents à diverses phases de virage à gauche au Kentucky

Nombre de voies de circulation en sens inverse	Type de phase	Nombre d'accès	Débit de pointe moyen pour VG	Débit de pointe moyen en sens inverse	Taux de collisions *	FMC
1	Protégée	23	92	217	0,55	0,25
	Permise/Protégée	52	144	463	0,82	0,37
	Permise	77	72	248	2,22	---
2	Protégée	102	117	706	0,28	0,15
	Permise/Protégée	88	153	1077	1,11	0,61
	Permise	62	64	642	1,81	---
Toutes	Protégée	127	119	630	0,23	0,11
	Permise/Protégée	142	148	850	0,87	0,43
	Permise	139	69	424	2,02	---

* = collisions par 100 000 véhicules circulant en sens inverse (moyenne du débit de pointe pour VG x moyenne du débit de pointe de circulation en sens inverse)

Les FMC tirés de l'étude menée au Kentucky ne sont applicables qu'aux collisions lors de virages à gauche.

Tarall et Dixon (1998)

Dans le cadre d'une étude visant à mesurer les conflits de circulation occasionnés par l'utilisation d'une phase protégée – permise dans les voies à double virage à gauche, Tarall et Dixon (1998) ont mené une analyse avant-après sur le changement de cette phase en phase protégée seulement, à un carrefour situé à Atlanta. Les résultats sont présentés au tableau 3.52.

TABLEAU 3.52 : Incidences sur la sécurité de la phase de virage à gauche protégée seulement à Atlanta

Phase du feu de circulation	Débit moyen (véhicules/heure)		Conflits	Taux de conflits (/100 véhicules)
	Circulation en sens inverse	Double virage à gauche		

Protégée-permissive	1 068	673	32	1,84
Protégée seulement	1 305	609	8	0,42

Le FMC à l'égard de la phase protégée seulement est de 0,23 (dans l'hypothèse où les conflits et les collisions sont reliés de façon linéaire).

Vogt (1999)

Dans le cadre de l'élaboration de modèles de collisions pour des intersections en milieu rural, Vogt (1999) a examiné les incidences sur la sécurité de la phase protégée de virage à gauche de la route principale de carrefours avec feux de circulation et comportant quatre accès. L'analyse a porté sur quarante-neuf intersections ainsi munies de feux. On a eu recours à la loi binomiale négative afin d'élaborer des modèles de toutes les collisions survenant respectivement sur la route principale et dans une distance de 250 pieds de l'intersection, en Californie, et dans les 100 à 250 pieds de l'intersection, sur la route secondaire, au Michigan. L'analyse a utilisé des données couvrant une période de trois ans.

Vogt a découvert que la phase protégée de virage à gauche depuis la route principale, à un carrefour à quatre embranchements muni de feux de circulation donnait un FMC de 0,51.

Bauer et Harwood (2000)

Bauer et Harwood (2000) ont élaboré, à partir de données sur les collisions recueillies pendant trois ans en Californie, des modèles de prédiction des collisions pour plusieurs types d'intersections situées en milieux urbain et rural. Le modèle a été élaboré suivant de solides méthodes statistiques. En ce qui touche les carrefours avec feux de circulation, seules les intersections comportant quatre accès ont fait l'objet de l'élaboration d'un modèle. On a découvert que le chronométrage des feux donnaient les FMC présentés au tableau 3.53.

TABLEAU 3.53 : FMC relatifs aux changements de réglage des feux de circulation

Changement	FMC
------------	-----

De minutage préréglé → à commande semi-adaptative	0,94
De minutage préréglé → à commande entièrement adaptative	1,75
De biphase à multiphase	0,82

Thomas et Smith (2001)

Thomas et Smith (2001) ont entrepris l'examen des incidences sur la sécurité de la phase de virage à gauche à quatre carrefours situés en Iowa. Le processus de sélection des sites n'est pas décrit; la méthodologie de l'étude consiste en une analyse naïve avant-après reposant sur la fréquence et la gravité des collisions. La fréquence des collisions est tirée de données recueillies pendant trois ans avant et trois ans après, données catégorisées par gravité et divers types d'impacts. Le changement exact des phases des feux de circulation n'est pas décrit. Les résultats sont présentés au tableau 3.54.

Les résultats indiquent qu'en dessous d'un niveau de confiance de 90 %, on peut s'attendre à des avantages en matière de sécurité dans l'ensemble des collisions (FMC = 0,64). Selon l'étiologie à cet égard, il semble que les avantages en matière de sécurité toucheraient surtout une réduction des collisions lors de virages à gauche. L'analyse n'a pas tenu compte de l'exposition, les données à cet égard n'étant pas facilement accessibles.

**TABLEAU 3.54 : FMC relatifs à l'ajout d'une phase de virage à gauche
(Thomas et Smith)**

Type de collision		Moyenne	Nombre de sites	Intervalle de confiance de 90 %	
				Inférieur	Supérieur
Gravité	Mortelle	S/O	0	S/O	S/O
	Grave	0,78	3	2,58	
	Légère	0,50	4	1,01	0,00
	Possible	0,63	4	1,35	
	DMS	0,71	4	1,19	0,24
Type d'impact	Angle droit	0,70	3	1,24	0,15
	Arrière	1,00	4	1,80	0,20

	Virage à gauche	0,49	4	1,05	
	Autre	1,60	4	2,75	0,45
Total		0,64	4	0,77	0,52

Dans la même étude, Thomas et Smith ont également évalué les incidences de l'ajout d'une phase de virage à gauche en conjonction avec l'ajout d'une voie exclusive de virage à gauche. La méthodologie de l'étude était similaire et au total sept sites ont été examinés. Les résultats sont présentés au tableau 3.55.

TABLEAU 3.55 : FMC relatifs à l'ajout d'une phase et d'une voie de virage à gauche (Thomas et Smith)

Type de collision		Moyenne	Nombre de sites	Intervalle de confiance de 90 %	
				Inférieur	Supérieur
Gravité	Mortelle	0,00	2	S/O	S/O
	Grave	0,15	5	0,34	
	Légère	0,25	6	0,34	0,17
	Possible	0,49	7	0,66	0,32
	DMS	0,43	7	0,58	0,28
Type d'impact	Angle droit	0,48	7	0,72	0,23
	Arrière	0,63	7	0,97	0,28
	Virage à gauche	0,27	7	0,38	0,16
	Autre	0,55	7	0,74	0,37
Total		0,42	7	0,54	0,30

Selon les résultats, l'ajout d'une phase de virage à gauche en conjonction avec des voies exclusives de virage à gauche entraîne des avantages en matière de sécurité dans toutes les catégories, sauf dans celle des collisions mortelles, pour lesquelles on ne dispose pas de résultats statistiquement significatifs.

Chin et Quddus (2001)

Chin et Quddus (2001) ont élaboré des modèles de prédiction des collisions pour des intersections à quatre embranchements munies de feux de circulation et ce, en utilisant des données sur les collisions recueillies à 52 intersections à Singapour. Les modèles permettent de prédire le nombre annuel de collisions survenant à un accès d'un carrefour

(en tenant compte des deux sens de circulation). Parmi les nombreuses variables reconnues comme jouant un rôle dans l'occurrence de collisions, il y a le type de commande des feux. La commande de feux adaptative a été considérée plus sécuritaire que la commande de feux pré-réglée, puisqu'elle favorise une réduction du nombre de collisions de 13 % (FMC de 0,87).

Feu clignotant de nuit

Polanis (2002)

Polanis (2002) a établi un rapport sur le retrait du feu clignotant rouge/ambre de nuit installé dans 19 intersections situées à Winston-Salem, en Caroline du Nord. L'information relative à la sélection des sites est peu détaillée, les intersections ne sont « pas nécessairement des sites à indice élevé de collisions », mais elles sont décrites comme des emplacements où les tendances en matière de collisions ont révélé une amélioration de la sécurité en raison de la suppression du feu clignotant de nuit. Les collisions cibles sont des accidents à angle droit survenant pendant le fonctionnement du clignotant de nuit. Les résultats de l'étude sont présentés au tableau 3.56.

Au total, 16 des 19 intersections ont enregistré une réduction statistiquement significative des collisions cibles, le tout à un niveau de confiance de 95 %. Polanis réunit les résultats obtenus pour toutes les intersections, ce qui donne des FMC de 0,22 pour les collisions cibles et de 0,67 pour toutes les collisions à angle droit.

Aucune raison ne porte à croire que le retrait du feu clignotant de nuit aurait des incidences mesurables sur les collisions à angle droit à d'autres moments de la journée. Donc, plutôt que de mesurer les incidences sur la sécurité par le total des collisions à angle droit, il est plus instructif d'utiliser les collisions non cibles (soit le total des collisions à angle droit moins les collisions cibles) comme groupe témoin. Dans ce cas, les données cumulatives donnent les statistiques présentées au tableau 3.57.

Ces données indiquent que les collisions cibles ont été réduites de 78 %. Cependant, les collisions non cibles ont également été réduites de 19 %. Étant donné que le fonctionnement de nuit du feu clignotant ne devrait pas influencer les collisions non cibles, on peut raisonnablement s'attendre à une réduction de 19 % des collisions cibles sans le retrait du feu clignotant de nuit. La prise en compte de cette réduction générale des collisions mène à un FMC de 0,27 dans le cas du retrait du feu clignotant de nuit, soit une réduction de 73 % des collisions à angle droit au cours du fonctionnement du feu.

Il convient de mentionner que l'étude ci-dessus n'a pas tenu compte de l'exposition. Il s'agit d'une considération importante car si les débits de circulation augmentent vraisemblablement et que leur omission de l'analyse entraîne une sous-estimation des avantages en matière de sécurité, l'augmentation de la circulation au cours du fonctionnement du feu clignotant de nuit est sûrement beaucoup moins élevée qu'au cours du reste de la journée. Si cela est effectivement le cas, le fait de ne pas tenir compte de l'exposition conduit donc à une surestimation des avantages du retrait du feu clignotant de nuit au plan de la sécurité.

TABLEAU 3.56 : Incidences sur la sécurité du fonctionnement du feu clignotant de nuit

Site	Avant			Après)Cible (collisions /mois))Total (collisions /mois)	P :S	UT	TF
	Mois	Cible	Total	Mois	Cible	Total					
1	50	15	79	45	8	29	-41	-59	2:1	CV	PF
2	33	5	18	48	0	10	-100	-62	2:1	R	S
3	43	8	39	41	5	21	-34	-44	2:1	R	PF
4	48	8	26	48	3	26	-62	0	s.o.	R	PF
5	45	12	23	45	2	25	-83	9	2:1	C	A
6	48	12	23	48	1	8	-92	-65	1:1	CV	PF
7	58	12	31	80	1	28	-94	-34	5:1	R	S
8	46	6	17	43	4	14	-29	-12	2:1	R	S
9	82	9	80	78	1	49	-88	-36	2:1	C	A
10	22	4	10	22	0	4	-100	-60	4:1	CV	PF
11	48	8	26	48	1	14	-88	-46	1:1	R	A
12	48	7	32	48	2	17	-71	-47	3:1	C	PF
13	49	9	35	47	0	23	-100	-32	3:1	C	A
14	46	4	23	46	2	18	-50	-22	1:1	R	A
15	51	11	44	49	1	26	-90	-38	2:1	C	A
16	46	4	13	45	1	16	-74	26	1:1	R	A
17	45	8	25	45	2	32	-75	28	2:1	C	A
18	44	5	11	44	1	12	-80	9	4:1	CV	PF
19	36	9	57	36	0	41	-100	-28	3:1	CV	PF

- Collisions cibles – Les collisions cibles sont celles que l'on tente de diminuer par une intervention particulière. Dans le cas présent, il s'agit des collisions à angle droit qui se sont produites pendant le fonctionnement du feu clignotant rouge/ambre.
- % cible et % total – Il s'agit du changement dans le pourcentage des collisions cibles et totales pendant les périodes avant et après (mesurés en collisions/mois).
- Ratio P: S – Il s'agit du ratio du débit de circulation de la route principale par rapport à celui de la route secondaire à chaque intersection.
- UT – Il s'agit de l'Utilisation du Terrain autour de l'intersection. CV = centre-ville, R = résidentiel et C = commercial.
- TF – Type de feux : PF = Phases fixes, S = Semi-adaptatifs et A = Adaptatifs.

TABLEAU 3.57 : Incidences sur la sécurité du fonctionnement du feu clignotant de nuit en regard d'un groupe témoin

	Mois	Collisions cibles	Collisions non cibles
Avant	888	156	456
		0,18/mois	0,51/mois

Après	906	35	378
		0,04/mois	0,42/mois

Chapitre 4:
Chapitre 4 :
Panneaux de signalisation
Panneaux de signalisation

CHAPITRE 4 : PANNEAUX DE SIGNALISATION

Signalisation générale

Lyles et coll. (1986)

Lyles et coll. (1986) ont examiné les incidences sur la sécurité que pouvaient avoir des améliorations des dispositifs de signalisation dans l'ensemble des administrations routières du Michigan. Malgré le titre plus général de « dispositifs de signalisation », seuls les panneaux de signalisation ont fait l'objet d'améliorations. Les administrations dans lesquelles les panneaux de signalisation ont été améliorés étaient de différentes tailles. Il s'agissait d'une étude avant-après faisant appel à un groupe témoin modifié. Les endroits choisis aux fins d'intervention étaient tous des rues locales et le groupe témoin était constitué de routes de l'État numérotées au sein de la même administration. Les chercheurs reconnaissent que les routes de l'État et les rues locales diffèrent sur de nombreux plans. Cependant, ils ont pensé que l'utilisation d'un groupe témoin situé dans la même administration que les sites à l'étude permettrait de mieux contrôler les sources de biais que sont la température, les changements dans le débit de circulation ainsi que d'autres facteurs locaux.

Les chercheurs ont utilisé la fréquence et la gravité des collisions ainsi que la distribution des types d'accidents comme mesures d'efficacité. L'analyse couvrait les données sur les collisions recueillies pendant trois années avant et trois années après. Le FMC relatif aux changements apportés aux panneaux du réseau de rues locales est de 1,04 (voir le tableau 4.1).

TABLEAU 4.1 : Incidences sur la sécurité des améliorations apportées aux panneaux de signalisation au Michigan

Site	Nombre des collisions pendant trois ans		FMC
	Avant	Après	
À l'étude	3 718	3 523	0,95
Témoin	1 753	1 593	0,91
FMC ajusté pour les sites ayant subi une intervention			1,04

Lyles et coll. concluent qu'aucune preuve ne suggère que l'amélioration dans l'ensemble des administrations des panneaux de rues locales a eu des incidences sur la sécurité (que ce soit sur la fréquence ou la gravité des collisions). Les chercheurs reconnaissent qu'une analyse à l'échelle des administrations des changements apportés aux panneaux – qui

dans la plupart des cas étaient peu importants (par ex., de légères rectifications de l'emplacement du panneau) – est vraisemblablement inappropriée. Les avantages en matière de sécurité attendus des améliorations des panneaux sont peu importants et le nombre d'éventuels facteurs de biais d'une analyse à cette échelle, facteurs non pris en compte, fausse les résultats.

Tople (1998)

Tople (1998) a inclus, dans une évaluation de l'élimination des dangers et de projets relatifs à la sécurité, une étude des avantages que pouvaient avoir les panneaux de signalisation à cet égard. La documentation disponible n'indique pas le type de panneaux mis en place. L'évaluation était une étude naïve avant-après de la fréquence et de la gravité des collisions. Les incidences sur la gravité des collisions ont été déterminées au moyen de la comparaison de collisions similaires ne comportant que des dommages matériels, le tout en effectuant une conversion monétaire jugée appropriée par l'équipe d'enquête. L'analyse a utilisé les données sur les collisions recueillies au cours de trois années avant et de trois années après.

Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 4.2.

TABLEAU 4.2 : Incidences sur la sécurité de panneaux de signalisation au Dakota du Sud

Type d'amélioration	Nombre de sites	Collisions			Collisions avec DMSS*		
		Avant	Après	FMC	Avant	Après	FMC
Panneaux de signalisation	6	1 403	1 330	0,95	48 860	41 588	0,85

* Les collisions avec DMSS ont été calculées selon l'équation : $(1300*M)+(90*I)+(18*N)+(9,5*P)+DMS$

où :

- M = collision mortelle
- I = collision avec blessure invalidante
- N = collision avec blessure non invalidante
- P = collision avec blessure possible
- DMS = collision avec dommages matériels seulement
- DMSS = collisions avec dommages matériels seulement présentant une similitude

L'analyse de Tople présente de nombreuses failles qui pourraient être sérieuses. La plus importante réside dans le fait que les sites ont été choisis pour fins d'intervention dans le cadre d'un programme de sécurité. Cela signifie que le taux de collisions y était vraisemblablement anormalement élevé et qu'une régression aux artéfacts moyens est très probable. Cette lacune est en quelque sorte neutralisée par l'omission de tenir compte des changements relatifs à l'exposition. Les débits de circulation n'ont pas été pris en compte, mais ils tendent naturellement à augmenter, ce qui entraînerait un compte plus

élevé de collisions « après ». Finalement, les résultats de l'étude au Dakota du Sud reposent sur un nombre limité de sites et sur des analyses médiocres.

Transport Research Laboratory (2000)

Le TRL (2000) du Royaume-Uni a recueilli de l'information sur les incidences de la signalisation sur la sécurité, information tirée de la base de données MOLASSES (voir la partie portant sur la « Signalisation » pour obtenir de plus amples renseignements sur la base MOLASSES). Il n'est pas précisé si « signalisation » signifie la mise en place de nouveaux panneaux, l'amélioration de la signalisation existante ou une quelconque combinaison de ces deux mesures. Les résultats sont donc généralisés et ne peuvent servir qu'à donner une idée superficielle de l'ampleur possible des gains en matière de sécurité. Les résultats sont présentés au tableau 4.3.

TABLEAU 4.3 : Incidences sur la sécurité des modifications de la signalisation au Royaume-Uni

Milieu	Nombre de sites	Nombre de collisions		FMC
		Avant	Après	
Urbain	222	1 536	1 044	0,68
Rural	136	879	521	0,59

Signalisation et marquage des courbes de tracé en plan

Arnott (1985)

Arnott (1985) a entrepris une évaluation de la sécurité de panneaux d'avertissement de vitesse excessive activés par le passage des véhicules à moteur, panneaux installés dans des courbes d'échangeurs autoroutiers situés en Ontario. Au total, cinq sites ont été évalués; les panneaux étant posés dans la bretelle pour trois d'entre eux et sur l'axe principal de l'autoroute pour les deux autres. Il s'agissait essentiellement de panneaux d'avertissement muni d'un panneau indiquant « Ralentissez » (« Too Fast ») qui s'éclairait lorsque les détecteurs en amont repéraient un véhicule dont la vitesse excédait un seuil prédéterminé. La configuration du panneau d'avertissement variait quelque peu d'un endroit à l'autre, mais tous étaient munis du panneau « Ralentissez » activé par le passage des véhicules.

La méthodologie de l'étude consistait en une évaluation naïve avant-après de la fréquence et de la distribution des collisions. Pour chaque site, on disposait de données sur les collisions recueillies pendant neuf à onze ans. Cependant, pour trois sites, les données de

la période « après » couvraient 13 mois ou moins. Les collisions codées comme « vitesse trop élevée » imputable au comportement du conducteur constituaient les collisions cibles. Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 4.4.

TABLEAU 4.4 : Incidences sur la sécurité de panneaux d'avertissement de vitesse excessive placés dans des courbes et activés par les véhicules

Site	Période	Total des collisions	Collisions cibles	Proportion de collisions cibles parmi les accidents (%)	Collisions cibles par année	FMC
1	Avant	99	77	78	11,5	0,79
	Après	50	39	78	9,1	
2	Avant	11	5	45	0,9	---
	Après	0	0	--	0,0	
3	Avant	118	47	40	6,0	0,60
	Après	17	4	24	3,6	
4	Avant	89	62	70	7,9	0,46
	Après	6	4	67	3,6	
5	Avant	430	358	83	39,0	0,06
	Après	5	2	40	2,4	
Tous	Avant	747	549	74	65,3	0,29
	Après	78	49	63	18,7	

En dépit de l'impressionnant FMC de 0,29 pour tous les sites réunis, Arnott a exprimé des réserves quant à la fiabilité des résultats. Les sites 3, 4 et 5 ont fait l'objet de périodes d'étude « après » de moins de 13 mois, ce qui selon Arnott ne donne pas de résultats stables à long terme. Le site 1, qui a été en fonctionnement depuis plus de quatre ans, présente une réduction de 21 % des collisions cibles. Arnott déclare qu'il s'agit là d'une réduction à long terme plus valable.

Indépendamment des préoccupations de Arnott au sujet des résultats de l'étude, il est fort probable que des effets de régression à la moyenne entraînent une surestimation des résultats. Les sites ont vraisemblablement été choisis en raison d'une indice élevé de collisions. En outre, les tendances temporelles et l'exposition n'ont été prises en compte dans aucun des sites. Par exemple, au site 1, bien que les 22 collisions non cibles (99 accidents au total moins les 77 collisions cibles) n'aient théoriquement pas été influencées par l'intervention, elles ont diminué de 22 % entre la période avant et la période après. Ce résultat est presque identique à la diminution de 21 % observée dans le groupe de collisions cibles. Il n'est pas possible de conclure avec certitude que les

panneaux d'avertissement susmentionnés ont eu un effet significatif sur la sécurité.

Zador et coll. (1987)

Zador et coll. (1987) ont effectué une étude visant à comparer le comportement des conducteurs dans des courbes de tracé en plan pourvues de chevrons, de délinéateurs montés sur poteau et de plots de chaussée réfléchissants. Les dispositifs ont été posés séparément dans des sites présentant une grande variété en termes d'orientation, de degré de courbure et de variation de niveau de sol. L'étude a porté sur des données recueillies avant et après relativement au placement des dispositifs dans les voies et à la vitesse, groupe témoin à l'appui.

Il y avait 51 sites d'étude situés dans des routes rurales à deux voies. Les dispositifs ont été installés conformément aux exigences du MUTCD de la FHWA. Les routes de tous les sites, y compris de ceux faisant partie du groupe témoin, comportaient des marquages latéraux de la chaussée. Les interventions visées par l'étude sont décrites ci-après.

- Plots réfléchissants – Plots ambre de 4 po x 4 po disposés à la fois de chaque côté d'une double ligne jaune directionnelle de séparation et tout le long de la courbe. Les plots réfléchissants étaient visibles dans les deux sens de circulation et étaient encastrés dans le revêtement. Ils étaient espacés en moyenne de 80 pieds; le long des courbes plus prononcées où la distance de 80 pieds ne permettait pas de voir au moins trois plots en tout temps, la distance entre ceux-ci a été réduite à 40 pieds.
- Délinéateurs montés sur poteau – Des délinéateurs blancs, ronds, de 3 pouces de diamètre fixés sur des montants métalliques ont été installés à l'extérieur de la courbe. Les délinéateurs étaient visibles par les automobilistes dans les deux sens de circulation. Leur espacement a été déterminé afin qu'un automobiliste puisse voir au moins trois délinéateurs simultanément.
- Chevrons – Panneaux de chevrons de 18 po x 24 po montés à l'extérieur de la courbe et visibles des automobilistes dans les deux sens de circulation. Leur espacement a été déterminé afin qu'un automobiliste puisse voir au moins trois chevrons simultanément.

Zador et coll. ont découvert que toutes les interventions ont eu une influence sur la vitesse des automobilistes pendant la nuit. Les différences relatives au type d'intervention

et au tracé routier étaient peu nombreuses et sont demeurées relativement constantes dans le temps. Comme conclusion générale, il a été observé qu'une meilleure délimitation augmentait les vitesses de conduite nocturne de la façon suivante :

- les délinéateurs montés sur poteau ont entraîné une augmentation de 2,0 à 2,5 pieds;
- les plots réfléchissants ont entraîné une augmentation de 1,0 pied;
- les chevrons ont entraîné une diminution de 0,5 pied dans des sites en Géorgie et une augmentation de 3 pieds dans des sites au Nouveau-Mexique.

Dans tous les cas, les vitesses nocturnes enregistrées étaient inférieures aux vitesses de jour.

Lalani (1991)

Dans le cadre d'un programme d'envergure portant sur la sécurité, la ville de San Buenaventura, en Californie, a installé des panneaux à chevrons à trois sites (Lalani, 1991). Les sites ont été choisis parce qu'ils étaient considérés comme des sites à indice élevé de collisions. Il s'agit d'une analyse naïve avant-après reposant sur la fréquence des collisions survenues au cours de périodes d'un an avant et après. Les détails relatifs à l'intervention ne sont pas rapportés (par ex., la courbe était-elle située en milieu urbain ou rural? Quelles étaient les caractéristiques des courbes?). Les résultats sont présentés au tableau 4.5.

TABLEAU 4.5 : Incidences de panneaux à chevrons sur la sécurité à San Buenaventura, Californie

Lieu	Collisions		FMC
	Avant	Après	
A	8	4	0,50
B	3	0	0,00
C	3	0	0,00
Total	14	4	0,29

Lalani ne tient pas compte de l'exposition dans son analyse, mais il rapporte que les débits de circulation dans la ville ont un taux moyen d'augmentation de 6 % par année.

Administration de la sécurité des transports terrestres de la Nouvelle-Zélande (1996)

Les incidences sur la sécurité des panneaux d'avertissement à chevrons dans les courbes de tracé en plan ont fait l'objet d'une étude menée par l'*Administration de la sécurité des transports terrestres de la Nouvelle-Zélande (1996)*. Bien que cela ne soit pas clairement indiqué, on comprend que les emplacements choisis pour fins d'intervention étaient des courbes dans lesquelles se produisaient un nombre de collisions plus élevé que la moyenne. Au total, l'analyse a porté sur 103 sites, dont 83 situés en milieu rural (vitesse limite supérieure à 70 km/h) et 20 situés en milieu urbain (vitesse limite de 70 km/h ou moins).

Seul neuf sites ont été munis de panneaux à chevrons seulement, les autres ayant bénéficié d'améliorations complémentaires, dont des plots réfléchissants, des délinéateurs montés sur poteau, des panneaux de signalisation nouveaux ou placés autrement, marquage des chaussées, etc.

La méthodologie de l'évaluation repose sur une analyse avant-après qui tient partiellement compte des tendances générales en matière de collisions. Le rapport indique qu'un nombre « attendu » de collisions est calculé en ajustant les données « avant » avec les tendances locales en matière de collisions. La façon de faire à cet égard n'est pas précisée. La période moyenne « avant » de collecte de données sur les collisions s'étend sur 5,3 ans et la période moyenne « après », sur 3,1 ans. L'analyse a produit les FMC présentés au tableau 4.6.

TABLEAU 4.6 : Incidences sur la sécurité de panneaux de chevrons installés en Nouvelle-Zélande

Type de collisions	FMC	
	Route à circulation libre	Zone urbaine
Tous	0,52	0,46
Perte de maîtrise	0,57	0,38
Collision frontale	0,24	0,31
De jour	0,63	0,55
De nuit	0,33	0,33
Au crépuscule	0,79	0,73
Mortelle	0,30	0,33
Grave	0,26	0,48
Mineure	0,77	0,45

Tous les sites ensemble ont donné un FMC de 0,51. La vérification statistique établit des intervalles de confiance à 95 %, de 0,70 à 0,32.

Tribett coll. (2000)

Le ministère des Transports de la Californie a étudié l'efficacité de la sécurité de panneaux d'avertissement dynamique de courbe à cinq emplacements. L'intervention consistait en la mise en place d'un panneau à signalisation variable, raccordé à un dispositif de mesure de la vitesse par radar et à du matériel de détection. Les panneaux à signalisation variable avaient une largeur de 10 pieds sur 7 de hauteur et composés d'une pleine matrice de diodes à émission lumineuse. Le message affiché variait mais indiquait en général soit la vitesse recommandée pour négocier la courbe en aval, soit la vitesse du véhicule approchant.

La méthodologie de l'étude consistait en une évaluation naïve avant-après de la fréquence des collisions. Les collisions survenues à partir de l'emplacement (proposé) du panneau à signalisation variable, jusqu'à un dixième de mille en aval de la fin de la courbe, étaient incluses dans l'analyse. L'évaluation a été entreprise environ sept mois après la pose des panneaux, ce qui donne une très courte période de données « après ». Afin de tenir compte des variations saisonnières dans les données sur les collisions, parmi les cinq ans de données disponibles « avant », seules ont été retenues les collisions survenues au cours des mêmes mois que ceux compris dans la période « après ».

Les résultats de l'analyse de Tribbett et coll. sont présentés au tableau 4.7.

TABLEAU 4.7 : Incidences sur la sécurité des panneaux d'avertissement dynamique de courbe

Type de collisions	Période	Site					Tous
		1	2	3	4	5	
Accidents corporels	Avant	2,0	,4	0	0,4	0,4	3,2
	Après	2	0	2	0	0	4
	FMC	1,00	---	---	---	---	1,25
Collisions avec DMS	Avant	1,4	1,2	0,8	1,2	1	5,6
	Après	1	2	2	0	0	5
	FMC	0,71	1,67	2,50	---	---	0,89
Toutes les collisions	Avant	3,4	1,6	0,8	1,6	1,4	8,8
	Après	3	2	4	0	0	9
	FMC	0,88	1,25	5,00	---	---	1,02

La période « après » de l'étude de Tribett et coll. est trop courte pour être représentative d'un taux de collisions stable à long terme auquel on pourrait s'attendre dans ces sites après la pose d'un panneau. En outre, l'analyse n'a pas tenu compte de l'exposition.

Panneaux avertisseurs de proximité excessive

Helliar-Symon et Ray (1986)

Helliar-Symon et Ray (1986) ont examiné, tout en effectuant le suivi d'une étude antérieure, les incidences sur la sécurité des panneaux avertisseurs de proximité excessive. Il s'agissait d'un panneau routier affichant le message « Vous suivez de trop près » ou « Trop près, ralentissez » lorsque la distance entre les véhicules était inférieure à 1,6 secondes. Le panneau n'affichait rien lorsqu'il n'était pas en fonction et le message, une fois activé, était accompagné par quatre feux clignotants de couleur ambre (situés dans chaque coin du panneau rectangulaire) et s'allumant en alternance. Le message était visible à partir du détecteur qui mesurait l'écart entre les véhicules, lequel s'allumait aussitôt qu'il détectait une distance inappropriée et demeurait éclairé pendant deux secondes.

La méthodologie de l'étude reposait sur une analyse avant-après faisant appel à un groupe témoin. Les emplacements à l'étude et ceux du groupe témoin ont été choisis parce qu'on y avait enregistré un nombre élevé de collisions provoquées par des automobilistes qui suivaient de trop près le véhicule qui les précédait et qui pouvaient s'adapter à l'installation du dispositif. L'étude visait à déterminer la fréquence des collisions avec blessures, au moyen de données recueillies pendant deux ans avant et quatre ans après, dans trois sites. La fréquence des collisions a été mesurée en aval du panneau, à l'endroit où un éventuel choc était susceptible de se produire. Comme emplacements témoins, on a choisi des sites distincts ou des tronçons de route en amont du panneau. Les nombres totaux de collisions enregistrés aux trois sites sont présentés au tableau 4.8.

TABLEAU 4.8 : Incidences sur la sécurité des panneaux avertisseurs de proximité excessive

Sites	Fréquence des collisions (/année)			
	Toutes les collisions		Collisions dues aux automobilistes suivant de trop près	
	Avant	Après	Avant	Après
Étudiés	36,0	43,3	3,5	12,8
Témoins	37,5	34,3	7,5	8,3

FMC		1,32		3,31
-----	--	------	--	------

Les auteurs présentent les résultats subdivisés par site et notent que les changements dans les fréquences de collisions ne sont pas statistiquement significatives. Il ne semble pas qu'ils aient tenu compte des changements dans les débits de circulation qui pourraient influencer les résultats de façon importante.

Panneaux avertisseurs de visibilité réduite

Kostyniuk et Cleveland (1986)

Kostyniuk et Cleveland (1986) ont étudié l'efficacité de panneaux avertisseurs de visibilité réduite sur la diminution des collisions dans des routes pavées à deux voies situées au Michigan. L'intervention consistait à installer un panneau standard en losange, de couleur jaune et portant en noir le texte « Visibilité réduite ». Les dimensions des panneaux ne sont pas données.

La conception de l'étude repose sur une analyse avant-après ayant recours à un groupe témoin. Les sites du groupe étudié et du groupe témoin étaient composés de paires de sites qui possédaient les mêmes caractéristiques à l'égard des points suivants : débit de circulation, utilisation du terrain, végétation, géométrie de la route, largeur de la voie et accotements. L'analyse a porté sur neuf paires de sites correspondants et sur les données sur les collisions recueillies pendant 3,5 à 5 ans et des périodes avant et après d'égale durée. Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 4.9.

TABLEAU 4.9 : Incidences sur la sécurité des panneaux de « Visibilité réduite »

Site	Durée des périodes avant et après (années)	Nombre de collisions			
		À l'étude		Groupe témoin	
		Avant	Après	Avant	Après
1	2,5	8	0	2	1
2	2,0	1	1	0	2
3	2,0	3	4	1	0
4	2,5	4	4	2	2
5	2,5	10	7	13	11
6	1,8	8	16	6	7
7	2,0	3	8	2	1
8	2,0	0	2	0	3
9	2,0	0	0	0	0

Total		37	42	26	27
-------	--	----	----	----	----

Bien que l'article ne donne aucun détail, il est mentionné que les sites sont en correspondance au plan des débits de circulation. On présume que cela signifie que l'on a tenu compte de l'exposition, de sorte qu'une comparaison de la fréquence des collisions est appropriée.

Les sites à l'étude et témoins ont montré une augmentation du nombre de collisions, l'augmentation des accidents dans les emplacements étudiés étant plus importante. Cela indique que le panneau d'avertissement de « Visibilité réduite » n'a entraîné aucun avantage (il en résulte un FMC de 1,09). Les nombres de collisions utilisés dans les groupes étudié et témoin sont petits sur le plan statistique et ne permettent pas en soi de tirer des conclusions statistiquement significatives des incidences sur la sécurité de ce type de panneaux. Il n'est donc pas approprié de conclure que les panneaux avertisseurs de visibilité réduite ont été nuisibles à la sécurité.

Il convient de noter que le syntagme « distance de visibilité » est tiré d'un vocabulaire spécialisé et sa signification échappe probablement à de nombreux conducteurs.

CETTE PAGE EST INTENTIONNELLEMENT LAISSÉE EN BLANC

Chapitre 5 :
Chapitre 5 :
Marquage des chaussées
Marquage des chaussées

CHAPITRE 5 : MARQUAGE DES CHAUSSÉES

Généralités

Transport Research Laboratory (2000)

En puisant dans la base de données MOLASSES (voir la partie portant sur la « Signalisation » pour obtenir de plus amples renseignements sur la base MOLASSES), le TRL (2000) du Royaume-Uni a recueilli de l'information concernant les incidences sur la sécurité de l'amélioration du marquage des chaussées. La documentation disponible ne précise pas si le « marquage » vise des routes auparavant non marquées, la modification de marques existantes ou une combinaison de ces deux mesures. Les résultats sont donc généralisés et ne peuvent servir qu'à donner une idée superficielle de l'ampleur possible des améliorations en matière de sécurité. Le « marquage en bandes jaunes » est un marquage transversal de la chaussée. Les résultats sont présentés au tableau 5.1.

TABLEAU 5.1 : Incidences sur la sécurité du marquage des chaussées au Royaume-Uni

Intervention	Milieu	Nombre de sites	Nombre de collisions		FMC
			Avant	Après	
Marques	Urbain	196	1 721	1 208	0,70
	Rural	74	599	370	0,62
Marquage en bandes jaunes	Urbain	2	15	4	0,27
	Rural	2	19	12	0,63

L'étude du « marquage en bandes jaunes » a porté sur un échantillon particulièrement petit, ce qui peut fausser les résultats.

Migletz et Graham (2002)

Un récent rapport établi par Migletz et Graham (2002) traitait entre autres des incidences sur la sécurité des matériaux rétroréfléchissants plus résistants de marquage des chaussées. L'étude de la FHWA faisait appel à la méthodologie avant-après et portait sur 55 sites, situés sur des autoroutes (65 %), des routes dont la vitesse permise était de 72 km/h et plus (15 %) et des routes dont la vitesse permise se situait à 64 km/h et moins (18 %). Divers types de matériaux résistants de marquage ont remplacé la peinture conventionnelle à base de solvant à 48 emplacements de même que les marques à l'époxy

dans sept sites.

Les collisions mettant en cause plusieurs véhicules survenant aux carrefours ont été exclues de l'analyse étant donné que l'on ne pouvait présumer que ces accidents étaient liés aux marques longitudinales sur la chaussée. En outre, les accidents survenant sur une chaussée enneigée ou glacée ont également été exclus de l'analyse. Au total, la base de données des périodes avant et après portait sur 10 312 collisions. Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 5.2.

La méthodologie de l'étude comprenait un ajustement relatif à l'exposition par l'inclusion de la longueur du site, la durée de la période étudiée, le débit journalier moyen, la proportion de circulation de jour et de nuit, ainsi que la proportion de circulation par temps sec et pluvieux. La durée pendant laquelle la chaussée était mouillée a été estimée grâce à un logiciel informatique.

TABLEAU 5.2 : Incidences sur la sécurité des marques résistantes sur la chaussée

État de la chaussée	FMC	Statistiquement significatif à 5 %
Sèche	0,89	Oui
Mouillée	1,15	Non
Sèche + mouillée	0,94	Non

Les données ci-dessus ne suffisent pas pour conclure que les marques résistantes permettent d'obtenir plus d'avantages en matière de sécurité que les matériaux de marquage conventionnels.

Lignes de bordure

Willis et coll. (1984)

Dans une étude avant-après faisant appel à un groupe témoin, Willis et coll. (1984) se sont penchés sur les effets des lignes de bordure sur le taux et la sévérité des collisions avec blessures survenant sur des routes rurales non éclairées, en Angleterre. La méthode britannique de marquage du bord de la chaussée permet l'utilisation de lignes continues ou non (les lignes discontinues indiquent que le tracé routier est adéquat, la ligne continue indique une visibilité réduite qui commande la prudence). L'étude portait sur des lignes de bordures à des emplacements dont au moins une partie du tracé était adéquat (un mélange de lignes de bordure continues et discontinues), et des lignes de bordure de routes où le tracé nécessitait l'utilisation de lignes continues. Les

caractéristiques des sites étudiés sont présentées au tableau 5.3.

TABLEAU 5.3 : Sites étudiés aux fins d'évaluation des lignes de bordure en Angleterre

Caractéristiques	Continues + discontinues	Continues	Aucune ligne de bordure
Longueur totale (km)	206	201	203
Nombre de segments	26	24	25
DJM (mois de pointe)	4 340	4 223	5 333
Total des collisions avec blessés (en 3 ans)	381	353	423
Taux de collisions ($10^8/\text{KVM}$)	27,18	30,33	25,19
Densité de l'intersection (/km)	1,12	1,12	1,16

Les sites à l'étude comportaient également les mêmes caractéristiques relativement aux courbes de tracé en plan et aux courbes verticales.

Les lignes de bordure consistaient en une peinture appliquée à chaud ou en un matériau thermoplastique et elles étaient toutes rétro réfléchissantes. L'analyse a utilisé les données sur les collisions recueillies au cours de trois années avant et de deux années après. Les résultats de l'analyse sont présentés dans les tableaux 5.4 et 5.5.

TABLEAU 5.4 : Incidences des lignes de bordure sur la gravité des collisions en Angleterre

Gravité des collisions	Continues + discontinues		Continues		Échantillon témoin	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Mortelles	6 %	5 %	4 %	4 %	7 %	4 %
Graves	37 %	41 %	41 %	45 %	40 %	42 %
Légères	57 %	53 %	56 %	51 %	54 %	53 %

TABLEAU 5.5 : Incidences des lignes de bordure sur les taux des collisions en Angleterre

Site	Taux de collisions ($10^8/\text{KVM}$)
-------------	--

	Avant	Après	Changement (%)
Continues + discontinues	26,1	29,2	+11,9
Continues	26,8	26,6	-0,8
Échantillon témoin	24,1	23,5	-2,7

Les changements dans les taux de collisions n'ont pas été considérés comme significatifs. Cependant, une étude superficielle de ces résultats indiquerait que, selon la diminution du taux de collisions aux sites témoin, le marquage des lignes de bordure semble avoir un effet négatif sur la sécurité, en augmentant le taux de collisions (ou, à tout le moins, en ralentissant la diminution de ce taux) aux emplacements étudiés. Les FMC relatifs aux lignes de bordure discontinues + continues et continues seraient respectivement de 1,14 et de 1,02.

Cottrell (1987)

Cottrell (1987) a évalué les incidences de lignes de bordure de 200 mm de largeur sur les accidents comportant des sorties de route et ce, sur trois routes rurales à trois voies (60,7 miles) situées en Virginie. La méthodologie utilisée consistait en une étude avant-après faisant appel à un groupe témoin et reposant sur les données recueillies pendant trois ans avant et deux ans après. Les groupes témoin ont été choisis afin de correspondre aux tronçons à l'étude en ce qui touche la géométrie générale de la route, le DJM et la fréquence des collisions.

Relativement aux accidents comportant des sorties de route, il ne ressort pas de différence significative dans la fréquence des collisions pour les sites pris individuellement ou conjointement (niveau de confiance de 95 %). Cottrell a également étudié l'incidence des sorties de route mettant en cause un état de conduite avec facultés affaiblies, les sorties de route dans une courbe de tracé en plan et les sorties de route pendant la nuit, ainsi que les collisions avec des véhicules en sens inverse et aucune répercussion apparente n'a semblé évidente.

Hall (1987)

Hall (1987) a étudié l'utilisation de lignes de bordure de huit pouces de largeur sur des routes rurales, autres qu'inter-États, se trouvant au Nouveau-Mexique. L'étude visait à mettre au point un moyen de réduire les sorties de route. Les sites ont été sélectionnées

selon la technique de contrôle de la qualité du taux, pour fins d'intervention éventuelle, parce qu'ils comportaient un taux élevé d'accidents comportant des sorties de routes. Un groupe témoin a été utilisé aux fins de l'analyse. Celui-ci avait également un taux élevé d'accidents comportant des sorties de route et il a été choisi afin de tenir compte des effets de régression à la moyenne. Le tableau 5.6 donne un sommaire des sites utilisés dans l'analyse.

TABLEAU 5.6 : Sites utilisés dans l'évaluation de larges lignes de bordure

Type de site*	Nombre de sites	Longueur de la route (miles)	Période avant (mois)	Période après (mois)
Sites à l'étude 1	19	101	41	17
Sites à l'étude 2	12	76	52	5
Sites témoin	38	353	41 à 52**	5 à 17

* Les sites à l'étude 1 et 2 sont des groupes de sites distincts dans lesquels on a effectué la même intervention.

** Les périodes de l'analyse varient parce que certains des sites témoins ont été convertis en sites à l'étude 2 une fois l'évaluation commencée.

Le taux de sorties de route pour le groupe 1 a diminué de 10 % alors que le groupe témoin a enregistré une baisse de 16 %. Le taux de sorties de route pour le groupe 2 a diminué de 17 % alors que le groupe témoin a enregistré une baisse de 24 %. Hall a effectué des analyses supplémentaires sur les collisions survenant de nuit, reliées aux courbes et mettant en cause des véhicules en sens contraire, afin de déterminer si les larges lignes de bordure étaient plus (ou moins) efficaces dans certaines conditions. Il n'est parvenu à aucun résultat significatif.

En l'absence de preuve à l'égard des avantages en matière de sécurité, Hall se prononce contre l'utilisation de larges lignes de bordure sur les routes rurales au Nouveau-Mexique. En fait, les résultats indiquent que les larges lignes de bordure sont nuisibles à la sécurité. S'il est adéquatement tenu compte de la régression à la moyenne, et que les lignes de bordure n'ont effectivement pas de incidences sur l'efficacité de la sécurité, on s'attendrait à ce que la réduction du taux d'accidents des groupes étudiés soit la même que pour le groupe témoin. Les deux groupes ont enregistré une baisse de leur taux d'accidents, probablement en raison d'effets de régression à la moyenne. Cependant, la baisse dans les groupes étudiés est plus légère, ce qui semble indiquer que la régression à la moyenne a été neutralisée par une augmentation du taux de collisions.

Lee et coll. (1997)

Lee et coll. (1997) ont effectué une étude visant à examiner la relation entre les collisions survenant de nuit et le caractère rétro réfléchissant des marques longitudinales sur la chaussée. L'étude a été menée au Michigan et a porté sur 46 sites à l'essai qui représentaient 1875 km de route. Les sites à l'étude appartenaient à diverses catégories, de l'autoroute aux routes citadines, et les matériaux utilisés aux fins du marquage incluaient des peintures à l'eau, à composantes thermoplastiques, à base de polyester, ainsi que des rubans adhésifs. Les sites étudiés ont été groupés dans quatre zones géographiques comportant les caractéristiques décrites au tableau 5.7.

TABLEAU 5.7 : Caractéristiques des zones géographiques aux fins de l'étude des incidences sur la sécurité de la réflectivité des marques de chaussée

Caractéristiques		Zone à l'étude			
		A	B	C	D
Nombre de sites		22	8	10	6
Distance (en milles)		223	286	461	195
DJM	Moyen	13 304	14 028	6 476	26 200
	Minimum	3 000	4 000	1 500	9 500
	Maximum	30 000	44 000	19 000	45 000
Proportion de commerces (%)	Moyenne	3,65	3,83	3,3	0,98
	Minimum	1	1	1	1
	Maximum	12	15	9	4
Vitesse (mi/h)	Moyenne	58	59	52	48
	Minimum	35	45	40	40
	Maximum	70	70	55	55
Éclairage des rues		Principalement non éclairées	Principalement non éclairées	Principalement non éclairées	Principalement éclairées
Moyenne annuelle de précipitation de neige (pouces)		50	70	90	40

Les mesures du caractère rétro réfléchissant ont été enregistrées tous les trois mois pendant une période de trois ans (soit 11 mesures prises dans chaque zone). Les mesures ont été prises conformément aux directives données par le fabricant du dispositif de mesure. Les accidents de nuit ont été sélectionnés à partir de la base de données

d'accidents s'ils étaient considérés comme reliés à la visibilité des marques (c.-à-d. qu'ils devaient avoir eu lieu à l'aube, à la brunante ou pendant la nuit et qu'ils excluaient les collisions survenues à des carrefours, sur chaussée mouillée ou en raison de l'alcool ou de la fatigue.

Afin de déterminer le volume, les données à cet égard n'étant pas disponibles, les chercheurs ont examiné le ratio des accidents de nuit par rapport à ceux de jour (N/J), ajustés en fonction de la durée (selon les heures de clarté et d'obscurité). Les résultats sont présentés au tableau 5.8.

Dans tous les cas, la rétroreflectivité (RR) des lignes a été considérée égale ou supérieure au minimum requis par les normes à l'égard du jour. Une analyse de régression linéaire a cependant indiqué qu'il n'y avait pas de corrélation importante entre la réflectivité des marques longitudinales et les accidents de nuit.

TABLEAU 5.8 : Incidences sur la sécurité de la réflectivité des marques de chaussée

Intervalle de temps	Mesure	Zone			
		A	B	C	D
1	RR	178	---	---	---
	N/J	0,56	---	---	---
2	RR	215	167	---	---
	N/J	0,56	0,88	---	---
3	RR	217	211	249	254
	N/J	0,96	0,70	0,34	0,48
4	RR	181	196	157	151
	N/J	0,92	0,41	0,37	0,56
5	RR	196	159	151	205
	N/J	0,19	0,70	0,13	0,33
6	RR	226	195	215	208
	N/J	1,43	0,65	0,37	0,58
7	RR	247	226	281	228
	N/J	1,02	0,81	0,67	0,38
8	RR	146	140	122	170
	N/J	0,33	0,63	0,63	0,82
9	RR	202	162	151	228
	N/J	1,21	0,28	0,67	0,84
10	RR	281	184	181	---
	N/J	0,73	0,70	0,22	---
11	RR	280	166	235	---

	N/J	0,43	0,84	0,69	---
--	-----	------	------	------	-----

Dans le travail de Lee et coll., il est intéressant de noter que l'équation de régression pour l'ensemble des sites, bien que la corrélation soit faible, indique une augmentation de la proportion des accidents de nuit à mesure que la réflectivité augmente. Il s'agit d'un résultat allant à l'encontre de l'intuition selon laquelle des marques plus visibles devraient aider les automobilistes dans la maîtrise et la conduite de leur véhicule et, donc, réduire les accidents. Ce résultat est cependant conforme à de plus récentes opinions selon lesquelles des marques plus réfléchissantes donnent à l'automobiliste une meilleure vision du tracé de la route, ce qui lui donne à croire qu'il voit mieux que ce n'est réellement le cas.

Lignes transversales

Retting et coll. (1997)

Retting et coll. (1997) ont effectué une étude afin de déterminer les effets, sur les collisions arrière, des flèches « tout droit » et de virage à droite marquées sur la chaussée, à quatre sites d'accès de centres commerciaux situés en Virginie. Les flèches ont été disposées plusieurs centaines de pieds en amont de chaque. Trois des sites n'étaient pas munis de feux, étant des accès intermédiaires et un site était un accès avec feux. Tous les sites étaient situés en milieu urbain ou en banlieue, le long d'artères à voies multiples à vitesse limite affichée de 30 à 45 miles à l'heure. Les critères de sélection des sites ne sont pas indiqués. La méthodologie de l'étude consistait en une évaluation naïve avant-après des taux de conflits provoqués par les virages à droite. Les résultats sont présentés au tableau 5.9.

TABLEAU 5.9 : Incidences sur la sécurité de flèches marquées sur la chaussée

Site	Vitesse limite (mi/h)	Distance entre la zone conflictuelle et la flèche	Contrôle de la circulation	Conflits / 100 conflits possibles		FMC ⁺
				Avant	Après	
1	45	250, 475*	Sans feux	4,7	2,4	0,98
2	30	210	Sans feux	18,6	9,2	0,91
3	30	145	Sans feux	7,7	6,3	0,99
4	35	300	Feu de circulation	4,8	10,4	1,06

* - On a utilisé deux flèches en raison de la vitesse limite plus élevée

⁺ - Dans l'hypothèse où les conflits et les collisions sont reliés de façon linéaire

Les marques sur la chaussée aux emplacements sans feux ont un FMC combiné de 0,96 (dans l'hypothèse où les conflits et les collisions sont reliés de façon linéaire).

CETTE PAGE EST INTENTIONNELLEMENT LAISSÉE EN BLANC

Chapitre 6 :
Chapitre 6 :
Sécurité des piétons
Sécurité des piétons

CHAPITRE 6 : SÉCURITÉ DES PIÉTONS

Passages piétonniers marqués

Knoblauch et Raymond (2000)

Knoblauch et Raymond (2000) ont étudié les effets des marques des passages pour piétons sur la vitesse des véhicules s'en approchant et ce, à six emplacements au Maryland, en Virginie et en Arizona. Les sites à l'étude étaient des intersections non contrôlées, composées de routes à revêtement récent, dont l'accès secondaire était pourvu de panneaux d'arrêt. La vitesse limite à tous les sites était de 56 km/h (35 mi/h). L'état « antérieur » des sites consistait en une route comportant un nouveau revêtement et de nouvelles marques sur la chaussée, sauf les marques du passage pour piétons. Il s'agit d'une étude naïve avant-après utilisant comme paramètre la vitesse moyenne. Les mesures de la vitesse ont été prises aux mêmes moments de la journée, pendant les périodes avant et après.

Tous les sites ont fait l'objet d'une observation en fonction des trois conditions liées aux piétons : aucun piéton, piétons regardant dans la direction du véhicule approchant et piétons regardant droit devant (soit de l'autre côté du passage). Dans les conditions où des piétons étaient présents, ceux-ci étaient arrêtés en bordure du trottoir et prêts à traverser. Les piétons portaient des vêtements neutres, appropriés à la saison. On a toujours fait appel au même piéton pour prendre les mesures avant et après à un emplacement.

Les résultats de l'étude sont présentés au tableau 6.1.

Ces résultats indiquent que les passages pour piétons marqués, sans la présence d'un piéton, pourraient avoir entraîné la réduction la plus importante de la vitesse moyenne. Les auteurs ont tenté de tenir compte de l'effet de nombreuses variables confusionnelles en mesurant les vitesses au même moment de la journée et en ayant recours à un piéton standard dans les études avant et après, etc. Cependant, sans un groupe témoin sélectionné adéquatement, il est possible que d'autres facteurs de confusion se soient infiltrés dans les résultats. Les résultats semblent contre-intuitifs et, en raison des lacunes de la méthodologie de l'étude, ils ne sont probablement pas valables.

TABLEAU 6.1 : Incidences, sur la vitesse des véhicules, de passages piétonniers marqués à des carrefours sans dispositifs de contrôle de la circulation de trois États

Site	Description		Vitesse moyenne (km/h)		Change-ment (km/h)
			Avant	Après	
1	Zone suburbaine densément peuplée, résidentielle/ commerciale. Route à quatre voies.	Aucun piéton	60,6	61,2	0,6
		Piéton regardant	57,5	65,3	7,8*
		Piéton ne regardant pas	59,6	61,5	1,9
2	Zone semi-urbaine densément peuplée et résidentielle. Route à deux voies avec îlot de refuge pour piétons.	Aucun piéton	55,8	55,5	-0,3
		Piéton regardant	58,9	56,8	-2,1
		Piéton ne regardant pas	56,5	53,7	-2,8
3	Zone suburbaine résidentielle/ commerciale. Route à quatre voies	Aucun piéton	72,1	66,4	-5,7*
		Piéton regardant	68,5	67,0	-1,5
		Piéton ne regardant pas	68,6	66,9	-1,7
4	Zone suburbaine résidentielle/ commerciale. Artère à six voies.	Aucun piéton	75,7	69,5	-6,2*
		Piéton regardant	73,3	68,4	-4,9*
		Piéton ne regardant pas	70,5	67,7	-2,8*
5	Route collectrice à deux voies, sans trottoirs.	Aucun piéton	63,9	58,9	-5,0*
		Piéton regardant	59,6	58,9	0,7
		Piéton ne regardant pas	62,6	55,3	-7,3*
6	Route collectrice à deux voies, sans trottoirs.	Aucun piéton	79,1	59,3	-19,8*
		Piéton regardant	61,5	59,4	-2,1
		Piéton ne regardant pas	66,5	56,7	-9,8*
Tous	Sans objet	Aucun piéton	67,9	61,8	-6,1*
		Piéton regardant	63,2	62,6	-0,6
		Piéton ne regardant pas	64,1	60,3	-3,8*

* Dénote un changement statistique significatif à un niveau de confiance de 95 %.

Îlots de refuge pour piétons et traversées piétonnières par étapes

iTrans (2002)

La sécurité des refuges pour piétons et les traversées piétonnières par étapes (TPE) ont fait l'objet d'une enquête par la Ville de Toronto (iTrans, 2002). Voici une brève description de chaque dispositif :

- *Les refuges pour piétons sont des îlots surélevés d'environ 1,8 mètre de large sur 11 mètres de longueur et situés au centre de routes de 16 mètres de largeur. Des panneaux d'avertissement sont situés en amont des accès des automobiles, des bornes délimitent l'îlot et des panneaux indiquant de garder la droite sont affichés à chacune de ses extrémités. Les entrées pour piétons sont munies de panneaux indiquant d'attendre ou précisant l'endroit où traverser. La loi ne confère pas aux piétons la priorité de passage.*
- *Les traversées piétonnières par étapes (TPE) sont des dispositifs de contrôle de la circulation particuliers à l'Ontario. Ils sont constitués d'une combinaison de panneaux de circulation statiques, d'un panneau aérien à éclairage intérieur qui arbore le message « passage pour piétons », ainsi que de feux clignotants de couleur ambre activés par les piétons. Ces contrôles sont décrits de façon exhaustive dans le Ontario Manual of Uniform Traffic Control Devices. Essentiellement, un automobiliste approchant de l'un de ces dispositifs activés par un piéton doit laisser la priorité de passage à celui-ci et peut continuer sa route une fois que le piéton a libéré la portion de la route où se trouve le conducteur. Les îlots se trouvant dans des TPE sont conçus suivant le même modèle que les refuges pour piétons. Pour les automobilistes, les TPE sont également munis de panneaux qui préviennent de la présence de piétons, de panneaux exigeant de garder la droite et de bornes délimitant la fin de l'îlot. Dans le cas des piétons, ceux-ci sont invités à « appuyer sur le bouton afin d'activer le dispositif d'avertissement ».*

La recherche a porté sur 30 refuges pour piétons et 20 TPE afin d'établir une comparaison directe de l'efficacité de la sécurité des deux dispositifs. En outre, une étude avant-après a été entreprise dans le but de déterminer l'efficacité des refuges pour piétons. Les résultats relatifs aux collisions tirés de la comparaison directe des deux dispositifs sont présentés au tableau 6.2.

TABLEAU 6.2 : Efficacité de la sécurité des dispositifs piétonniers à Toronto

Contrôle de la circulation	Total des collisions par emplacement (collisions/année)	Gravité des collisions (%)		
		Mortelles	Avec blessures	DMS

Îlots de refuge pour piétons	0,7	3	42	55
TPE	3,6	1	47	52

La fréquence des collisions aux emplacements comportant des TPE est 5,5 fois supérieure à celle enregistrée aux refuges pour piétons. Bien que cette statistique ait été établie sans tenir compte de l'exposition, il est noté ailleurs dans le rapport que les débits piétonniers aux passages prioritaires étaient en moyenne quatre fois plus élevés que dans les refuges pour piétons.

Il n'y a pas de différence statistique dans la distribution de la gravité des collisions à un niveau de confiance de 95 %.

L'étude de Toronto se poursuit par l'étude des types de collisions se produisant à chaque emplacement. Les résultats sont présentés au tableau 6.3.

TABLEAU 6.3 : Types de collisions survenant à des refuges pour piétons et à des TPE

Lieu	Type de collision			
	Véhicule-véhicule	Véhicule-piéton	Véhicule-refuge	Autre
Îlots de refuge pour piétons	5 (8 %)	6 (10 %)	47 (80 %)	1 (2 %)
TPE	148 (68 %)	35 (16 %)	28 (13 %)	6 (3 %)

Dans ce cas, il existe une différence statistique significative dans les proportions relatives. Il semble que les refuges pour piétons sont associés à davantage de collisions véhicule-refuge et que les TPE sont associés à davantage de collisions véhicule-véhicule.

L'évaluation de l'efficacité des refuges reposait sur une analyse avant-après de la fréquence des collisions. Les périodes avant et après sont toutes deux de trois ans. L'analyse a révélé que, bien que le nombre de piétons touchés par des accidents, soit 22, ait été réduit à 6 dans la période après, les collisions véhicule-refuge, qui étaient impossibles dans la période avant, se sont reproduites à 43 reprises dans la période après. Encore une fois, l'analyse n'a pas tenu compte de l'exposition.

Bien que la sécurité des piétons semble avoir augmenté, il en ressort toutefois que la sécurité globale, déterminée par la fréquence des collisions, ait diminué.

Dans le rapport de Toronto, il est indiqué que plus de 50 % des collisions véhicule-refuge se sont produites dans quatre des emplacements pourvus d'un refuge pour piétons et que trois de ces sites comportaient un « tracé de voies laissant à désirer », ce qui indique qu'il y aurait moyen d'améliorer la sécurité par une meilleure conception de l'îlot.

Dans l'étude de Toronto, on a recueilli des données sur les piétons et sur la circulation routière, ainsi que sur la fréquence des collisions, mais on n'a pas tenté d'intégrer ces trois éléments d'information dans les FPS à l'égard des deux types de dispositifs. La régression linéaire a été utilisée dans un effort d'établir une corrélation entre les collisions et la circulation routière, mais l'exercice n'a pas donné de résultats concluants.

Feux clignotants accompagnés de panneaux complémentaires

Van Houten (non publié)

Van Houten (non publié) a examiné les effets des feux clignotants activés par les piétons et accompagnés de panneaux de signalisation sur les conflits véhicules-piétons, le tout à deux emplacements situés à Dartmouth, en Nouvelle-Écosse. Les feux clignotants activés par les piétons, qui étaient utilisés en solo, sont de couleur ambre et suspendus au-dessus du passage pour piétons. Un panneau placé sur le poteau affichait le message « APPUYEZ SUR LE BOUTON POUR AVERTIR LES AUTOMOBILISTES ». Les feux clignotaient pendant 35 secondes une fois activés.

Les feux clignotants étaient complétés d'un pictogramme à éclairage intérieur représentant un piéton et placé entre les deux feux clignotants, ainsi que de panneaux de préavis affichant un pictogramme d'un piéton et la légende « Cédez le passage au feu clignotant ». Un site était situé à une intersection et l'autre était constitué d'un passage pour piétons à une entrée intermédiaire reliant un important établissement de loisirs communautaires à un centre des congrès. Les deux passages pour piétons traversaient une route à chaussées séparées de six voies où la vitesse limite était de 50 km/h. Les procédures de sélection des sites ne sont pas précisées.

Les incidences sur la sécurité ont été mesurées par la proportion de piétons ayant activé les feux clignotants, d'automobilistes respectant la priorité piétonnière et de conflits véhicules-piétons. Étant donné qu'aucune recherche, à notre connaissance, n'a solidement établi de liens entre l'activation et le comportement de respect de la priorité à la survenue de collisions, seules les données relatives aux conflits sont rapportées dans le présent rapport. Un conflit véhicule-piéton était noté :

- lorsqu'un automobiliste devait freiner brusquement et bruyamment ou changer de voie de façon abrupte afin d'éviter un piéton, et
- lorsqu'un piéton devait sauter ou reculer soudainement afin d'éviter d'être frappé par un véhicule.

Les chercheurs ont neutralisé l'exposition en examinant 48 piétons par jour, qui ont traversé lorsqu'il y avait de la circulation. Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 6.4.

TABLEAU 6.4 : Conflits de circulation à divers types de passages pour piétons

Contrôle de la circulation	Conflits de circulation par session d'étude	
	Lieu	
	1	2
Feu clignotant seulement	1,0	3,0
Feu clignotant + pictogramme	0,91	S/O*
Feu clignotant + signal de préavis	S/O*	0,37
Feu clignotant + pictogramme + signal de préavis	0,25	0,67

* Les modifications au contrôle de la circulation ont été intégrées de façon séquentielle à chaque emplacement, le site 1 ayant reçu comme premier ajout le pictogramme et le site 2, le signal de préavis.

Le rapport indique que les données recueillies ont été soumises à des essais statistiques. Cependant, le rapport ne mentionne pas si la réduction des conflits est statistiquement significative. Dans l'hypothèse où les conflits et les collisions sont reliés de façon linéaire, le FMC relatif au pictogramme doublé du signal de préavis est d'environ 0,22 à 0,25.

Panneaux indiquant que les véhicules qui tournent doivent céder le passage aux piétons

Abdulsattar et coll. (1996)

Les incidences sur les conflits véhicules-piétons des panneaux indiquant que les véhicules qui tournent doivent céder le passage aux piétons ont fait l'objet d'une étude

par Abdulsattar et coll. (1996), et ce à de 12 passages pour piétons marqués se trouvant à des carrefours avec feux et situés dans deux villes du Nebraska. L'intervention a pris la forme d'un panneau rectangulaire de 61 cm x 76 cm à lettrage noir sur fond blanc. Le panneau a été affiché à l'extrémité gauche de l'intersection, à l'intention des automobilistes tournant à gauche, et à l'extrémité droite de l'intersection, pour les automobilistes tournant à droite.

L'étude reposait sur une analyse naïve avant-après, la proportion de conflits véhicules-piétons constituant le paramètre ultime. Un conflit a été défini comme une esquive de la part du piéton afin d'éviter une collision ou la présence d'un véhicule sur le passage pour piétons, à 20 pieds ou moins d'un piéton déjà engagé dans le passage. Les conflits ont fait l'objet d'un classement plus poussé en fonction de la position du piéton dans le passage. Les conflits de type A se produisent lorsque le piéton a franchi les voies réservées aux véhicules en virage et les conflits de type B se produisent lorsque le piéton se trouve dans les voies réservées aux véhicules en virage.

Six des passages pour piétons ont été évalués à l'égard des conflits relatifs au virage à gauche; six des intersections ont été évaluées relativement aux conflits liés aux virage à droite. Le choix des sites s'est fondé sur un débit élevé de véhicules en virage, de piétons, ainsi que la présence de systèmes de feux pour piétons. Tous les sites étaient similaires quant à l'utilisation du terrain adjacent.

On a fait appel à un observateur afin d'augmenter le coefficient d'objectivité. Les données ont été recueillies aux mêmes moments pendant les jours de semaine, à de tous les sites.

Les résultats des conflits lors de virage à gauche et à droite sont présentés respectivement dans les tableaux 6.5 et 6.6.

Un test du Chi-carré visant les différences catégoriques a été appliqué, et il a été découvert que la réduction dans la totalité des conflits à tous les emplacements était significative à un niveau de 95 %. Une analyse plus approfondie a révélé que la réduction des conflits lors de virage à gauche était sensiblement supérieure à la réduction des conflits lors de virage à droite. Les conflits lors de virage à gauche ont été réduits de 20 à 65 %, les conflits lors de virage à droite de 15 à 30 %.

TABLEAU 6.5 : Conflits véhicules-piétons lors de virage à gauche

Site	Étude	Nombre d'observations	Proportion d'observations ayant résulté en conflits (%)		
			Type A	Type B	Tous
A	Avant	213	27	26	53
	Après	157	9	9	18
B	Avant	313	18	38	56
	Après	326	22	23	45
C	Avant	118	34	37	71
	Après	105	33	19	52
D	Avant	240	9	51	60
	Après	135	14	13	27
E	Avant	180	24	31	55
	Après	170	19	18	37
F	Avant	209	33	15	48
	Après	146	14	9	23
TOTAL	Avant	1 273	23	33	56
	Après	1 039	19	16	35

TABLEAU 6.6 : Conflits véhicules-piétons lors de virages à droite

Site	Étude	Nombre d'observations	Proportion d'observations ayant résulté en conflits (%)		
			Type A	Type B	Tous
A	Avant	277	44	26	70
	Après	191	35	17	52
B	Avant	306	38	20	58
	Après	238	32	11	43
C	Avant	468	34	23	57
	Après	499	27	15	42
D	Avant	432	34	10	44
	Après	415	29	5	34
E	Avant	718	33	15	48
	Après	570	21	12	33
F	Avant	704	29	14	43
	Après	652	29	7	36
TOTAL	Avant	2 905	34	17	51
	Après	2 565	28	10	38

Les chercheurs ont à juste titre relevé les limites ci-après dans cette analyse.

- L'étude après a été effectuée dans les quatre semaines suivant la pose des panneaux; on ne connaît donc pas leurs incidences à plus long terme.
- Les sites avaient été ciblés sur le plan géographique et la transférabilité de ces résultats à d'autres juridictions est inconnue.

Contrôle de la circulation dans les zones scolaires

Schrader (1999)

La ville de Springfield, en Illinois, a étudié l'efficacité de cinq dispositifs de contrôle de la circulation en zone scolaire en mesurant les vitesses du 85^e percentile dans le cadre d'une analyse avant-après faisant appel à un groupe témoin (Schrader, 1999). Cinq sites à l'étude et un site témoin avaient en commun les caractéristiques suivantes :

- une vitesse limite de 20 mi/h pendant les jours d'école;
- une route désignée comme route collectrice;
- un nombre élevé de piétons.

Description des sites étudiés

- Site étudié 1 : Un feu clignotant monté sur poteau a été placé aux entrées de la zone scolaire, et le texte « pendant les jours d'école » se trouvant sur le panneau affichant la vitesse limite de la zone scolaire a été remplacé par « lorsque le feu clignote ».
- Site étudié 2 : Les poteaux portant les panneaux de vitesse limite dans la zone scolaire ont été peints lavande et la chaussée marquée de bandes transversales lavande. L'espace entre les bandes successives diminuait à mesure que l'on avançait en aval.
- Site étudié 3 : Des feux clignotants montés sur câble ainsi que des panneaux de vitesse limite ont été placés aux entrées de la zone scolaire, et le texte « pendant les jours d'école » été remplacé par « lorsque le feu clignote ».
- Site étudié 4 : Les panneaux de vitesse limite dans la zone scolaire ont été

remplacés par des panneaux à fibres optiques à éclairage intérieur affichant le texte « Vitesse limite zone scolaire 20 ». Les panneaux étaient éclairés pendant les heures d'école.

- Site étudié 5 : À l'entrée de la zone scolaire, une marque sur la chaussée indiquait « 20 » en caractères de 2,44 mètres de hauteur.

Des enregistrements de la vitesse ont été pris un mois et six mois après la pose des dispositifs et les résultats sont indiqués au tableau 6.7. Seul le site étudié 4, comprenant un panneau à fibres optiques, a entraîné une réduction significative de la vitesse.

TABLEAU 6.7 : Incidences sur la vitesse de divers dispositifs de contrôle de la circulation en zone scolaire

Site	Vitesse du 85 ^e percentile (mi/h)		
	Avant	Après	
		Un mois	Six mois
Témoin	28,4	29,7	29,7
Site étudié 1	27,3	26,8	26,9
Site étudié 2	27,4	26,0	27,4
Site étudié 3	25,6	26,7	25,3
Site étudié 4	33,1	29,8	30,3
Site étudié 5	32,7	31,9	S/O

Généralités

Université de Washington (2002)

L'Université de Washington (2002) a assemblé un sommaire d'articles traitant d'interventions faisant appel à des techniques environnementales et visant à réduire les blessures aux enfants dans la rue. Le sommaire comprend principalement des études de dispositifs de modération de la circulation visant à augmenter la sécurité des piétons, mais il inclut également de la documentation sur certains changements fonctionnels, telle la signalisation routière. Les articles étudiés utilisaient les collisions, les conflits ainsi que les blessures comme résultats (comme mesures de l'efficacité). Cependant, certains substituts ne présentant pas de corrélation solide avec les accidents sont également inclus. Le principal résultat réside dans le fait que la modération de la circulation dans l'ensemble d'une région semble réduire les accidents avec blessures avec des FMC respectifs de 0,75 et de 0,90 pour les routes locales et principales. Le lecteur est invité à

consulter <http://depts.washington.edu/hiprc/childinjury/topic/pedestrians/environment.html> pour obtenir de plus amples renseignements.

CETTE PAGE EST INTENTIONNELLEMENT LAISSÉE EN BLANC

Chapitre 7 :
Chapitre 7 :
Sécurité des cyclistes
Sécurité des cyclistes

CHAPITRE 7 : SÉCURITÉ DES CYCLISTES

Wheeler (1992)

Wheeler (1992) a examiné l'efficacité de lignes d'arrêt avancées à l'intention des cyclistes, dans trois carrefours à feux situés au Royaume-Uni. Une ligne d'arrêt avancée permet aux cyclistes de bénéficier d'une zone tampon de quatre à cinq mètres en aval de la ligne d'arrêt des véhicules, afin d'avancer dans l'intersection avant les véhicules à moteur, ce qui réduit le risque de conflit. Le plan type d'une ligne d'arrêt avancée est illustré à la figure 7.1.

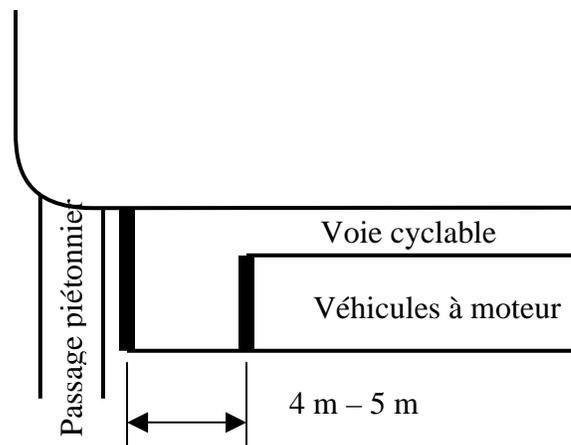


FIGURE 7.1 : Plan type d'une ligne d'arrêt avancée pour cyclistes

Les marques sur la chaussée, comme l'illustre la figure A, ont été apposées en combinaison avec des panneaux d'avertissement et un système de feux de circulation auxiliaires placé au-dessus de la ligne d'arrêt située en retrait à l'intention des automobilistes. Le système de feux de circulation auxiliaires était composé d'un ensemble type formé de trois sections auxquelles est ajoutée une quatrième section affichant un symbole de bicyclette verte alors que l'autre feu est au « rouge ». Il s'agissait d'indiquer aux cyclistes qu'ils pouvaient avancer jusqu'à la ligne d'arrêt en aval (où les systèmes primaire et secondaire sont visibles et affichent un feu rouge). Le choix des sites ne reposait pas sur un taux particulièrement élevé d'accidents de bicyclettes.

On a eu recours à une analyse avant-après de la fréquence des collisions afin d'évaluer

les incidences sur la sécurité des lignes d'arrêt avancées. Les résultats sont présentés au tableau 7.1.

TABLEAU 7.1 : Incidences sur la sécurité des lignes d'arrêt avancées au Royaume-Uni

Mesure	Période	Site		
		1	2	3
Durée (années)	Avant	5,6	5,6	6,8
	Après	6,4	3,4	2,2
Total des collisions	Avant	9	16	23
	Après	5	1	4
Total des collisions avec cyclistes	Avant	4	4	2
	Après	4	0	1
Total des collisions dans les accès étudiés	Avant	0	12	15
	Après	3	0	2
Total des collisions avec cyclistes dans les accès étudiés	Avant	0	4	0
	Après	3	0	1

Le nombre total des collisions est trop bas pour pouvoir tirer des conclusions statistiquement significatives. En outre, les autres interventions sur les sites en question ont affecté les résultats quant aux éventuelles incidences des lignes d'arrêt avancées. L'auteur note qu'à un site étudié, les phases des feux ont été modifiées cinq mois avant la pose de la ligne d'arrêt avancée, qu'à un autre site les lignes d'arrêt avancées ont été apposées conjointement à des feux de circulation et qu'au dernier site, une interdiction de tourner a été mise en place peu avant la ligne d'arrêt avancée.

Chapitre 8:
Chapitre 8 :
Législation et application
Législation et application

CHAPITRE 8 : LÉGISLATION ET APPLICATION

Limites de vitesse

Ullman et Dudek (1987)

Ullman et Dudek (1987) ont étudié les incidences des limites de vitesse réduite dans six secteurs périphériques urbains à croissance rapide du Texas. Les sites étaient composés de routes à chaussée unique, à deux et quatre voies, où la vitesse limite de 55 mi/h a été diminuée à 45 mi/h, malgré les vitesses du 85^e percentile de 50 mi/h et plus. On s'est efforcé de conserver les mêmes niveaux d'application de la loi et on n'a fait aucune annonce publique afin de minimiser l'effet de variables confusionnelles. Il s'agit d'une étude naïve avant-après utilisant le taux de collisions comme mesure de l'efficacité. Les données sur les collisions ont été recueillies au cours d'une année avant et d'une année après. Les résultats sont présentés au tableau 8.1.

TABLEAU 8.1 : Incidences des limites de vitesse sur la sécurité

Site	Taux de collisions*					
	Toutes les collisions			Collisions mortelles + avec blessures		
	Avant	Après	FMC	Avant	Après	FMC
1	4,08	2,57	0,63 ⁺	1,53	1,47	0,96
2	1,11	1,08	0,97	0,26	0,58	2,23
3	2,02	1,22	0,60 ⁺	0,83	0,46	0,55
4	7,32	9,14	1,25	2,98	2,98	1,00
5	7,10	7,03	0,99	3,15	2,79	0,89
6	2,41	3,04	1,26	0,92	1,66	1,80 ⁺
Moyenne	4,01	4,01	1,00	1,61	1,66	1,03

* Taux de collisions = collisions par million-véhicules-milles.

+ Différence significative au niveau de confiance de 95 % (dans l'hypothèse de la distribution de Poisson). Une diminution de la vitesse limite n'a aucune répercussion apparente sur les taux de collisions en périphérie urbaine.

Ville de Winnipeg (1991)

La ville de Winnipeg (1991) a étudié les incidences des modifications de la limite de vitesse sur les taux de collisions de deux artères urbaines.

⁴ Un changement de vitesse limite pour une troisième artère urbaine a été inclus dans le même rapport. Cependant, il s'y trouve trop peu de données "après" pour étayer d'éventuelles conclusions relatives aux incidences sur la sécurité.

- Le boulevard Kenaston, un boulevard de ceinture de quatre voies à chaussées séparées, a fait l'objet en 1978 d'une réduction de la limite de vitesse, soit de 56 km/h à 50 km/h. Les taux de collisions de 1971 à 1989 inclusivement ont été rapportés pour la partie étudiée du boulevard Kenaston et pour « toutes les routes régionales » de Winnipeg. Les résultats sont présentés au tableau 8.2.
- L'avenue Taylor, entre les rues Lindsay et Wilton, a fait l'objet d'une réduction de limite de vitesse, soit de 60 km/h à 50 km/h, en 1982. L'avenue Taylor est un boulevard de ceinture de quatre voies à chaussées séparées entre les rues Waverly et Wilton, et qui se convertit en route à deux voies entre les rues Lindsay et Waverly. Les taux de collisions entre 1971 et 1989 inclusivement, ont été rapportés pour la partie étudiée de l'avenue Taylor et pour « toutes les routes régionales » à Winnipeg. Les résultats sont présentés au tableau 8.2.

TABLEAU 8.2 : Incidences des vitesses limitées sur la sécurité à Winnipeg, au Manitoba

Rue	Taux moyen de collisions		FMC
	Avant	Après	
Kenaston	6,9	4,6	0,66
Toutes	10,11	7,1	0,70
Taylor	6,7	4,2	0,63
Toutes	9,3	6,8	0,73

En tenant compte de la tendance générale à la baisse du taux de collisions pour toutes les rues, il semblerait que la réduction de la vitesse limite ne soit pas aussi prononcée que ce que suggèrent les résultats. Un FMC de 0,95 à 0,86 serait plus vraisemblable. Les périodes avant et après se sont déroulées sur sept à douze ans.

Merriam (1993)

Merriam (1993) a étudié les incidences des réductions de limites de vitesse sur la vitesse, la dispersion de la vitesse et la sécurité, dans des routes de dégagement situées en milieu rural, dans la région de Hamilton-Wentworth. Trois catégories de réductions de la vitesse ont été examinées. Les incidences sur la sécurité ont été déterminées par le changement dans le taux de collisions au moyen de données recueillies pendant trois ans avant et trois ans après, le tout dans le cadre d'une simple analyse avant-après.

Les sites à l'étude ont été sélectionnés en fonction de divers critères. Aucune des limite

de vitesse « après » n'a été considérée justifiée en fonction du critère du 85^e percentile. Les résultats sont présentés au tableau 8.3.

TABLEAU 8.3 : Incidences des vitesses limites sur la sécurité à Hamilton, en Ontario

Changement de la vitesse limite	Nombre de sections	Taux de collisions		Vitesse moyenne (km/h)		FMC
		Avant	Après	Avant	Après	
80 à 60	13	1,47	1,33	76,7	70,9	0,90
80 à 70	12	1,73	1,09	61,2	75,0	0,63
60 à 50	5	2,05	3,07	54,7	64,8	1,50

L'étude ne donne pas d'indications sur la gravité des collisions.

Il est fort possible que les résultats de cette recherche induisent le praticien en erreur. En premier lieu, il s'agit d'une étude naïve avant-après qui ne tient donc pas compte des variables confusionnelles ni des effets de régression à la moyenne (bien que la sélection des sites n'ait pas été faite en fonction d'un taux élevé de collisions, ce qui rend vraisemblablement moins problématique les effets de ladite régression à la moyenne).

La réduction de la vitesse limite est indiquée par un changement dans le panneau routier prévu à cet effet. Alors qu'il s'agit certainement d'un changement effectué dans la partie « route » du système route-conducteur-véhicule, il est peu probable que la modification de la vitesse indiquée sur le panneau ait en soi des effets sur la sécurité. Afin que la réduction de la vitesse limite ait un quelconque effet sur la sécurité, les panneaux doivent provoquer un changement dans le comportement du conducteur. L'incitation à modifier son comportement n'a que peu d'intérêt dans le présent débat, mais il suffit de dire que la crainte de recevoir une importante contravention peut être suffisante. Quoiqu'il en soit, afin que la nouvelle vitesse limite ait des incidences sur la sécurité, elle doit avoir également un effet sur le comportement du conducteur. Selon les vues traditionnelles à cet égard, la vitesse moyenne du trafic n'est pas touchée, mais la variation des vitesses est affectée. Lorsque la vitesse limite se rapproche de la vitesse du 85^e percentile, les fluctuations de vitesse diminuent et lorsque la vitesse limite s'éloigne de la vitesse du 85^e percentile, les variations de vitesse augmentent.

Bélanger (1994)

Bélanger (1994) a étudié la sécurité de carrefours sans feux comportant quatre accès et il a examiné les incidences de la vitesse limite de la route principale sur la sécurité de

l'intersection. Belanger a examiné la sécurité de 149 carrefours situés dans l'Est du Québec et accueillant un débit journalier moyen annuel se situant entre 388 et 15 942. Les collisions qui avaient lieu dans les 30 mètres de l'intersection ou qui étaient enregistrées comme étant reliées à l'intersection, ont été incluses dans l'analyse. L'utilisation d'une technique empirique bayésienne à variables multiples a permis de tenir compte des effets de régression à la moyenne.

Bélanger a élaboré des simples FES à l'égard des intersections sans feux, composées de routes principales à vitesse limite de 50 km/h et de 90 km/h. Le FES est illustré dans l'équation 8.1 et les paramètres du FES sont présentés au tableau 8.4.

$$N = a \text{ DJMA}_1^b \text{ DJMA}_2^c \quad [8.1]$$

où :
 N = Collisions/année
 DJMA = Débit journalier moyen annuel
 a, b, c = paramètres du modèle (voir le tableau 8.4)

TABLEAU 8.4 : Incidences des limites de vitesse sur la sécurité des carrefours

Vitesse limite (km/h)	a	b	c	k
50	0,003906	0,34	0,49	3,10
90	0,001230	0,41	0,59	5,10

Au moyen des modèles ci-dessus, il est possible de déterminer le FMC à l'égard des collisions aux intersections résultant de la réduction de la vitesse limite affichée de 90 km/h à 50 km/h sur la route principale. Le tracé des résultats se trouve à la figure 8.1.

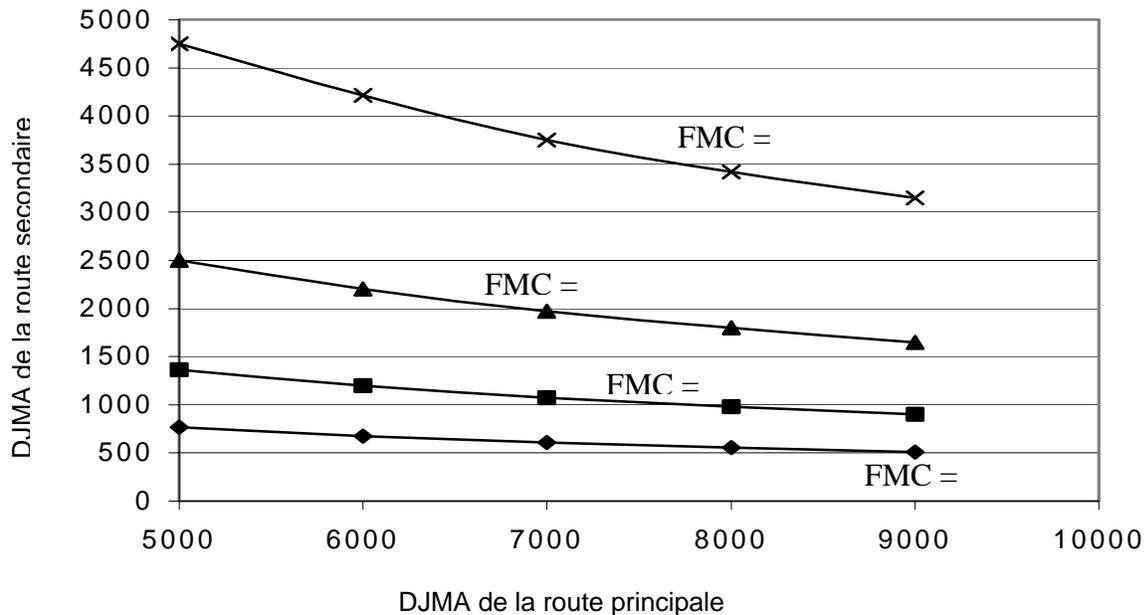


FIGURE 8.1 : Facteurs de modification des collisions (FMC) à l'égard des accidents survenant aux carrefours à la suite de changements de la vitesse limite

Le graphique indique que les avantages en matière de sécurité de la réduction de la vitesse limite affichée augmentent avec l'accroissement du débit de circulation, soit sur la route principale, soit sur la route secondaire. Ces FMC doivent être appliqués en tenant compte des réserves ci-dessous.

- Lorsque les débits de circulation augmentent, la nécessité de changer le contrôle de l'intersection doit être étudiée en priorité.
- L'étude de Bélanger ne donne pas de renseignements sur le lien entre la vitesse limite affichée et l'état physique des sites. On a longtemps supposé qu'un changement dans la vitesse limite affichée n'avait pas d'effet mesurable sur la vitesse de conduite réelle. Le lien ténu entre la vitesse limite et les changements de comportement indique qu'il n'y a peut-être pas de déclencheur crédible dans cette présumée relation de cause à effet. On doit faire preuve de prudence dans l'application de ces FMC.

Hadi et coll. (1995)

Dans le cadre de l'élaboration de modèles de prédiction des collisions pour neuf types de routes en Floride, Hadi et coll. (1995) ont inclus la vitesse limite comme éventuelle variable indépendante. La vitesse limite était incluse en raison de la disponibilité des données, et dans l'espoir où elle serait mise en corrélation avec le taux de collisions. L'analyse concernait des données sur les collisions recueillies pendant quatre ans. Les modèles de prédiction des collisions ont été élaborés au moyen de la loi binomiale négative. Les équations ont été subdivisées selon la gravité des collisions et les FMC résultants à l'égard des changements de vitesse limite sont présentés au tableau 8.5.

TABLEAU 8.5 : FMC relatifs aux changements des vitesses limites en Floride

Milieu	Classe	Nombre de voies	Terre-plein	FMC à l'égard d'une augmentation de vitesse de 1 mi/h		
				Total	Avec blessures	Mortelles
Rural	Route	2	N	0,97	0,98	1,00
		4	O	1,00	0,98	1,00
	Autoroute	4 et 6	O	1,00	1,00	1,00
Urbain	Route	2	N	0,97	0,98	1,00
		4	N	0,95	0,96	1,00
		4	O	1,00	1,00	1,00
		6	O	1,00	0,97	1,00
	Autoroute	4	O	0,97	0,98	1,00
		6	O	0,97	0,97	1,00

Les équations de régression produisant les FMC montrent qu'une augmentation de la vitesse limite affichée est associée soit à l'absence de changement, soit à une diminution du nombre de collisions.

Liu et Popoff (1997)

Liu et Popoff (1997) ont examiné la relation entre la vitesse de conduite et le taux d'accidents avec victimes sur les routes de Saskatchewan. Les collisions avec dommages matériels seulement ont été exclues de l'analyse en raison des changements survenus dans les critères de déclaration au fil du temps. Les auteurs ont énoncé les équations suivantes reliant les victimes et le taux d'accidents connexes aux mesures de la vitesse.

$$C = -17126,1 + 190,71 V_{\text{moy}} \quad R^2 = 0,81 \quad [8.2]$$

$$C = -12473,8 + 133,88 V_{85} \quad R^2 = 0,85 \quad [8.3]$$

où : C = nombre de victimes
 V_{moy} = vitesse de conduite moyenne (km/h)
 V_{85} = vitesse du 85^e percentile (km/h)

$$\text{TAV} = 0,0298 V_{\text{moy}} + 0,0405 (V_{85} - V_{15}) - 3,366 \quad R^2 = 0,94 \quad [8.4]$$

où : TAV = Taux d'accidents avec victimes (accidents corporels/million kilomètres-véhicules)
 V_{moy} = vitesse de conduite moyenne (km/h)
 V_{85} = vitesse du 85^e percentile (km/h)
 V_{15} = vitesse du 15^e percentile (km/h)

Les résultats de l'étude sont conformes aux vues traditionnelles à l'égard de la vitesse de conduite et de la sécurité. Cependant, en excluant les collisions avec dommages matériels seulement, on ne peut déterminer si un changement dans la vitesse est en corrélation avec un changement dans le nombre de collisions. Le résultat selon lequel une augmentation de la vitesse moyenne ou que la vitesse du 85^e percentile augmente le nombre de victimes ne signifie pas nécessairement que ces variables ont également une relation directe avec toutes les collisions. Il est bien connu qu'une augmentation de vitesse augmente la gravité des accidents. Sans renseignements au sujet des collisions avec dommages matériels seulement, on peut présumer tout au plus que la fréquence de la totalité des collisions reste inchangée, mais que la proportion d'accidents corporels augmente et que la proportion de collisions avec DMS diminue.

Vogt et Bared (1999)

Au cours d'une étude portant sur la sécurité d'intersections de routes à deux voies, Vogt et Bared (1999) ont examiné l'influence de la vitesse limite affichée sur le taux de collisions. Les chercheurs ont élaboré des modèles d'efficacité de la sécurité en partant de l'hypothèse d'une distribution binomiale négative et en utilisant les données recueillies pour 389 intersections à trois embranchements situées au Minnesota. Ils ont découvert que la vitesse limite dans la route principale influait sur le taux de collisions, avec un FMC correspondant de :

$$\text{FMC} = 0,983^V \quad [8.5]$$

où : V = changement dans la vitesse (km/h)

Autrement dit, une baisse de 10 km/h dans la vitesse affichée sur la route principale

donne un FMC de 0,84. Le FMC est indépendant des autres variables. Il est intéressant de constater que la vitesse affichée sur la route principale ne constituait pas un facteur statistiquement significatif dans les collisions survenant aux carrefours à quatre embranchements.

Brown et Tarko (1999)

Dans une étude portant sur le contrôle et la sécurité des accès aux carrefours en Indiana, Brown et Tarkon (1999) ont inclus dans leur analyse les incidences de la vitesse limite sur le taux de collisions. L'objectif de l'étude consistait à élaborer des modèles de prédiction des collisions pour des routes de dégagement à voies multiples, situées en milieu urbain, le tout en appliquant des modèles binomiaux négatifs de régression aux accidents avec DMS, avec blessures et mortels. L'élaboration des modèles a reposé sur cinq années de données de collisions recueillies pour 155 tronçons de routes homogènes. Les résultats tirés du modèle indiquent que la vitesse limite n'avait pas de valeur prédictive dans l'établissement de la fréquence des collisions. Autrement dit, il ne semble pas que la vitesse limite ait eu un quelconque effet sur la fréquence des collisions.

Haselton (2001)

Dans une récente étude effectuée par Haselton (2001), les incidences des vitesses limites sur les routes de Californie ont fait l'objet d'une évaluation. Trois groupes de routes ont été étudiés, comme l'indique le tableau 8.6.

TABLEAU 8.6 : Incidences des limites de vitesse sur la sécurité, en Californie

Changement de la vitesse limite	Nombre de sites	Nombre d'années de données	Nombre de collisions	Longueur totale (miles)	Types de routes
65 mi/h à 70 mi/h	27	10	270	1 315	Autoroutes rurales
55 mi/h à 65 mi/h	112	10	1 120	1 674	Autoroutes urbaines et rurales
Vitesse inchangée à 55 mi/h	19	9	171	100	Autoroutes urbaines

Les données sur les collisions utilisées dans l'étude de Haselton comprenaient des accidents survenus dans les bretelles d'échangeurs, mais non ceux s'étant produits aux intersections des bretelles d'accès et des artères. Les paramètres comprenaient le taux total de collisions, le taux de collisions par temps humide, le taux de collisions de nuit ainsi que le taux de collisions mortelles + avec blessures. L'étude a reposé sur plusieurs méthodologies, dont la plus fiable consistait en une analyse avant-après utilisant un groupe témoin. Voici les résultats généralisés :

- des augmentations statistiquement significatives de l'ensemble des collisions et des collisions mortelles coïncidaient avec l'augmentation des vitesses limites de 65 à 70 mi/h et de 55 à 65 mi/h;
- la vitesse limite augmentée n'avait aucun effet sur les collisions mortelles + avec blessures et sur les collisions survenant sur une chaussée mouillée;
- l'augmentation de la vitesse limite de 55 à 65 mi/h a produit une augmentation statistiquement significative des collisions de nuit, ce qui n'a pas été le cas de l'augmentation de la vitesse limite de 65 à 70 mi/h.

Wilson et coll. (2001)

Wilson et coll. (2001) ont mené une étude portant sur la sécurité et les vitesses limites des routes du Nouveau-Brunswick et ils ont obtenu les résultats présentés aux tableaux 8.7 et 8.8. L'étude reposait sur une analyse transversale de 4 459 collisions survenues de 1997 à 1999, inclusivement. Les résultats indiquent que la baisse de la vitesse limite de 100 km/h à 90 km/h serait associée à des FMC de 0,71, 0,75 et 0,44 à l'égard respectivement des collisions avec dommages matériels seulement, avec blessures et mortelles. La distribution des indices de gravité des collisions n'a pas subi de changement appréciable.

**TABLEAU 8.7 : Vitesses limites et taux de collisions
au Nouveau-Brunswick**

Vitesse limite (km/h)	Taux de collisions (par 100 millions kilomètres-véhicules)		
	DMS	Avec bles- sures	Mortelles
90	18,33	14,67	0,67
100	25,67	19,67	1,50
FMC	0,71	0,75	0,44

TABLEAU 8.8 : Vitesses limites et gravité des collisions au Nouveau-Brunswick

Vitesse limite (km/h)	Gravité des collisions (%)		
	DMS	Avec blessures	Mortelles
90	68 %	30 %	2 %
100	67 %	30 %	3 %

Ville d'Edmonton (2002)

La Ville d'Edmonton (2002) a effectué à la fin des années 80 un essai-pilote afin d'élever la vitesse limite de 50 km/h à 60 km/h dans deux rues. Le mode de sélection des sites aux fins de l'étude-pilote n'est pas précisé. Néanmoins, les incidences de la hausse de la vitesse limite sur les caractéristiques de vitesse sont présentées au tableau 8.9. Les résultats soutiennent la théorie générale selon laquelle les vitesses limites ont peu d'effets sur les vitesses moyennes et du 85^e percentile.

TABLEAU 8.9 : Incidences de la hausse des vitesses limites de 50 km/h à 60 km/h, à Edmonton

Site	Direction	Vitesse moyenne (km/h)	Vitesse du 85 ^e percentile (km/h)	Pourcentage de dépassement de la vitesse limite
1	S→N	-0,9	-3,1	-65,3
	N→N	0,0	0,4	-60,6
2	E→N	1,9	0,7	-46,7
	O→N	1,0	0,3	-63,3

La ville d'Edmonton a également étudié la mise en place d'une zone scolaire à vitesse limite de 30 km/h dans deux routes collectrices ayant des débits journaliers se situant entre 1 300 et 9 000 [Cebryk et Boston, 1996]. Les vitesses limites sur les deux routes, avant la mise en place de la vitesse limite de zone scolaire, était de 50 km/h. L'intervention consistait en un panneau limitant la vitesse à 30 km/h qui était en vigueur au cours des heures suivantes :

- 8 h à 9 h 30;

- 11 h 30 à 13 h 30;
- 15 h à 16 h 30.

En outre, les panneaux étaient placés au début des zones. Il s'agit d'une étude naïve avant-après utilisant comme paramètre la vitesse moyenne. L'intervention a été évaluée en présence de policiers et en leur absence. Les résultats sont présentés au tableau 8.10.

TABLEAU 8.10 : Incidences de la vitesse limite de 30 km/h de zone scolaire sur la vitesse moyenne à Edmonton

Site	Vitesse moyenne (km/h)		
	Avant	Après (sans policiers)	Après (avec policiers)
A	44,5	42,7	N/D
B	49,7	47,2	44,9

Il y a eu une réduction minimale de vitesse aux deux emplacements, réduction accentuée par la présence de policiers. Il n'est pas mentionné si ce changement est statistiquement significatif. Les chercheurs ont également évalué les incidences de l'intervention sur le respect de la vitesse limite. Bien que le respect volontaire constitue une importante considération en matière de politique, aucune preuve crédible ne suggère une corrélation entre l'observation et l'occurrence ou la gravité des collisions. Par conséquent, cette information n'est pas rapportée dans le présent document.

La recherche au sujet des incidences des vitesses limites sur la sécurité est fractionnée. Les conditions dans lesquelles les études portant sur la vitesse et la sécurité doivent avoir lieu sont difficiles, sinon impossibles à surmonter, ce qui peut entraîner des résultats contradictoires. Néanmoins, il semble qu'il existe trois monographies présentant des examens approfondis susceptibles de fournir au praticien l'image la plus complète possible à l'égard des vitesses limites et de la sécurité. Les voici :

- IBI Group (1997). *Safety, Speed & Speed Management: A Canadian Review*, Rapport final, Transports Canada, Ottawa, Ontario.
- PARKER, MR (1997). *Effects of Raising and Lowering Speed Limits on Selected Roadway Sections*, FHWA-RD-92-084, United States Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC.

- *Managing Speed: Review of Current Practice for Setting and Enforcing Speed Limits*, Transportation Research Board, Special Report 254. Washington, DC, 1998.

Tableaux d'affichage de la vitesse

Bloch (1998)

Bloch (1998) a étudié l'efficacité de tableaux d'affichage de la vitesse, exploités avec et sans mesures répressives, à Riverside, en Californie. Ces tableaux mesurent la vitesse des véhicules qui approchent et affichent celle-ci, parfois en regard de la vitesse limite. L'étude a porté sur des routes collectrices de 11 à 12 mètres de largeur, situées dans des zones résidentielles et dont la vitesse limite indiquée était de 40 km/h. Des données sur la vitesse ont été recueillies pendant une période de deux semaines avant l'intervention et de deux semaines après l'intervention, laquelle a pris les formes suivantes :

- d'affichage seulement : tableau d'affichage de la vitesse, de 7 h à 18 h, pendant deux jours;
- tableau d'affichage + mesures répressives : tableau d'affichage de la vitesse utilisés pendant deux jours, de 7 h à 18 h, et pendant deux heures chaque jour. Pendant le fonctionnement du tableau, un agent de police en motocyclette était stationné de l'autre côté de la route par rapport au tableau ou immédiatement en aval de celui-ci.

Les vitesses ont été mesurées à la hauteur du tableau et à 320 mètres en aval. Les effets d'entraînement des mesures répressives ont également été mesurés par l'enregistrement des vitesses durant 45 minutes après la fin des mesures répressives appliquées pendant ladite période de deux heures. Les résultats sont présentés au tableau 8.11.

TABLEAU 8.11 : Incidences sur la vitesse moyenne des tableaux d'affichage de la vitesse

Intervention	Réduction de la vitesse moyenne (km/h)	
	Au tableau	En aval
Tableau seulement	9,3	4,7
Tableau + mesures répressives	9,8	9,5

Bloch a également examiné les incidences sur les automobilistes dont la vitesse se situait 16 km/h au-dessus de la vitesse limite affichée de 40 km/h et a obtenu les résultats présentés au tableau 8.12.

TABLEAU 8.12 : Incidences des tableaux d'affichage de la vitesse sur les automobilistes conduisant trop vite

Intervention	Proportion dépassant d'au moins 16 km/h la limite affichée (%)			
	Au tableau		En aval	
	Avant	Après	Avant	Après
Tableau seulement	52,5	17,6	62,4	34,4
Tableau + mesures répressives	42,9	11,1	52,5	8,4

Les effets résiduels ou d'entraînement de ces interventions ont été évalués une semaine après leur retrait et les résultats sont présentés au tableau 8.13.

TABLEAU 8.13 : Incidences des tableaux d'affichage sur la vitesse moyenne des automobilistes de la vitesse, après le retrait de ces tableaux

Intervention	Réduction de la vitesse moyenne (km/h)	
	Au tableau	En aval
Tableau seulement	2,7	1,0
Tableau + mesures répressives	0,3	1,0

Stationnement le long des rues

Main (1984)

Main (1984) a entrepris une analyse avant-après des taux de collisions survenant dans un échantillon d'artères de la ville de Hamilton, en Ontario, afin d'évaluer les incidences en matière de sécurité des interdictions de stationnement sur rue. Les panneaux interdisaient de stationner en tout temps et étaient habituellement accompagnés d'interdictions d'arrêt les matins des jours de semaine et à l'heure de pointe de l'après-midi. Les sites ont été choisis afin de représenter la totalité du réseau et tous les sites se trouvaient dans des zones entièrement exploitées.

Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 8.14. Le nombre total de collisions ne

comprend pas celles survenues à des carrefours dotés de feux de circulation. Les six tronçons de route à l'étude ont enregistré une réduction du taux de collisions, soit une réduction moyenne de 37 % ou un FMC de 0,63.

TABLEAU 8.14 : Incidences en matière de sécurité de l'interdiction de stationner le long des rues

Tronçon	Largeur	Année d'entrée en vigueur	Avant			Après			FMC
			N ^{bre}	Circ. moy. jours sem.	Taux	N ^{bre}	Circ. moy. jours sem.	Taux	
1	1,03		19	3 660	4,8	9	3 860	2,2	0,46
2	0,75	1 969	38	4 410	11,0	19	4 610	5,2	0,47
3	1,71	19 68/9	76	7 850	5,4	58	9 600	3,4	0,63
4	0,43	1 975	40	20 560	4,3	30	21 600	3,1	0,72
5	0,84	1 973	76	16 180	5,3	62	18 910	3,7	0,70
6	1,90	1 970	477	20 180	11,9	463	24 370	9,5	0,80
Moy.									0,63

McCoy et coll. (1990)

McCoy et coll. (1990) ont étudié, au moyen d'un vaste ensemble de données provenant du réseau routier du Nebraska, la sécurité relative de différents types de stationnement sur rue (c.-à-d. parallèle, à angle faible et à angle élevé). L'étude de type transversale reposait sur les taux de collisions liées au stationnement mais non aux carrefours ainsi que sur la proportion de collisions liées au stationnement. Les collisions liées au stationnement ont été définies comme des accidents mettant en cause un véhicule stationné, en train de se stationner ou quittant son stationnement. Les collisions causées par un véhicule ralentissant ou arrêté aux fins de stationnement mais qui ne touchaient pas ce dernier n'ont pas été incluses dans ce type d'accidents en raison des données limitées à cet égard.

Les taux de collisions pour les divers types de stationnement sont présentés au tableau 8.15.

TABLEAU 8.15 : Taux de collisions liées au stationnement sur rue, au Nebraska

Type de stationnement	Route principale	Routes à double sens et à deux voies
-----------------------	------------------	--------------------------------------

	Taux de collisions non liées aux carrefours	Taux de collisions liées au stationnement	Taux de collisions non liées aux carrefours	Taux de collisions liées au stationnement
Collisions par MVM				
<i>Stationnement peint</i>				
Parallèle	1,65	0,55	1,83	0,85
Angle faible	---	---	3,38	2,60 ⁺
Angle élevé	1,20	0,53	3,59	2,91 ⁺
<i>Stationnement non peint</i>				
Parallèle	1,32	0,28	0,67	0,26
Angle	1,57	0,52	1,67	1,11 ⁺
Collisions par MVMMHE*				
<i>Stationnement peint</i>				
Parallèle	6,50	2,17	6,58	3,05
Angle faible	---	---	9,59	7,38 ⁺
Angle élevé	7,19	3,19	12,90 ⁺	10,50 ⁺
<i>Stationnement non peint</i>				
Parallèle	7,67	1,65	5,44	2,13
Angle	13,19 ⁺	4,40 ⁺	12,10 ⁺	8,04 ⁺

* MVMMHE = milliard de véhicules-milles-heures par place de stationnement.

+ Significativement différent à un niveau de signification de 5 % d'un stationnement parallèle équivalent.

Les taux de collisions calculés en tenant compte de l'exposition fondée sur le débit de circulation et l'activité de stationnement (c.-à-d. collisions par MVMMHE) est susceptible de donner la mesure la plus juste en matière de sécurité relative des différents types de stationnement sur rue. Dans tous les cas, les routes permettant le stationnement parallèle ont des taux de collisions inférieurs aux routes à stationnement à angle. En outre, le stationnement à angle faible entraîne des taux de collisions généralement plus bas que les routes permettant le stationnement à angle élevé.

Reconnaissant les limites d'une étude transversale à l'égard de l'analyse de la sécurité relative d'une intervention donnée, McCoy et coll. ont tenté de tenir compte de l'effet de plusieurs variables confusionnelles en examinant de nouveau un sous-ensemble de

données se prêtant à une « parité contextuelle ». La parité contextuelle s'entend d'un sous-ensemble de routes à double sens et à deux voies qui présentaient les mêmes caractéristiques en termes de circulation, de caractéristiques routières et d'aménagement des terres avoisinantes. Les résultats de cette analyse sont présentés au tableau 8.16 et soutiennent les résultats précédents.

TABLEAU 8.16 : Taux de collisions liées au stationnement sur rue, au Nebraska

Type de stationnement	Routes à double sens et à deux voies	
	Taux de collisions non liées aux carrefours	Taux de collisions liées au stationnement
	Collisions par MVM	
<i>Stationnement peint</i>		
Parallèle	1,41	1,41
Angle faible	3,88 ⁺	2,91
Angle élevé	4,48 ⁺	3,77 ⁺
<i>Stationnement non peint</i>		
Parallèle	0,91	0,25
Angle	1,74	1,45 ⁺
	Collisions par MVMMHE*	
<i>Stationnement peint</i>		
Parallèle	5,00	5,00
Angle faible	8,96 ⁺	8,44
Angle élevé	14,40 ⁺	12,10 ⁺
<i>Stationnement non peint</i>		
Parallèle	2,81	0,77
Angle	5,39	4,49 ⁺

* MVMMHE = milliard de véhicules-milles-heures par place de stationnement.

+ Significativement différent à un niveau de signification de 5 % d'un stationnement parallèle équivalent.

Si l'on utilise le stationnement parallèle comme condition de base et les taux de collisions calculés en tenant compte de l'exposition fondée sur le débit de circulation et l'activité de stationnement (c.-à-d. collisions par MVMME), les FMC de conversion pour les stationnements à angle faible et élevé, avec emplacements peints, sont respectivement de 1,69 et 2,42.

Rues à sens unique

Hocherman et coll. (1990)

Hocherman et coll. (1990) ont entrepris une étude transversale sur des rues de Jérusalem, en Israël, en utilisant des données sur les collisions avec blessures recueillies pendant trois ans. Les rues ont été classifiées selon leur fonction (artère, rue collectrice, rue locale) et le milieu (district d'affaires central (DAC) et autres). Les artères à sens unique du DAC étaient exclues de l'analyse parce qu'elles n'étaient pas en nombre suffisant. Les rues collectrices et les rues locales du DAC ont été groupées aux fins d'analyse, pour des raisons similaires. Les collisions à des carrefours ont été examinées séparément des accidents survenus entre ceux-ci. Les intersections ont été définies comme étant à sens unique si au moins l'un des accès était à sens unique; la classe de l'intersection a été déterminée en fonction de la classe/fonction la plus élevée des accès. On ne disposait pas de données relatives au débit de circulation aux intersections.

Les résultats de l'analyse sont présentés dans les tableaux 8.17 à 8.19. Ces résultats indiquent que les routes à sens unique sont susceptibles de représenter un avantage en matière de sécurité pour les DAC mais qu'elles sont en fait nuisibles à la sécurité dans les autres zones.

TABLEAU 8.17 : Collisions entre des intersections du DAC, sur des rues à sens unique et à double sens qui ne sont pas des artères

Type de rue	Collisions par KVM		
	Piéton	Véhicule	Toutes
Sens unique	0,49	0,18	0,68
Double sens	0,62	0,15	0,77
FMC	0,79	1,20	0,88

TABLEAU 8.18 : Collisions entre des intersections situées hors du DAC, sur des rues à sens unique et à double sens qui ne sont pas des artères

Type de rue	Collisions par KVM			
	Artère	Rue collectrice	Rue locale	Toutes
<i>Piéton</i>				
Sens unique	---	0,61	0,73	0,73
Double sens	0,14	0,39	0,49	0,37
FMC	---	1,57	1,49	1,90
<i>Véhicule</i>				
Sens unique	---	0,38	0,47	0,45
Double sens	0,12	0,23	0,41	0,28
FMC	---	1,68	1,14	1,63

TABLEAU 8.19 : Collisions à des intersections situées hors du DAC

Type de rue	Collisions par intersection			
	Artère	Rue collectrice	Rue locale	Toutes
<i>Piéton</i>				
Sens unique	0,53	0,35	0,06	0,20
Double sens	0,35	0,17	0,02	0,04
FMC	1,53	2,04	3,71	4,65
<i>Véhicule</i>				
Sens unique	1,20	0,50	0,14	0,36
Double sens	0,58	0,38	0,04	0,09
FMC	2,06	1,32	3,53	3,96

Mesures d'intervention

Police provinciale de l'Ontario (1998)

La Police provinciale de l'Ontario (1998) du poste de Kawartha a élaboré un programme visant à traiter les problèmes de conduite agressive sur la route 7, programme intitulé « Safe on Seven » (En sécurité sur la Sept). La PPO a présidé un comité (les parties

représentées au sein de ce comité ne sont pas clairement nommées) afin de formuler et de mettre en œuvre un plan d'éducation du public sur les principes de la conduite prudente. Bien que le tronçon de 26 kilomètres de la route 7 sur lequel portait le programme n'était pas spécialement considéré comme un secteur à taux élevé d'accidents, il s'y était produit plus de 700 collisions en cinq ans.

La PPO a analysé les données sur les collisions afin d'en déterminer les principales causes, les emplacements où elles se sont produites et d'autres conditions qui semblaient être en corrélation avec ces collisions. L'intervention reposait sur la prise des mesures suivantes :

- *éduquer le public sur les principes de la conduite prudente;*
- *mettre en place un système de traitement des plaintes du public au sujet de la conduite agressive;*
- *envoyer un avertissement officiel au propriétaire enregistré du véhicule impliqué dans un incident de conduite agressive.*

Une étude naïve avant-après menée pendant huit mois a indiqué que le nombre de collisions avait diminué pour la première fois depuis cinq ans, que le nombre de passagers blessés avait baissé du tiers et que le nombre de conducteurs « locaux » responsables de collisions avait diminué de 10 %.

La courte période « après », la forte probabilité des effets de régression à la moyenne et la méthodologie d'étude naïve avant-après, tous ces facteurs tendent à remettre en question la validité des résultats.

Gendarmerie royale du Canada (1999)

La Gendarmerie royale du Canada (1999) a mis en place un programme d'intervention, d'éducation et de sensibilisation relativement à un tronçon à deux voies de 500 kilomètres de la route 43, en Colombie-Britannique. Par une série de consultations et de réunions de comité, la GRC a élaboré un plan à long terme, dont la première année prévoyait la mise en place de mesures d'application du code de la route sur ce corridor routier. Dans la première année suivant la mise en œuvre du plan, les facteurs de modification des collisions à l'égard des collisions mortelles, avec blessures et avec dommages matériels seulement étaient respectivement de 0,10, 0,87 et 0,82. La méthodologie de l'étude n'est pas précisée, mais il semble que ce soit une étude naïve avant-après. L'étude de la GRC présente les mêmes graves lacunes que l'étude de la PPO effectuée en 1998 et mentionnée ci-dessus.

Beenstock et coll. (1999)

Beenstock et coll. (1999) ont effectué des recherches au sujet des incidences des mesures d'intervention policière sur la fréquence des collisions, sur des routes non urbaines d'Israël. L'étude a recours à une analyse de régression multidimensionnelle et tient compte des variations saisonnières, des effets du temps et des caractéristiques des différents tronçons de route. Les chercheurs ont examiné les effets « halo » du maintien de l'ordre et les effets du temps. Selon l'hypothèse, la fréquence des collisions et le niveau des mesures d'intervention policière sont inversement proportionnels.

Le niveau de ces mesures a été mesuré indirectement par le nombre de contraventions émises. Les recherches ont porté sur trois années de données d'intervention policière à 135 tronçons de route. Plus de 470 000 contraventions ont été émises pendant cette période, dont le tiers pour des excès de vitesse. Au cours de la même période, 10 500 collisions se sont produites dans les tronçons à l'étude; 6,2 % de ces accidents ont été mortels. Les données sur les mesures d'intervention policière et sur les collisions ont été compilées en totaux mensuels et ont ainsi totalisé 4 185 observations.

Il est reconnu que la société aura probablement toujours besoin de policiers pour faire respecter le code de la route. Il n'est donc pas fondamental de déterminer si les mesures d'application du code sont justifiées ou non. Les efforts ont plutôt été concentrés sur le dosage des mesures d'intervention policière en regard de la fréquence des collisions.

D'après cette étude, les effets des interventions policières sur la fréquence des collisions ne sont pas linéaires. En *moyenne*, une augmentation d'un pour cent de l'intervention policière (contraventions émises) a pour résultat une diminution de 0,00358 % des accidents. Cependant, dans les portions de route où la présence policière est plus concentrée, la diminution des collisions atteint à 0,51 %. Conclusions de cette étude :

- *Des mesures d'intervention à petite échelle n'ont pas d'incidences apparentes sur les collisions;*
- *des mesures d'intervention à grande échelle ont des incidences mesurables sur les collisions;*
- *les mesures d'intervention n'ont pas d'effet sur les collisions mortelles;*
- *les effets des mesures d'intervention se dissipent rapidement après leur arrêt;*
- *l'effet de « halo » est faible.*

Eger (2002)

Eger (2002) a étudié les incidences des mesures d'intervention policière sur les collisions

avec blessures au Kentucky. Au moyen d'un modèle binomial négatif de régression et de données sur les collisions par comté du Kentucky, Eger a établi des estimations des incidences sur les collisions avec blessures du nombre de policiers d'État et du nombre d'agents des bureaux de shérif qui ont participé à la prises de mesures d'intervention. Les modèles tenaient compte de nombreuses variables confusionnelles, dont la distance des routes à deux voies, la disponibilité de l'alcool, la population d'hommes jeunes, etc. Les résultats indiquent les facteurs de modification des collisions suivants à l'égard du nombre de policiers d'État et d'agents des bureaux de shérif :

- $FMC = 0,98^N$ où N = nombre de policiers d'État disponibles [8.6]
- $FMC = 0,9973^N$ où N = nombre d'agents des bureaux de shérif disponibles [8.7]

CETTE PAGE EST INTENTIONNELLEMENT LAISSÉE EN BLANC

Chapitre 9:
Chapitre 9 :
Voies spéciales de virage
Voies spéciales de virage

CHAPITRE 9 : VOIES DE VIRAGE

Virage à gauche

Main (1984)

Main (1984) a examiné les incidences de l'ajout de voies de virage à gauche et de terre-pleins à des intersections d'artères dotées de feux de circulation et situées dans la ville de Hamilton, en Ontario. L'installation type consistait en une voie de virage à gauche de 3,5 mètres de largeur et un terre-plein de 1,5 mètres de largeur sur 30 mètres de longueur. Le rétrécissement de la chaussée à l'accès est de 20 : 1 et les marques sur la chaussée consistent en trois flèches tournées vers la gauche.

Huit emplacements ont été choisis aux fins de l'analyse. Selon l'auteur, les sites choisis sont représentatifs de la population. L'analyse a utilisé des données sur les collisions recueillies au cours de trois années avant et de trois années après. Il s'agit d'une analyse naïve avant-après reposant sur les taux de collisions. Les résultats sont présentés au tableau 9.1.

TABLEAU 9.1 : Incidences des voies de virage à gauche à des intersections d'artères dotées de feux de circulation

Site	Avant			Après			FMC
	Nombre	Circ. moy. jours sem.	Taux	Nombre	Circ. moy. jours sem.	Taux	
1	80	29 870	2,55	47	35 130	1,28	0,50
2	71	28 960	2,34	12*	28 960	0,59	0,25
3	66	25 820	2,44	19	29 020	0,62	0,25
4	42	23 160	1,73	31	27 960	1,06	0,61
5	54	25 160	2,05	42	28 880	1,39	0,68
6	56	26 440	2,02	20	28 500	0,67	0,33
7	51	30 670	1,59	45	40 000	1,07	0,67
8	47	23 270	1,93	16*	25 840	0,59	0,31
Moyenne							0,45

* - Seulement deux années de données ont été utilisées.

Greiwe (1986)

La ville d'Indianapolis, en Indiana, a évalué les incidences sur la sécurité du réaménagement des accès à des carrefours dans le but de convertir ces derniers à quatre voies (deux dans chaque direction) et d'inclure des voies opposées de virage à gauche (Greiwe, 1986). Le processus de sélection des sites n'est pas précisé. La méthodologie utilisée consiste en une étude naïve avant-après de la fréquence des collisions reposant sur des données recueillies pendant deux ans avant et au moins un an après. Les collisions cibles étaient des collisions en virage à gauche, à angle droit et arrière. L'auteur note que les débits de circulation demeuraient relativement semblables pendant la période à l'étude, il n'a donc pas été dans l'obligation d'effectuer des ajustements au regard de l'exposition.

Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 9.2.

TABLEAU 9.2 : Incidences sur la sécurité de la construction de voies de virage à gauche

Site	Avant					Après				
	VG	AD	AR	Autres	Toutes	VG	AD	AR	Autres	Toutes
1	9	3	6	6	24	5	1	3	3	12
2	2	3	0	1	6	0	0	0	0	0
3	1	12	4	0	17	0	4	0	0	4
4	4	0	3	5	12	0	1	3	2	6
5	0	1	5	3	9	0	3	2	2	7
6	3	2	4	3	12	0	0	4	1	5
7	4	3	1	4	12	3	1	0	0	4
8	4	0	3	3	10	3	1	2	0	6
Total	27	24	25	25	102	11	11	14	8	44

Les FES sont respectivement de 0,41, 0,46, 0,56 et 0,43 pour les collisions en virage à gauche, à angle droit, arrière, et pour toutes les collisions.

Dans cette même étude, Greiwe a examiné les incidences sur la sécurité de la modernisation des feux de circulation en apportant des améliorations à la visibilité de ces dispositifs et en ajoutant des voies de virage à gauche en sens inverse. L'étude a porté sur cinq emplacements, le processus de sélection des sites n'est pas précisé et les détails relatifs aux interventions exactes sont inconnus. Néanmoins, les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 9.3.

TABLEAU 9.3 : Incidences sur la sécurité de la construction de voies de virage à gauche et de la modernisation des feux de circulation

Site	Avant					Après				
	VG	AD	AR	Autres	Toutes	VG	AD	AR	Autres	Toutes
1	7	6	3	2	18	1	0	3	2	6
2	1	9	1	1	12	0	1	0	1	2
3	10	10	2	2	24	2	1	1	1	5
4	12	7	3	5	27	1	2	3	2	8
5	2	2	4	2	10	3	1	3	2	9
Total	32	34	13	12	91	7	5	10	8	30

Les FES sont respectivement de 0,22, 0,15, 0,77 et 0,33 pour les collisions lors de virage à gauche, à angle droit, arrière, et pour toutes les collisions.

Tople (1998)

Dans le cadre d'une évaluation de l'élimination des dangers et des projets relatifs à la sécurité, Tople (1998) a inclus une étude des avantages en matière de sécurité des voies de virage à gauche ajoutées par le biais de marques sur la chaussée et de travaux de reconstruction. L'évaluation était une étude naïve avant-après de la fréquence et de la gravité des collisions. Les incidences sur la gravité des collisions ont été déterminées au moyen de la comparaison de collisions similaires ne comportant que des dommages matériels, en effectuant une conversion monétaire jugée appropriée par l'équipe d'enquête. L'analyse a utilisé des données sur les collisions recueillies au cours de trois années avant et de trois années après.

Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 9.4.

TABLEAU 9.4 : Incidences sur la sécurité des voies de virage à gauche, au Dakota du Sud

Type d'amélioration	Nombre de sites	Étendue du DJMA	Collisions			Collisions avec DMSS*		
			Avant	Après	FMC	Avant	Après	FMC
Virage à gauche ajouté par marquage	2	17 807 – 36 545	26	17	0,65	873,5	236,5	0,27
Virage à gauche ajouté par travaux	3	4 115 – 10 614	13	9	0,69	423	356,5	0,84
Résultats combinés	5		39	26	0,67	1296,5	593	0,46

* Les collisions avec DMSS ont été calculées d'après l'équation $(1300*M)+(90*I)+(18*N)+(9.5*P)+DMS$

où :
M = collision mortelle
I = collision avec blessure invalidante
N = collision avec blessure non invalidante
P = collision avec blessure possible
DMS = collision avec dommages matériels seulement
DMSS = DMS avec similitudes

L'analyse de Tople présente de nombreuses failles qui pourraient être sérieuses. La plus importante réside dans le fait que les sites ont été choisis afin d'être traités dans le cadre d'un programme de sécurité. Cela signifie que le taux de collisions y était vraisemblablement anormalement élevé et qu'une régression aux artéfacts moyens est très probable. Cette lacune est en quelque sorte neutralisée par l'omission de tenir compte des changements relatifs à l'exposition. Les débits de circulation n'ont pas fait l'objet de contrôles, mais ils tendent naturellement à augmenter, ce qui entraînerait un compte plus élevé de collisions « après ». Finalement, les résultats de l'étude au Dakota du Sud reposent sur un nombre limité de sites et sur des analyses médiocres.

Vogt (1999)

Dans le cadre de l'élaboration de modèles de collision pour des intersections en milieu rural, Vogt (1999) a examiné les incidences en matière de sécurité des voies de virage à gauche construites sur les routes principales et secondaires d'intersections avec panneau d'arrêt ainsi que d'intersections à trois ou quatre accès et dotées de feux de circulation. L'analyse a porté sur a) 84 intersections contrôlées par un panneau d'arrêt et comportant trois voies d'accès, b) 72 intersections contrôlées par un panneau d'arrêt et comportant quatre voies d'accès, et c) 49 intersections munies de feux de circulation et comportant

quatre voies d'accès. On a eu recours à une régression linéaire généralisée reposant sur une distribution binomiale négative afin d'élaborer des modèles de toutes les collisions survenant, respectivement en Californie et au Michigan, dans une distance de 250 pieds de l'intersection sur la route principale et dans les 100 à 250 pieds de l'intersection sur la route secondaire.

Vogt a découvert qu'une voie de virage à gauche sur la route principale, à une intersection en milieu rural contrôlée par panneau d'arrêt et comportant quatre accès, donnait un FMC de 0,62. Pour les deux autres types d'intersections, il a découvert que les voies de virage à gauche sur la route principale sont soit peu en corrélation avec le taux de collisions, soit directement corrélées à une autre variable à l'étude, auquel cas aucune répercussion apparente sur la sécurité n'a été constatée. Les voies de virage à gauche des routes secondaires des trois types d'intersections n'avaient pas d'incidences sur la sécurité ou étaient en corrélées à une autre variable.

Harwood et coll. (2000)

Harwood et coll. (2000) ont eu recours à un comité d'experts en sécurité routière afin d'étudier la documentation disponible relativement aux incidences sur la sécurité de l'ajout de voies réservées de virage aux accès d'intersections de routes principales à deux voies situées en milieu rural. Les membres du comité se sont entendus sur les FMC présentés au tableau 9.5.

TABLEAU 9.5 : Facteurs de modification des collisions calculés pour les voies de virage à gauche

Type d'intersection	Contrôle de la circulation	Nombre d'accès de route principale où des voies de virage à gauche sont ajoutées	
		Un accès	Deux accès
3 embranchements	Arrêt	0,78	---
	Feux de circulation	0,85	---
4 embranchements	Arrêt	0,76	0,58
	Feux de circulation	0,82	0,67

Rimiller et coll. (2001)

Les avantages en matière de sécurité des voies de virage à gauche ont été étudiés par Rimiller et coll. (2001) à 13 intersections du Connecticut. Au moyen d'un modèle empirique bayésien, afin de tenir compte des effets de régression à la moyenne, Rimiller a examiné les données sur des collisions recueillies de 1989 à 1998 inclusivement, données visant 13 intersections qui ont été classées suivant la densité de la population, le type de dispositif de contrôle de chaque intersection, le nombre d'accès et le nombre de voies. Les résultats sont présentés au tableau 9.6.

TABLEAU 9.6 : Incidences des voies de virage à gauche sur la sécurité (Rimiller, 2001)

Témoin	Embranchements	Voies	Nombre de sites	DJMA	FMC
Feux	4	2	1	7 500	0,41
Feux	4	4	6	21-43 k	0,65
Feux	3	4	2	24-25 k	0,61
Sans feux	3	2	1	13 600	0,51
Feux	3	4 (séparées)	1	25 000	0,98
Feux	3	2	1	16 400	0,47

Les intersections choisies pour cette analyse sont des carrefours qui avaient déjà été reconstruits avec des voies de virage à gauche. Les critères de sélection des sites ne sont pas précisés, mais l'on présume qu'ils justifiaient l'ajout de voies réservées de virage. Une fois de plus, cette méthode de sélection des sites limite l'applicabilité des résultats à d'autres intersections justifiant l'ajout de voies de virage à gauche.

Thomas et Smith (2001)

Thomas et Smith (2001) ont entrepris l'examen des incidences sur la sécurité de l'ajout de voies réservées de virage à huit carrefours situés en Iowa. Le processus de sélection des sites n'est pas décrit; la méthodologie de l'étude consiste en une analyse naïve avant-après reposant sur la fréquence et la gravité des collisions. La fréquence des collisions est tirée de données recueillies pendant trois ans avant et trois ans après, catégorisées par gravité et divers types d'impact. Les résultats sont présentés au tableau 9.7. Certaines aberrations ont été retirées de l'ensemble des données.

**TABLEAU 9.7 : FMC relatifs à l'ajout de voies réservées de virage
(Thomas et Smith)**

Types de collisions		Moyenne	Nombre de sites	Intervalles de confiance de 90 %	
				Inférieur	Supérieur
Gravité	Mortelles	0,00	1	S/O	S/O
	Graves	1,40	5	3,86	
	Légères	1,96	7	3,28	0,65
	Possibles	1,05	7	1,28	0,82
	DMS	0,77	6	0,91	0,62
Type d'impact	Angle droit	1,40	7	2,19	0,61
	Arrière	0,78	7	1,06	0,49
	Virage à gauche	2,27	7	3,61	0,92
	Autre	0,69	7	0,87	0,60
Total		0,88	7	1,12	0,64

Les résultats indiquent qu'en dessous d'un niveau de confiance de 90 %, on peut s'attendre à des avantages en matière de sécurité pour l'ensemble des types de collisions. L'étiologie à cet égard soutient l'augmentation apparente de la gravité des collisions, étant donné que les voies réservées de virage sont susceptibles de faire augmenter la vitesse de l'ensemble des véhicules passant à l'intersection. Il est surprenant – et peut-être contre-intuitif – de constater que les collisions en virage à gauche augmentent en fait (FMC=2,27) avec l'ajout de voies de virage à gauche.

Région de Waterloo (2001)

Dans le cadre d'un programme continu, la Région de Waterloo, en Ontario, évalue régulièrement le réseau routier afin de relever les sites présentant un risque élevé de collisions de véhicules à moteur, et de mettre en œuvre les contremesures appropriées. La Région de Waterloo (2001) rapporte qu'en 1998, l'un de ses carrefours où il se produisait le plus de collisions a été modifié afin d'inclure à l'un de ses accès des voies de virage à gauche et à droite. Il s'en est suivi une réduction de 9 à 4 collisions, soit un FMC de 0,44.

Bien qu'elle soit impressionnante, l'analyse effectuée à Waterloo est une étude naïve avant-après de la fréquence des collisions reposant sur des données recueillies pendant un an avant et un an après. En outre, les changements ont été effectués, du moins en partie, parce que cet emplacement présentait un taux aberrant d'accidents. Les résultats sont très peu fiables en raison de la taille limitée de l'échantillon, ainsi que de l'omission de tenir

compte de la régression à la moyenne et de l'exposition.

Harwood et coll. (2002)

Dans une analyse exhaustive des incidences des voies de virage à gauche et de virage à droite sur la sécurité, Harwood et coll. (2002) ont étudié des améliorations apportées à des intersections situées dans huit États. Au total, 280 sites ont été étudiés et 300 emplacements ont été utilisés comme sites témoin ou de référence. Les sites étaient situés en milieux urbain et rural et ils étaient soit contrôlés par des panneaux d'arrêt dans deux directions, soit munis de feux de circulation (c.-à-d. que les emplacements munis de panneaux d'arrêt dans quatre directions étaient exclus de l'analyse). Tous les sites étaient composés de trois ou quatre accès et tous ces derniers étaient des rues publiques (aucun site ne comportait de voie privée).

L'étude de Harwood et coll. reposait sur trois méthodes d'évaluation différentes : la méthode de comparaison par paires, l'évaluation avant-après avec groupe témoin et l'étude avant-après reposant sur les techniques empiriques bayésiennes. Les collisions incluses dans l'analyse se sont produites dans les 250 pieds des intersections et étaient classées comme reliées à celles-ci. Les périodes avant et après variaient entre un et dix ans, soit une moyenne respective de 6,7 et 3,9 ans pour les périodes avant et après.

Les résultats de l'analyse et les recommandations des chercheurs sont présentés au tableau 9.8.

TABLEAU 9.8 : Incidences sur la sécurité des voies de virage à gauche des routes principales

Type d'intersec- tion	Milieu	Contrôle de la circulation	Nombre d'accès où des virage à gauche sont ajoutés	
			Un	Deux
3 Embranchements	Rural	Panneau d'arrêt	0,56	--
		Feux	0,85	--
	Urbain	Panneau d'arrêt	0,67	--
		Feux	0,93	--
4 Embranchements	Rural	Panneau d'arrêt	0,72	0,52
		Feux	0,82	0,67
	Urbain	Panneau d'arrêt	0,73	0,53
		Feux	0,90	0,81

Voies opposées de virage à gauche

Hoffman (1974)

Hoffman (1974) a examiné les incidences sur la sécurité de l'ajout de voies opposées de virage à gauche (VOVG) sur quatre artères à quatre voies situées au Michigan et offrant un développement commercial linéaire. Les VOVG ont été pourvues de panneaux et de marques de chaussée conformes aux normes alors en vigueur. Le débit de circulation sur les quatre rues se situait entre 15 000 et 30 000 véhicules par jour. Au total, 6,58 milles d'artères avec VOVG ont été évalués. Il s'agit d'une étude naïve avant-après utilisant la fréquence des collisions comme mesure de l'efficacité. Les résultats sont présentés au tableau 9.9. Seules les données sur les collisions recueillies pendant un an avant et un an après ont servi à l'analyse.

TABLEAU 9.9 : Incidences des VOVG sur la sécurité, au Michigan

Type de collision	Nombre de collisions		FMC
	Avant	Après	
Collision frontale	94	52	0,55
Arrière	238	90	0,38
Angle droit	92	105	1,14
Collision latérale	42	39	0,93
Autres	66	70	1,06
Total	532	356	0,67

L'analyse n'a pas tenu compte de l'exposition. Hoffman atténue cependant cette faiblesse en énonçant que les débits de circulation pendant la période après étaient supérieurs à ceux de la période avant d'environ sept pour cent, ce qui laisse présumer que les avantages en matière de sécurité pourraient être supérieurs. En revanche, les raisons ayant motivé le choix de ces portions de rues pour fins d'intervention ne sont pas claires et il pourrait y avoir un important biais dû à la régression à la moyenne. De plus, sans un groupe témoin, il est difficile d'attribuer la réduction des collisions à la construction de VOVG.

Main (1984)

Main (1984) a examiné les incidences des VOVG d'artères situées à Hamilton, en Ontario. Les VOVG avaient une largeur de cinq mètres et étaient pourvues de marques de chaussée et d'une signalisation conformes à la plus récente version du Manuel canadien de la signalisation routière de l'Association des transports du Canada. Tous les VOVG étaient construits sur des routes à quatre voies, ce qui donnait donc cinq voies en tout au niveau du carrefour. À l'époque, seules quatre tronçons avec VOVG étaient disponibles pour fins d'analyse. Il s'agit d'une étude naïve avant-après utilisant comme paramètre le taux de collisions. Les données recueillies pendant trois années avant ont été comparées à celles de périodes après d'un et deux ans. Les résultats sont présentés au tableau 9.10.

TABLEAU 9.10 : Incidences des VOVG sur la sécurité

Tronçon	Longueur (km)	Avant			Après			FMC
		N ^{bre}	Circ. moy. jours sem.	Taux	N ^{bre}	Circ. moy. jours sem.	Taux	
1	0,5	49	22 390	4,17	12 ⁺	23 050	2,98	0,71
2	0,5	63	22 560	5,32	11 ⁺	22 030	2,86	0,54
3	0,4	114	24 190	11,23	32*	22 470	5,09	0,45
4	0,6	100	19 900	7,98	23*	19 400	2,83	0,35
Moy.								0,51

*Deux années de données

*Une année de données

Yagar et Van Aerde (1984)

Yagar et Van Aerde (1984) ont étudié les incidences des VOVG sur la sécurité et ce, dans diverses juridictions au Canada et aux États-Unis. Les données ont été recueillies auprès des administrations routières au moyen d'une enquête. C'est pourquoi la configuration des VOVG et les emplacements où ils ont été mis en place peuvent varier grandement au sein de l'ensemble de données. Néanmoins, les données sur les collisions ont été recueillies relativement à 30 tronçons routiers dotés de VOVG.

Il s'agit d'une étude naïve avant-après utilisant comme paramètre la fréquence des collisions. Les résultats sont présentés au tableau 9.11.

TABLEAU 9.11 : Incidences des VOVG sur la sécurité, en Amérique du Nord

Type de collision	Nombre de sites	Nombre de collisions		FMC
		Avant	Après	

Virage à gauche à partir d'une VOVG	14	130	83	0,64
Virage à gauche dans une VOVG	13	59	46	0,78
Virage à gauche à partir d'une VOVG et dans une VOVG	18	174	112	0,64
Aucun virage à gauche en cause	21	817	513	0,62
Toutes les collisions	30	2 479	1 788	0,72

L'analyse présentée dans l'étude de Yagar et Van Aerde omet de tenir compte de l'exposition. Cependant, les auteurs parlent ailleurs dans leur étude des débits de circulation avant et après des rues pourvues de VOVG et il semble se dessiner une tendance générale à la hausse à cet égard. Ceci signifierait que les résultats de l'étude sont modérés. Les chercheurs n'ont pas recueilli d'information sur le processus de sélection des sites; la possibilité qu'il y ait d'éventuels effets de régression à la moyenne et leur ampleur sont donc inconnus.

Lalani (1991)

Dans le cadre d'un programme d'envergure portant sur la sécurité, la Ville de San Buenaventura, en Californie, a fait construire deux VOVG à cinq emplacements relevant de sa juridiction (Lalani, 1991). Les sites ont été choisis parce qu'ils étaient considérés comme des sites à indice élevé de collisions. Il s'agit d'une analyse naïve avant-après reposant sur la fréquence des collisions survenues au cours de périodes d'un an avant et d'un an après. Les détails relatifs à l'intervention ne sont pas rapportés (soit, comment se présentaient les emplacements avant l'intervention?). Des travaux de reconstruction étaient-ils nécessaires?. Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 9.12.

TABLEAU 9.12 : Incidences des VOVG sur la sécurité, à San Buenaventura, Californie

Lieu	Collisions		FMC
	Avant	Après	
A	18	9	0,50
B	9	5	0,56
C	8	5	0,63
D	3	1	0,33

E	25	11	0,31
Totaux	73	31	0,42

Lalani ne tient pas compte de l'exposition dans l'analyse de la sécurité mais rapporte que les débits de circulation dans la ville ont un taux moyen d'augmentation de 6 % par année. En outre, il ne donne pas d'information sur la densité de la circulation dans les voies d'accès.

Bonneson et McCoy (1997)

Bonneson et McCoy (1997) ont élaboré des modèles de prédiction des collisions afin de vérifier les incidences sur la sécurité de l'ajout d'un terre-plein dans des artères urbaines et suburbaines situées à Omaha, Nebraska et à Phoenix, en Arizona. Les routes comprises dans l'ensemble de données avaient en commun les caractéristiques suivantes :

- débit de circulation annuel supérieur à 7 000;
- vitesse limite entre 30 et 50 mi/h;
- espacement de 350 pieds ou plus entre les intersections avec feux de circulation;
- accès directs des propriétés attenantes;
- pas plus de 3 voies dans chaque direction.

L'analyse a utilisé les données sur des collisions survenues pendant trois ans. Les collisions exclues de la base de données comprenaient les accidents reliés aux intersections avec feux de circulation et les collisions résultant de circonstances extraordinaires (par ex., les accidents causés par la conduite avec facultés affaiblies ou une chaussée enneigée). L'analyse a porté sur 126,5 kilomètres de routes et 6,391 collisions.

Les équations ont été élaborées au moyen de modèles linéaires généralisés dans l'hypothèse d'une distribution binomiale négative. Elles sont les suivantes :

$$A_T = DJMA^{0,91} L^{0,852} e^{(-14,15 + 0,018Ib - 0,093Ir + 0,0077(NE+NI)Ic + 0,0255DMS)} \quad [9.1]$$

$$A_U = DJMA^{(0,91+1,021Ir)} L^{0,852} e^{(-14,15 - 10,504Ir + 0,57Is + 0,0077(NE+NI)Ic + 0,0255DMS)} \quad [9.2]$$

où :

- A_T = Nombre annuel d'accidents sur des routes pourvues de VOVG
- A_U = Nombre annuel d'accidents sur des routes à chaussée unique
- DJM = Débit journalier moyen d'une année
- L = Longueur de la route (en mètres)

NE = Nombre d'entrées (/km)

NI = Nombre d'intersections sans feux (/km)

DMS = Proportion de collision avec dommages matériels seulement (%)

Ic = Utilisation commerciale du terrain (= 1 si utilisation professionnelle ou commerciale, = 0 sinon)

Ir = Utilisation résidentielle du terrain (= 1 si utilisation résidentielle ou industrielle, = 0 sinon)

Is = Stationnement (=1 si parallèle, stationnement sur rue permis, = 0 sinon)

Il faut donc, pour déterminer les incidences sur la sécurité de l'ajout de VOVG, établir une estimation de la fréquence annuelle des collisions selon chaque équation et comparer les résultats.

Tople (1998)

Dans une évaluation de l'élimination des dangers et des projets relatifs à la sécurité, Tople (1998) a inclus une étude des avantages en matière de sécurité des VOVG ajoutées au moyen de marques de chaussée et de travaux de construction. Il n'est pas mentionné dans la documentation si les VOVG créées par le marquage des chaussées ont été le résultat de la conversion d'une route à quatre voies en route à trois voies à l'approche d'une intersection, ou si une large route à deux voies a été redivisée en route à trois voies. L'évaluation était une étude naïve avant-après de la fréquence et de la gravité des collisions. Les incidences sur la gravité des collisions ont été déterminées au moyen de la comparaison de collisions similaires ne comportant que des dommages matériels, en effectuant une conversion monétaire jugée appropriée par l'équipe d'enquête. L'analyse a porté sur des données recueillies au cours de trois années avant et de trois années après.

Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 9.13.

L'analyse de Tople présente de nombreuses failles qui pourraient être sérieuses. La plus importante réside dans le fait que les sites ont été choisis afin d'être traités dans le cadre d'un programme de sécurité. Cela signifie que le taux de collisions y était vraisemblablement anormalement élevé et qu'une régression aux artéfacts moyens est très probable. Cette lacune est en quelque sorte neutralisée par l'omission de tenir compte des changements relatifs à l'exposition. Les débits de circulation n'ont pas fait l'objet de contrôles, mais ils tendent naturellement à augmenter, ce qui entraînerait un compte plus élevé de collisions « après ». Finalement, les résultats de cette étude au Dakota du Sud reposent sur un nombre limité de sites et sur des analyses médiocres.

**TABLEAU 9.13 : Incidences des VOVG sur la sécurité,
au Dakota du Sud**

Type d'amélioration	N ^{bre} de sites	Éten- due du DJMA	Collisions			Collisions avec DMSS*		
			Avant	Après	FMC	Avant	Après	FMC
VOVG ajoutées par marquage	3	1 500 – 24 300	176	160	0,91	4 444,5	3 436	0,77
VOVG par reconstruction	5	15 000 – 22 775	295	270	0,92	5 876,5	8 243,5	1,40
Résultats combinés	8		471	430	0,91	10 321	11 679,5	1,13

* Les collisions avec DMSS ont été calculées d'après l'équation $(1300*M)+(90*I)+(18*N)+(9.5*P)+DMS$

où :
M = collision mortelle
I = collision avec blessure invalidante
N = collision avec blessure non invalidante
P = collision avec blessure possible
DMS = collision avec dommages matériels seulement

Brown et Tarko (1999)

Dans une étude portant sur le contrôle et la sécurité des accès aux intersections en Indiana, Brown et Tarkon (1999) ont inclus dans leur examen les incidences des VOVG sur le taux de collisions. L'objectif de l'étude consistait à élaborer des modèles de prédiction des collisions pour des routes de dégagement à voies multiples, situées en milieu urbain, le tout au moyen de modèles binomiaux négatifs de régression pour les accidents avec DMS, avec blessures et mortels. L'élaboration du modèle a reposé sur cinq années de données sur les collisions recueillies à 155 tronçons routiers homogènes. Les résultats obtenus grâce au modèle indiquent que la présence de VOVG réduit la fréquence des collisions comme l'illustre le tableau 9.14.

TABLEAU 9.14 : Avantages des VOVG sur la sécurité

Types de collisions	FMC
DMS	0,50
Mortelles + avec blessures	0,42
Total	0,47

Harwood et coll. (2000)

Avec l'aide d'un comité d'experts ayant pour tâche de synthétiser les résultats de recherche disponibles, Harwood et coll. (2000) ont déterminé que le FMC relatif aux VOVG était, lorsque appliqué à des routes rurales à deux voies :

$$\text{FMC} = 1 - 0,7 P_{\text{vg/e}} \frac{0,0047E + 0,0024E^2}{1,199 + 0,0047E + 0,0024E^2} \quad [9.3]$$

où : $P_{\text{vg/e}}$ = proportion de collisions reliées à des entrées et qui sont des collisions en virage à gauche dont le nombre pourrait être allégé par des VOVG, le tout exprimé en nombre décimal
 E = nombre d'entrées (entrées/mille)

En l'absence d'information sur la proportion de collisions survenant lors de virages à gauche, collisions dont le nombre pourrait être allégé par des VOVG, on peut présumer qu'il s'agit d'une proportion de 50 % du total des collisions liées aux entrées.

Virage à droite

Vogt et Bared (1999)

Vogt et Bared (1999) ont découvert qu'une voie de virage à droite, dans la route principale d'une intersection en T contrôlée par panneaux d'arrêt et située en milieu rural au Minnesota, était associée à un FMC de 0,79. Ce résultat était statistiquement significatif, bien que l'on n'ait pas obtenu le même résultat pour les intersections en croix contrôlées par des panneaux d'arrêt.

Bauer et Harwood (2000)

Dans le cadre d'un exercice exhaustif d'élaboration de modèles de collisions, Bauer et Harwood (2000) ont estimé à 0,85 le FMC d'une voie de virage à droite sur la route principale d'intersections contrôlées par panneaux d'arrêt à quatre embranchements et situées en milieu rural. Les FMC à l'égard des intersections et voies disposées suivant une autre configuration sont présentés au tableau 9.15.

TABLEAU 9.15 : FMC à l'égard des voies de virage à différents types d'intersections

Intersection	Type de voie	FMC
Milieu rural, 4 embranchements, panneaux d'arrêt	Virage à droite depuis la route principale	0,85
Milieu rural, 3 embranchements, panneaux d'arrêt	Virage à gauche peint sur la route principale	0,81
	Virage à gauche délimité par un terre-plein sur la route principale	0,91
Milieu urbain, 4 embranchements, feux de circulation	Circulation dirigée pour virage à droite dans route principale	1,12
Milieu urbain, 4 embranchements, panneaux d'arrêt	Circulation dirigée pour virage à droite depuis la route transversale	1,47
Milieu urbain, 3 embranchements, panneaux d'arrêt	Circulation dirigée pour virage à droite depuis la route transversale	1,75
	Virage à gauche peint sur la route principale	0,98
	Virage à gauche délimité par un terre-plein sur la route principale	

Il est intéressant de noter que la circulation dirigée pour virage à droite dans les zones urbaines est associée à une augmentation des collisions.

Harwood et coll. (2000)

Harwood et coll. (2000), ont eu recours à l'aide d'un comité d'experts ayant pour tâche de synthétiser les résultats de recherche disponibles sur les incidences de l'ajout de voies de virage à droite dans les accès à des intersections de routes principales à deux voies et situées en milieu rural. Les membres du comité se sont entendus sur les FMC présentés au tableau 9.16 à l'égard des voies de virage à droite.

TABLEAU 9.16 : FMC relatifs aux voies de virage à droite

Contrôle de la circulation	Nombre d'accès de route principale où des voies de virage à droite sont ajoutés	
	Un accès	Deux accès

Panneaux d'arrêt	0,95	0,90
Feux	0,975	0,95

Chin et Quddus (2001)

Chin et Quddus (2001), dans le cadre d'une analyse de carrefours à quatre embranchements munis de feux de circulation et situés à Singapour, ont découvert que des voies de virage à droite aux deux accès augmentaient la fréquence des collisions de 38 % (FMC = 1,38) et que des voies de virage à gauche aux deux accès diminuaient la fréquence des collisions de 53 % (FMC = 0,47).

Harwood et coll. (2002)

Dans une analyse exhaustive des incidences sur la sécurité des voies de virage à gauche et de virage à droite, Harwood et coll. (2002) ont effectué des études avant-après sur des améliorations apportées aux carrefours situés dans huit États. Au total, 280 sites ont été étudiés et 300 emplacements ont été utilisés comme sites témoins ou de référence. Les sites étaient situés en milieu urbain et rural et étaient soit contrôlés par des panneaux d'arrêt dans deux directions, soit munis de feux de circulation (c.-à-d. que les emplacements munis de panneaux d'arrêts toutes directions étaient exclus de l'analyse). Tous les sites étaient composés de trois ou quatre accès et tous ces derniers étaient des rues publiques (aucun site ne comportait de voie privée).

L'étude de Harwood et coll. reposait sur trois méthodes d'évaluation différentes : la méthode de comparaisons par paire, l'évaluation avant-après avec groupe témoin et l'étude avant-après reposant sur des techniques empiriques bayésiennes. Les collisions incluses dans l'analyse se sont produites dans les 250 pieds de l'intersection et étaient classées comme reliées à l'intersection. Les périodes avant et après variaient entre un et dix ans, soit une moyenne respective de 6,7 et 3,9 ans pour les périodes avant et après.

Les résultats de l'analyse et les recommandations des chercheurs sont présentés au tableau 9.17.

⁵Le code de la route à Singapour exige la conduite à gauche de la ligne centrale. Dans l'article de Chin et Quddus, les virages à droite équivalent donc à des virages à gauche au Canada et les résultats doivent donc être interprétés en conséquence.

TABLEAU 9.17 : Incidences sur la sécurité des voies de virage à droite aux accès de routes principales

Mesure de contrôle de la circulation	Nombre d'accès de la voie principale où des voies de virage à droite sont ajoutés	
	Un	Deux
Panneaux d'arrêt	0,86	0,74
Feux	0,96	0,92

Chapitre 10:
Chapitre 10 :
Techniques de modération
Techniques de modération
de la circulation
de la circulation

CHAPITRE 10 : TECHNIQUES DE MODÉRATION DE LA CIRCULATION

Lynam et coll. (1988) et Mackie et coll. (1990)

Lynam et coll. (1988) ainsi que Mackie et coll. (1990) ont fait un rapport sur les incidences en matière de sécurité des mesures étendues de modération de la circulation appliquées dans cinq villes d'Angleterre. Les caractéristiques des sites étudiés et des mesures étendues de modération de la circulation sont présentées au tableau 10.1. Il s'agissait d'une étude avant-après faisant appel à un groupe témoin. Les sites témoins avaient les mêmes caractéristiques que les sites étudiés relativement à l'aménagement des terres, au réseau routier et aux données sur les collisions. Les sites à l'étude se situaient dans la moyenne quant aux risques de collisions, éliminant ainsi toute régression à la moyenne due à des artefacts.

L'analyse a porté sur des données recueillies pendant cinq années avant et deux années après et les résultats sont récapitulés au tableau 10.2. Cette analyse a tenu compte des séries chronologiques et des variations saisonnières.

TABLEAU 10.1 : Description des sites d'analyse des mesures étendues de modération de la circulation au Royaume-Uni

SITE		1	2	3	4	5
Modifications de nature hiérarchique		Restreindre le trafic de passage	Concentrer le trafic nord-sud	Restreindre les routes locales utilisées pour contourner le centre	Réduire le nombre de routes collectrices	Fermer une route directe et contrer l'usage des autres
Problèmes de sécurité relevés de sécurité		Accidents de véhicules à deux roues sur routes principales	Congestion sur routes principales	Accidents touchant piétons enfants	Collisions sur routes collectrices	Collisions aux carrefours d'artères
Objectifs principaux de sécurité		Améliorer intersections de routes principales; restreindre accès routes secondaires	Améliorer contrôle des intersections; restreindre accès routes secondaires	Réduire trafic de passage dans routes locales; améliorer intersections	Améliorer routes collectrices choisies; restreindre accès aux autres	Modifier le parcours de la circulation; réduire les vitesses sur routes collectrices
Mesures principales	Route principale	Mini-carrefours giratoires			Aucune intervention générale	Reconception de l'intersection
	Intersections de routes secondaires	Interdiction de tourner		Traverses pour piétons		
	Routes collectrices	Îlots médians et passages piétonniers améliorés	Abri/agrandissement		Station d'autobus	Îlots de refuge centraux
	Voie réservée pour autobus aux heures de pointe					

TABLEAU 10.2 : Incidences sur la sécurité des mesures étendues de modération de la circulation au Royaume-Uni

Site	FMC	
	Site à contrôle local	Zone à contrôle élargi
1	0,90 à 0,75	0,88
2	0,96 à 0,85	0,91
3	0,93	0,91
4	0,81 à 0,68	0,82
5	0,86	0,86
Tous	0,87	0,88

La réduction de 13 % des collisions n'est vraisemblablement pas attribuable au hasard. Une analyse plus approfondie des données sur les collisions a permis de tirer les conclusions qui suivent.

- La réduction des collisions touche tous les usagers de la route et présente plus d'avantages pour les cyclistes et les motocyclistes;
- les collisions ont diminué sur les artères et dans les zones résidentielles;
- les collisions avec blessures légères ont subi une plus grande réduction en comparaison des accidents avec blessures graves.

Engel et Thomsen (1992)

Engel et Thomsen (1992) ont examiné les incidences sur la sécurité des mesures de réduction de la vitesse dans des zones résidentielles au Danemark. Les interventions consistaient à imposer des vitesses limites temporaires de 15 km/h ou de 30 km/h conjuguées à diverses mesures concrètes de réduction de la vitesse. La méthodologie de l'étude reposait sur une analyse avant-après faisant appel à un groupe témoin et utilisant les taux de collisions et les vitesses comme paramètres. L'analyse a porté sur des données recueillies pendant trois années avant et trois années après. L'analyse des collisions a porté sur un total de cinq routes à 15 km/h, de 39 autres à 30 km/h ayant fait l'objet de mesures de modération et de 52 routes témoins. L'analyse des vitesses a porté sur un total de 41 routes ayant fait l'objet de mesures de modération et de 13 routes témoins.

Le FMC à l'égard de la modération de la circulation est impressionnant, soit de 0,27. La réduction des collisions était significative à un niveau de confiance de 95 %.

Les vitesses moyennes dans les routes témoins n'ont pas changé entre les périodes avant et après. Les changements de vitesse sur les routes étudiées sont présentés au tableau 10.3. Les dispositifs étaient espacés d'environ 100 mètres, donc les mesures prises à 50 mètres de ceux-ci témoigneraient vraisemblablement des vitesses maximales si les automobilistes ont augmenté leur vitesse entre les dispositifs.

Les résultats indiquent que les dispositifs d'intervention verticale sont plus efficaces en matière de réduction de la vitesse que ceux d'intervention horizontale. Les auteurs ont élaboré le modèle de régression suivant pour prédire le changement de vitesse :

$$CV = 29,058 - 0,6451V_a + 0,00376D_{vd} + 0,0005352D_{vd}^2 - 148,32 \ln[1+1/D] - 81,50 \ln[1/D_a] - 10,001H - 2,017X_1 - 4,724X_2 - 4,680X_3 \quad [10.1]$$

- où :
- CV = Changement de vitesse (km/h)
 - V_a = Vitesse moyenne avant intervention (km/h)
 - D_{vd} = Distance entre le véhicule et le dispositif (mètres)
 - D = Distance entre le dispositif et le dispositif précédent (mètres)
 - D_a = Distance entre le dispositif et le dispositif suivant en aval (mètres)
 - H = Hauteur du dispositif (centimètres)
 - X_1 = 1 si dislocation latérale simple; 0 sinon
 - X_2 = 1 si dislocation latérale double; 0 sinon
 - X_3 = 1 si rétrécissement de la route; 0 sinon

TABLEAU 10.3 : Changements de vitesse résultant de mesures de modération de la circulation au Danemark

Dispositif	Changement de la vitesse (km/h)		
	50 m en amont	Au dispositif	50 m en aval
Dos d'âne allongé, portion circulaire	-13,7	-7,9	-3,6
Dos d'âne allongé, jonction surélevée	-13,7	-14,7	-8,3
Dos d'âne allongé, plateau et portion circulaire	-6,5	-21,2	-23,6
Dos d'âne allongé, plateau	-26,8	-8,1	-16,8
Dislocation latérale simple	-12,1	4,1	3,2
Dislocation latérale double	-3,7	0,8	-9,5
Rétrécissement de la route	-1,7	-3,4	-14,1

Hamilton Associates (1996)

Hamilton Associates (1996) ont établi des estimations des incidences sur la sécurité de la modération de la circulation et ce, en analysant quatre projets à cet égard dans l'agglomération de Vancouver. La sélection des sites reposait sur la disponibilité des données. Une description de chaque projet de modération de la circulation est donnée au tableau 10.4. L'analyse comprend les collisions sur des rues des quartiers résidentiels à l'étude.

TABLEAU 10.4 : Description des sites choisis pour fins de modération de la circulation

Projet	Milieu	Problème	Nombre de dispositifs	Types de dispositifs
1	Centre-ville, utilisation résidentielle moyenne à élevée des terres	Circulation non locale, sécurité, qualité de vie	22	Îlots à virage obligatoire, fermeture de rues, barrières diagonales, carrefours giratoires, extensions de trottoirs, routes à sens unique
2	Résidentiel à faible densité	Circulation non locale, sécurité	17 (panneaux d'arrêt exclus)	Panneaux d'arrêt, îlots à virage obligatoire, carrefours giratoires, routes à sens unique
3	Résidentiel, densité moyenne, maisons unifamiliales	Circulation non locale		Panneaux d'arrêts à toutes les deux rues
4	Résidentiel, maisons unifamiliales	Circulation non locale	17 dos d'âne allongés	Dos d'âne allongés, stationnement et restrictions de virage

L'analyse portait sur les données sur les collisions recueillies pendant trois années avant et trois années après. Certaines périodes plus courtes ont été utilisées dans l'analyse. Les résultats de l'analyse sont présentés dans les tableaux 10.5 et 10.6.

TABLEAU 10.5 : Incidences des mesures de modération de la circulation sur la fréquence des collisions dans l'agglomération de Vancouver

Projet	Collisions/année		FMC
	Avant	Après	
1	75,7	62,0	0,82
2	19,3	5,3	0,54*
3	15,0	6,0	0,40
4	41,5	27,5	0,66
Moyenne	30,3	20,2	0,61

* Un changement est survenu dans le seuil de déclaration entre les périodes avant et après. Le FMC a été ajusté afin de tenir compte de ce changement.

TABLEAU 10.6 : Incidences des mesures de modération de la circulation sur la gravité des collisions dans l'agglomération de Vancouver

Projet	% avec blessures + mortelles		Change-ment
	Avant	Après	
1	15	17	+2
2	21	56	+35
3	37	27	-10
4	54	19	-35
Moyenne			-2

L'augmentation des collisions plus graves peut être le résultat d'une augmentation des débits de piétons et de cyclistes. Les dos d'âne allongés utilisés dans le projet 4 auraient réduit les vitesses de conduite, contribuant ainsi à une diminution de la proportion d'accidents corporels.

Berger et Linauer (1998)

Berger et Linauer (1998) ont examiné les incidences de l'aménagement de la transition entre les segments rural et urbain de cinq routes à deux voies, en Autriche. Les interventions consistaient en des îlots surélevés placés entre les deux voies et pourvus des panneaux et marques appropriés. On a utilisé quatre dessins d'îlots différents, chacun visant à favoriser un certain rétrécissement de la route (en divisant les deux voies) ainsi qu'une déviation. Les formes des îlots sont illustrées à la figure 10.1.

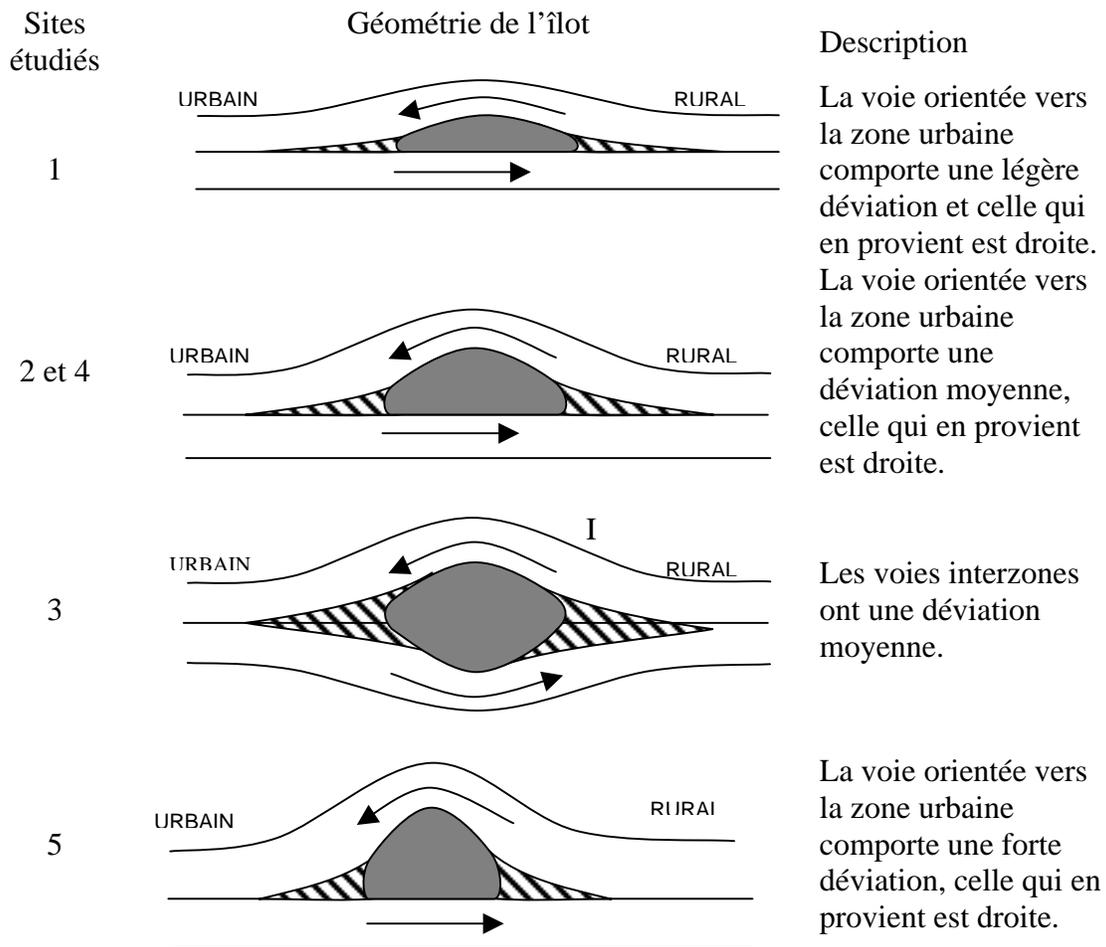


FIGURE 10.1 : Îlots de modération de la circulation, en Autriche

L'étude reposait sur une analyse naïve avant-après des vitesses moyennes du 85^e percentile et maximale enregistrées près du panneau de nom de la ville (probablement près de l'îlot). Les résultats sont présentés au tableau 10.7.

TABLEAU 10.7 : Incidences sur la vitesse des aménagements d'accès aux rues, en Australie

Vitesse	Période	Site				
		1	2	3	4	5
Moyenne	Avant	54,0	58,0	60,0	65,0	65,0
	Après	54,1	48,4	44,1	47,2	40,1
	Change-ment	0	-17	-27	-27	-38
85 ^e percentile	Avant	62,0	67,0	70,0	76,0	77,0
	Après	61,0	54,5	50,5	55,2	44,6
	Change-ment	-2	-19	-28	-27	-42
Maximum	Avant	70,0	88,0	86,0	95,0	97,0
	Après	76,2	59,3	56,1	65,8	46,9
	Change-ment	+9	-33	-35	-31	-52

Les auteurs notent que l'îlot n° 3 comporte les avantages supplémentaires suivants, à savoir :

- qu'il commande une réduction de la vitesse des automobilistes juste avant de laisser la zone urbaine (ce qui peut favoriser une vitesse uniforme et inférieure dans l'ensemble de la zone urbaine) et
- qu'il empêche les automobilistes d'entrer dans la zone urbaine au moyen de la voie de circulation inverse (observations anecdotiques).

Il n'est pas surprenant de constater que la réduction de la vitesse est proportionnelle à l'augmentation de la courbe de déviation. À l'aide de ces résultats, les modèles de régression suivants à l'égard de la forme de l'îlot et des vitesses attendues ont été élaborés :

$$V_{85} = 14,797 \ln(L/2d) + 19,779 \quad R^2 = 0,9098 \quad [10.2]$$

$$V_m = 12,907 \ln(L/2d) + 17,753 \quad R^2 = 0,9693 \quad [10.3]$$

où : V_{85} = Vitesse du 85^e centile (km/h)
 V_m = Vitesse moyenne (km/h)
 L = Longueur de l'îlot + longueur des deux bordures
 d = Déviation latérale de la voie

Ewing (1999)

Ewing (1999) a entrepris une étude exhaustive des effets associés à la modération de la circulation, y compris les incidences sur la sécurité. Au moyen d'un amalgame d'études naïves avant-après mesurant la fréquence des collisions et tenant compte des changements dans les débits de circulation, il a relevé 55 sites dans lesquels la circulation avait été apaisée grâce principalement à des carrefours giratoires et des dos d'âne allongés. Le FMC global à l'égard de ces sites apaisés était de 0,96. Ce rapport avait pour but de saisir l'état de la pratique en matière de modération de la circulation et non pas de donner un compte rendu rigoureux des diverses analyses de la sécurité examinées par Ewing. Il ne comporte donc pas d'information précise quant aux moyens de sélection des sites et à d'autres aspects qui nous permettraient d'évaluer de façon éclairée les données en matière de sécurité.

Forbes et Gill (2000)

Forbes et Gill (2000) ont examiné la modération de la circulation sur une route située à Ancaster, en Ontario. Il s'agissait d'une artère à deux voies située principalement dans un milieu résidentiel et régie par une vitesse limite de 50 km/h. L'intervention résidait dans la construction d'une série d'îlots surélevés situés entre les deux voies, afin de rétrécir la chaussée et de créer un effet de chicane le long de la route. Les îlots comportaient des arbres, afin d'augmenter davantage l'impression de rétrécissement.

La méthodologie de l'étude incluait l'examen de la vitesse moyenne et de la proportion de véhicules excédant la vitesse limite, au moyen d'une analyse avant-après ayant recours à un groupe témoin. La vitesse moyenne a subi une baisse de 9 % dans la portion traitée par des mesures de modération de la circulation (de 54,0 à 49,3 km/h), alors que la diminution enregistrée dans la portion témoin n'a été que de 3 %. Les incidences des îlots sur la vitesse sont présentés au tableau 10.8.

TABLEAU 10.8 : Incidences des mesures de modération de la circulation sur la vitesse des véhicules à Ancaster, en Ontario

Sections étudiées	Proportion excédant la vitesse limite (%)	
	Avant	Après
Portion avec mesures de modération	67	47
Portion témoin	88	85

Les essais statistiques indiquent que le changement de vitesse ainsi que la proportion de véhicules excédant la vitesse limite sont significatifs à un niveau de confiance de 99 %. On peut cependant se demander si la portion témoin constituait un point de comparaison adéquat étant donné que la proportion de véhicules excédant la vitesse limite dans la période « avant » était considérablement différente de celle de la portion à l'essai.

Transport Research Laboratory (2000)

Le TRL (2000) du Royaume-Uni a recueilli, dans la base de données MOLASSES (voir la partie portant sur la « Signalisation » pour obtenir de plus amples renseignements sur MOLASSES), de l'information sur les incidences sur la sécurité de diverses mesures de modération de la circulation sur des routes locales. Les résultats sont généralisés et ne peuvent servir qu'à donner une idée superficielle de l'ampleur possible des améliorations en matière de sécurité. Les résultats sont présentés au tableau 10.9.

Les résultats de l'étude menée au Royaume-Uni indiquent que les mesures de modération de la circulation constituent des dispositifs de sécurité efficaces. Cependant, les FMC qui y sont associés doivent être appliqués avec prudence, étant donnés les faits suivants :

- *la raison ayant motivé le choix des sites pour fins d'intervention n'est pas précisée;*
- *dans certains cas, la taille de l'échantillon est très réduite;*
- *il s'agit d'une étude naïve avant-après de la fréquence des collisions qui ne tient pas compte de la régression à la moyenne;*
- *la méthodologie de l'étude ne tient pas compte de l'exposition ou d'autres éventuelles variables confusionnelles.*

TABLEAU 10.9 : Incidences des mesures de modération de la circulation sur la sécurité, au Royaume-Uni

Intervention	Milieu	Nombre de sites	Nombre de collisions		FMC
			Avant	Après	
Chicanes/rétrécissements	Urbain	18	189	86	0,46
Zones de transition	Urbain	3	48	15	0,31
Glissières de sécurité et rambardes pour piétons	Urbain	13	161	86	0,53
Passages pour piétons	Urbain	70	808	490	0,61
Nouveaux carrefours giratoires et mini-carrefours giratoires	Urbain	56	526	288	0,55
Îlots séparateurs	Urbain	5	38	27	0,71
Plans d'intervention globale	Urbain	40	644	472	0,73
Plans d'intervention routière	Urbain	40	535	320	0,60
Plans visant l'ensemble de la région	Urbain	9	153	81	0,53
Plans cycliques	Résultats combinés	5	150	52	0,35
Enduits antidérapants	Rural	4	40	15	0,38
Glissières de sécurité et rambardes pour piétons	Rural	3	49	26	0,53
Passages pour piétons	Rural	2	18	3	0,17
Nouveaux carrefours giratoires et mini-carrefours giratoires	Rural	15	216	45	0,21
Tableaux afficheurs de vitesse	Rural	1	1	1	1,00
Plans d'intervention globale	Rural	11	151	50	0,33
Plans d'intervention routière	Rural	15	128	64	0,50
Plans visant l'ensemble de la région	Rural	1	23	3	0,13

Huang et coll. (2001)

Huang et coll. (2001) ont évalué les incidences sur la sécurité de mesures de réduction des voies de 12 routes (l'intervention) situées dans les États de Washington et de Californie. L'intervention consistait à convertir des routes à chaussée unique et comportant quatre voies de 3,35 mètres en routes avec VOVG de 3,66 mètres de largeur, de deux voies directes de 3,35 mètres (une dans chaque direction) et de deux voies cyclables de 1,5 mètre. Les sites ont été sélectionnés en fonction de la disponibilité des données et des suggestions fournies par des agents régionaux des transports. La méthodologie utilisée consistait en une étude avant-après faisant appel à un groupe témoin correspondant au groupe étudié quant à la catégorie fonctionnelle, à l'utilisation des terres, aux vitesses limites, aux espacements entre les intersections et aux dispositifs de contrôle des accès. Au total, 25 sites témoins ont été utilisés.

L'analyse a porté sur des données recueillies pendant des périodes avant et après qui étaient idéalement de trois ans, mais non inférieures à un an. Les collisions survenues aux carrefours situés à l'une ou l'autre extrémité de la portion à trois voies étaient exclues de l'analyse. Huang et coll. ont utilisé comme paramètres la fréquence, le taux, la gravité et le type de collisions. Ils ont tiré les conclusions suivantes :

- la fréquence des collisions dans les routes à trois voies a été inférieure de 6 % à la fréquence des collisions sur les routes témoins (à quatre voies);
- les taux des collisions entre les périodes avant et après n'ont pas changé de manière importante, ni dans les sites à l'étude, ni dans les sites témoins;
- l'intervention n'a pas eu d'incidences sur la gravité des collisions;
- l'intervention n'a pas eu d'incidences sur les types de collisions.

Corkle et coll. (2001)

Corkle et coll. (2001) ont étudié les incidences sur la sécurité des mesures de modération de la circulation à sept emplacements situés au Minnesota. L'étude reposait sur une analyse naïve avant-après de la vitesse moyenne, de la vitesse du 85^e percentile et de la réduction proportionnelle de véhicules roulant à une vitesse supérieure à celle du 85^e percentile de la période « avant ». Les sites ont été sélectionnés parce qu'ils devaient subir des travaux de réfection en vue de la pose de dispositifs de modération de la circulation. Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 10.10.

Dos d'âne allongés*Ville de Vancouver (1999)*

La Ville de Vancouver (1999) a mené une étude-pilote des dos d'âne allongés de dix routes locales en milieu urbain qui ont été sélectionnées en fonction de la vitesse maximale, des débits de circulation et de la proximité de facteurs produisant une

circulation piétonnière. Deux types de dos d'âne allongés ont été mis à l'essai; l'un pour les rues à vitesse limite de 30 km/h et l'autre pour les rues à vitesse limite de 50 km/h. La méthodologie de l'évaluation consistait en une étude naïve avant-après des vitesses du 85^e percentile. Selon les résultats, les vitesses du 85^e percentile ont été réduites en moyenne de 11 km/h.

Transport Research Laboratory (2000)

La base de données MOLASSES du Royaume-Uni (Transport Research Laboratory, 2000) contient de l'information sur les incidences en matière de sécurité des dos d'âne allongés dont ont été pourvues des routes locales en milieu urbain. La base de données comprend 10 différents projets dans le cadre desquels des dos d'âne allongés ont été mis en place. Le nombre de collisions enregistré pendant la période avant de trois ans était de 107 et a été réduit à 12 dans la période après, de trois ans également, donnant ainsi un FMC de 0,11. Il s'agit d'une étude naïve avant-après dont les résultats exceptionnels sont susceptibles de favoriser une surestimation des incidences réelles sur la sécurité.

**TABLEAU 10.10 : Incidences de la modération de la circulation
sur les vitesses au Minnesota**

Site	Description	DJMA	Dispositif	Direction	Moyenne		85 ^e		Excédant le 85 ^e « avant »
					Avant	Après	Avant	Après	
1	Route locale en milieu résidentiel affichant 30 mi/h	950 – 1 050	Étranglement paysager (34 à 22 pi)	Est	34	30	36	32	1
				Ouest	34	31	39	35	2
2	Route locale en milieu résidentiel affichant 30 mi/h	950 – 1 050	Marques sur la chaussée « LENTE-MENT » dans les deux sens	Est	29	30*	33	35	25
				Ouest	28	28*	32	31	12
3	Route locale en milieu résidentiel affichant 30 mi/h	950 – 1 050	Étranglement paysager (34 à 22 pi)	Est	33	30	36	33	7
				Ouest	32	31*	37	35	8
4	Route collectrice dans lotissement résidentiel	4 000	Motif de chevrons convergents, marques sur la chaussée « 30 mi/h »	Est	37	31	42	35	0
				Ouest	35	31	39	34	2
5	Artère secondaire affichant 35 mi/h	5 400 – 9 100	Conversion de 4 à 3 voies	Est+	45	44	51	50	S/O
				Ouest+	45	43	51	49	S/O
6	Artère affichant 30 mi/h en zone commerciale	14 500	Conversion 4 à 3 voies, étranglements et aménagement paysager	Est+	30	26	35	30	0 à 5
				Ouest+	28	26	32	30	0 à 13
7	Route en milieu résidentiel affichant 30 mi/h	1 600	Passage pour piétons surélevé et marques de délimitation	Nord	34	22	38	26	0
				Sud	33	23	37	28	0

* Non statistiquement significatif au niveau de confiance de 95%

+ Moyenne des vitesses prises à quatre emplacements différents dans la section où des mesures d'intervention ont été prises

Bandes d'alerte transversales

Kermit et Hein (1962)

Kermit et Hein (1962) ont étudié les incidences sur la sécurité de bandes d'alerte transversales installées à quatre emplacements de Contra Costa, en Californie. Tous les emplacements à l'étude étaient des accès à des carrefours situés en milieu rural : deux croisements en T, un croisement en Y et un carrefour en croix. La conception des bandes d'alerte variait légèrement d'un emplacement à l'autre, mais ceux-ci étaient essentiellement similaires. Il s'agit d'une étude naïve avant-après utilisant comme paramètre le taux de collisions. Les résultats sont présentés au tableau 10.11.

TABLEAU 10.11 : Incidences sur la sécurité des bandes d'alerte transversales, en Californie

Site	Taux de collisions		FMC	Proportion des collisions mortelles + avec blessures (%)		Change-ment
	Avant	Après		Avant	Après	
1	2,5	0,4	0,16	67	0	-67
2	4,9	2,0	0,41	86	0	-86
3	4,2	1,0	0,24	75	100	+25
4	1,7	0,0	0,00	50	--	--
Moyenne	3,32	0,85	0,26	69	33	-42

Les taux des collisions « avant » reposaient sur des données recueillies pendant 20 à 32 mois et ceux des collisions « après » sur des données recueillies pendant 10 à 31 mois. L'étude n'a pas été menée avec un groupe témoin afin de tenir compte des variables confusionnelles. Cependant, l'auteur note une augmentation des collisions survenues sur les routes du comté.

Owens (1967)

Owens (1967) a évalué les incidences de bandes d'alerte transversales sur la sécurité de six intersections contrôlées par des panneaux d'arrêt et situées en milieu rural, au Minnesota. Il s'agit d'une étude naïve avant-après utilisant comme paramètre la fréquence des collisions. Les sites étaient des intersections de routes express dont tous les accès permettaient une visibilité sans obstruction de 1 000 pieds. Les dispositifs de contrôle de la circulation étaient conformes au MUTCD alors en vigueur et tous les accès comportaient des marques de chaussée avertissant les automobilistes d'un arrêt obligatoire imminent.

L'intervention consistait à placer des transversales de la façon suivante :

- quatre bandes d'alerte de 25 pi de longueur et espacées de 100 pi;
- six bandes d'alerte de 25 pi de longueur et espacées de 50 pi;

- une bande d'alerte de 50 pi de longueur et placée à l'intersection.

Seulement deux des intersections avaient été préparées de façon qu'il a été possible de recueillir des données pendant un an « après » (les autres carrefours ont fait l'objet d'études portant sur la vitesse d'accès, le respect des panneaux d'arrêt, etc.). Les résultats de l'analyse des collisions sont présentés au tableau 10.12.

TABLEAU 10.12 : Incidences sur la sécurité des bandes d'alerte transversales, au Minnesota

Accès	DJM de l'accès	Type d'intersection	Collisions/année		FMC
			Avant	Après	
A1	640	Croix	2,0	1,0	0,50
A2	960	Croix			
C	715	T	6,0	0,0	0,00
Total			8,0	1,0	0,13

L'auteur a précisé que le DJM de l'accès n'a pas changé entre les périodes avant et après.

Carstens (1983)

Carstens (1983) a évalué les incidences de bandes d'alerte transversales sur la sécurité d'intersections contrôlées par des panneaux d'arrêt et situées en Iowa. Il n'en a virtuellement découvert aucune. Il s'agissait d'une étude avant-après faisant appel à un groupe témoin et utilisant les taux de collisions. Chaque groupe, à l'étude et témoin, était composé de 111 emplacements. Les résultats sont présentés au tableau 10.13.

TABLEAU 10.13 : Incidences sur la sécurité des bandes d'alerte transversales, en Iowa

Site	Taux de collisions		FMC
	Avant	Après	
Groupe étudié	1,000	0,352	0,35
Groupe témoin	0,793	0,304	0,38

Helliar-Symons (1981)

Les incidences sur la sécurité des marques transversales de chaussée (bandes d'alerte visuelles) dans les accès à des carrefours giratoires, en Écosse et en Angleterre, ont fait l'objet d'une étude menée par Helliar-Symons (1981). L'intervention consistait en une

série de lignes jaunes transversales peintes dans les voies d'accès de 48 carrefours giratoires et aux approches de 2 dangereuses courbes de tracé en plan. Il y avait 30 marques distinctes commençant à environ 220 mètres en amont du lieu à risque et finissant 35 mètres en aval de celui-ci. L'espace entre les lignes diminuait à mesure que l'on approchait du lieu en question. Les sites étant sélectionnés et répartis au hasard dans les groupes témoins et à l'étude, les effets de régression à la moyenne ne devraient pas fausser les résultats.

L'étude consistait en une analyse avant-après de la fréquence et de la gravité des collisions, le tout en faisant appel à un groupe témoin et à un plan expérimental classique (c.-à-d. sélection et distribution au hasard) afin de tenir compte de la régression à la moyenne. Les collisions cibles étaient les collisions « reliées à la vitesse » survenant à l'approche du « lieu à risque ». Toutes les autres collisions ont été déclarées « non pertinentes ». Les collisions cibles étaient composées à 92 % d'accidents de véhicules seuls, de pertes de maîtrise dans les carrefours giratoires, de collisions provoquées par un véhicule omettant de s'arrêter et de collisions provoquées par un véhicule cédant le passage à son entrée dans un carrefour giratoire et se faisant percuter par un second véhicule.

Les incidences sur la fréquence des collisions des marques transversales de la chaussée sont présentées au tableau 10.14. L'analyse a utilisé des données sur les collisions recueillies pendant deux années avant et deux années après. Les collisions avec dommages matériels seulement ont été exclues de l'analyse en raison des critères de déclaration différents d'une juridiction à une autre. En utilisant les collisions non cibles comme groupe témoin, le FMC relatif aux collisions reliées à la vitesse survenues à la suite de l'application de marques transversales sur la chaussée est de 0,43. Ce résultat est statistiquement significatif à un niveau de confiance de 99 %.

TABLEAU 10.14 : Incidences sur la sécurité des bandes d'alerte transversales dans les accès de carrefours giratoires, au Royaume-Uni

Type de collision	Avant	Après
Collisions cibles (reliée à la vitesse)	96	47
Collisions non cibles	265	303

Des résultats similaires ont été obtenus à l'examen des collisions cibles dans les sites à l'essai et témoins (FMC = 0,41 à un niveau de signification de 99 %). Le FMC à l'égard de l'ensemble des collisions dans les accès à l'étude était de 0,48.

En examinant la gravité des collisions, Helliard-Symons a découvert que le nombre de collisions (cibles) mortelles et avec blessures graves avait notablement diminué (FMC = 0,26). Les collisions avec blessures légères reliées à la vitesse ont également enregistré une diminution (FMC = 0,48). Finalement, l'auteur a examiné les collisions survenant dans une zone d'un kilomètre carré de chaque carrefour giratoire afin de vérifier les déplacements de collisions; il a observé une réduction de 12 % de l'ensemble

des collisions. Cette réduction n'est pas statistiquement significative, mais elle indique clairement qu'il n'y a pas eu de déplacement des collisions.

Harwood (1993)

Harwood (1993) a tiré les conclusions suivantes de l'analyse de l'utilisation des bandes d'alerte transversales...

L'auteur de ce rapport indique que la plupart des études avant et après sont petites, qu'elles ne sont pas statistiquement significatives et qu'elles sont mal conçues et difficiles à chiffrer. En raison des restrictions relatives à l'information disponible, l'auteur du rapport n'a pu que tirer les conclusions limitées ci-après.

- *En dépit du manque de rigueur dans la façon de concevoir l'évaluation des accidents, les résultats des études tirés de la documentation indiquent généralement que l'utilisation des bandes d'alerte transversales sur une voie de circulation peut efficacement réduire les accidents. Cependant, les résultats des études ne sont pas assez fiables pour pouvoir quantifier l'efficacité attendue en matière de réduction des accidents.*
- *L'utilisation des bandes d'alerte transversales doit être envisagée aux sites où prévalent les accidents du type impact arrière et ceux causés par un non-respect du panneau d'arrêt mettant en cause un apparent manque d'attention de la part du conducteur.*
- *On doit prendre garde de faire un usage abusif des bandes d'alerte transversales dans une voie de circulation.*
- *Habituellement, on ne doit poser des bandes d'alerte transversales dans une voie de circulation qu'aux sites où il existe un problème documenté en matière d'accidents et cela ne doit se faire qu'après l'essai infructueux de moyens plus conventionnels tels que des panneaux de signalisation (Harwood, p. 11-12). [Traduction]*

Chapitre 11 :
Chapitre 11 :
Autres aspects relatifs à
Autres aspects relatifs à
la sécurité
la sécurité

CHAPITRE 11 : AUTRES ASPECTS RELATIFS À LA SÉCURITÉ

Dans une recherche traitant des incidences sur la sécurité de la conversion d'intersection à un dispositif de contrôle par panneaux d'arrêt toutes directions, Persaud (1986) a utilisé un ensemble de données afin d'approfondir d'autres aspects relatifs à la sécurité de la circulation tels que la variabilité des FMC, la migration de la sécurité, l'effet de nouveauté, ainsi que la prolifération des dispositifs sur le taux de collisions. L'ensemble de données provenait de Philadelphie et portait sur 893 intersections de route à sens unique, dont la plupart ont été converties à un dispositif de contrôle par arrêts toutes directions (voir le tableau 11.1).

TABLEAU 11.1 : Dispositifs de contrôle des intersections dans la zone étudiée

Contrôle de l'intersection	Nombre d'intersections	
	Avant	Après
Arrêt de sens unique	419	191
Arrêt toutes directions	99	321
Feux de circulation	375	381
Total	893	893

Variabilité des FMC

Cette partie de l'analyse avait pour but de déterminer si les FMC à l'égard d'une intervention donnée restaient relativement constants d'un emplacement à un autre. L'hypothèse de départ consistait à affirmer que les emplacements enregistrant des nombres de collisions plus élevés tiraient plus d'avantages des interventions que les sites similaires où les collisions étaient moins fréquentes. Cette croyance trouve d'ailleurs écho dans le fait qu'un nombre minimal d'accidents doit être enregistré dans un lieu donné avant qu'une mesure intervention ne soit jugée justifiée.

L'ensemble de données provenant de Philadelphie établit clairement une relation entre le FMC et le nombre annuel de collisions attendu; l'augmentation du FMC est proportionnelle à celle du nombre de collisions attendu. La relation entre le nombre de collisions attendu et le FMC est exponentielle, car le taux d'augmentation décline à mesure que le nombre de collisions attendu augmente.

Migration de la sécurité

Persaud (1986) a utilisé l'ensemble de données de Philadelphie pour examiner les nombres de collisions attendus à 61 intersections ayant été munies de panneaux d'arrêts toutes directions et à 277 intersection n'ayant subi aucune intervention, le tout en se concentrant sur les données recueillies un an avant et un an après. Toutes les intersections

étaient situées dans la même zone donc, s'il y avait eu migration de la sécurité, il aurait été raisonnable de s'attendre à ce que les collisions se « déplacent » elles aussi des intersections modifiées à celles demeurées inchangées. Les résultats de cette analyse sont présentés au tableau 11.2 et semblent soutenir quelque peu l'existence d'une migration de la sécurité. Persaud précise que 0,3 collisions déplacées par intersection est un nombre relativement petit et indique que la cause (modification des itinéraires habituels, conducteurs ne connaissant pas les lieux, etc.) nécessiterait une recherche plus approfondie.

TABLEAU 11.2 : Déplacement des collisions

	Avec inter- vention	Sans intervention
Nombre d'intersections	61	277
Collisions enregistrées avant	219	445
Collisions attendues après	168	493
Collisions enregistrées après	72	575
Changement	96	-82

Effet de nouveauté

Un changement de dispositif de contrôle de la circulation entraîne souvent pour les conducteurs une période d'incertitude et d'ajustement. Il en est ainsi notamment sur les routes de banlieue où les automobilistes habitués ne sont pas aussi attentifs au contrôle de la circulation, étant donné qu'ils les connaissent ou pensent les connaître de leur expérience de conduite sur ces routes. De nouveaux dispositifs de contrôle constituent donc autant de violations éventuelles des attentes a priori des automobilistes et peuvent donner lieu à des manœuvres erratiques voire à des collisions.

Dans le but d'examiner la diminution de la sécurité d'une mesure prise dans le but d'améliorer le contrôle de la circulation, Persaud (1986) a examiné l'efficacité du contrôle par panneaux d'arrêt toutes directions en utilisant les données « après » recueillies immédiatement après la conversion des intersection visées, données qu'il a comparées à celles recueillies au moins six mois après l'intervention. Par l'omission, dans le second ensemble de données, des six premiers mois de données recueillies « après », il a été en mesure de déterminer l'effet de nouveauté. Les résultats de l'analyse sont présentés au tableau 11.3 et indiquent qu'il y a peu ou pas du tout d'effet de nouveauté ou à tout le moins que le bénéfice global en matière de sécurité fait plus que compenser pour la confusion à court terme qu'a provoqué l'installation d'un nouveau dispositif.

TABLEAU 11.3 : Effet de nouveauté associé à la conversion à un dispositif de contrôle par panneaux d'arrêt toutes directions

Type de collision	FMC		Différence
	0 mois	6 mois	
Angle droit	0,21	0,24	0,03
Impact arrière	0,83	0,86	0,03
Objet fixe	1,31	1,40	0,09
Piéton	0,61	0,54	0,07
Avec blessures	0,27	0,35	0,08
Total	0,55	0,57	0,02

Prolifération

Toujours au moyen de l'ensemble de données recueillies à Philadelphie à l'égard des dispositifs de contrôle de la circulation par panneaux d'arrêt toutes directions, Persaud (1986) s'est penché sur l'efficacité au plan de la sécurité de ces dispositifs selon leur année d'installation. Étant donné que 222 intersections ont été converties à de tels dispositifs en quatre ans, il semblait plausible de penser que les panneaux d'arrêt toutes directions posés à la fin de la phase de conversion seraient moins efficaces en raison de la prolifération de ce type de mesure de contrôle de la circulation dans la région. Les données ne semblent cependant pas soutenir cette hypothèse (voir tableau 11.4).

TABLEAU 11.4 : Incidences sur la sécurité de la prolifération de dispositifs de signalisation

Type de collision	FMC			
	Année 1 (74 sites)	Année 2 (67 sites)	Année 3 (38 sites)	Année 4 (43 sites)
Angle droit	0,24	0,18	0,18	0,20
Impact arrière	0,77	0,70	1,23	0,79
Objet fixe	1,27	1,43	1,15	1,33
Piéton	0,70	0,55	0,50	0,65
Avec blessures	0,26	0,33	0,21	0,27
Total	0,55	0,57	0,50	0,50

CETTE PAGE EST INTENTIONNELLEMENT LAISSÉE EN BLANC

Chapitre 12:
Chapitre 12:
Résumé
Résumé

CHAPITRE 12 : RÉSUMÉ DES RECHERCHES DOCUMENTAIRES

Les études qui ont été retenues au fil des recherches documentaires, et qui ont au moins fourni quelques FMC ou FES dont pourraient tirer parti les praticiens, sont résumées dans les tableaux 12.1 à 12.8. Le lecteur serait cependant bien avisé de n'utiliser les résultats ainsi consignés sans consulter soit l'examen critique pertinent de la présente synthèse, soit le document original duquel sont tirés ces résultats.

TABLEAU 12.1 : FMC découlant du changement des dispositifs de contrôle de la circulation aux intersections

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Agent (1987)	Arrêt → Arrêt+Feu clignotant	Transversale de la fréquence des collisions	64	1,09	Milieux ruraux, à vitesse élevée
	Arrêt → Feux		73	1,09	
	Ajout d'un feu clignotant à un panneau d'arrêt	Naïve avant-après de la fréquence des collisions	11	0,91	
	Arrêt → Feux		16	1,38	
Arrêt +Feu clignotant → Feux	20		0,79		
Lalani (1991)	Arrêt → Feux	Naïve avant-après de la fréquence des collisions	4	0,18	Périodes avant et après d'un an, sites choisis en raison d'une fréquence « élevée » de collisions
Poch et Mannering (1996)	Non contrôlé → contrôlé par panneau d'arrêt	Modélisation par régression	63	2,12	S'applique à un accès d'un carrefour
	Non contrôlé → Contrôlé par feux (diphases)			2,01	
	Non contrôlé → Feux (fonctionnement à huit phases)			1,77	
Tople (1998)	Arrêt → Feux	Naïve avant-après de la fréquence des	9	0,74	Sites choisis dans le cadre d'un

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
		collisions			programme d'amélioration de la sécurité
TRL (2000)	Signalisation urbaine Signalisation rurale	Naïve avant-après de la fréquence des collisions	26 8	0,45 0,22	
Thomas et Smith (2001)	Signalisation	Naïve avant-après de la fréquence et de la gravité des collisions	0	S/O	Mortelles
			7	1,29 à 0,00**	Avec blessures graves
			16	1,42 à 0,43	Avec blessures légères
			13	2,00 à 0,88	Avec blessures possibles
			14	0,71 à 0,48	DMS
			15	0,34 à 0,16	Angle droit
			12	1,25 à 0,68	Impact arrière
			12	1,82 à 0,71	Virage à gauche
			15	0,92 à 0,48	Autre
			15	0,93 à 0,53	Toutes les collisions
Thomas et Smith (2001)	Signalisation + Virage à gauche	Naïve avant-après de la fréquence et de la gravité des collisions	3	S/O	Mortelles
			9	S/O	Avec blessures graves
			8	0,45 à 0,23	Avec blessures légères
			11	1,13 à 0,34	Avec blessures possibles
			11	1,32 à 0,57	DMS

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
			11	0,52 à 0,22	Angle droit
			11	2,02 à 0,86	Impact arrière
			11	0,00 à 0,30	Virage à gauche
			11	1,16 à 0,50	Toutes les collisions
Région de Waterloo (2001)	Signalisation	Naïve avant-après de la fréquence des collisions	3	0,50	Périodes avant et après d'un an dans des sites choisis en raison du risque élevé de collisions
Lovell et Hauer (1986)	Double sens → Contrôle par panneaux d'arrêt toutes directions	Étude avant-après utilisant les fonctions de vraisemblance	360	0,28	Collisions à angle droit
				0,87	Impact arrière
				0,80	Collisions lors de virage à gauche
				0,61	Collisions avec des piétons
				0,29	Collisions avec blessures
				0,53	Toutes les collisions
Laplante et Kropidowski (1992)	Double sens → Contrôle par panneaux d'arrêt toutes directions (justifié)	Naïve avant-après de la fréquence des collisions	16	0,29	Toutes
				0,21	Collisions à angle
	Double sens → Contrôle	Naïve avant-après de	14	0,65	Toutes

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
	par panneaux d'arrêt toutes directions (non justifié)	la fréquence des collisions		0,57	À angle
	Double sens → Contrôle par panneaux d'arrêt toutes directions (non justifié) avec DJM < 12 000	Naïve avant-après de la fréquence des collisions	3	0,25	Toutes
				0,30	À angle
	Double sens → Contrôle par panneaux d'arrêt toutes directions (non justifié) avec DJM > 12 000	Naïve avant-après de la fréquence des collisions	3	1,71	Toutes
				1,29	À angle
Main (1984)	Modèle régulier de panneaux d'arrêt dans zone résidentielle (en changeant le sens de l'arrêt dans certaines intersections)	Naïve avant-après de la fréquence des collisions	9	0,76	Toutes les collisions
Laplante et Kropidowski (1992)	Modèle régulier de panneaux d'arrêt dans zone résidentielle (en ajoutant des panneaux d'arrêt à des intersections non contrôlées)	Naïve avant-après de la fréquence des collisions	9	0,15	Toutes les collisions

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Pant et coll. (1999)	Arrêt → Arrêt + feu clignotant (distance de visibilité adéquate)	Étude transversale du taux de collisions	7	0,95 1,12	Collisions à angle Toutes les collisions
	Arrêt → Arrêt + feu clignotant (distance de visibilité inadéquate)	Étude transversale du taux de collisions	6	1,60 1,01	Collisions à angle Toutes les collisions

* Les FMC constituent les limites de l'intervalle de confiance à 90 %

Fonctions d'efficacité de la sécurité (FES) à l'égard des intersections*Ministère des Transports de l'Ontario (1988)*

Ontario

Intersections avec feux de circulation

Quatre accès $N = 0,0002283 \text{ DJMA}^{0,54866}$ pour les collisions mortelles
 $N = 0,0103469 \text{ DJMA}^{0,54866}$ pour les collisions avec blessures
 $N = 0,0169214 \text{ DJMA}^{0,54866}$ pour les collisions avec dommages matériels seulement

Trois accès : $N = 0,0000853 \text{ DJMA}^{0,54925}$ pour les collisions mortelles
 $N = 0,0038654 \text{ DJMA}^{0,54925}$ pour les collisions avec blessures
 $N = 0,0063216 \text{ DJMA}^{0,54925}$ pour les collisions avec dommages matériels seulement

où : N = nombre annuel de collisions
 DJMA = Débit journalier moyen d'une année de la route principale

Sayed et Rodriguez (1999)

Colombie-Britannique

Intersections sans feux de circulation

Quatre accès : $N = 1,5406 (\text{DJMA}_{\text{principale}}/1000)^{0,4489} (\text{DJMA}_{\text{secondaire}}/1000)^{0,675}$
 Trois accès : $N = 0,9333 (\text{DJMA}_{\text{principale}}/1000)^{0,4531} (\text{DJMA}_{\text{secondaire}}/1000)^{0,5806}$

où : N = Nombre de collisions par 3 ans
 $\text{DJMA}_{\text{principale}}$ = Débit journalier moyen d'une année de la route principale
 $\text{DJMA}_{\text{secondaire}}$ = Débit journalier moyen d'une année de la route secondaire

Vogt (1999)

Michigan et Californie

Pour les intersections d'une route principale à quatre voies et d'une route secondaire à deux voies contrôlée par un panneau d'arrêt et comportant trois voies d'accès :

$$N = 0,000000192 \text{ DJM}_p^{1,433} \text{ DJM}_s^{0,269} \exp(-0,0612M + 0,0560E)$$

où :

- N = nombre de collisions par année
- DJM_p = Débit journalier moyen de la route principale à deux sens
- DJM_s = Débit journalier moyen de la route secondaire à deux sens
- M = Largeur moyenne de la route principale (en mètres)
- E = Nombre d'entrées de cour sur la route principale dans une distance de 76 mètres du centre de l'intersection

Pour les intersections d'une route principale à quatre voies et d'une route secondaire à deux voies contrôlée par un panneau d'arrêt et comportant quatre voies d'accès :

$$N = 0,0000777 \text{ DJM}_p^{0,850} \text{ DJM}_s^{0,329} \exp(0,110DG - 0,484G)$$

où :

- N = nombre de collisions par année
- DJM_p = Débit journalier moyen de la route principale à deux sens
- DJM_s = Débit journalier moyen de la route secondaire à deux sens
- DG = Proportion du trafic de l'heure de pointe arrivant par la route principale tournant à gauche (%)
- G = 0 si la route principale n'a pas de virage à gauche; 1 s'il y a au moins un virage à gauche.

Pour les intersections de routes à deux voies munies de feux de circulation et comportant quatre accès :

$$N = 0,000955 \text{ DJM}_p^{0,620} \text{ DJM}_s^{0,395} \exp(-0,0142\text{DG} + 0,0315\text{C}) * \exp(-0,675\text{G}_T + 0,130\text{V})$$

- où :
- N = nombre de collisions par année
 - DJM_p = Débit journalier moyen de la route principale à deux sens
 - DJM_s = Débit journalier moyen de la route secondaire à deux sens
 - DG_s = Proportion du trafic de l'heure de pointe arrivant par la route secondaire tournant à gauche (%)
 - C = Proportion du trafic de l'heure de pointe accédant à l'intersection constituée de camions (%)
 - G_T = 0 si la route principale ne comporte pas de virage à gauche protégé; 1 si la route principale comporte au moins une phase de virage à gauche protégé
 - V = 0,5 * (V_p + V_s)
 - V_p = La somme du changement de pente en pourcentage absolu par 100 pieds pour chaque courbe verticale de la route principale, dont chaque portion se trouve dans une distance de 800 pieds du centre de l'intersection, divisée par le nombre de ces courbes.
 - V_s = La somme du changement de pente en pourcentage absolu par 100 pieds pour chaque courbe verticale de la route secondaire, dont chaque portion se trouve dans une distance de 800 pieds du centre de l'intersection, divisée par le nombre de ces courbes.

Bauer et Harwood (2000)

Californie

Milieu urbain, intersections à quatre embranchements

Contrôlée par un panneau d'arrêt :

$$N = 0,009429 \text{ DJM}_{\text{principale}}^{0,620} \text{ DJM}_{\text{secondaire}}^{0,281} e^{-0,941\text{X1}} e^{-0,097\text{X2}} e^{0,401\text{X3}} e^{0,120\text{X4}} e^{-0,437\text{X5}} e^{-0,384\text{X6}} e^{-0,160\text{X7}} e^{-0,153\text{X8}} e^{-0,229\text{X9}}$$

- où :
- X1 = 0 s'il est permis d'effectuer des virages à gauche depuis la route principale; 1 sinon
 - X2 = Largeur moyenne de la voie dans la route principale (en mètres)
 - X3 = 1 si le nombre de voies de la route principale est d'au plus 3; 0 sinon
 - X4 = 1 si le nombre de voies de la route principale est de 4 ou de 5; 0 sinon

X5 = 1 si aucune limitation d'accès à la route principale; 0 sinon
 X6 = 1 si le virage à droite NE SE FAIT PAS librement à partir de la route principale; 0 sinon
 X7 = 1 si aucun éclairage; 0 sinon
 X8 = 1 si la route principale est une artère secondaire; 0 sinon
 X9 = 1 si la route principale est une route collectrice principale; 0 sinon

Contrôlée par feux de circulation :

$$N = 0,032452 \text{ DJM}_{\text{principale}}^{0,503} \text{ DJM}_{\text{secondaire}}^{0,224} e^{0,063X1} e^{0,622X2} e^{-0,200X3} e^{-0,310X4} e^{-0,130X5} e^{-0,053X6} e^{-0,115X7} e^{-0,225X8} e^{-0,130X9}$$

où :

- X1 = 1 si feu à cycle fixe; 0 sinon
- X2 = 1 si feu entièrement actionné; 0 sinon
- X3 = 0 si feu diphasé; 1 sinon
- X4 = 1 si aucune limitation d'accès à la route principale; 0 sinon
- X5 = 1 si la route secondaire comporte au plus 3 voies; 0 sinon
- X6 = Largeur moyenne de voie dans la route principale (en mètres)
- X7 = 0 si le virage à droite ne se fait pas librement à partir de la route principale; 1 sinon
- X8 = 1 si la route principale comporte au plus 3 voies; 0 sinon
- X9 = 1 si la route principale comporte 4 ou 5 voies; 0 sinon

Harwood et coll. (2000)

Minnesota, Californie et Michigan

Intersections en milieu rural avec quatre accès à deux voies

Contrôlées par panneaux d'arrêt : $N = \exp(-9,34 + 0,60 \ln \text{DJM}_{\text{principale}} + 0,61 \ln \text{DJM}_{\text{secondaire}} + 0,13 \text{NE} - 0,0054 \text{OBLIQUE})$

où :

- N = nombre annuel de collisions
- DJM_{principale} = Débit journalier moyen d'une année de la route principale

$DJM_{\text{secondaire}}$ = Débit journalier moyen d'une année de la route secondaire

NE = Nombre d'entrées de cour sur les embranchements de la route principale dans une distance de 76 mètres de l'intersection

OBLIQUE = Angle d'intersection (en degrés) représentant la moitié de l'angle vers la droite moins la moitié de l'angle vers la gauche pour les angles situés entre le tronçon de la route principale dans la direction des repères croissants et des tronçons droite et gauche, respectivement.

Contrôlées par feux de circulation :

$$N = \exp(-5,46 + 0,60 \ln DJM_{\text{principale}} + 0,61 \ln DJM_{\text{secondaire}} - 0,40GP - 0,018VG + 0,11V + 0,026C + 0,041NE)$$

où :

N = nombre annuel de collisions

$DJM_{\text{principale}}$ = Débit journalier moyen d'une année de la route principale

$DJM_{\text{secondaire}}$ = Débit journalier moyen d'une année de la route secondaire

GP = 0 si le virage à droite n'est pas protégé à partir de la route principale; 1 sinon

VG = Proportion de circulation sur route secondaire tournant à gauche au cours des pointes AM et PM (%) conjuguées

V = Taux de pente de toutes les courbes verticales situées dans les 76 mètres de l'intersection dans les routes principale et secondaires

C = Proportion de camions dans les heures de pointe AM et PM conjuguées (%)

NE = Nombre d'entrées de cour sur les embranchements de la route principale dans une distance de 76 mètres de l'intersection

⁶ Dans la plupart des cas, l'OBLIQUE est calculée comme la valeur absolue de l'angle de l'intersection moins 90 degrés.

Région de Durham (2001)
Région de Durham, Ontario

Intersections avec feux de circulation
(DAC = District d'affaires central)

Trois accès :

$N = 0,0771 (DJMA_{\text{principale}} + DJMA_{\text{secondaire}})^{0,304} (DJMA_{\text{secondaire}} / (DJMA_{\text{secondaire}} + DJMA_{\text{principale}}))^{0,157}$	Accidents corporels - DAC
$N = 0,1440 (DJMA_{\text{principale}} + DJMA_{\text{secondaire}})^{0,304} (DJMA_{\text{secondaire}} / (DJMA_{\text{secondaire}} + DJMA_{\text{principale}}))^{0,157}$	Accidents avec DMS - DAC
$N = 0,0822 (DJMA_{\text{principale}} + DJMA_{\text{secondaire}})^{0,304} (DJMA_{\text{secondaire}} / (DJMA_{\text{secondaire}} + DJMA_{\text{principale}}))^{0,157}$	Accidents corporels en banlieue
$N = 0,1390 (DJMA_{\text{principale}} + DJMA_{\text{secondaire}})^{0,304} (DJMA_{\text{secondaire}} / (DJMA_{\text{secondaire}} + DJMA_{\text{principale}}))^{0,157}$	Accidents avec DMS en banlieue
$N = 0,0347 (DJMA_{\text{principale}} + DJMA_{\text{secondaire}})^{0,304} (DJMA_{\text{secondaire}} / (DJMA_{\text{secondaire}} + DJMA_{\text{principale}}))^{0,157}$	Accidents corporels - milieu rural
$N = 0,0662 (DJMA_{\text{principale}} + DJMA_{\text{secondaire}})^{0,304} (DJMA_{\text{secondaire}} / (DJMA_{\text{secondaire}} + DJMA_{\text{principale}}))^{0,157}$	Accid. avec DMS - milieu rural
$N = 0,0740 (DJMA_{\text{principale}} + DJMA_{\text{secondaire}})^{0,304} (DJMA_{\text{secondaire}} / (DJMA_{\text{secondaire}} + DJMA_{\text{principale}}))^{0,157}$	Accid. corp. - milieu semi-urbain
$N = 0,1810 (DJMA_{\text{principale}} + DJMA_{\text{secondaire}})^{0,304} (DJMA_{\text{secondaire}} / (DJMA_{\text{secondaire}} + DJMA_{\text{principale}}))^{0,157}$	Accid. avec DMS milieu semi-urbain

Quatre accès :

$N = 0,00000144 DJMA_{\text{principale}}^{1,111} DJMA_{\text{secondaire}}^{0,373}$	Accidents corporels dans DAC
$N = 0,00000324 DJMA_{\text{principale}}^{1,111} DJMA_{\text{secondaire}}^{0,373}$	Accidents avec DMS dans DAC
$N = 0,00000126 DJMA_{\text{principale}}^{1,111} DJMA_{\text{secondaire}}^{0,373}$	Accidents corporels en milieu semi-urbain
$N = 0,00000313 DJMA_{\text{principale}}^{1,111} DJMA_{\text{secondaire}}^{0,373}$	Accidents avec DMS en milieu semi-urbain
$N = 0,0000711 (DJMA_{\text{principale}} + DJMA_{\text{secondaire}})^{0,997}$	Accidents corporels en banlieue
$N = 0,0001570 (DJMA_{\text{principale}} + DJMA_{\text{secondaire}})^{0,997}$	Accidents avec DMS en banlieue
$N = 0,0001040 (DJMA_{\text{principale}} + DJMA_{\text{secondaire}})^{0,997}$	Accidents corporels en milieu rural
$N = 0,0001620 (DJMA_{\text{principale}} + DJMA_{\text{secondaire}})^{0,997}$	Accidents avec DMS en milieu rural

Intersections sans feux

Trois accès :

$N = 0,000003420$	$DJMA_{principale}^{1,021}$	$DJMA_{secondaire}^{0,219}$	Accidents corporels dans DAC
$N = 0,000007890$	$DJMA_{principale}^{1,021}$	$DJMA_{secondaire}^{0,219}$	Accidents avec DMS dans DAC
$N = 0,000000638$	$DJMA_{principale}^{1,152}$	$DJMA_{secondaire}^{0,292}$	Accidents corporels en banlieue
$N = 0,000001560$	$DJMA_{principale}^{1,152}$	$DJMA_{secondaire}^{0,292}$	Accidents avec DMS en banlieue
$N = 0,000041800$	$DJMA_{principale}^{1,598}$	$DJMA_{secondaire}^{0,484}$	Accidents corporels en milieu rural
$N = 0,000090300$	$DJMA_{principale}^{1,598}$	$DJMA_{secondaire}^{0,484}$	Accidents avec DMS en milieu rural
$N = 0,000002310$	$DJMA_{principale}^{1,021}$	$DJMA_{secondaire}^{0,219}$	Accidents corporels en milieu semi-urbain
$N = 0,000005390$	$DJMA_{principale}^{1,021}$	$DJMA_{secondaire}^{0,219}$	Accidents avec DMS en milieu semi-urbain

Quatre accès :

$N = 0,00317$	$(DJMA_{principale} + DJMA_{secondaire})^{0,676}$	$(DJMA_{secondaire} / (DJMA_{secondaire} + DJMA_{principale}))^{0,450}$	Accidents corporels - DAC
$N = 0,01200$	$(DJMA_{principale} + DJMA_{secondaire})^{0,676}$	$(DJMA_{secondaire} / (DJMA_{secondaire} + DJMA_{principale}))^{0,450}$	Accidents avec DMS - DAC
$N = 0,00239$	$(DJMA_{principale} + DJMA_{secondaire})^{0,676}$	$(DJMA_{secondaire} / (DJMA_{secondaire} + DJMA_{principale}))^{0,450}$	Accidents corporels en banlieue
$N = 0,00496$	$(DJMA_{principale} + DJMA_{secondaire})^{0,676}$	$(DJMA_{secondaire} / (DJMA_{secondaire} + DJMA_{principale}))^{0,450}$	Accidents avec DMS en banlieue
$N = 0,00325$	$(DJMA_{principale} + DJMA_{secondaire})^{0,676}$	$(DJMA_{secondaire} / (DJMA_{secondaire} + DJMA_{principale}))^{0,450}$	Accidents corporels - milieu rural
$N = 0,00516$	$(DJMA_{principale} + DJMA_{secondaire})^{0,676}$	$(DJMA_{secondaire} / (DJMA_{secondaire} + DJMA_{principale}))^{0,450}$	Accid. avec DMS - milieu rural
$N = 0,00293$	$(DJMA_{principale} + DJMA_{secondaire})^{0,676}$	$(DJMA_{secondaire} / (DJMA_{secondaire} + DJMA_{principale}))^{0,450}$	Accid. corp. - milieu semi-urbain
$N = 0,00603$	$(DJMA_{principale} + DJMA_{secondaire})^{0,676}$	$(DJMA_{secondaire} / (DJMA_{secondaire} + DJMA_{principale}))^{0,450}$	Accid. avec DMS - milieu semi-urbain

où : $DJMA_{principale}$ = DJMA total entrant dans la route principale
 $DJMA_{secondaire}$ = DJMA total entrant dans la route secondaire

Région de Halton (2001)
 Intersections avec feux
 Région de Halton, Ontario

Trois accès :

N = 0,000070 TOTAL^{0,934} RATIO^{0,165}
 N = 0,000250 TOTAL^{0,934} RATIO^{0,165}

Accidents corporels
 Accidents avec DMS

Quatre accès :

N = 0,00810 TOTAL^{0,591} RATIO^{0,688}
 N = 0,02320 TOTAL^{0,591} RATIO^{0,688}
 N = 0,00104 TOTAL^{0,581} RATIO^{-0,940}
 N = 0,00316 TOTAL^{0,581} RATIO^{-0,940}

Accidents corporels en milieu urbain/en banlieue
 Accidents avec DMS en milieu urbain/en banlieue
 Accidents corporels en milieu rural
 Accidents avec DMS en milieu rural

Intersections sans feux

Trois accès :

N = 0,00250 TOTAL^{0,614} RATIO^{0,5253}
 N = 0,00732 TOTAL^{0,614} RATIO^{0,5253}

Accidents corporels
 Accidents avec DMS

Quatre accès :

N = 0,00072 TOTAL^{0,838} RATIO^{0,591}
 N = 0,00164 TOTAL^{0,838} RATIO^{0,591}

Accidents corporels
 Accidents avec DMS

où :

$$\text{TOTAL} = \text{DJMA}_{\text{principale}} + \text{DJMA}_{\text{secondaire}}$$

$$\text{RATIO} = \text{DJMA}_{\text{secondaire}} / \text{TOTAL}$$

$\text{DJM}_{\text{principale}}$ = Débit journalier moyen d'une année provenant de la route principale
 $\text{DJMA}_{\text{secondaire}}$ = Débit journalier moyen d'une année provenant de la route secondaire

Pernia et coll. (2002)

Floride

Intersections sans feux

$$N = \exp(0,6827 + 0,2777\text{DJM} + 0,1193\text{UT} + 0,1705\text{V} - 0,1695\text{VL} + 0,2752\text{T} - 0,1679\text{A})$$

où :

N = nombre annuel de collisions
 DJM = 0 si DJM < 15 000; 2 si DJM > 30 000; 1 sinon
 UT = 1 si milieu urbain; 0 sinon
 V = 1 si > 4 voies dans route principale; 0 sinon
 VL = 1 si vitesse limite affichée dans route principale > 45 mi/h; 0 sinon
 T = 1 si terre-plein dans route principale; 0 sinon
 A = 1 accotement traité; 0 sinon

Intersections avec feux

$$N = \exp(0,5718 + 0,4868\text{DJM} + 0,0949\text{UT} + 0,1728\text{V} - 0,1845\text{T} + 0,1102\text{A})$$

où :

N = nombre annuel de collisions
 DJM = 0 si DJM < 15 000; 2 si DJM > 30 000; 1 sinon
 UT = 1 si milieu urbain; 0 sinon
 L = 1 si > 4 voies dans route principale; 0 sinon
 T = 1 si terre-plein dans route principale; 0 sinon
 A = 1 accotement traité; 0 sinon

TABLEAU 12.2 : FMC découlant d'un changement dans le minutage et la conception de feux de circulation

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Tople (1998)	Amélioration de la signalisation	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	6	0,66 0,56	Toutes les collisions Collisions avec DMSS
TRL (2000)	Modification de la signalisation	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	80 (milieu urbain) 10 (milieu rural)	0,62 0,49	
Cottrell (1995)	Ajout d'un feu stroboscopique blanc en plus du feu rouge	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	6	1,42 0,85 1,27	Impact arrière Collisions à angle Toutes les collisions
Sayed et coll. (1998)	Augmentation de la taille des lentilles ambre et rouges et ajout de ruban rétro réfléchissant sur écran de visibilité	Étude avant-après avec groupe témoin utilisant méthodes empiriques de Bayes (EB)	10	0,91 0,79	Accidents corporels Toutes les collisions
Région de Waterloo (2001)	Nouveaux ensembles de feux et chronométrage modifié	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	2	0,43	
Bhesania (1991)	Remplacement de feux montés sur poteau par des feux montés sur crosse et ajout d'un rouge intégral d'une seconde	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	5	0,37 0,81 1,35 0,73 0,75	Angle droit Impact arrière Virage à gauche Autre Toutes les collisions

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Thomas et Smith (2001)	Remplacement de feux montés sur socle par des feux montés sur crose	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	31	0,35 à 0,21*	Angle droit
			32	1,51 à 0,90	Impact arrière
			24	1,23 à 0,81	Virage à gauche
			31	0,82 à 0,64	Autre
			31	0,72 à 0,57	Toutes les collisions
Hamilton Associates (1998)	Ajout d'un ensemble de feux primaires de circulation	Étude transversale des taux de collisions	63	0,91 0,72 0,78	Accidents corporels DMS Toutes les collisions
		Étude avant-après utilisant méthodes EB	8	0,83 à 0,79 0,69 à 0,64 0,78 à 0,72	Accidents corporels DMS Toutes les collisions
Polanis (1998)	Remplacement de lentilles de 8 po par des lentilles de 12 po	Naïve avant-après de la fréquence des collisions	38	0,52 0,84	Collisions à angle Toutes les collisions
Sayed et coll. (1999)	Ajout de panneaux de préavis	Étude avant-après utilisant méthodes EB	25	1,03 à 0,92 0,91 à 0,86 0,92 à 0,82	Impact arrière Accidents corporels Toutes les collisions

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Gibby et coll. (1992)	Ajout de panneaux de préavis	Étude transversale des taux de collisions	85	3,37	
	Ajout de feux clignotants de présignalisation		77	1,35	
	Ajout de panneaux et de feux clignotants de présignalisation		14	1,87	
Lalani (1991)	Minutage amélioré du dégagement	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	3	0,50	Aucun détail sur l'intervention exacte, échantillon de taille réduite
	Coordination améliorée des feux		3	0,75	Aucun détail sur l'intervention exacte, échantillon de taille réduite
Greiwe (1986)	Conversion du fonctionnement diphasé en séquence à trois phases	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	8	0,22 0,67 0,76 0,46	Collisions lors de virage à gauche Collisions à angle Impact arrière Toutes les collisions

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
	Retrait de la phase non justifiée de virage à gauche protégé		14	1,24 0,78 0,77 0,95	Collisions lors de virage à gauche Collisions à angle Impact arrière Toutes les collisions
Hummer et coll. (1991)	Déplacement de la phase virage à gauche de début de feu vert → fin de feu vert	Étude transversale des taux de collisions	29	0,67	Collisions lors de virage à gauche
Upchurch (1991)	Permissive → protégée en début de feu/permissive	Étude naïve avant-après des taux de collisions lors du virage à gauche	224	1,19	Collisions lors de virage à gauche
	Permissive → protégée en fin de feu/permissive		206	0,69	
	Permissive → protégée en début de feu		219	0,35	
	Permissive → protégée en fin de feu		166	0,14	
	Permissive → protégée en début de feu/permissive	17	0,73	Deux voies opposées	
	Permissive → protégée en fin de feu/permissive	9	0,76		
	Protégée en début de feu/permissive → permissive	14	1,29		

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
	Protégée en début de feu/permmissive → protégée en fin de feu/permmissive		35	0,73	
	Protégée en début de feu → protégée en début de feu/permmissive		3	3,34	
	Protégée en début de feu → protégée en fin de feu/permmissive		6	4,13	
	Protégée en début de feu → protégée en fin de feu		10	1,31	
	Permissive → protégée en début de feu/permmissive		3	1,20	Trois voies opposées
	Permissive → protégée en fin de feu/permmissive		8	0,16	
	Permissive → protégée en début de feu		3	0,02	
	Protégée en début de feu/permmissive → permissive		3	2,60	
	Protégée en début de feu/permmissive → protégée en fin de feu/permmissive		38	0,60	

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
	Protégée en début de feu/permissive → protégée en fin de feu		2	0,11	
	Protégée en début de feu → protégée en début de feu/permissive		22	3,37	
	Protégée en début de feu → protégée en fin de feu/permissive		9	0,48	
	Protégée en début de feu → protégée en fin de feu		12	1,00	
Bamfo et Hauer (1997)	Minutage fixe → mode adaptatif (feux actionnés par véhicules)	Étude transversale utilisant méthodes EB	306	0,87	Collisions à angle droit
Shebeeb (1995)	Permissive → protégée en début de feu/permissive	Étude transversale basée sur le taux de collisions lors du virage à gauche	78	0,72	Collisions lors de virage à gauche
	Permissive → protégée en fin de feu/permissive		61	1,24	
	Permissive → protégée en début de feu		83	0,34	
	Permissive → protégée en fin de feu		51	0,44	

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Stamatiadis et coll. (1997)	Permissive → protégée/ permissive	Étude transversale basée sur le taux de collisions lors du virage à gauche	100 164	0,25 0,15	Une voie de circulation inverse Deux voies de circulation inverse
	Permissive → protégée	Étude transversale basée sur le taux de collisions lors du virage à gauche	129 150	0,37 0,61	Une voie de circulation inverse Deux voies de circulation inverse
Tarall et Dixon (1998)	Protégée/permissive → protégée	Étude naïve avant-après des conflits lors de virages à gauche	?	0,23	Dans les voies à double virage à gauche
Vogt (1999)	Phase protégée de virage à gauche dans route principale	Étude transversale utilisant méthodes EB	49	0,51	Intersections en milieu rural de routes à deux voies
Thomas et Smith (2001)	Ajout de phase spéciale de virage à gauche	Étude naïve avant-après utilisant la fréquence des collisions	4	0,77 à 0,52*	Aucun détail sur la modification des phases
	Ajout d'une voie et d'une phase spéciales de virage à gauche	Étude naïve avant-après utilisant la fréquence des collisions	7	0,54 à 0,30*	Aucun détail sur la modification des phases
Chin et Quddus (2001)	Minutage prééglé des feux → Mode adaptatif (actionné par véhicules)	Étude transversale utilisant méthodes EB	52	0,87	

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Polanis (2002)	Retrait du feu clignotant rouge/ambre de nuit	Étude avant-après avec groupe témoin	19	0,27	Applicable aux accidents de nuit à angle droit

* Limites de niveau de confiance de 90 %

TABLEAU 12.3 : FMC associés aux panneaux de signalisation

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Lyles et coll. (1986)	Amélioration des panneaux de signalisation dans l'ensemble d'une région	Étude naïve avant-après avec groupe témoin utilisant la fréquence des collisions	--	1,04	
Tople (1998)	Amélioration des panneaux de signalisation	Étude naïve avant-après utilisant la fréquence des collisions	6	0,95 0,85	Toutes les collisions Collisions avec DMSS
TRL (2000)	Panneaux de signalisation	Étude naïve avant-après utilisant la fréquence des collisions	222 (milieu urbain) 136 (milieu rural)	0,68 0,59	Aucun détail sur les améliorations de la signalisation
Arnott (1985)	Tableaux d'affichage de la vitesse, placés dans des courbes et activés par les véhicules	Étude naïve avant-après utilisant la fréquence des collisions	5	0,29	Périodes « après » courtes et aucun compte tenu des variables confusionnelles
Tribett coll. (2000)	Tableaux d'avertissement dynamiques de courbe	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	5	1,25 0,89 1,02	Accidents corporels Collisions avec DMS Toutes les collisions
Lalani (1991)	Nouveaux panneaux à chevrons	Étude naïve avant-après utilisant la fréquence des	3	0,29	

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
		collisions			
Land Transport Safety Authority of New Zealand (1996)	Panneaux à chevrons	Étude avant-après ajustée en fonction des tendances de collisions	103	0,52 0,46	Zones rurales Zones urbaines
Helliar-Symon et Ray (1986)	Tableaux avertisseurs pour automobilistes suivant de trop près un autre véhicule	Étude avant-après avec groupe témoin	3	3,31 1,32	Collisions dues aux autos suivant de trop près Toutes les collisions
Kostyniuk et Cleveland (1986)	Panneau indicateur de « Distance de visibilité réduite »	Étude avant-après avec groupe témoin	9 paires de sites	1,09	

TABLEAU 12.4 : FMC associés aux marques de chaussée

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
TRL (2000)	Marquage amélioré	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	196	0,70	Urbain
			74	0,62	Rural
	Marquage en bandes jaunes	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	2	0,27	Urbain
			2	0,63	Rural
Migletz et Graham (2002)	Remplacement des marques conventionnelles par des marques plus résistantes	Étude naïve avant-après des taux de collisions	55	0,89 1,15 0,94	Chaussée sèche Chaussée mouillée Toutes les collisions

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Willis et coll. (1984)	Lignes de bordure	Étude avant-après avec groupe témoin	75	1,02 1,14	La visibilité requiert une conduite prudente La visibilité n'est pas constante
Cottrell (1987)	Lignes de bordure de 200 mm	Étude avant-après avec groupe témoin	3	Aucun effet significatif	Applicable aux accidents causés par sorties de route
Hall (1987)	Lignes de bordure de 200 mm	Étude avant-après avec groupe témoin	69	1,4 à 1,6	Applicable aux accidents causés par sorties de route
Lee et coll. (1997)	Réfectivité des marques longitudinales de la chaussée	Étude naïve avant-après	46	Aucun effet significatif	Applicable aux accidents de nuit
Retting et coll. (1997)	Marques de chaussée constituées de flèches vers la droite et « tout droit » dans la voie de droite, près d'entrées	Étude naïve avant-après de la fréquence des conflits	3 1	0,96 1,06	Entrées sans feux Entrées avec feux

TABLEAU 12.5 : FMC associés à des mesures de sécurité des piétons

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
iTrans (2002)	Îlots de refuge pour piétons → passage prioritaire en deux étapes	Étude transversale fondée sur le taux de collisions	50	5,14	Aucune prise en compte des débits de piétons
	Installation d'îlots de refuge pour piétons	Naïve before-after study using crash frequency	30	0,27 2,23	Collisions avec des piétons Toutes les collisions
Van Houten (non publié)	Feux clignotants activés par les piétons et pourvus de panneaux supplémentaires	Étude naïve avant-après utilisant les conflits	2	0,22 à 0,25	Conflits piétons-véhicules

TABLEAU 12.6 : FMC associés aux codes et lois de la route et à leur application

	Mesure d'intervention	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Ullman et Dudek (1987)	Réduction de la vitesse limite dans des zones périphériques urbaines	Étude naïve avant-après des taux de collisions	6	1,03 1,00	Accidents corporels Toutes les collisions
Merriam (1993)	Réductions des vitesses limites	Étude naïve avant-après des taux de collisions	13 12 5	0,93 0,63 1,50	80 → 60 km/h 80 → 70 km/h 60 → 50 km/h
Ville de Winnipeg (1991)	Réduction de la vitesse limite en milieu urbain	Étude avant-après avec groupe témoin	2	0,86 à 0,95	
Vogt et Bared (1999)	Réduction de la vitesse limite de 10 km/h	Étude transversale utilisant méthodes EB	389	0,85	S'applique aux collisions à des intersections rurales comportant trois accès
Hadi et coll. (1995)	Réduction de la vitesse limite de 1 mi/h	Étude transversale utilisant méthodes EB	---	0,97 à 1,00 0,96 à 1,00	Rural Urbain
Main (1984)	Interdiction de stationnement sur rue	Étude naïve avant-après des taux de collisions	6	0,63	
McCoy et coll. (1990)	Conversion du stationnement parallèle en stationnement à angle	Étude transversale des taux de collisions	---	1,69 2,42	Stationnement à angle faible Stationnement à angle élevé

	Mesure d'intervention	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Hocherman et coll. (1990)	Conversion de rues en sens uniques	Étude transversale reposant sur les taux de collisions survenant entre les intersections	---	0,88 1,63	Zone urbaine Autres zones
Police provinciale de l'Ontario (1998)	Intervention d'agents de police	Étude naïve avant-après utilisant la fréquence des collisions	1	0,90	Accidents corporels
Gendarmerie royale du Canada (1999)	Intervention d'agents de police	Étude naïve avant-après utilisant la fréquence des collisions	1	0,10 0,87 0,82	Collisions mortelles Collisions avec blessures Collisions avec DMS
Eger (2002)	Intervention d'agents de police	Étude transversale utilisant méthodes EB	---	0,98 ^N 0,9973 ^{Ns}	N est le nombre d'agents de police disponibles; Ns, le nombre d'agents du bureau du shérif

TABLEAU 12.7 : FMC associés aux voies de virage

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Main (1984)	Ajout de voies exclusives de virage à gauche avec terre-pleins surélevés, aux intersections avec feux de circulation	Étude naïve avant-après des taux de collisions	8	0,45	
Greiwe (1986)	Conversion d'accès à quatre voies afin d'inclure une voie de virage à gauche	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	8	0,41 0,46 0,56 0,43	Collisions lors de virage à gauche Collisions à angle Impact arrière Toutes les collisions
	Ajout de voies opposées de virage à gauche et modernisation des feux	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	5	0,22 0,15 0,77 0,33	Collisions lors de virage à gauche Collisions à angle Impact arrière Toutes les collisions
Tople (1998)	Réaménagement afin d'inclure des voies de virage à gauche	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	2	0,65 0,27	Toutes les collisions Collisions avec DMSS
	Reconstruction afin d'inclure des voies de virage à gauche	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	3	0,69 0,84	Toutes les collisions Collisions avec DMSS

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Vogt (1999)	Ajout d'une voie de virage à gauche sur artère principale	Analyse de la régression utilisant modèle binomial négatif	72	0,62	S'applique aux collisions à des intersections en milieu rural et comportant quatre accès
Rimiller et coll. (2001)	Conversion d'accès à quatre voies afin d'inclure un virage à gauche	Étude transversale utilisant méthodes EB	13	0,98 à 0,41	
Thomas et Smith (2001)	Ajout de voies de virage à gauche	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	8	2,19 à 0,61* 1,06 à 0,49 3,61 à 0,92 0,87 à 0,60 1,12 à 0,64	Collisions à angle Impact arrière Collisions lors de virage à gauche Autres collisions Toutes les collisions
Région de Waterloo (2001)	Ajout de voies de virage à gauche et de virage à droite dans un accès	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	1	0,44	Échantillon très petit
Harwood et coll. (2002)	Ajout d'une voie de virage à gauche dans l'accès d'une route principale	Étude avant-après utilisant méthodes EB	280 sites étudiés 300 sites témoins	0,56 (rural) 0,67 (urbain)	Trois accès, contrôlés par panneaux d'arrêt
				0,85 (rural) 0,93 (urbain)	Trois accès, avec feux
				0,72 (rural) 0,73 (urbain)	Quatre accès, contrôlés par panneaux d'arrêt

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
				0,82 (rural) 0,90 (urbain)	Quatre accès, avec feux
	Ajout de voies de virage à gauche dans les deux accès de la route principale			0,52 (rural) 0,53 (urbain)	Contrôle par panneaux d'arrêt
				0,67 (rural) 0,81 (urbain)	Feux
Hoffman (1974)	Ajout de voies opposées de virage à gauche (VOVG) sur une artère à 4 voies	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	---	0,55 0,38 1,14 0,93 1,06 0,67	Collisions frontales Impact arrière Collisions à angle Collision en écharpe Autres collisions Toutes les collisions
Main (1984)	Ajout de VOVG sur une artère à 4 voies	Étude naïve avant-après du taux de collisions	4	0,51	
Yagar et Van Aerde (1984)	Ajout de VOVG	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	14	0,64	Collisions en virage à gauche en provenance des VOVG
			13	0,78	Collisions en virage à gauche en direction des VOVG

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
			18	0,64	Collisions en virage à gauche en provenance et en direction des VOVG
			21	0,72	Toutes les collisions
Lalani (1991)	Ajout de VOVG	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	5	0,42	
Tople (1998)	Réaménagement de la chaussée afin d'ajouter des VOVG	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	3	0,91 0,77	Toutes les collisions Collisions avec DMSS
	Reconstruction de la chaussée afin d'ajouter des VOVG	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	5	0,92 1,40	Toutes les collisions Collisions avec DMSS
Brown et Tarko (1999)	Ajout de VOVG	Étude transversale utilisant méthodes EB	155	0,50 0,42 0,47	Accidents corporels Collisions avec DMSS Toutes les collisions

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Bauer et Harwood (2000)	Ajout d'une voie de virage à droite	Étude transversale utilisant méthodes EB	---	0,85	Rural, 4 embranchements, contrôlés par panneaux d'arrêt
			---	1,12	Urbain, 4 embranchements avec feux, circulation dirigée sur route principale
			---	1,75 (rural) 1,47 (urbain)	4 embranchements contrôlés par panneaux d'arrêt, circulation dirigée sur route principale
	---		0,81 (rural) 0,98 (urbain)	3 embranchements contrôlés par panneaux d'arrêt, lignes peintes	
	Ajout d'une voie de virage à gauche sur la route principale		---	0,91 (rural) 1,21 (urbain)	Urbain, 3 embranchements contrôlés par panneaux d'arrêt, bordures surélevées
Harwood et coll. (2000)	Ajout d'une voie de virage à droite sur des routes rurales à deux voies	Opinions d'experts à partir de l'examen de plusieurs études	---	0,95 (arrêt) 0,975 (feux)	Voie de virage à droite à un accès de la route principale

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
				0,90 (arrêt) 0,95 (feux)	Voies de virage à droite à deux accès de la route principale
Chin et Quddus (2001)	Ajout de voies de virage aux accès d'intersections avec feux de circulation feux	Étude transversale utilisant méthodes EB	---	1,38 0,47	Voies de virage à gauche et de virage à droite
Harwood et coll. (2002)	Ajout d'une voie de virage à droite sur une artère principale	Étude avant-après utilisant méthodes EB	280 sites étudiés 300 sites témoins	0,86 0,96	Contrôle par panneaux d'arrêt Avec feux
	Ajout de voies de virage à droite aux deux accès de la route principale			0,74 0,92	Contrôle par panneaux d'arrêt Avec feux

* Intervalles de confiance de 90 %

Fonctions d'efficacité de la sécurité (FES)*Bonneson et McCoy (1997)*

Nebraska et Arizona

Artères urbaines et suburbaines

$$\text{Routes à chaussée unique} \quad N = \text{DJMA}^{(0,91+1,021\text{Ir})} L^{0,852} e^{(-14,15 - 10,504\text{Ir} + 0,57\text{Is} + 0,0077(\text{NE}+\text{NI})\text{Ic} + 0,0255\text{DMS})}$$

$$\text{Routes avec VOVG :} \quad N = \text{DJMA}^{0,91} L^{0,852} e^{(-14,15 + 0,018\text{Ib} - 0,093\text{Ir} + 0,0077(\text{NE}+\text{NI})\text{Ic} + 0,0255\text{DMS})}$$

- où :
- N = nombre annuel de collisions
 - DJMA = Débit journalier moyen d'une année
 - L = Longueur de la route (en mètres)
 - NE = Nombre d'entrées (/km)
 - NI = Nombre d'intersections sans feux (/km)
 - DMS = Proportion de collisions avec dommages matériels seulement (%)
 - Ic = Utilisation commerciale des terres (= 1 si utilisation professionnelle ou commerciale, = 0 sinon)
 - Ir = Utilisation résidentielle des terres (= 1 si utilisation résidentielle ou industrielle, = 0 sinon)
 - Is = Stationnement (= 1 si parallèle, stationnement sur rue permis, = 0 sinon)

Harwood et coll. (2000)

Routes rurales à deux voies

$$\text{FMC} = 1 - 0,7 P_{\text{vg/e}} \frac{0,0047E + 0,0024E^2}{1,199 + 0,0047E + 0,0024E^2}$$

- où :
- $P_{\text{vg/e}}$ = proportion de collisions reliées à des entrées qui sont des collisions de virage à gauche dont le nombre pourrait diminuer avec des VOVG, le tout exprimé en nombre décimal
 - E = Nombre d'entrées (entrées/mille)

TABLEAU 12.8 : FMC associés aux mesures de modération de la circulation

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Lynam et coll. (1988) et Mackie et coll. (1990)	Modération de la circulation dans l'ensemble d'un secteur	Étude avant-après avec groupe témoin	5	0,87 à 0,88	
Engel et Thomsen (1992)	Modération de la circulation	Étude avant-après avec groupe témoin	45 sites étudiés 52 sites témoins	0,27	Diverses mesures d'intervention, avec vitesse limite affichée de 15 km/h ou 30 km/h
Hamilton Associates (1996)	Modération de la circulation	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	4	0,61	
Ewing (1999)	Modération de la circulation (principalement des carrefours giratoires et des dos d'âne allongés)	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	55	0,96	Amalgame d'études
TRL (2000)	Chicanes / rétrécissements de voies	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	18	0,46	Zones urbaines
	Entrées de rues aménagées		3	0,31	Zones urbaines
	Glissières de sécurité et rambardes pour piétons		13 (urbain) 3 (rural)	0,53 0,53	
	Passages pour piétons		70 (urbain) 2 (rural)	0,61 0,17	

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
	Carrefours giratoires / Mini-carrefours giratoires		56 (urbain) 15 (rural)	0,55 0,21	
	Îlots séparateurs		5	0,71	Zones urbaines
	Plans d'intervention globale		40 (urbain) 11 (rural)	0,73 0,33	
	Modération de la circulation dans l'ensemble d'un secteur		9 (urbain) 1 (rural)	0,53 0,13	
	Plans cycliques		5	0,35	Zones rurales
	Surfaces antidérapants		4	0,38	Zones rurales
	Tableaux d'affichage des vitesses		1	1,00	Zones rurales
	Plans d'intervention routière		15	0,50	Zones rurales
Huang et coll. (2001)	Conversion d'une route à chaussée unique et à quatre voies en route à deux voies avec VOVG et voies cyclables	Étude avant-après avec groupe témoin utilisant les taux de collisions	12 sites étudiés 25 sites témoins	1,00	
TRL (2000)	Dos d'âne allongés utilisés en zone urbaine, sur des routes locales	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	10	0,11	
Kermit et Hein (1962)	Bandes d'alerte transversales à l'approche d'une intersection rurale	Étude avant-après utilisant taux de collisions	4	0,26	

Chercheur	Mesure d'intervention (changement)	Méthode d'analyse utilisée	Nombre de sites	FMC	Commentaires
Owens (1967)	Bandes d'alerte transversales à l'approche d'une intersection rurale	Étude naïve avant-après de la fréquence des collisions	3	0,13	
Carstens (1983)	Bandes d'alerte transversales à l'approche d'une intersection rurale	Étude avant-après avec groupe témoin utilisant les taux de collisions	111 sites étudiés 111 sites témoins	0,92	
Helliar-Symons (1981)	Marques transversales de chaussée (bandes d'alerte visuelles) à l'approche d'un carrefour giratoire	Étude naïve avant-après avec groupe témoin utilisant la fréquence des collisions	50 sites étudiés	0,43 à 0,41	Applicable aux collisions reliées à la vitesse

CETTE PAGE EST INTENTIONNELLEMENT LAISSÉE EN BLANC

Références
Références
bibliographiques
bibliographiques

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABBESS C., JARRETT D. et WRIGHT C.C. (1981), *Accidents at Blackspots: Estimating the Effectiveness of Remedial Treatment, With Special Reference to the 'Regression-to-mean' Effect*, *Traffic Engineering & Control*, 22(10).
- ABDULSATTAR H.N., TARAWNEH M.S., MCCOY P.T., et KACHMAN S.D. (1996), *Effect on Vehicle-Pedestrian Conflicts of 'Turning Traffic Must Yield to Pedestrian' Signs*, *Transportation Research Record* 1553, p. 38-45.
- AGENT K.R. (1988), *Traffic Control and Accidents at Rural High-Speed Intersections*, *Transportation Research Record* 1160, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington DC, p. 14-21.
- ARNOTT D. (1985) *An Analysis of Traffic Activated Curve Speed Warning Signs in Ontario*, Thèse en génie, Université McMaster, Hamilton, Ontario, 93 p.
- ASSOCIATION DES TRANSPORTS DU CANADA (2001), *Visibility of Traffic Signal Displays for Aging and Colour Deficient Drivers*, rapport final, non publié.
- AUSTRIAN ROAD SAFETY BOARD (1999), *Investigations on Influences Upon Driver Behaviour - Safety Approaches in Comparison and Combination*, rapport final, Guarding Automobile Drivers through Guidance Education and Technology (GADGET), Vienne, Australie.
- BAMFO J.K. et HAUER E. (1997), *Which is Safer in Terms of Right-angle Vehicle Accidents? Fixed-time or Vehicle-actuated Signal Control*, compte rendu de la Conférence canadienne multidisciplinaire en sécurité routière, Association canadienne des professionnels de la sécurité routière, p. 352-360.
- BAUER K.M., et HARWOOD D.W. (2000), *Statistical Models of At-Grade Intersection Accidents – Addendum*, FHWA-RD-99-094, Federal Highway Administration, Office of Safety and Traffic Operations Research and Development, Washington, DC.
- BEENSTOCK M., GAFNI D. et GOLDIN E. (1999), *The Effect of Traffic Policing on Road Safety in Israel*, Hebrew University of Jerusalem, Israel, <http://atar.mssc.huji.ac.il/~economics/facultye/beenstock/manta.pdf>, consulté le 29 janvier 2003.
- BELANGER C. (1994), *Estimation of Safety of Four-legged Unsignalized Intersections*, *Transportation Research Record* 1467, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington DC, p. 23-29.
- BERGER W.J. et LINAUER M. (1998), *Raised Traffic Islands at City Limits – Their Effect on Speed*, compte rendu de la réunion de 1998 de la International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety, Budapest.

BHESANIA R.P. (1991), *Impact of Mast-Mounted Signal Heads on Accident Reduction*, ITE Journal, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, p. 25-29.

BLOCH S.A. (1998), *Comparative Study of Speed Reduction Effects of Photo-radar and Speed Display Boards*, Transportation Research Record 1640, Transportation Research Board, National Academies of Science, p. 27-36.

BONNESON J.A. et MCCOY P.T. (1997), *Effect of Median Treatment on Urban Arterial Safety: An Accident Prediction Model*, document n° 970101, texte préliminaire en vue de la 76^e réunion annuelle du Transportation Research Board, Washington, DC.

BROWN H.C. et TARKO A.P. (1999), *Effects of Access Control on Safety on Urban Arterial Streets*, Transportation Research Record 1665, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p. 68-74.

CONSEIL CANADIEN DES ADMINISTRATEURS EN TRANSPORT MOTORISÉ (2000), *Vision sécurité routière 2001: Mise au point 2000*, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada, Ottawa, Ontario, ISBN 0-662-29902-7.

CARSTENS R.L. (1983), *Safety Effects of Rumble Strips on Secondary Roads*, Transportation Research Record 926, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington DC, p. 12-15.

CEBRYK G. et BOSTON G. (1996), *School Zone Pilot Project and Evaluation*, rapport du Utilities & Public Works Committee of City Council de la ville d'Edmonton, 15 août 1996, Transportation Department, fichier : 96TR3462.

CHIN H.C. et QUDDUS M.A. (2001), *A Crash Prediction Model for Signalized Intersections*, compte rendu de la XII^e Conférence canadienne multidisciplinaire en sécurité routière, Association canadienne des professionnels de la sécurité routière, London, Ontario, p. 1-8.

CORKLE J., GIESE J.L., et MARTI M.M. (2001), *Investigating the Effectiveness of traffic Calming Strategies on Driver Behavior, Traffic Flow, and Speed*, rapport final n° MN/RC-2002-02, Minnesota Local Road Research Board, Minnesota Department of Transportation, St. Paul, Minnesota.

COTTRELL B.H. (1987), *Evaluation of Wide Edgelines on Two-lane Rural Roads*, Transportation Research Record 1160, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington DC, p. 35-42.

COTTRELL B.H. (1995), *Evaluation of Strobe Lights in Red Lens of Traffic Signals*, Transportation Research Record 1495, Transportation Research Board, National Academy of Science, Washington, DC., p. 36-40.

DURHAM, RÉGION DE (2001) *Safety Improvement Program and Software*, rapport final, municipalité régionale de, Public Works Department.

EDMONTON, VILLE DE (2002), *178 Street Speed Limit (S. Mandel)*, rapport remis au Transportation and Public Works Committee, Agenda Item n° : D.2.a.

EGER R.J. (2002), *Injury Crashes: The Role of Law Enforcement*, document soumis aux fins de présentation à la 81^e réunion annuelle du Transportation Research Board, Washington, DC.

ENGEL U. et THOMSEN L.K. (1992), *Safety Effects of Speed Reducing Measures in Danish Residential Areas*, *Accident Analysis and Prevention* 24(1), Pergamon Press, UK, p. 17-28.

EWING (1999), *Traffic Calming: State of the Practice*, rapport d'information IR-098, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC.

FORBES G.J. (2002), *Community Safety Zones – State-of-the-Practice*, Intus Road Safety Engineering Inc., préparé pour la ville de Hamilton, non publié.

FORBES G. et GILL T. (2000), *Arterial Speed Calming – Mohawk Road Case Study*, compte rendu de la Urban Street Symposium Conference, Transportation Research E-Circular E-C019, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p. I-2/1 – I/2-7.

GENDARMERIE ROYALE DU CANADA (1999), *Highway 43 Safety Initiative*, document établi à partir de la Base de données sur les pratiques exemplaires liées à la sécurité routière de la collectivité, Transports Canada, http://www.tc.gc.ca/roadsafety/NPA/detail_e.asp?ID=24, consultée le 4 juin 2002.

GIBBY A.R., WASHINGTON S.P., et FERRARA T.C. (1992), *Evaluation of High-speed Isolated Signalized Intersections in California*, Transportation Research Record 1376, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC.

GREIWE R.R. (1986), *Intersection Management Techniques for the Left-Turning Vehicle: The Indianapolis Experience*, ITE Journal, Institute of Transportation Engineers, Washing, DC, p. 23-28.

HADI M.A, ARULDHAS J., CHOW L.F., et WATTLEWORTH J.A. (1995), *Estimating Safety Effects of Cross-Section Design for Various Highway Types Using Negative Binomial Regression*, Transportation Research Record 1500, Transportation Research Board, National Academy of Science, Washington, DC., p. 169-177.

HALL J.W. (1987), *Evaluation of Wide Edgelines*, Transportation Research Record 1114, Transportation Research Board, National Academy of Science, Washington, DC., p. 21-30.

HALTON, RÉGION DE (2001), *Safety Improvement Program and Software*, municipalité régionale de Halton, Planning and Public Works Department, avril 2001.

HAMILTON ASSOCIATES (1989), *Traffic Conflict Procedure Manual*, deuxième édition, Insurance Corporation of British Columbia.

HAMILTON ASSOCIATES (1996), *The Safety Benefits of Traffic Calming*, Insurance Corporation of British Columbia, février 1996.

HAMILTON ASSOCIATES (1997), *Update to the Economic Evaluation Methodologies for Road Improvement Programs*, Insurance Corporation of British Columbia, avril 1997.

HAMILTON ASSOCIATES (1998), *The Safety Benefits of Additional Primary Signal Heads*, Insurance Corporation of British Columbia, janvier 1998.

HARWOOD D. (1993), *Synthesis of Highway Practice 191 – Use of Rumble Strips to Enhance Safety*, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC.

HARWOOD D.W., COUNCIL F.M., HAUER E., HUGHES W.E., et VOGT A. (2000), *Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-lane Highways*, rapport technique FHWA-RD-99-207, Federal Highway Administration, département des Transports des États-Unis, Washington DC, 197 pages.

HARWOOD D.W., BAUER K.M., POTTS I.B., TORBIC D.J., RICHARD K.R., KOHLMAN-RABBANI E.R., HAUER E., et ELEFTERIADOU L. (2002), *Safety Effectiveness of Intersection Left- and Right-turn Lanes*, Federal Highway Administration Report, département des Transports des États-Unis, rapport final n° FHWA-RD-02-089.

HASELTON C.B., GIBBY A.R., FERRARA T.C., et KHORASHADI A.K. (2001), *Methodologies Used to Analyze Collision Experience Associated with Speed Limit Changes on Selected California Highways*, document devant être présenté à la 81^e réunion annuelle du Transportation Research Board, Washington, DC.

HAUER E. (1997), *Observational Before-After Studies in Road Safety: Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety*, Elsevier Science Inc., Tarrytown, NY, ISBN 0-08-043 053 8.

HELLIAR-SYMONS R.D. (1981), *Yellow Bar Experimental Carriageway Markings – Accident Study*, TRRL Laboratory Report 1010, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK, 17 p.

HELLIAR-SYMONS R.D. et RAY S.D. (1986), *Automatic Close-following Warning Sign – Further Trials*, rapport de recherche 63, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK, 12 p.

HEMSING S. et FORBES G. (2000), *Ottawa-Carleton Traffic Calming Evaluation Study*, rapport final, Synectics Transportation Consultants Inc., préparé pour la Région de Ottawa-Carleton et de la ville de Ottawa.

HILL A.B. (1965), *The environment and disease: association or causation?* Compte rendu de la Royal Society of Medicine 58; 295-300.

HOCHERMAN I., HAKKERT A.S., et BAR-ZIV J. (1990), *Safety of One-way Urban Streets*, Transportation Research Record 1270, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC.

HOFFMAN M.R. (1974), *Two-way Left-turn Lanes Work!*, Traffic Engineering, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, p. 24-27.

HUANG H.F., STEWART J.R., et ZEEGER C. (2001), *Evaluation of Lane Reduction 'Road Diet' Measures on Crashes and Injuries*, document pour présentation à la 81^e réunion annuelle du Transportation Research Board, Washington, DC.

HUMMER J.E., MONTGOMERY R.E., et SINHA K.C. (1991), *Guidelines for Use of Leading and Lagging Left-turn Signal Phasing*, Transportation Research Record 1324, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p. 11-20.

IBI GROUP (1997), *Safety, Speed & Speed Management: A Canadian Review*, rapport final, produit par Transports Canada.

ITRANS CONSULTING INC. (2002), *Review of Refuge Islands and Split Pedestrian Crossovers – Phase 2*, rapport final, préparé pour la ville de Toronto.

KERMIT M.L. et HEIN T.C. (1962), *Effect of Rumble Strips on Traffic Control and Driver Behaviour*, compte rendu du Highway Research Board, Highway Research Board, National Academies of Science, p. 469-482.

KNOBLAUCH R.L. et RAYMOND P.D. (2000), *The Effect of Crosswalk Markings on Vehicle Speeds in Maryland, Virginia, and Arizona*, rapport de recherche FHWA-RD-00-101, Federal Highway Administration, McLean, Virginie, 9 p.

KOSTYNIUK L.P. et CLEVELAND D.E. (1986), *Sight Distance, Signing, and Safety on Vertical Curves*, ITE Journal, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, p. 25-28.

LALANI N. (1991), *Comprehensive Safety Program Produces Dramatic Results*, ITE Journal, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, p. 31-34.

LAND TRANSPORT SAFETY AUTHORITY (1996), *Treatment at Bends Using Chevrons*, http://www.ltsa.govt.nz/roads/crash_reduction_programme.html, consulté le 30 novembre 2002.

LAPLANTE J.N. et KROPIDLOWSKI C.R. (1992), *Stop Sign Warrants: Time For Change*, ITE Journal, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, p 25-29.

LEE J.T., MALECK T.L., et TAYLOR W.C. (1977), *Analysis of the Correlation Between Pavement Marking Visibility and Night-time Accidents*, (document présenté à la 77^e réunion annuelle) du Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington DC.

LIU G.X. et POPOFF A. (1997), *Provincial-wide Travel Speed and Traffic Safety Study in Saskatchewan*, Transportation Research Record 1595, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p. 8-13.

LOVELL J. et HAUER E. (1986), *The Safety Effect of Conversion to All-way Stop Control*, Transportation Research Record 1068, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC., p. 103-107.

LYLES R.W., LIGHTHIZER D.R., DRAKOPOULOS A., et WOODS S. (1986), *Efficacy of Jurisdiction-Wide Traffic Control Device Upgradings*, Transportation Research Record 1068, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC., p. 34-41.

LYNAM D.A., MACKIE A.M., et DAVIES C.H. (1988), *Urban Safety Project: 1. Design and Implementation of Schemes*, Research Report 153, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK, 25p.

LYON C. et PERSAUD B. (2002), *A Pedestrian Collision Model For Urban 4-leg Signalized Intersections*, compte rendu de la XII^e Conférence canadienne multidisciplinaire en sécurité routière XII, juin 10-13 2001, London, Ontario.

MACKIE A.M., WARD H.A., et WALKER R.T. (1990), *Urban Safety Project: 3. Overall Evaluation of Area Wide Schemes*, Research Report 263, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK, 26 p.

MAIN M.F. (1984), *Four Underutilized Collision Reduction Measures*, dans "Transport Risk Assessment: Proceedings of a Symposium on Risk in Transport", troisième symposium du Institute for Risk Research, publié sous la direction de Sam Yagar, University of Waterloo Press, p. 89-119.

MCCOY P.T., RAMANUJAM M., MOUSSAVI M., et BALLARD J.L. (1990), *Safety Comparison of Types of Parking on Urban Streets in Nebraska*, Transportation Research Record 1270, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC.

MERRIAM J. (1993), *The Effect of Posted Speed Limit Reductions on Collision Rates*, Region of Hamilton-Wentworth Traffic Department, non publié.

MIGLETZ J. et GRAHAM J. (2002), *Long-Term Pavement Marking Practices*, National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Practice Report n° 306, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DE L'ONTARIO (1998), *The Science of Highway Safety: Network Evaluation and Safety Conscious Procedures*, ministère des Transports de l'Ontario, Traffic Office, Traffic Safety Management Section, Toronto, Ontario.

MOUNCE, J.M. (1981), *Driver Compliance with Stop-Sign Control at Low-Volume Intersections*, Transportation Research Record 808, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, D.C., p. XX

POLICE PROVINCIALE DE L'ONTARIO (1998), *Safe on Seven, 1998*, élaboré à partir de la Base de données sur les pratiques exemplaires liées à la sécurité routière de la collectivité, Transports Canada, http://www.tc.gc.ca/roadsafety/NPA/detail_e.asp?ID=42, consulté le 4 juin 2002.

OWENS R.D. (1967), *Effect of Rumble Strips at Rural Stop Locations on Traffic Operation*, Highway Research Record 170, Highway Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p. 35-55.

PANT P.D., PARK Y., NETI S.V., et HOSSAIN A.B. (1999), *Comparative Study of Rural Stop-controlled and Beacon-controlled Intersections*, Transportation Research Record 1692, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p. 164-172.

PARKER M.R. (1997), *Effects of Raising and Lowering Speed Limits on Selected Roadway Sections*, FHWA rapport n° FHWA-RD-92-084. Federal Highway Administration, Département des Transports des États-Unis, Washington, DC.

PARKER M.R. et ZEEGER C.V. (1989), *Traffic Conflict Technique for Safety and Operation Engineers Guide*, rapport FHWA-IP-88-026, Federal Highway Administration, Département des Transports des États-Unis, Washington, DC.

PERNIA J.C., LU J.J., XIE X., WENG M., et SNYDER D.. (2002), *Development of Models to Quantify the Impacts of Signalization on Intersection Crashes*, document présenté à la 81^e réunion annuelle du Transportation Research Board, Washington, DC.

PERSAUD B.N. (1986), *Safety Migration, the Influence of Traffic Volumes, and Other Issues in Evaluating Safety Effectiveness – Some Findings on Conversion of Intersections to Multiway Stop Control*, Transportation Research Record 1068, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC.

POCH M. et MANNERING F. (1996), *Negative Binomial Analysis of Intersection-Accident Frequencies*, Journal of Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers, Volume 122(2), p. 105-113.

POLANIS S.F. (1998), *Do 12“ Signal Lenses Reduce Angle Crashes?*, réunion annuelle de l'ITE, recueil de documents sur CD-ROM, Toronto, Ontario.

POLANIS S.F. (2002), *Right-angle Crashes and Late-night/Early-morning Flashing Operation: 19 Case Studies*, ITE Journal, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC, p.26-28.

RETTING R., GREENE M.A., et VAN HOUTEN J. (1997), *Use of Pavement Markings to Reduce Rear-end Conflicts at Commercial Driveway Locations*, Transportation Research Record 1605, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington DC, p. 106-110.

RIMILLER J., IVAN J., et GARRICK N. (2001), *Estimating Benefits from Specific Highway Safety Improvements: Phase III – Benefits of Lane Widening and Adding Left Turn Lanes*, document présenté à la 81^e réunion annuelle du Transportation Research Board, Washington, DC.

SALMAN N.K. et AL-MAITA K.J. (1995), *Safety Evaluation at Three-Leg, Unsignalized Intersections by Traffic Conflict Technique*, Transportation Research Record 1485, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington DC, p. 177-185.

SAYED T., ABDELWAHAB, et NEPOMUCENO J. (1998), *Safety Evaluation of Alternative Signal Head Design*, Transportation Research Record 1635, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p. 140-146.

SAYED T. et RODRIGUEZ F. (1999), *Accident Prediction Models for Urban Unsignalized Intersections in British Columbia*, Transportation Research Record 1665, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p.93-99.

SAYED T., VAHIDI H., et RODRIGUEZ F. (1999), *Advance Warning Flashers – Do they Improve Safety?*, Transportation Research Record 1692, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p. 30-38.

SCHRADER M.H. (1999), *Study of Effectiveness of Selected School Zone Traffic Control Devices*, Transportation Research, Record 1692, Transportation Research Record, National Academies of Science, Washington, DC, p. 24-29.

SHEBEEB O. *Safety and Efficiency for Exclusive Left-turn Lanes at Signalized Intersections*, ITE Journal, juillet 1995, p. 52-59.

STAMATIADIS N., AGENT K., et BIZAKIS A. (1997), *Guidelines for Left-turn Phasing Treatment*, Transportation Research Record 1605, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p.1-7.

STIMPSON W.A., KITTLESON W.K., et BERG W.D. (1977), *Methods for Field Evaluation of Roadway Delineation Treatments*, Transportation Research record 621, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p.

TARRALL M.B. et DIXON K.K. (1998), *Conflict Analysis for Double Left-turn Lanes with Protected-Plus-Permitted Signal Phases*, Transportation Research Record 1635, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p. 105-112.

THOMAS G.B. et SMITH D.J. (2001), *Effectiveness of Roadway Safety Improvements*, rapport final, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, Ames, IA.

TOPLE A.R. (1998), *Development of South Dakota Accident Reduction Factors*, rapport final, département des Transports du Dakota du Sud, Office of Research, Pierre, SD.

TRANSPORT RESEARCH LABORATORY (2000), base de données du Monitoring of Local Authority Safety Schemes (MOLASSES), Crowthorne, Berkshire, Royaume-Uni, située à l'adresse : <http://www.trl.co.uk/molasses>, consultée le 30 janvier 2003.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (1998), *Managing Speed: Review of Current Practice for Setting and Enforcing Speed Limits*, Transportation Research Board, rapport spécial 254, Washington, DC.

TRIBBETT L., MCGOWEN P., et MOUNCE J. (2000), *An Evaluation of Dynamic Curve Warning Systems in the Sacramento River Canyon*, rapport final, Western Transportation Institute, Montana State University, préparé pour le département des Transports de la Californie.

- ULLMAN G.L. et DUDEK C.L. (1987), *Effects of Reduced Speed limits in Rapidly Developing Urban Fringe Areas*, Transportation Research Record 1114, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p. 45-53.
- UPCHURCH J. (1991), *Comparison of Left-turn Accident rates for Different Types of Left-turn Phasing*, Transportation Research Record 1324, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p. 33-40.
- VANCOUVER, CITY OF (1999), *Results of the Speed hump Pilot Project*, rapport administratif présenté au comité permanent du Council on Transportation and Traffic, CC fichier n° 5757, <http://www.city.vancouver.bc.ca/ctyclerk/cclerk/991102/tt2.htm>, consulté le 5 juin 2002.
- VAN HOUTEN R., HEALY K., MALENFANT, JEL, et RETTING R. (non publié), *The Use of Signs and Symbols to Increase the Efficacy of Pedestrian Activated Flashing Beacons at Crosswalks*.
- VOGT A. (1999), *Crash Models for Rural Intersections: Four-lane by Two-lane Stop-controlled and Two-lane by Two-lane Signalized*, FHWA-RD-99-128, Federal Highway Administration, Office of Safety Research and Development, Washington, DC.
- VOGT A. et BARED J. (1999), *Accident Models for Two-lane Rural Segments and Intersections*, TRR 1635, TRB, NAS, p. 18-29.
- WASHINGTON, UNIVERSITY OF (2002), *Child Pedestrian Injury Interventions Environmental Changes*, Health Injury Prevention Research Center, <http://depts.washington.edu/hiprc/childinjury/topic/pedestrians/environment.html>, consulté le 4 juin 2002.
- WATERLOO, RÉGION DE (2001), *The Regional Municipality of Waterloo 1999 Collision Report*, rapport du département présenté au Transportation and Environmental Services Committee, rapport n° E-01-033, le 3 avril 2001, préparé par Allister McIlveen.
- WHEELER A.H. (1992), *Advance Stop Line for Cyclists at Oxford, Newark, and Bristol*, rapport de recherche 336, Transport and Road Research Laboratory, Department of Transportation, Crowthorne, Berkshire, UK, 22 p.
- WILLIS P.A., SCOTT P.P., et BARNES J.W. (1984), *Road Edgeline and Accidents: An Experiment in South-west England*, TRRL Laboratory Report 1117, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK, 17 p.
- WILSON F.R., STEVENS A.M., et AMBO A. (2001), *Safety and Economic Benefits from Speed Reduction in the Province of New Brunswick*, compte rendu de la XII^e Conférence canadienne multidisciplinaire en sécurité routière, Association canadienne des professionnels de la sécurité routière, London, Ontario.

WINNIPEG, VILLE DE (1991), *Maximum Speed Limits on Grant Avenue, on Kenaston Boulevard and on Taylor Avenue*, Service des ponts et des chaussées et du transport, rapport présenté au Conseil routier le 29 mai 1991.

YAGAR S., et VAN AERDE M. (1984), *Reducing Accidents with 2-Way Left Turn Lanes*, compte rendu de la Conférence canadienne multidisciplinaire en sécurité routière, London, Ontario, p. 106-123.

ZADOR P., STEIN H.S., WRIGHT P., et HALL J. (1987), *Effects of Chevrons, Post-Mounted Delineators, and Raised Pavement Markers on Driver Behaviour at Roadway Curves*”, Transportation Research Record 1114, Transportation Research Board, National Academies of Science, Washington, DC, p 1-10.

CETTE PAGE EST INTENTIONNELLEMENT LAISSÉE EN BLANC

Annexe A:
Annexe A :
Sécurité routière fondée
Sécurité routière fondée
Sur l'observation
sur l'observation

ANNEXE A – SÉCURITÉ ROUTIÈRE FONDÉE SUR L'OBSERVATION

Qu'est-ce que la SRFO?

La SRFO se définit de la façon suivante :

Utilisation judicieuse et consciencieuse des meilleures preuves et observations actuellement disponibles dans le but d'assurer la sécurité routière à l'égard des personnes, des installations et des réseaux de transport.

La mise en pratique de la SRFO vise une intégration de la meilleure information disponible, en matière de recherche sur la sécurité, à l'expérience et aux connaissances que possède le praticien des valeurs communautaires et des politiques locales. La pratique de la SRFO amène finalement à des prises de décisions éclairées en matière de sécurité routière, en toute connaissance des incidences qu'auront sur la sécurité les mesures et stratégies choisies, qui seront en accord avec les valeurs de la communauté.

La SRFO ne consiste pas à relever et à sélectionner la stratégie la plus sûre de gestion ou de contrôle. Les incidences que ces stratégies peuvent avoir sur d'autres aspects de la communauté doivent toujours figurer au premier plan des priorités. Par exemple, l'ajout d'une phase protégée pour virage à gauche à des feux de circulation accroît les temps d'attente, même si elle constitue une solution de rechange plus sécuritaire aux phases permissives. Si cette attente accrue est telle que le niveau de service à l'intersection devient « inacceptable », il se pourrait que la mise en place d'une solution de remplacement plus sécuritaire ne soit pas appropriée. La SRFO pourrait nécessiter l'utilisation d'une phase permissive. La SRFO exige simplement que le praticien compétent connaisse les conséquences sur la sécurité de cette mesure et prenne la décision à la lumière de cette connaissance.

En même temps, il ne s'agit pas d'accepter tacitement les conclusions d'une recherche laissant à désirer, simplement parce qu'elles sont publiées, rapportées dans une revue spécialisée ou présentées à une conférence technique. Le praticien doit toujours évaluer l'information et la recherche externes avec circonspection afin de déterminer la valeur des résultats et leur applicabilité à une situation donnée. Par exemple, une praticienne se trouvant dans une importante municipalité rurale recherche de l'information au sujet des incidences sur la sécurité d'un contrôle par arrêts toutes directions. Elle trouve un rapport sur une recherche bien conduite provenant d'une région métropolitaine importante dans les environs, donnant un FMC de 0,50. Bien qu'elle ait déterminé qu'il s'agissait d'une recherche bien effectuée, la praticienne doit également déterminer si les résultats peuvent s'appliquer à la situation qui la concerne, soit un milieu rural, étant donné que la recherche consultée touchait un emplacement urbain.

Pourquoi avons-nous besoin de la SRFO?

Les connaissances en matière de sécurité routière sont dynamiques et nécessitent de notre part des efforts autonomes et constants de mise à jour afin de nous garder dans la course. La recherche dans le domaine de la sécurité routière est certainement en croissance et nous permettra sûrement d'obtenir des connaissances plus justes et plus approfondies des aspects liant les interventions et leurs incidences sur la sécurité. En outre, les valeurs de la communauté sont dynamiques et hautement variables. La pratique de la SRFO signifie que les praticiens doivent être conscients de ces changements et qu'ils en tiennent continuellement compte dans l'exercice quotidien de leur profession.

La documentation regorge de recherches et de rapports sur les incidences en matière de sécurité de diverses stratégies de gestion et de contrôle de la circulation. Il ne faut cependant pas confondre abondance et richesse des connaissances. La SRFO requiert une évaluation et un jugement critiques avant de mettre en pratique la recherche sur la sécurité routière. Voici un scénario illustrant l'importance de la SRFO :

Un ingénieur de la circulation à l'échelon municipal se voit demander par ses représentants élus d'étudier la possibilité de munir de feux de circulation une intersection urbaine d'une route à deux voies, contrôlée par panneau d'arrêt, afin de la rendre plus sécuritaire. Depuis les 36 derniers mois, il s'est produit en moyenne 4,5 collisions par année à cette intersection et les représentants élus aimeraient améliorer ce taux. L'ingénieur consulte l'édition à jour du Manuel canadien de la signalisation routière publié par l'Association des transports du Canada et il y trouve que la pose de feux à une intersection n'est « justifiée » que si l'on y a enregistré une moyenne de cinq accidents par année pendant une période de 36 mois. L'ingénieur remet donc à ses représentants élus un rapport indiquant que la pose de feux à cet endroit n'améliorerait pas le taux de collisions.

L'ingénieur a-t-il tiré la conclusion appropriée? L'information présentée dans cet exemple n'est pas suffisante pour répondre à cette question. Toutefois, la logique sur laquelle repose la conclusion est certainement incorrecte. La « justification » nécessitant une moyenne de cinq accidents par année pendant une période de 36 mois ne signifie pas que les carrefours à feux enregistrent habituellement cinq collisions par année. En fait, il s'agit d'un seuil établi à la suite de certaines études minutieuses menées au Canada et aux États-Unis.

L'ingénieur doit donc établir de nouvelles mesures ou adopter des FES à l'égard d'intersections sans feux et avec feux et déterminer le nombre et la gravité des collisions dans des conditions courantes et anticipées. Les FES lui donneront la meilleure estimation de l'efficacité de la sécurité, qui pourra alors être évaluée dans le contexte des politiques locales et des valeurs de la communauté afin de déterminer si la pose de feux

est justifiée. Ou alors l'analyste peut utiliser les FMC à l'égard de la pose de feux qui ont été élaborés en fonction d'intersections présentant des types géométriques différents.

Comment mettre en pratique la SRFO?

L'application des résultats d'une recherche à un problème pratique soulève deux préoccupations principales que le praticien doit régler :

1. *La recherche a-t-elle été conduite au moyen de solides méthodes de sorte que l'on puisse se fier aux résultats?*
2. *Les résultats sont-ils applicables à la situation donnée?*

Le professionnel de la circulation met en pratique la SRFO s'il suit les sept étapes suivantes dans sa tentative de régler un problème en matière de sécurité routière :

1. *Cerner un problème ou une zone soulevant des doutes*
2. *Formuler une question pertinente et précise à laquelle il faut répondre*
3. *Trouver et évaluer les observations*
4. *Évaluer l'applicabilité des résultats à la situation en cause*
5. *Décider s'il convient de prendre des mesures*
6. *Évaluer les résultats des mesures ou de leur absence*
7. *Résumer et noter les résultats*

À travers ce processus, la SRFO permet de tenir compte des aspects suivants :

- *Population : Quelles sont les caractéristiques de la population ou du site en particulier (intersections avec feu, routes rurales à deux voies, etc.)?*
- *Problème : En quoi consiste le problème (types de collisions, leur gravité)?*
- *Interventions : Quelles sont les interventions considérées (y compris les stratégies de gestion et de contrôle de la circulation, les changements dans la conception géométrique, l'éducation des conducteurs et « ne rien faire du tout »)?*
- *Résultats : L'intervention est-elle efficace et ses incidences, sur la sécurité et sur d'autres plans, s'accordent-elles avec la pratique et la politique locale?*

La SRFO est réalisable et s'inscrit comme composante nécessaire dans la prise de décisions en matière de sécurité routière. Voici un exemple d'une utilisation appropriée de la SRFO dans la pratique.

L'un des représentants élus, au nom de sa circonscription, demande « des flèches vertes successives » sur la route principale aux fins de virage à gauche aux intersections à feux.

La demande invoque « des préoccupations en matière de sécurité » dans ces sites « dangereux ». La circulation, gérée actuellement au moyen de feux diphasés (c.-à-d. l'attente aux intersections et accès, le ratio débit-capacité, etc.) profiterait du fonctionnement à trois phases proposé. Le personnel de la gestion de la circulation doit donc décider s'il doit recommander une phase spéciale pour virage à gauche afin d'améliorer la sécurité.

Les sept étapes du processus de SRFO sont effectuées de la façon suivante :

1. *Cerner un problème ou une zone soulevant des doutes*
L'intersection présente-t-elle un problème de collisions lors des virages à gauche à partir de la route principale? Y a-t-on enregistré un nombre plus élevé de collisions lors de virages à gauche que dans la circulation continuant tout droit? Les collisions sont-elles plus graves que ce à quoi l'on s'attendait?
2. *Formuler une question pertinente et précise à laquelle il faut répondre*
Quelles incidences sur la sécurité aurait une phase protégée pour virage à gauche dans un carrefour à feux de quatre embranchements situé sur la route principale? (NOTA : La formulation de la question implique la définition des interventions considérées ainsi que l'évaluation des caractéristiques propres au site.)
3. *Trouver et évaluer les observations*
Au moyen d'une recherche effectuée dans la documentation classique, dans Internet et dans la présente synthèse, de consultations auprès d'autres professionnels et d'autres méthodes encore, il faut trouver des renseignements sur les incidences d'une phase protégée pour virage à gauche sur la sécurité. Après avoir recueilli la documentation disponible, il faut utiliser le formulaire se trouvant à l'annexe B afin d'évaluer la qualité de la recherche et la fiabilité des résultats.
4. *Évaluer l'applicabilité des résultats à la situation en cause*
Il faut déterminer, dans la mesure du possible, si la recherche jugée comme fiable à l'étape 3 a été menée dans des conditions similaires à celles de la situation en cause. Par exemple, le problème ici touche une intersection de quatre embranchements située en milieu urbain; la recherche a-t-elle porté sur des intersections semblables?
5. *Décider s'il convient de prendre des mesures*
La phase protégée pour virage à gauche réglerait-elle de manière efficace le problème soulevé? Le cas échéant, d'autres aspects pourraient-ils faire obstacle à une éventuelle intervention (c.-à-d. des dommages environnementaux inacceptables, inobservation des politiques locales, etc.)? Existe-t-il d'autres options aussi efficaces que l'on pourrait envisager?
6. *Évaluer les résultats des mesures ou de leur absence*

Surveiller l'emplacement à court et à long termes. Si le lieu a reçu une intervention, l'évaluation à long terme de l'efficacité aidera à élaborer des FMC locaux et des connaissances sur la base des observations.

7. *Résumer et noter les résultats*
Documenter les résultats du projet.

Causes et effets

L'un des points clés de la SRFO et d'une évaluation critique de la recherche consiste à déterminer les relations de cause à effet. On accorde beaucoup d'importance à la signification statistique au moment de mesurer les incidences sur la sécurité d'une stratégie donnée de gestion de la circulation. Alors que l'induction et les tests statistiques constituent un indice important de la relation de cause à effet, on ne peut avoir recours à eux pour déterminer cette dernière. Une relation statistiquement significative se résume à établir que « A » varie avec « B ». Elle ne signifie pas que « A » cause « B ».

Déterminer la relation de cause à effet signifie que l'on doit tenir compte de beaucoup plus de facteurs que le degré d'association entre une intervention et la survenue ou la gravité de collisions. Le premier ensemble de tests exhaustifs, et probablement encore le meilleur, visant à évaluer la relation de cause à effet a été élaboré par Hill (1965). Les tests, quelque peu adaptés à la sécurité routière, prennent la forme suivante :

1. Existe-t-il une intensité de l'association?
Il devrait exister une corrélation statistique entre l'intervention et la sécurité.
2. Y a-t-il une constance?
Les incidences de l'intervention, examinées par diverses personnes, dans des circonstances et à des moments différents, devraient être constantes.
3. Y a-t-il une spécificité?
L'intervention doit produire les effets attendus et l'absence d'intervention ne doit produire aucun des résultats attendus (dans l'hypothèse où aucune autre intervention n'a eu lieu).
4. L'intervention et la sécurité ont-elles une relation dans le temps?
L'intervention doit précéder le changement en matière de sécurité.
5. Y a-t-il un gradient de « dose-réponse »?
Lorsqu'une mesure réduite de l'intervention produit un effet sur la sécurité, on s'attend à ce qu'une application plus élargie ait des incidences plus importantes. Ce test est utile dans de nombreuses situations mais doit être utilisé avec précaution. Par exemple, il y a un avantage en matière de sécurité associé à

l'élargissement de la voie de 3,1 mètres à 3,3 mètres. En outre, on attend des avantages encore supérieurs si l'on élargit la voie de 3,1 mètres à 3,6 mètres. Cependant, le gradient de dose-réponse atteint une limite aux environs de 3,7 mètres. Les voies d'une largeur supérieure à 3,7 mètres n'offrent aucun avantage supplémentaire en matière de sécurité et, dans le cas des voies d'une largeur située au-dessus de 4,5 mètres, peuvent même représenter un inconvénient.

6. Y a-t-il une plausibilité logique?
L'intervention et l'effet sur la sécurité doivent être connectés au moyen d'une étiologie logique. Ce test repose en quelque sorte sur les connaissances traditionnelles actuelles.
7. Existe-t-il une cohérence entre les observations?
Les résultats de l'analyse doivent, dans la plupart des cas, être en accord avec les connaissances générales au sujet de l'intervention et avec l'étiologie probable.
8. Existe-t-il des évidences expérimentales corroborantes?
On peut avoir recours à des études sur le facteur humain qui, rares dans le domaine de la sécurité routière malgré leur importance éventuelle, peuvent aider à établir les causes probables. Des simulateurs de conduite, des sondages et des études du facteur humain mesurant les données de remplacement ayant un lien établi avec la cause de l'accident ou une augmentation de la gravité des collisions constituent des exemples d'évidences expérimentales.
9. Peut-on trouver une analogie applicable?
Est-ce que le mécanisme par lequel l'intervention effectuée est analogue à une autre intervention similaire? Par exemple, la province de l'Ontario a mis en place des « Community Safety Zones » (CSZ), qui sont des tronçons de route, délimités par règlement municipal, où les amendes relatives aux infractions sont doublées. Les CSZ sont annoncés dans les rues par des panneaux de prescription rectangulaires noirs et blancs affichés en bordure de la route. Les incidences des CSZ sur la vitesse de conduite sont négligeable [Forbes, 2002]. L'absence de relation de cause à effet entre les CSZ et la vitesse trouve un écho dans l'analogie que constituent les vitesses limites et les vitesses de conduite, où les changements des vitesses limites affichées (communiqués aux automobilistes par le biais de panneaux de prescription rectangulaires noirs et blancs affichés en bordure de la route) échouent également à provoquer un changement dans la vitesse de conduite.

Pour évaluer la relation de cause à effet selon la méthode appropriée, il ne suffit pas de relever une relation statistique; il convient également de mettre en pratique ces tests. Il se présentera, bien entendu, des situations où les tests donneront des résultats paradoxaux.

Le cas échéant, il incombe au praticien d'interpréter et d'appliquer la recherche aux situations réelles.

État actuel de la SRFO

La SRFO est scientifique; elle est donc fondée sur des connaissances. Pendant la préparation de la présente synthèse, il est apparu que les connaissances sur lesquelles reposaient les stratégies de gestion et de contrôle de la circulation étaient insuffisantes. Le praticien se trouve donc placé dans une position désagréable, celle de prendre des décisions en fonction de renseignements incomplets. En attendant qu'il se fasse suffisamment de recherches de qualité et que le praticien puisse profiter des résultats, celui-ci doit reposer ses décisions sur des préjugés, des inspirations, des opinions et des conjectures.

CETTE PAGE EST INTENTIONNELLEMENT LAISSÉE EN BLANC

Annexe B:
Annexe B :
Examens critiques
Examens critiques

ANNEXE B – EXAMENS CRITIQUES

Effectuer un examen critique de la documentation

La recherche dans le domaine de la sécurité routière est continue et en constante évolution. Il est certain que les connaissances de base en matière de stratégies de gestion et de contrôle de la circulation s'approfondiront avec le temps. Étant donné que la présente publication est statique et représente les connaissances à ce jour en matière des incidences sur la sécurité de la gestion de la circulation, il est important que les praticiens approfondissent ce savoir par de la nouvelle information à mesure qu'elle devient accessible. Ils obtiendront une grande partie de ces renseignements dans des rapports, articles et présentations, qu'ils devront soumettre à un examen critique afin de déterminer la qualité de la recherche et l'applicabilité des résultats à des situations données.

Afin d'aider le praticien à cet égard, une feuille de travail permettant d'effectuer une évaluation critique de la recherche en sécurité routière est incluse ci-dessous.

Le praticien pourrait être pressé d'accepter un rapport publié parce qu'il a besoin d'appuyer une décision par l'information qu'il contient et il est facile d'utiliser une publication à cet égard. Il ne devrait cependant pas accepter un document écrit dans le seul but d'appuyer une décision et de se faciliter la tâche. Une grande partie de la documentation accessible en milieu de travail n'est pas révisée par des pairs ou, si elle l'est, ce n'est pas nécessairement par des personnes versées dans le domaine de la sécurité routière.

**Feuille de travail aux fins d'évaluation d'un article portant sur
les contre-mesures en matière de sécurité routière**

Titre du document : _____
Auteur : _____
Date/année : _____
Source : _____

Méthodologie de l'étude

1. À quelle population les résultats s'appliquent-ils?

Milieu : Urbain Rural

Intersection : Feux Arrêt toutes directions Arrêt à double sens Giratoire

Tronçon de route : Deux voies Quatre voies Autoroute Chaussées séparées

2. La distribution des sites dans les groupes à l'étude et témoin a-t-elle été faite au hasard?

Oui Non Je ne sais pas

3. A-t-on tenu compte de manière appropriée des tendances temporelles dans les données sur les collisions?

Oui Non Je ne sais pas

4. A-t-on tenu compte de manière appropriée de la régression vers la moyenne?

Oui Non Je ne sais pas

5. A-t-on utilisé des méthodes statistiques appropriées?

Oui Non Je ne sais pas

6. La conception de l'étude tient-elle compte des influences extérieures sur la sécurité? (c.-à-d. les changements de débit de circulation, les conditions du milieu, etc.)
 Oui Non Je ne sais pas
7. Les groupes sont-ils semblables au début de l'essai?
• Équilibre des facteurs pronostiques de base (géométrie, autres variables confusionnelles connues)?
• S'ils sont différents, y a-t-il eu un ajustement en conséquence?
 Oui Non Je ne sais pas
8. À part ce qui touche les contre-mesures faisant l'objet de la recherche, les groupes reçoivent-ils la même intervention?
• Y a-t-il des interventions concomitantes? Ou des variables influentes?
• L'intervention a-t-elle subi des changements au cours de l'étude? (par ex. vandalisme, modifications, déplacement)
 Oui Non Je ne sais pas
9. Dans l'ensemble, les résultats de l'étude sont-ils valables?
 Oui Non Je ne sais pas

Résultats

1. Quelle importance ont les incidences de l'intervention?
 - a. S'applique à toutes les collisions ou seulement aux collisions cibles?
 - b. FMC ou FES?
 - c. Incidences sur la gravité des collisions?

2. Quelle est la précision de l'estimation des incidences de l'intervention?

Utilité des résultats

1. Les résultats peuvent-ils être appliqués dans mon territoire?
 - a. Les routes sont-elles similaires quant au code de la route, à la population, aux directives relatives à la conception et à d'autres facteurs importants?
 - b. Absence de raison impérieuse expliquant la non-applicabilité des résultats?
 Oui Non Je ne sais pas

2. Les avantages en matière de sécurité attendus valent-ils les éventuelles incidences négatives?
 - a. Coût, dommages à l'environnement, incidences sociales, etc.?
 Oui Non Je ne sais pas

3. L'intervention est-elle conforme aux politiques locales et à celles du réseau?
 Oui Non Je ne sais pas

4. D'autres interventions seraient-elles envisageables?
 Oui Non Je ne sais pas

Annexe C:
Annexe C :
Mener et concevoir une
Mener et concevoir une
recherche
recherche

ANNEXE C – MENER ET CONCEVOIR UNE RECHERCHE

Pendant la préparation de la présente synthèse, il est apparu évident qu'une grande partie de la documentation formant les connaissances de base est composée d'articles et de rapports qui ne se conforment pas aux normes minimales de qualité exigées par la communauté scientifique. Dans certains cas, le travail non conforme est imputable à la conception de l'étude (méthodes et matériaux), dans d'autres il s'agit de la présentation incomplète des résultats. La surabondance de recherches, que celles-ci soient mal effectuées ou mal rapportées, limite le développement de connaissances en sécurité routière, si elle n'induit pas en erreur les praticiens.

Effectuer une recherche sur la sécurité routière

Une recherche adéquate en sécurité routière commence par la prévoyance et la planification. Pour bâtir une base de connaissances en sécurité routière, il est essentiel de déterminer avec exactitude l'efficacité de la sécurité des stratégies de gestion et de contrôle de la circulation. La vitesse d'évolution des connaissances est considérablement réduite si la communauté ne compte que sur les universitaires et les chercheurs à cet égard. Le praticien de la circulation est presque constamment en train d'apporter des changements au réseau, qu'ils soient liés à la sécurité ou non. Il a donc accès à un vaste entrepôt de données. L'utilisation de ces données dans le but de faire avancer les connaissances en sécurité routière ne doit pas être limitée par des méthodes de recherche inappropriées.

Cette section présente un examen du besoin à l'égard de méthodes normalisées de recherche sur la sécurité routière, en proposant certains principes généraux afin de favoriser la normalisation et de l'aide aux praticiens dans la conduite de recherches sur la sécurité.

Proposition de normes en matière de recherche sur la sécurité routière

La sécurité routière forme un sous-ensemble du domaine de la santé publique et de la prévention des blessures. Cependant, le processus par lequel les produits sont approuvés aux fins d'utilisation dans le domaine de la sécurité routière est largement différent, par exemple, de celui réservé aux produits pharmaceutiques. Bien que la phase spéciale pour virage à gauche et la vaccination antigrippale aient toutes deux un effet direct sur la santé humaine (même si les populations sont différentes), les deux interventions sont rarement traitées de façon similaire. L'évaluation des mesures visant à réduire les collisions ne bénéficient pas souvent du même degré de rigueur que celui auquel sont soumises les premières analyses de produits pharmaceutiques, d'additifs alimentaires et d'autres produits destinés à protéger la santé publique.

Les études-pilotes sont monnaie courante dans la pratique des professionnels de la circulation. Les municipalités sont souvent le théâtre de la mise en place « à titre d'essai » de nouveaux équipements, conceptions et caractéristiques tels que des appareils photo reliés au feu rouge, des dispositifs de modération de la circulation et des revêtements jaune-vert résistants. Peu importe la bonne volonté avec laquelle l'étude pilote a été menée, son utilité est souvent compromise par l'omission de tenir compte des mesures de l'efficacité et par une évaluation *a priori*.

À titre d'exemple, la Ville d'Ottawa et la Région d'Ottawa-Carleton ont mis en place des mesures de modération de la circulation à l'essai, dans l'intention d'évaluer leur efficacité. Cependant, la méthodologie de l'évaluation et les paramètres n'étaient pas préétablis au moment d'entreprendre l'étude. Lorsque l'évaluation a été effectuée et la méthodologie déterminée, on s'est rendu compte qu'une grande partie des données nécessaires provenant de la période « avant » n'avaient pas été prises en note [Hemsing et Forbes, 2000]. L'omission d'établir soigneusement le plan de la méthodologie de l'évaluation au début de l'étude pilote a limité les conclusions que l'on aurait sans aucun doute pu en tirer.

Des organismes tels que l'Association des transports du Canada, qui rédigent les normes, lignes directrices et pratiques régissant les décisions que prennent quotidiennement les praticiens, tireraient sûrement avantage d'une recherche rigoureuse sur la sécurité routière. Le *Manuel canadien de la signalisation routière* (MCSR) de l'Association des transports du Canada serait grandement amélioré si la sécurité devenait un facteur explicite dans le choix et la mise en œuvre de divers dispositifs de contrôle de la circulation. En outre, le praticien serait en mesure de prendre des décisions plus éclairées si le MCSR pouvait intégrer un modèle de prévision numérique ainsi que de « meilleures observations » en matière de sécurité. Pour atteindre ces objectifs, il est nécessaire de normaliser ce que l'on considère comme règles de pratique en matière de recherche sur la sécurité routière et d'évaluation des stratégies de gestion et de contrôle de la circulation.

Même si les rédacteurs de lignes directrices ne respectent pas des normes minimales (bien qu'il leur soit fortement recommandé de le faire), le praticien de la circulation peut s'y conformer dans la conduite de ses propres évaluations et l'élaboration d'une meilleure compréhension des incidences de diverses mesures sur la sécurité.

Comme point de départ en matière de normalisation, les professionnels peuvent prendre exemple sur l'industrie de la santé et leurs normes relatives à la recherche, soit les « bonnes pratiques de laboratoire » (BPL) :

Un système de qualité tenant compte du processus organisationnel et des conditions dans lesquelles la santé au sens large et la sécurité environnementale sont planifiées, effectuées, surveillées, enregistrées, archivées et rapportées.

Les BPL sont conçues pour normaliser le travail effectué en laboratoire et en pratique dans le cadre d'études précliniques, dans les industries pharmaceutique et cosmétique. Néanmoins, on peut clairement établir un parallèle avec la sécurité routière. Les professionnels ont élaboré de solides méthodes scientifiques à l'égard de la recherche sur la sécurité routière. Cependant, on omet systématiquement de les utiliser, soit par ignorance des méthodes appropriées, soit par manque d'expérience, voire parce que les données requises par les meilleures pratiques ne sont pas accessibles.

Un manque de données est vraisemblablement un problème local auquel les chercheurs et les praticiens peuvent remédier. L'ignorance ou l'inexpérience des meilleures pratiques constitue un enjeu plus important. Le milieu de la sécurité routière profiterait certainement de l'élaboration et de la promotion, par des organismes nationaux et provinciaux canadiens, d'un ensemble de meilleures pratiques en matière de recherche sur la sécurité routière, qui soit similaire aux BPL et qui suive les mêmes principes de base.

Le milieu des transports a fait d'énormes avancées sur le plan d'une approche plus scientifique de la sécurité routière. On a relevé nombre de pièges et lacunes associés aux études par observation visant à évaluer les stratégies en matière de sécurité routière, et élaboré des méthodes afin de les pallier. Décrire dans le détail le processus générique à suivre pour mener une recherche sur la sécurité routière ne s'inscrit certainement pas dans l'objectif du présent document. Il suffit de répéter qu'une recherche solide repose sur un minutieux établissement à l'avance de la conception de l'étude et des méthodes scientifiques.

Pour obtenir un meilleur aperçu des méthodes statistiques et scientifiques pouvant servir à la recherche sur la sécurité routière, le lecteur est invité à consulter les ressources suivantes :

- HAUER E. (1997) *Observational Before-After Studies in Road Safety – Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety*. Elsevier Science Inc., New York, É.-U., 289 p.
- PERSAUD B. (2001) *Statistical Methods in Highway Safety Analysis*, synthèse n° 95 du NCHRP, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, DC, 75 p.

⁷ *Principles on Good Laboratory Practice*. Organization for Economic Co-operation and Development. Environment Directorate, Chemicals Group and Management Committee, révisé en 1997.

- *Statistics for Transportation Researchers*, NCHRP Report 20-45, Transportation Research Board, National Academies Press, Washington, DC.
- ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES (1997) *Road Safety Principles and Models: Review of Descriptive, Predictive, Risk and Accident Consequence Models*, N° 892483, DIRR de l'OCDE, Paris, France.

Aide à l'intention du praticien

Reconnaître dès le début que l'évaluation n'est pas une activité à laquelle on pense après coup, une fois le projet terminé. Une évaluation appropriée et approfondie est préparée dès le début, soigneusement planifiée et idéalement documentée dans un protocole d'étude. Un protocole d'étude est un « document qui décrit les objectifs, la conception, la méthodologie, les considérations d'ordre statistique et l'organisation d'un essai. ». Le protocole constitue un élément essentiel de la documentation requise avant le début de l'évaluation.

Dans les territoires plus importants, le praticien n'a aucune raison de ne pas avoir recours aux « meilleures pratiques » dans la conduite des recherches sur la sécurité. Les utiliser est nécessaire, car elles peuvent aider à la prise de décisions techniques éclairées relativement aux incidences sur la sécurité de questions quotidiennes. En outre, les données requises pour entreprendre une analyse appropriée se trouvent habituellement dans des dossiers et documents. Les arguments à l'égard d'un manque de temps ou de connaissances inadéquates des méthodes appropriées sont faibles et ne passeraient pas le test de la *diligence raisonnable*.

En suggérant que la recherche sur la sécurité routière soit effectuée au moyen des meilleures pratiques, on reconnaît que les données et l'expertise pour ce faire ne sont pas toujours facilement accessibles aux praticiens des petits territoires. Ce fait ne devrait pourtant pas empêcher d'effectuer des évaluations. Il est très probable que la recherche et les évaluations continueront de se faire au moyen de méthodes qui ne sont pas considérées comme faisant partie des « meilleures pratiques ». Cette façon de faire est acceptable pourvu que le professionnel de la circulation reconnaisse et documente les limites de l'évaluation et en tienne compte lorsque vient le moment de mettre les résultats en pratique.

L'une des sources d'erreur les plus communes relevées dans les études sur la sécurité routière réside dans la régression vers la moyenne. Elle prévaut dans les études sur la sécurité routière et il convient d'en parler dans les présentes afin d'aider le praticien dans

⁸ *Guideline for Good Clinical Practice*. International Conference on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use, mai 1996.

la conception et la conduite de recherches. La possibilité d'une régression vers la moyenne se produit lorsque les sites sont sélectionnés aux fins d'intervention en raison d'une fréquence (ou d'un taux) anormalement élevée de collisions. Étant donné que c'est souvent le cas, la régression vers la moyenne présente un problème fréquent.

Voici une brève explication de la régression à la moyenne :

La fréquence moyenne des collisions à long terme (si tous les éléments restent stables) constitue la véritable mesure de la sécurité à un emplacement donné. Le compte annuel des collisions représente une mesure à court terme généralement utilisée pour approcher la moyenne à long terme. Cependant, nous savons que les nombres de collisions sont sujets à certaines variations aléatoires d'une année à l'autre. Donc, si les sites sont choisis aux fins d'intervention en raison du nombre annuel de collisions anormalement élevé, nous pouvons nous poser la question suivante : le compte élevé de collisions est-il représentatif de la moyenne à long terme ou n'est-il qu'une fluctuation due au hasard?

Dans certains cas, le compte des collisions à court terme est représentatif de la moyenne à long terme, ce qui signifie que le compte à court terme est élevé par hasard. Lorsque le compte est élevé par hasard, on peut s'attendre à ce que le prochain ensemble de comptes de collisions soit plus représentatif de la moyenne à long terme. Ce qui signifie que le prochain ensemble de comptes serait plus proche de la moyenne à long terme (c.-à-d. plus bas). Par conséquent, si le compte de collisions anormalement élevé est utilisé comme données « avant » et que le compte de collisions à court terme n'est pas représentatif de la moyenne à long terme, on aurait un avantage en matière de sécurité même sans aucune intervention. La tendance des fréquences élevées de collisions à court terme à produire des comptes plus bas (plus près de la moyenne) dans les périodes d'observation subséquentes s'appelle la régression vers la moyenne.

Les chercheurs en sécurité routière utilisent fréquemment un historique de collisions de trois à cinq ans afin de tenir compte de la variation aléatoire des comptes de collisions annuels. Il s'agit d'une part importante de la minimisation des effets de régression vers la moyenne, mais cela ne suffit pas à les éliminer.

Hauer (1997) a proposé la méthode empirique bayésienne (MEB) afin de tenir compte de ce biais dû à la régression vers la moyenne. En bref, en fonction de la MEB, le compte de collisions réel à l'emplacement donné est tempéré par le compte de collisions moyen provenant d'emplacements similaires, afin de rendre une meilleure estimation à long terme de l'efficacité de la sécurité au lieu donné. L'application de la MEB nécessite un ensemble de données assez important en provenance de bon nombre d'emplacements similaires ainsi qu'une certaine expertise statistique. Il arrive souvent que les praticiens ne possèdent pas les ressources nécessaires à l'application de la MEB.

Ils peuvent alors faire un choix parmi au moins trois autres options afin de tenir compte de la régression vers la moyenne. Les voici :

- *la sélection et la distribution des sites au hasard,*
- *la distribution au hasard des sites présentant des taux aberrants de collisions dans les groupes étudié et témoin,*
- *l'utilisation d'un facteur de correction.*

Ces méthodes alternatives peuvent sensiblement simplifier l'analyse de la sécurité. Cependant, il demeure des considérations d'ordre éthique et juridique liées aux deux premières approches.

Si une intervention doit avoir lieu afin d'améliorer la sécurité, il conviendrait, en vertu des principes d'éthique et de diligence raisonnable, de mettre en place celle-ci dans des sites où elle produirait le maximum de « bienfaits ». La sélection des sites au hasard fera en sorte que des emplacements présentant de « bons » taux seront choisis aux fins de traitement et que d'autres, présentant de « mauvais » taux, ne seront pas choisis. Si l'on croit de bonne foi que l'intervention comportera un avantage en matière de sécurité, on peut dire alors que cette approche est inappropriée.

Il est possible de régler le problème éthique/juridique exposé ci-dessus en utilisant la seconde méthode, soit en sélectionnant les sites présentant de « mauvais » taux de collisions puis en les répartissant de façon aléatoire dans les groupes étudié et témoin. Cette façon de faire élimine la préoccupation selon laquelle des emplacements présentant de « bons » taux sont choisis aux fins de traitement, mais le problème des sites présentant de « mauvais » taux et n'étant pas choisis demeure. À cet égard, la décision de laisser certains sites sans intervention est acceptable si :

- *on croit de bonne foi que l'intervention n'est pas efficace (ou pas plus que les mesures actuellement en place),*
- *des ressources limitées ne permettent pas d'intervenir dans tous les sites.*

L'utilisation d'un facteur de correction de la régression vers la moyenne, méthode plus simple que la MEB, a été développée par Abbess et coll. (1981). Elle nécessite également un ensemble de données assez important en provenance des emplacements similaires à celui à l'étude. Cependant, les mathématiques sont plus faciles à gérer pour le praticien. Le facteur de correction est calculé suivant l'équation C1.

$$R = \frac{(N_t + N)n}{(n_t - n)N} - 1 \quad [C1]$$

où

- R = Effet de régression (décimale)
- n = Nombre d'années de données sur les collisions recueillies
- N = Nombre de collisions au site en années « n »
- $N_t = m^2/(v-m)$
- $n_t = m/(v-m)$

a = moyenne du taux de collisions pour un groupe d'intersections semblables

v = écart du taux moyen de collisions pour le groupe

Par exemple, si une intersection contrôlée par panneau d'arrêt à deux sens présentant un taux de 12 collisions en trois ans était munie d'arrêts toutes directions et que, dans la période de trois ans suivante, le taux de collisions était réduit à cinq, quelle part d'avantages en matière de sécurité serait attribuable à la régression vers la moyenne? Pour utiliser le facteur de correction, l'analyste doit réunir les données d'un groupe d'intersections similaires contrôlées par panneau d'arrêt à deux sens. En outre, on découvre que la fréquence moyenne des collisions pour le groupe est de deux collisions/année, et un écart de 0,2. Par conséquent,

$$N = 12$$

$$n = 3$$

$$N_t = (2*2)/0,2-2 = -2,22$$

$$n_t = 2/(0,2-2) = -1,11$$

$$R = \frac{(-2,22 + 12)3}{(-1,11 - 3)12} - 1 = 0,29$$

L'effet de régression vers la moyenne est estimé à 29 %. Le FMC est donc calculé de la façon suivante :

$$\text{FMC} = \frac{5 \text{ collisions/année « après »}}{12 \text{ collisions/année « avant »} \times (1-0,029) \text{ correction pour régression vers la moyenne}} = 0,59$$

Sans la correction à l'égard de la régression vers la moyenne, le FMC aurait été surestimé à 0,42.

Rédaction d'un document technique

La présente section de la synthèse n'a pas pour objectif d'expliquer en détail les éléments nécessaires à la rédaction d'un rapport. La grammaire et la langue de rédaction ne s'inscrivent certainement pas dans les sujets abordés dans ce document. L'objectif des présentes consiste plutôt à donner au lecteur une compréhension des éléments essentiels d'un document de recherche ainsi que certaines suggestions touchant l'organisation de son contenu.

Pour qu'un document scientifique représente une certaine valeur aux yeux des membres de la communauté de la sécurité routière, chercheurs ou praticiens, il doit donner suffisamment de renseignements pour leur permettre de vérifier les observations, de refaire les études (au besoin) et d'évaluer les processus intellectuels.

Les éléments essentiels d'un document scientifique de qualité sont incontestablement les suivants :

- *Introduction : En quoi consiste le problème ou l'aspect traité?*
- *Matériels et méthodes : Comment le problème a-t-il été étudié?*
- *Résultats : Quels sont les résultats obtenus?*
- *Discussion : Que signifient les résultats?*

L'introduction comprend généralement un examen de la documentation sur le sujet. Ce qui, comme nous l'avons mentionné à l'annexe A, constitue un élément essentiel à l'établissement du lien de causalité. Cet élément est habituellement présent dans les documents portant sur la sécurité routière.

Souvent c'est la partie portant sur les « matériels et méthodes » qui laisse à désirer. Ce sont surtout la méthode de sélection des sites et les limites liées à un choix non aléatoire des sites (ce qui est souvent le cas) qui sont omis de la documentation sur la sécurité routière. Il a été clairement établi que l'étude des interventions dans des sites choisis en fonction d'une fréquence de collisions anormalement élevée entraîne une surestimation de l'efficacité de l'intervention, en raison des effets de régression vers la moyenne. L'évaluation et l'application de résultats de recherche qui ne reposent pas sur des méthodes et matériels significatifs nuisent énormément au travail sur la sécurité routière des praticiens. Dans le pire des scénarios, des résultats erronés ne pouvant être déchiffrés en raison d'un manque d'information sur les méthodes de recherche pourraient servir à la prise de décisions en matière de sécurité routière.

Étant donné que de nombreux praticiens seront rarement en mesure d'utiliser les méthodes les plus récentes et les plus rigoureuses, une partie importante de la documentation consiste en un débat sur les limites des méthodes de recherche utilisées.

Annexe D :
Annexe D :
Comment utiliser les
Comment utiliser les
fonctions d'efficacité de la
fonctions d'efficacité de la
sécurité
sécurité

ANNEXE D – COMMENT UTILISER LES FONCTIONS D'EFFICACITÉ DE LA SÉCURITÉ

La tendance actuelle en matière de recherche sur la sécurité et d'évaluation consiste à utiliser les équations de prédiction des collisions, également connues sous le nom de fonctions d'efficacité de la sécurité (FES), afin d'estimer la fréquence de collisions à long terme d'un réseau. Les FES peuvent prendre diverses formes, la plus élémentaire reposant sur les débits de circulation à titre de variable indépendante et sur la fréquence des collisions comme variable dépendante. Les équations D1 et D2 ci-dessous constituent des exemples de FES élémentaires, respectivement pour des tronçons de routes et des intersections.

$$N = a \text{ DJM}^b \quad \text{[D1]}$$

$$N = a \text{ DJM}_p^b \text{ DJM}_s^c \quad \text{[D2]}$$

où

N = Collisions/année/km (équation D1); collisions/année (équation D2)

DJM = Débit journalier moyen

DJM_p = Débit journalier moyen de la route principale

DJM_s = Débit journalier moyen de la route secondaire

a, b, c = constantes dérivées de la régression

Les FES sont élaborées au moyen de l'examen des enregistrements de collisions et de débits dans une catégorie de routes ou d'intersections. Par exemple, des intersections à trois embranchements contrôlées par un arrêt toutes directions dans un milieu urbain peuvent se trouver dans une catégorie d'intersections pour laquelle des FES ont été élaborées. En utilisant les techniques appropriées relatives à la régression, les données provenant de toutes les intersections dans cette catégorie peuvent servir à déterminer la fréquence attendue de collisions pour ce groupe d'installations.

Compilation des résultats des FES aux comptes de collisions

Si le compte des collisions survenues à un site ou à une installation n'est pas disponible, les résultats tirés des FES constituent la meilleure estimation du compte de collisions à long terme. Par exemple, si l'on propose de munir de feux une intersection qui ne l'était pas, on peut utiliser les FES à l'égard des intersections à feux et les projections du débit de circulation pour estimer le compte de collisions. Cependant, si le compte de collisions est disponible, on doit le prendre en considération lorsque vient le temps de déterminer le compte de collisions attendu à long terme pour l'installation.

La fréquence attendue telle qu'elle est déterminée par les FES constitue une estimation de la sécurité de l'installation mais, pour obtenir une meilleure estimation de la sécurité d'un emplacement existant, on doit tempérer les résultats du calcul des FES avec le compte réel observé au site. Prenons l'exemple suivant : selon les FES relatives aux artères rurales à deux voies, la fréquence attendue de collisions pour l'artère « X » est de 1,2 collisions/km/année, alors que le taux réel enregistré pour l'artère « X » au cours des trois dernières années indique 2,6 collisions/km/année. Quelle est l'estimation correcte de la sécurité à long terme? Aucune – les deux éléments d'information doivent être compilés afin de donner la meilleure estimation de la sécurité.

Les FES produisent la fréquence moyenne de collisions attendues pour des installations du type précisé; le compte de collisions de l'installation en particulier constitue un indice de la sécurité pour cet emplacement. En compilant les deux éléments d'information, nous obtenons la meilleure estimation de la sécurité de l'installation. Pour joindre ces deux nombres, on doit tenir compte des éléments suivants :

- la fiabilité des FES (quelle est leur efficacité dans la prédiction de la fréquence des collisions?),
- le nombre d'années de données sur les collisions recueillies au site en particulier.

En utilisant ces deux facteurs, on peut déterminer l'importance qu'il faut accorder au compte réel de collisions et celle à donner au compte de collisions prévu ou attendu. Dans le processus d'étalonnage de la régression, la moyenne et l'écart de l'estimation de la régression peuvent servir à déterminer le coefficient de surdispersion « k ». Pour obtenir de plus amples explications au sujet de « k » et de la modélisation statistique à cet égard, veuillez consulter d'autres sources [Hauer, 1997].

$$NA = w RF + (1-w) N/n \quad [D3]$$

$$w = k / \{ k + (n RF) \} \quad [D4]$$

où

- NA = Nombre de collisions/année attendu
- RF = Résultat obtenu des FES
- k = Mesure statistique de la surdispersion associée aux FES
- N = Nombre réel de collisions
- n = Nombre d'années de données sur les collisions

À mesure que le nombre d'années de données sur les collisions survenues au site étudié augmente, l'importance placée sur le compte de collisions mesuré provenant de rapports sur les collisions de véhicules à moteur augmente également.

Exemple

Voici un exemple de la façon d'utiliser cette méthodologie. Une intersection sans feux possède les caractéristiques suivantes :

$$FES = 0,0044 DJM_p^{0,64} DJM_s^{0,17} \quad [D5]$$

où

- $k = 0,766$
- $DJM_p = 8\ 000$
- $DJM_s = 4\ 000$
- Compte des collisions enregistré = 12 collisions dans les 5 dernières années (2,4 collisions/année)

Si l'on propose de pourvoir l'intersection de feux, les incidences sur la sécurité de cette mesure sont déterminées de la façon suivante :

$$\begin{aligned} \text{Sans feux : } FES &= 0,0044 (8\ 000)^{0,64} (4\ 000)^{0,17} = 5,7 \text{ collisions/année} \\ w &= 0,766 / (0,766 + (5 \times 5,7)) = 0,026 \\ \text{Collisions/année} &= (0,026 * 5,7) + (1 - 0,026) * 12 / 5 = 2,5 \text{ collisions/année} \end{aligned}$$

Si les FES à l'égard d'une intersection à feux sont :

$$FES = 0,044 DJM_p^{0,34} DJM_s^{0,16} \quad [D6]$$

où $k = 0,812$

La fréquence de collisions attendue avec feux serait :

$$FES = 0,044 (8\ 000)^{0,34} (4\ 000)^{0,16} = 3,5 \text{ collisions/année}$$

Étant donné qu'il n'y a pas de compte de collisions associé à cette intersection avec feux, le résultat des FES constitue la meilleure estimation du compte de collisions pour cette intersection.

D'après l'analyse ci-dessus, on peut s'attendre à ce que la pose de feux à cette intersection en particulier résulte en une augmentation de 40 % de la totalité des collisions (2,5 collisions/année alors qu'elle n'était pas pourvue de feux et 3,5 collisions/année attendues en présence d'un contrôle par feux).

Intégrer la gravité des collisions

Dans l'exemple ci-dessus, l'augmentation de la fréquence des collisions peut être associée à un changement du type de collisions et, qui sait, à la gravité des collisions. S'il n'existe pas différentes FES élaborées pour les divers degrés de gravité des collisions, l'analyste doit alors en déterminer la distribution par d'autres moyens.

Le procédé habituel pour ce faire consiste à déterminer la distribution moyenne des divers degrés de gravité des collisions en fonction des installations à l'étude. Si l'on reprend l'exemple ci-dessus, il a été établi que la distribution moyenne de la gravité des collisions pour des intersections sans feux et avec feux était la suivante :

Gravité des collisions	Proportion de l'ensemble des collisions (%)	
	Sans feux	Avec feux
DMS	73,9	77,0
Blessures	25,0	22,7
Décès	1,1	0,3

Donc, d'après l'exemple ci-dessus, la fréquence des collisions en fonction de la gravité est distribuée de la façon suivante :

Sans feux :
 DMS = $2,5 \times 0,739 = 1,85$ collisions/année
 Blessures = $2,5 \times 0,25 = 0,63$ collisions/année
 Décès = $2,5 \times 0,011 = 0,03$ collisions/année

Avec feux :
 DMS = $3,5 \times 0,77 = 2,70$ collisions/année
 Blessures = $3,5 \times 0,227 = 0,79$ collisions/année
 Décès = $3,5 \times 0,003 = 0,01$ collisions/année

Les résultats de cette analyse plus détaillée indiquent que les feux de circulation proposés, même s'ils augmentaient le nombre de collisions, réduiraient l'incidence des collisions mortelles. On peut alors avoir recours à des valeurs de société acceptées à l'égard des divers degrés de gravité des collisions afin d'évaluer le bien-fondé de la pose de feux de circulation.

Étalonnage des FES pour différents territoires

Les FES élaborées pour un territoire en particulier ne peuvent pas nécessairement être appliquées directement à tous les territoires. Des différences locales à l'égard du milieu, de la déclaration des collisions, des normes de conception et des exigences relatives aux

permis de conduire ne représentent que quelques exemples des conditions pouvant nuire à la transférabilité des FES. La procédure actuelle recommandée en matière d'étalonnage des FES aux fins d'utilisation locale est décrite par Harwood et coll. (2000).

Il s'agit essentiellement d'élaborer un facteur d'étalonnage pour chacune des FES, qui est un multiplicateur devant être intégré aux FES.

$$N = \hat{E}_f [a \text{ DJM}_{\text{principale}}^b \text{ DJM}_{\text{secondaire}}^c] \quad [D7]$$

où

- N = Nombre de collisions
- \hat{E}_f = Facteur d'étalonnage pour le type d'intersection
- $\text{DJM}_{\text{principale}}, \text{DJM}_{\text{secondaire}}$ = Débit journalier moyen
- a, b, c = Constantes dérivées de la régression

La forme la plus élémentaire du facteur d'étalonnage pour les intersections est déterminée en suivant les étapes suivantes :

- Relever un échantillon aléatoire d'intersections correspondant aux FES disponibles (p. ex. intersections en milieu urbain, à trois embranchements, sans feux). Des échantillons plus larges produiront des facteurs d'étalonnage plus fiables, mais seront également plus coûteux.
- En utilisant les $\text{DJM}_{\text{secondaire}}$ pour les routes secondaires ainsi que les FES empruntées, calculer le nombre total de collisions attendu (N_{attendu}) pour toutes les intersections composant l'échantillon.
- Calculer la somme de toutes les collisions ($N_{\text{réel}}$) qui se sont réellement produites aux intersections composant l'échantillon.
- Calculer le facteur d'étalonnage (\hat{E}_f) en divisant le N_{attendu} par le $N_{\text{réel}}$.

Il est important que l'échantillon soit représentatif des divers paramètres géométriques et conditions de circulation propres au type d'intersection sélectionné. La stratification de l'échantillon peut aider à cet égard. Harwood et coll. (2000) suggèrent que les échantillons contiennent au moins 100 intersections lorsqu'il s'agit de carrefours contrôlés par panneaux d'arrêt et 25 intersections pour ce qui est des carrefours contrôlés par feux de circulation.

Il est possible d'effectuer un échantillonnage au moyen de méthodes plus élaborées ou de données supplémentaires, mais cette méthode n'est pas expliquée dans les présentes, pas plus que l'échantillonnage des FES pour les tronçons de route. Les analystes qui désirent approfondir leurs connaissances en matière d'étalonnage et de transférabilité des FES sont invités à consulter Harwood et coll. (2000), et à surveiller la recherche que mène actuellement la United States Federal Highway Administration en vue d'un modèle interactif de conception de routes en toute sécurité (Interactive Highway Safety Design Module, IHSDM).