

**ÉVALUATION DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE  
DU CONCEPT RÉVISION 1.1. –  
PROJET DE RECONSTRUCTION  
DU COMPLEXE TURCOT**



740, rue Notre-Dame Ouest, bureau 900  
Montréal (Québec)  
H3C 3X6  
Tél. : (514) 337-2462  
Fax : (514) 281-1632

*En collaboration avec :*



Projet no : 605295  
Mars 2009

## ÉQUIPE DE RÉALISATION DU PROJET

**François Godard, ing.**  
Directeur de projet

### Équipe de CIMA+


Chantal Dagenais, ing., M.Ing.  
Sébastien Labonté, géog., M.Sc.  
Alexandre Nolet, ing. jr  
Myriam Deschênes, urb.-stag., D.E.S.S.  
Denis Montpetit, tech.

### Équipe de Synectics

Hossein Zarei, MA Sc.  
Alizera Hadayeghi, P.Eng., candidat au  
doctorat, vice-président  
Brian Malone, P.Eng, PTOE, président

Préparé par :   
**Sébastien Labonté, géog., M.Sc.**  
Analyste en transport et sécurité routière

Date : 17 mars 09

Vérifié par :   
**Chantal Dagenais, ing., M.Ing.**  
Chargée de projet  
No membre OIQ : 111 882

Date : 17 mars 09

REGISTRE DES ÉMISSIONS ET RÉVISIONS		
IDENTIFICATION	DATE	DESCRIPTION DE L'ÉMISSION ET/OU DE RÉVISION
Émission 01	2009-03-13	Pour commentaires
Émission 02	2009-03-17	Dépôt final

## TABLE DES MATIÈRES

	Page
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1 MISE EN CONTEXTE .....	1
1.2 LE MANDAT .....	2
1.3 LE TERRITOIRE À L'ÉTUDE .....	2
1.4 LA MÉTHODOLOGIE UTILISÉE .....	4
1.5 COLLECTE DE DONNÉES .....	4
1.6 VISITE DE TERRAIN .....	6
<b>2. DESCRIPTION DU CONCEPT DE LA RÉVISION 1.1.....</b>	<b>7</b>
<b>3. SYNTHÈSE DE L'AUDIT EN SÉCURITÉ ROUTIÈRE – SCÉNARIO 4.....</b>	<b>9</b>
<b>4. ÉLABORATION DE LA MÉTHODE D'ÉVALUATION.....</b>	<b>10</b>
4.1 CHOIX D'UNE MÉTHODE D'ÉVALUATION .....	10
4.2 DESCRIPTION DE LA MÉTHODE D'ÉVALUATION EMPIRIQUE BAYESIENNE.....	11
4.3 SYNTHÈSE DE LA RECHERCHE DE LITTÉRATURE.....	15
<b>5. ÉVALUATION DU NIVEAU DE SÉCURITÉ.....</b>	<b>17</b>
5.1 FONCTIONS DE PERFORMANCE DE SÉCURITÉ CHOISIES .....	17
5.2 FACTEURS DE MODIFICATION DES ACCIDENTS SÉLECTIONNÉS .....	21
5.3 LIMITES DE LA MÉTHODE D'ANALYSE .....	22
5.4 FORMULES UTILISÉES POUR LA MÉTHODE EMPIRIQUE BAYESIENNE.....	23
5.5 INTÉGRATION DES DONNÉES AU MODÈLE .....	25

<b>6.</b>	<b>PRÉSENTATION DES RÉSULTATS.....</b>	<b>26</b>
6.1	MÉTHODE DE COMPARAISON .....	26
6.2	UTILITAIRE DE CALCUL .....	26
6.3	ANALYSE DES RÉSULTATS .....	26
6.4	RÉSULTATS .....	33
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>34</b>



## TABLEAUX

Tableau 1.1 :	Description des intrants .....	5
Tableau 5.1 :	coefficients reliés aux FPS – accidents totaux pour les tronçons autoroutiers.....	18
Tableau 5.2 :	coefficients reliés aux FPS – accidents avec dommages corporels seulement pour les tronçons autoroutiers .....	18
Tableau 5.3 :	coefficients reliés aux FPS – accidents totaux pour les bretelles d'échangeurs.....	19
Tableau 5.4 :	coefficients reliés aux FPS – accidents avec dommages corporels seulement pour les bretelles d'échangeurs.....	20
Tableau 5.5 :	coefficients reliés aux FPS – accidents totaux pour les voies d'accélération/décélération.....	20
Tableau 5.6 :	coefficients reliés aux FPS – accidents avec dommages corporels seulement pour les voies d'accélération/décélération .....	21

## FIGURES

Figure 1.1 :	Territoire et secteurs à l'étude .....	3
Figure 2.1 :	Concept de la révision 1.1 .....	8
Figure 4.1 :	Relation entre le nombre d'accidents observé au site et le nombre d'accidents estimé selon la méthode EB.....	13
Figure 4.2 :	Relation entre le nombre d'accidents estimé pour la géométrie actuelle et celui pour la révision 1.1 selon la méthode EB.....	14

## ANNEXES

<b>ANNEXE A</b>	<b>SOMMAIRE DES RÉFÉRENCES UTILISÉES POUR LES FMA</b>
<b>ANNEXE B</b>	<b>SYNTHÈSE DES FACTEURS DE MODIFICATION DES ACCIDENTS SÉLECTIONNÉS</b>
<b>ANNEXE C</b>	<b>TRAITEMENTS ET MANIPULATIONS DES DONNÉES</b>
<b>ANNEXE D</b>	<b>EXEMPLES - REGROUPEMENT DE TRONÇONS FORMANT UN MOUVEMENT</b>
<b>ANNEXE E</b>	<b>ILLUSTRATION DES MOUVEMENTS</b>

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 MISE EN CONTEXTE

En 2004, le ministère des Transports du Québec (MTQ) a réalisé une étude des besoins concernant les infrastructures surélevées de l'échangeur Turcot et les autoroutes qui s'y croisent. L'étude a conclu qu'il est nécessaire d'intervenir en raison de l'état de dégradation avancé des structures. Par la suite, le consortium SNC-Lavalin / CIMA+, en collaboration avec Daniel Arbour et Associés, a été mandaté pour réaliser l'étude des solutions, laquelle a permis de développer plusieurs scénarios de reconfiguration ou de réparation de l'échangeur.

Parmi les scénarios développés par le consortium, il s'avère que la révision 1.1 répond le mieux aux besoins. Ce scénario propose l'abaissement du profil des voies surélevées étant donné qu'il n'est plus nécessaire de maintenir un tirant d'air de 85 pieds au-dessus du canal de Lachine. De plus, ce scénario permet de transposer les voies de l'autoroute 20 dans le sens habituel de la circulation et de désenclaver la cour Turcot.

En 2006, un audit en sécurité routière a été réalisé par la Direction de la sécurité en transport du MTQ. Cet audit portait sur l'analyse des aménagements élaborés au scénario 4. L'audit a permis de mettre en évidence certains aspects normatifs se rattachant au concept, lesquels pourraient influencer le niveau de sécurité sans toutefois se prononcer sur le niveau de sécurité anticipé. Suivant cet audit, le concept a été bonifié; cependant, il n'était pas possible de statuer sur le « gain » qu'offrirait le scénario en termes de sécurité routière. Depuis 2006, le concept a été modifié et le nouveau scénario à l'étude se nomme la révision 1.1.

Le projet de reconstruction du complexe Turcot étant assujéti aux processus d'évaluation environnementale tant au niveau provincial que fédéral, une étude d'impact sur l'environnement est requise et est présentement en cours. Dans le cadre de cette étude d'impact, des audiences publiques sont prévues. Afin de bien informer les participants aux audiences publiques des impacts de la révision 1.1 sur la sécurité routière, le MTQ désire estimer de façon quantitative le gain en sécurité. Étant donnée la complexité des aménagements proposés dans le complexe Turcot et, puisqu'il n'existe pas d'aménagements semblables pouvant servir de comparables pour quantifier le niveau de sécurité, il s'avère donc nécessaire d'élaborer une méthodologie d'évaluation adaptée aux particularités des réseaux routiers existants et proposés.

## 1.2 LE MANDAT

Ce mandat consiste à élaborer une méthodologie d'évaluation de la sécurité routière de la révision 1.1, basée à la fois sur l'historique des accidents et sur les commentaires provenant de l'audit de sécurité routière. Par la suite, le mandat vise à évaluer et comparer, de façon quantitative, le niveau de sécurité actuel des liens autoroutiers faisant partie du complexe Turcot ainsi que le niveau de sécurité anticipé de ceux planifiés dans la révision 1.1. Mentionnons que ce mandat ne prévoit pas l'évaluation du niveau de sécurité des liens faisant partie du réseau routier local compte tenu de la complexité de la méthode d'analyse et du nombre important de collectes de données nécessaires pour son application (enquête O/D pour les débits de circulation, localisation des accidents sur le réseau local, relevés des caractéristiques géométriques du réseau local, etc.).

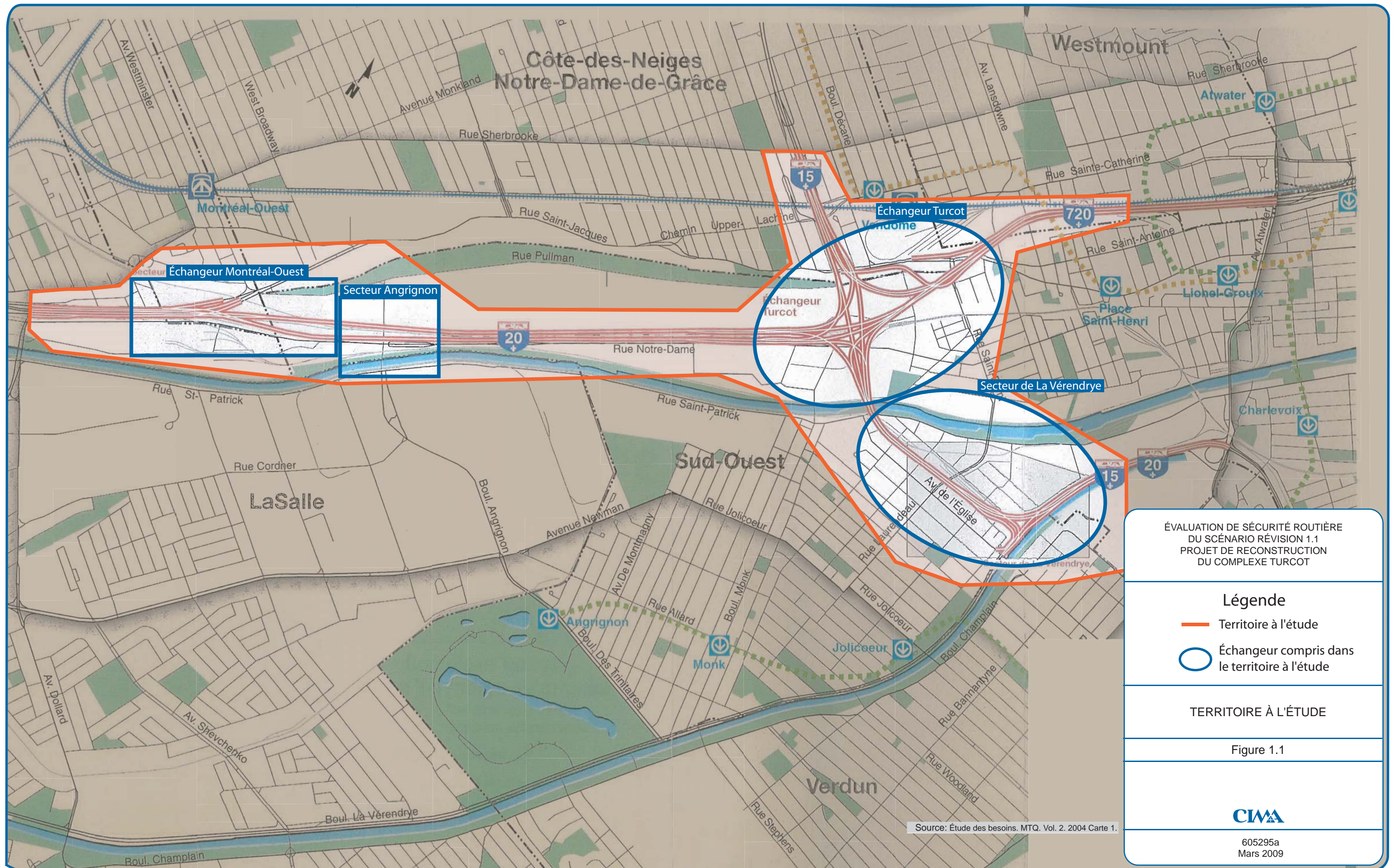
Pour mener à bien cette étude, le consortium a retenu les services du sous-traitant Synectics Transportation Consultants Inc., spécialisé en sécurité routière, notamment pour l'élaboration de la méthode d'évaluation.

## 1.3 LE TERRITOIRE À L'ÉTUDE

Le territoire à l'étude porte sur le réseau autoroutier du complexe Turcot, lequel englobe l'échangeur Turcot, le secteur de La Vérendrye, le secteur Angrignon ainsi que l'échangeur Montréal-Ouest.

La figure 1.1 illustre le territoire et les secteurs à l'étude.





ÉVALUATION DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE  
DU SCÉNARIO RÉVISION 1.1  
PROJET DE RECONSTRUCTION  
DU COMPLEXE TURCOT

Légende

- Territoire à l'étude
- Échangeur compris dans le territoire à l'étude

TERRITOIRE À L'ÉTUDE

Figure 1.1



605295a  
Mars 2009

Source: Étude des besoins. MTQ. Vol. 2. 2004 Carte 1.



## 1.4 LA MÉTHODOLOGIE UTILISÉE

La méthodologie utilisée pour l'accomplissement du présent mandat comprend la réalisation des activités décrites aux étapes ci-dessous :

### Étape 1 : Collecte de données

- Réunion de démarrage;
- Recueil des données nécessaires à la réalisation de l'étude;
- Prise de connaissance des études précédentes et de la base de données sur les accidents;
- Visite de terrain en compagnie des concepteurs, du client et du sous-traitant pour bien apprécier les changements proposés par le scénario .

### Étape 2 : Synthèse de l'audit de sécurité routière

- Synthèse des commentaires et observations identifiés dans le cadre de l'audit de sécurité;
- Identification des aménagements faisant l'objet d'inquiétudes et qui n'ont pas pu être modifiés suite à l'audit.

### Étape 3 : Élaboration de la méthodologie d'évaluation

- Identification d'une méthodologie d'évaluation adaptée aux besoins de l'étude;
- Description de la méthode;
- Recherche dans la littérature sur les fonctions de performance de sécurité et les facteurs de modification des accidents.

### Étape 4 : Évaluation du niveau de sécurité

- Segmentation du réseau routier;
- Identification des débits de circulation;
- Évaluation du niveau de sécurité actuel et anticipé.

### Étape 5 : Présentation des résultats

- Présentation des résultats et discussions;
- Création d'un utilitaire de calcul pour l'évaluation du niveau de sécurité.

## 1.5 COLLECTE DE DONNÉES

Pour mener à bien cette étude, plusieurs données ont été recueillies. Une synthèse des données recueillies est présentée au tableau 1.1.

TABLEAU 1.1 : DESCRIPTION DES INTRANTS

TYPE D'INTRANT	DESCRIPTION	SOURCE
Statistiques d'accidents	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Localisation et description des accidents recensés pour la période de 1994 à 1999 inclusivement pour le secteur à l'étude;</li> <li>▪ Fichier MapInfo : « Accidents9499-CIMA(061207) ».</li> </ul>	MTQ
Segmentation du réseau routier	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Segmentation du réseau routier à l'étude incluant à la fois les DJMA disponibles pour les années 1995, 2003 et 2016;</li> <li>▪ Indicateurs de sécurité calculés pour chacun des segments;</li> <li>▪ Fichier MapInfo : « SegComplexeTurcot (Nov2007) ».</li> </ul>	
Données géométriques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inventaires de la largeur des voies et accotements pour le réseau routier existant;</li> <li>▪ Fichier MapInfo : « IITComplexeTurcot ».</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rayons de courbure et vitesses sécuritaires pour le réseau routier existant et pour la révision 1.1.</li> </ul>	
Étude d'opportunité	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Complexe Turcot – De La Vérendrye – Angrignon (octobre 2004);</li> <li>▪ Rapport d'étape 2 préparé par le consortium SNC-Lavalin / CIMA+ en collaboration avec Daniel Arbour et Associés.</li> </ul>	
Inventaires des infrastructures routières	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Guide de codification des infrastructures de transports « voie de circulation » (version 3.2.1.)</li> </ul>	
Orthophotos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Orthophotos (Copyright 2005, Communauté Métropolitaine de Montréal) couvrant la totalité du Complexe Turcot – De La Vérendrye – Angrignon en format MapInfo et JPEG.</li> </ul>	
Repères Kilométriques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Repères kilométriques du Complexe Turcot – De La Vérendrye – Angrignon;</li> <li>▪ Fichier MapInfo : « borne_kilometrique ».</li> </ul>	
Rapport d'audit	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Audit du projet de réaménagement des échangeurs Turcot-De La Vérendrye Angrignon Montréal Ouest, Direction de la sécurité, novembre 2006.</li> </ul>	
Débits de circulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Taux de croissance des débits de circulation pour le réseau autoroutier de Montréal</li> </ul>	
Réponse Audit de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Études complémentaires et avant-projet préliminaire sommaire, août 2007.</li> </ul>	CIMA+ / SNC / MTQ
Plans de conception	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plans datés 2007-08-30 de la révision 1.1.</li> </ul>	
Débits de circulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Débits de circulation réaffectés et balancés pour le réseau actuel (2006 et 2016) et pour le concept révision 1.1 ( 2016)</li> </ul>	

## 1.6 VISITE DE TERRAIN

Une visite de terrain du secteur à l'étude a été réalisée le 29 octobre 2007.

Préalablement à la visite, l'équipe de conception a présenté les plans d'aménagement proposés. Par la suite, une visite guidée a permis d'échanger sur les problèmes de sécurité connus ainsi que sur l'impact des modifications proposées sur le terrain.

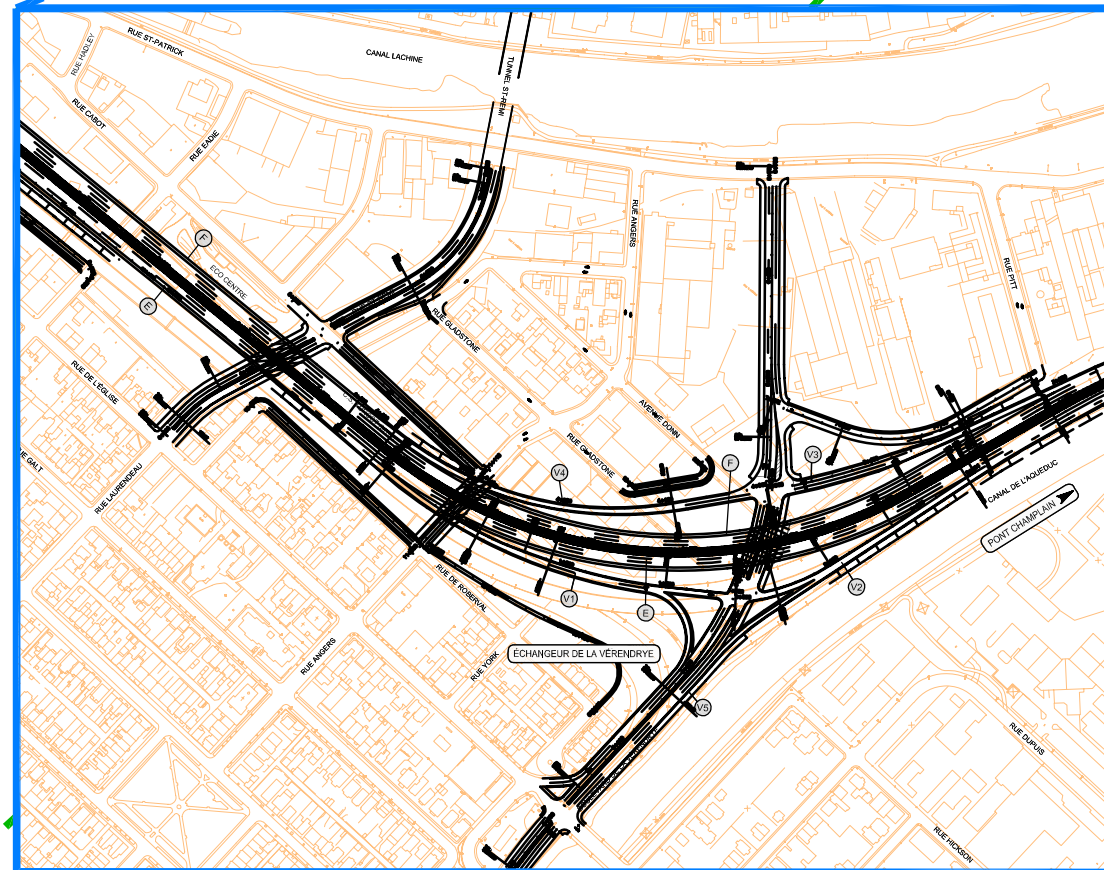
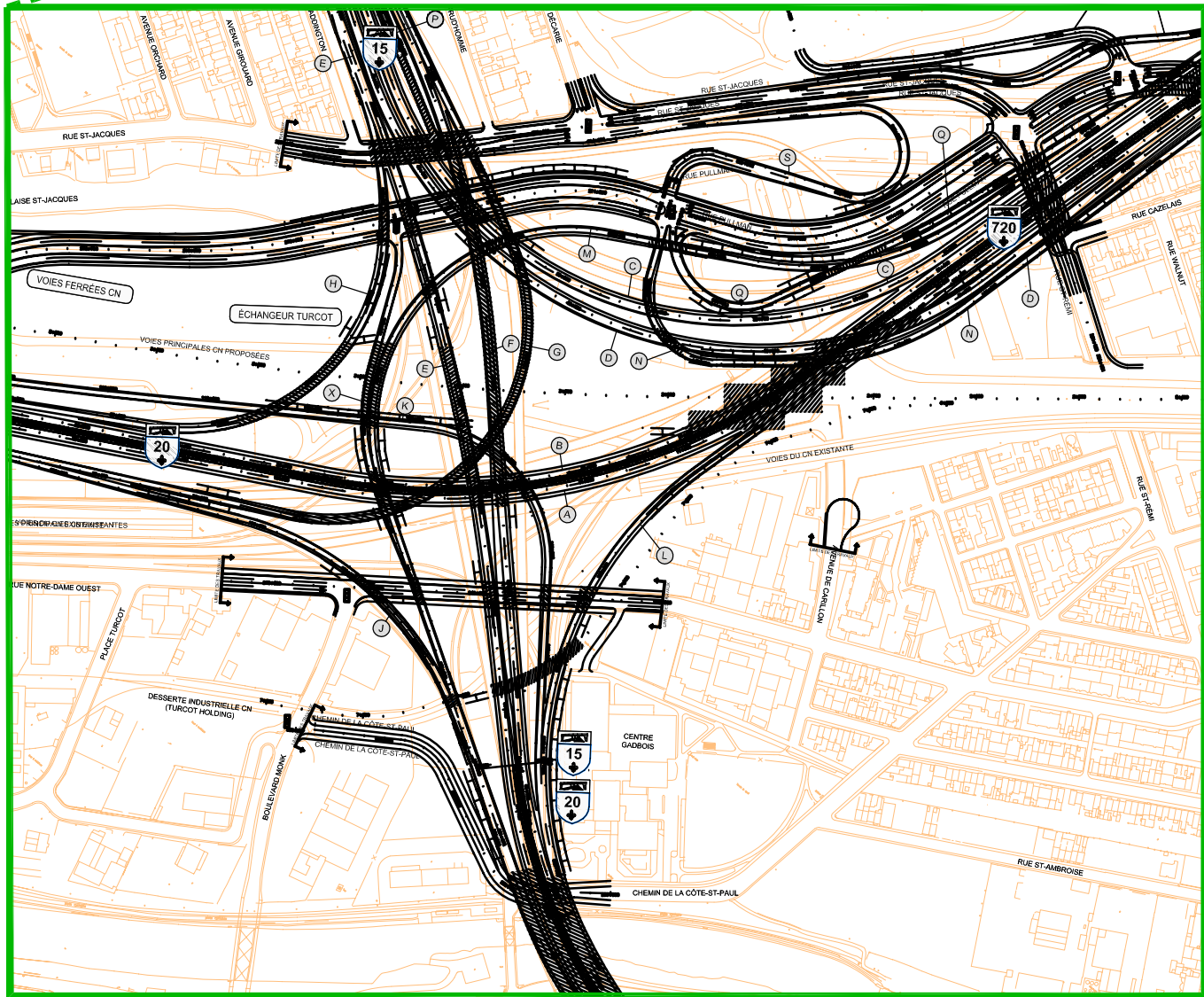
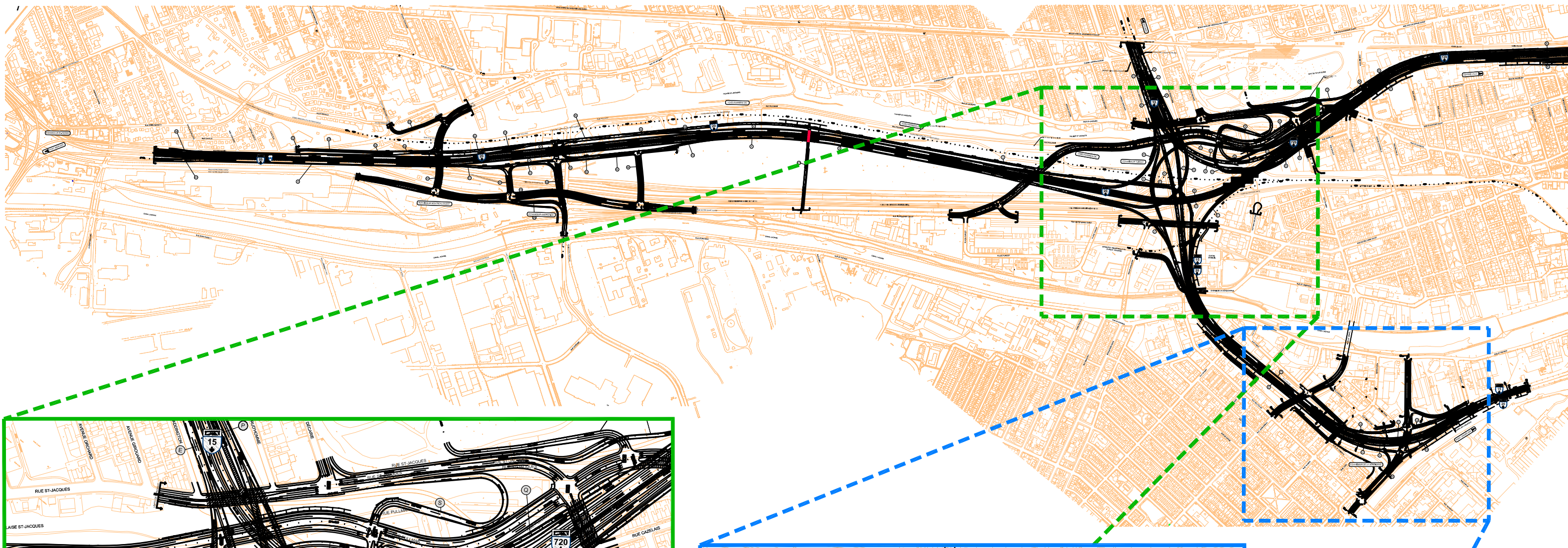
## 2. DESCRIPTION DU CONCEPT DE LA RÉVISION 1.1

Le concept de la révision 1.1 constitue une reconstruction complète du complexe Turcot avec plus de 90 % des nouvelles voies de circulation qui sont construites sous le niveau des structures existantes tout en maintenant le nombre actuel de voies de circulation sur tous les axes autoroutiers du Complexe. Les principales caractéristiques sont :

- Le corridor de l'autoroute 20 et les voies ferrées du CN sont relocalisés au pied de la falaise Saint-Jacques et ce, entre l'échangeur Turcot et l'échangeur Montréal-Ouest (les voies de circulation de l'autoroute 20 sont transposées dans le sens traditionnel);
- L'échangeur Turcot est construit principalement au sol ou sur des matériaux de remblai (seules quelques bretelles sont en structure de béton armé);
- La reconstruction de l'échangeur de La Vérendrye est effectuée en remblai et décalée de 100 % vers le Nord; de plus une nouvelle bretelle est ajoutée du côté Nord-Ouest près du canal de l'Aqueduc;
- L'échangeur Angrignon est relocalisé de part et d'autre de la structure existante; les bretelles d'entrée et de sortie Angrignon sont construites à droite de l'autoroute 20 direction Est et Ouest;
- L'échangeur Montréal-Ouest est reconstruit au niveau du sol et une nouvelle bretelle de sortie Angrignon est construite à droite de l'autoroute 20 direction Est;
- L'échangeur de l'autoroute 720 est abaissé jusqu'à la courbe à l'Est de la rue de Courcelle et des viaducs sont prévus au croisement des rues municipales.

La figure 2.1 illustre les aménagements proposés.





ÉVALUATION DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE  
DU SCÉNARIO RÉVISION 1.1  
PROJET DE RECONSTRUCTION  
DU COMPLEXE TURCOT

CONCEPT DU SCÉNARIO  
RÉVISION 1.1  
VERSION OPTIMISÉE

Figure 2.1



### 3. SYNTHÈSE DE L'AUDIT EN SÉCURITÉ ROUTIÈRE – SCÉNARIO 4

Cette section présente une synthèse des commentaires et inquiétudes mises en évidence dans le cadre de l'audit de sécurité routière, lequel a été réalisé par une équipe d'ingénieurs provenant du MTQ, de la pratique privée et du milieu universitaire. Cet audit portait sur la version portant le nom scénario 4.

Les principales observations ont trait aux aspects énumérés ci-dessous:

- Faibles rayons de courbure;
- Pententes ascendantes ou descendantes importantes;
- Localisation d'un musoir dans une courbe;
- Courte longueur des biseaux;
- Courte distance entre les musoirs;
- Bretelle de sortie située du côté gauche;
- Faibles valeurs du paramètre  $k$ ;
- Courtes distances dans les zones de divergence, de convergence et d'entrecroisement;
- Présence de courbes en S;
- Alignement des bretelles.

Selon le rapport de réponse à l'audit, préparé par l'équipe des concepteurs du consortium, tous ces aspects ont été traités soit en optimisant le profil ou bien en modifiant la géométrie du concept. Toutefois, certains aménagements faisant l'objet d'inquiétudes n'ont pas été modifiés suivant l'audit. Ces aménagements sont décrits ci-dessous :

#### Sur la voie H (A15 Sud vers A20 Ouest)

- Rayon de la courbe horizontale qui est réduit de 213 à 190 m.

#### Sur la voie K (A15 Nord vers A20 Ouest)

- Rayon de la courbe horizontale qui est réduit de 146 m à 130 m;
- Présence d'une pente descendante de 6%.

L'intégration de ces observations dans le développement de la méthodologie d'évaluation s'avère importante afin de s'assurer que la présente étude puisse en évaluer l'impact sur la sécurité.

## 4. ÉLABORATION DE LA MÉTHODE D'ÉVALUATION

Cette section présente tout d'abord les raisons qui justifient l'emploi d'une méthode d'évaluation empirique bayésienne (EB) pour mesurer le niveau de sécurité des installations routières. Par la suite, une description de cette méthode est présentée. Enfin, les résultats de la revue de littérature concernant les paramètres de calcul de la méthode EB sont présentés.

### 4.1 CHOIX D'UNE MÉTHODE D'ÉVALUATION

Au Québec, l'évaluation du niveau de sécurité d'une infrastructure s'effectue principalement à l'aide d'indicateurs tels que la fréquence d'accidents et les taux d'accidents. La fréquence des accidents se mesure sur une période de temps donnée; toutefois, elle ne permet pas de considérer l'exposition au risque, c'est-à-dire, la longueur des tronçons et les débits véhiculaires. Pour considérer l'exposition au risque, la méthode des taux d'accidents est employée.

La formule représentant le taux d'accident à un site donné est décrite ci-dessous :

$$T = \frac{f \cdot 10^6}{365,25 \cdot PLQ}$$

Où

T = Taux d'accidents au site  
f = Nombre d'accidents au site  
P = Période d'analyse (années)  
L = Longueur de la section (km)  
Q = Débit journalier moyen annuel au site (DJMA)

Toutefois, il est reconnu que ces méthodes traditionnelles n'offrent pas le meilleur niveau de précision et ce, pour les raisons suivantes :

- Les variations aléatoires reliées au phénomène de la régression vers la moyenne ne sont pas considérées;
- Le rapport de la fréquence des accidents sur l'exposition n'est généralement pas linéaire;
- L'écart-type peut être très grand lorsque le taux est calculé pour des sites où peu d'accidents sont recensés.

Avec l'importance que représente le complexe Turcot dans le réseau routier de la région métropolitaine, il s'avère primordial de s'assurer que le concept retenu offre un niveau de sécurité optimal aux usagers. Actuellement, la méthode d'analyse reconnue par l'ensemble des praticiens en sécurité routière au Canada comme étant la plus précise pour estimer de façon quantitative la performance en sécurité d'une intervention routière est la méthode d'évaluation empirique bayésienne (EB).

Pour utiliser une telle méthode, deux requis sont nécessaires, à savoir :

1. Des données d'accidents localisées sur le réseau autoroutier;
2. Des modèles de prédiction des accidents représentatifs du complexe Turcot ou bien des modèles développés à partir des statistiques d'accidents provenant du réseau autoroutier montréalais.

En ce qui concerne la première condition, le MTQ a déjà localisé géographiquement les accidents sur le réseau routier du complexe Turcot.

Quant au deuxième requis, il n'est pas possible de développer des modèles de prédiction en utilisant les statistiques d'accidents provenant du réseau autoroutier montréalais compte tenu du court délai d'exécution de ce mandat. Toutefois, une vérification rapide dans la littérature a permis d'identifier des modèles de prédiction d'accidents représentatifs pour le complexe Turcot.

En conséquence, l'utilisation d'une méthode empirique bayésienne s'avère possible et réalisable selon l'échéancier d'exécution proposé par le MTQ.

#### **4.2 DESCRIPTION DE LA MÉTHODE D'ÉVALUATION EMPIRIQUE BAYSESIENNE**

La méthode EB est basée sur la combinaison de deux données qui permettent d'obtenir un « nombre d'accident estimé ». Ces deux données sont :

1. Le nombre d'accidents observé au site (estimateur classique);
2. Le nombre d'accidents moyen pour des sites similaires (population de référence).

Notons que la fréquence d'accidents moyenne de la population de référence est établie à l'aide de modèles de prédiction d'accidents aussi appelés « fonctions de performance de sécurité » (FPS).

### FORMULES DE CALCUL

Le nombre d'accidents estimé ( $f_{EB}$ ) selon la méthode EB se calcule de la façon indiquée ci-dessous. Notons que cette formule représente une version simplifiée de la méthode permettant de comprendre le lien entre les deux sources d'information combinées. La formule utilisée dans le cadre de cette étude est présentée, de façon plus détaillée, au chapitre 5.

$$f_{EB} = W * f_P + (1-W) * f$$

Où

$f_{EB}$  = Nombre d'accidents estimé

$w$  = Facteur de pondération (poids)

$f_P$  = Nombre d'accidents prédit selon la  
FPS

$f$  = Nombre d'accidents observés au site

Par ailleurs, le calcul du poids «  $w$  » s'effectue ainsi :

$$w = \frac{K}{K + (n * FPS)}$$

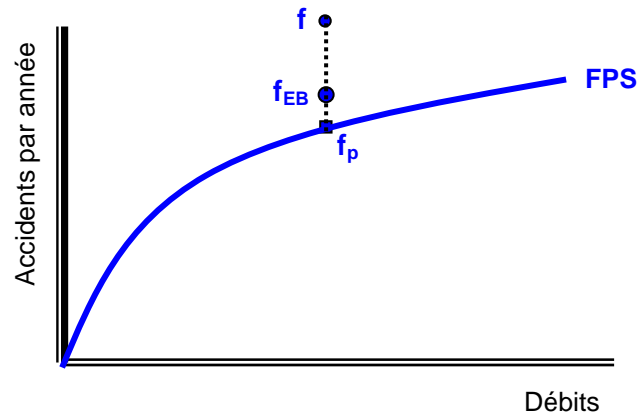
Où :

$k$  = Paramètre de sur-dispersion (constante  
établie)

$n$  = Nombre d'années

La figure 4.1 ci-dessous illustre de façon graphique la méthode empirique bayésienne.

FIGURE 4.1 : RELATION ENTRE LE NOMBRE D'ACCIDENTS OBSERVÉ AU SITE ET LE NOMBRE D'ACCIDENTS ESTIMÉ SELON LA MÉTHODE EB



Selon cette figure, le nombre d'accidents observé pour un site donné correspond à la valeur  $f$ . La fonction de performance de sécurité, représentée par la courbe, permet de connaître le nombre d'accidents prédit d'une population de référence  $f_p$  pour un débit équivalent. En combinant les deux valeurs,  $f$  et  $f_p$ , il est possible d'obtenir le nombre d'accidents estimé  $f_{EB}$  selon la méthode EB.

Notons que c'est la valeur  $f_{EB}$  qui détermine, de façon plus juste, le niveau de sécurité à long terme d'un aménagement. En effet, selon le manuel de sécurité routière de l'AIPCR, il est indiqué que les décisions d'intervention en sécurité devraient être prises par les praticiens et décideurs à partir de la fréquence d'accidents estimé puisqu'elle constitue la meilleure approximation de la fréquence d'accidents à long terme<sup>1</sup>.

#### CALCUL DU GAIN OU DE LA PERTE EN SÉCURITÉ ENTRE LA GÉOMÉTRIE ACTUELLE ET LA RÉVISION 1.1

L'estimation du gain ou de la perte en sécurité est réalisée en comparant le nombre d'accidents estimé pour la géométrie actuelle avec celui estimé pour la révision 1.1. L'année de référence pour la comparaison est établie à 2016, année où le projet sera complété.

1. Manuel de sécurité routière, Association mondiale de la Route, AIPCR, 2003 p. 120.

### ASPECTS À CONSIDÉRER DANS L'ÉVALUATION

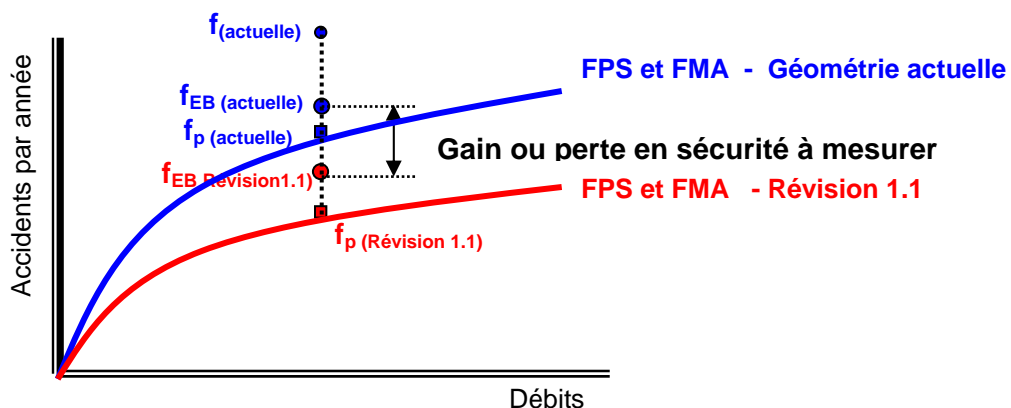
Les FPS sont développées à partir des modèles statistiques qui considèrent l'exposition ainsi que certaines caractéristiques géométriques, notamment le type de milieu, le nombre de voies, le type d'échangeur etc.). Par contre, les FPS ne considèrent pas toutes les caractéristiques géométriques qui influencent le niveau de sécurité du complexe Turcot, à savoir :

- Largeur intérieure et extérieure des accotements et des voies de circulation;
- Nombre et longueur des zones de convergence, divergence et d'entrecroisement;
- Alignements horizontal et vertical;
- Dévers;
- Longueurs des biseaux.

Pour pallier à cette situation, il est nécessaire d'intégrer dans les FPS des facteurs de modification des accidents (FMA). Ces FMA sont développés à partir d'études « avant-après » qui permettent d'établir le ratio entre la fréquence d'accidents mesurée après une intervention sur la fréquence d'accident mesurée avant une intervention. Par conséquent, tous les FMA sont multipliés à une FPS pour représenter un modèle représentatif des conditions.

Une illustration de cette approche est présentée à la figure 4.2.

FIGURE 4.2 : RELATION ENTRE LE NOMBRE D'ACCIDENTS ESTIMÉ POUR LA GÉOMÉTRIE ACTUELLE ET CELUI POUR LA RÉVISION 1.1 SELON LA MÉTHODE EB



Selon la figure précédente, le nombre d'accidents estimé  $f_{EB}$  pour la géométrie actuelle est illustré en bleu. En rouge, est illustré le nombre d'accidents estimé  $f_{EB}$  pour la révision 1.1. La différence entre le nombre d'accidents estimé pour la situation actuelle et celui calculé pour la révision 1.1 constitue donc le gain ou la perte en sécurité à mesurer.

#### 4.3 SYNTHÈSE DE LA RECHERCHE DE LITTÉRATURE

Une recherche dans la littérature a été réalisée pour identifier des FPS et FMA applicables pour le réseau autoroutier montréalais.

Lors d'un mandat réalisé pour le ministère des Transports de l'Ontario en 2004, la firme Synectics a effectué la recherche et l'évaluation des FPS et FMA pouvant être appliqués pour les routes et autoroutes sous juridiction provinciale. Les conclusions de cette recherche ont démontré que plusieurs FMA disponibles dans la littérature sont basés uniquement sur le jugement des spécialistes ou développés sans considération pour la régression vers la moyenne. Ce biais tend à produire des FMA qui surestiment la portée des interventions réalisées en sécurité car les valeurs utilisées sont généralement trop élevées. Pour cette raison, Synectics a compilé pour le ministère des Transports de l'Ontario des FPS et FMA développés selon une méthode statistique rigoureuse.

Mentionnons que puisque la firme Synectics possède une base de données regroupant de multiples FMA provenant de sources fiables, l'effort de recherche a donc été limité à l'identification des FMA provenant de cette base de données. Les sources les plus appropriées sont les suivantes :

1. Torbic, D.J., Harwood, D.W., Gilmore, D.K., et K. R. Richard. *Interchange safety analysis toll (ISAT): user manual*. Rapport no. FHWA-HRT-07-045. Juin 2007;
2. Bauer, K.M. et D.W. Harwood. *Statistical models of accidents on interchange ramps and speed-change lanes*. Rapport no. FHWA-Rd-97-106. 1997;
3. Chatterjee, A., Hummer, J.E., Kiattikomol, V., et Younger, M.S. *Planning Level Regression Models for Crash Prediction on Interchange and Non-Interchange Segments for Urban Freeways*. Center of Transportation Research, University of Tennessee. Août 2005;
4. Bared, J.G., et Zhang, W. *Safety Assessment of Interchange Spacing on Urban Freeways*. Rapport no. FHWA-HRT-07-031. 2007;
5. Parajuli, B., Persaud, B., Lyon, C., et Munro, J., *Safety Performance Assessment of Freeway Interchanges, Ramps and Ramp Terminals*. Conférence annuelle de l'Association des transports du Canada (ATC). Charlottetown, Île-du-Prince-Édouard. 2006.



En ce qui a trait aux FMA, les sources pertinentes disponibles sont énumérées ci-dessous :

1. J. Bonneson, K. Zimmerman, et K. Fitzpatrick. *Roadway safety design synthesis*. Rapport no. FHWA/TX-05/0-4703-P1. Département des transports du Texas. 2005;
2. Texas Transportation Institute. *Roadway safety design workbook*. The Texas A&M University. System, College Station, Texas. 2005;
3. Khorashadi, A. *Effect of ramp type and geometry on accidents*. Rapport no. FHWA/CA/TE-98/13. Département des transports de la Californie, Sacramento, Californie. Novembre 1998;
4. Bauer, K.M. et D.W. Harwood. *Statistical models of accidents on interchange ramps and speed-change lanes*. Rapport no. FHWA-Rd-97-106. 1997;
5. McGill J., Synectics transportation Consultants Incorporated, *Application and Evaluation of Collision Modification Factors (CMFs) for Ontario Highway Applications – Geometric Design and Safety design*. Février 2003.

L'annexe A présente le sommaire de ces références.

Une description plus détaillée des FPS et des FMA utilisées pour cette analyse est présentée à la section suivante.

## 5. ÉVALUATION DU NIVEAU DE SÉCURITÉ

Cette section présente tout d'abord une description des FMA et FPS choisis pour cette évaluation. Par la suite, la formule empirique bayésienne employée est décrite.

### 5.1 FONCTIONS DE PERFORMANCE DE SÉCURITÉ CHOISIES

L'analyse des FPS, provenant des études énumérées au chapitre précédent, a permis de déterminer que les FPS développées par le Federal Highway Administration (FHWA) en 2007 semblent être les mieux appropriées pour le complexe Turcot. En effet, cette récente étude englobe tous les types d'infrastructures présents sur un réseau autoroutier. Spécifiquement, les FPS considèrent les tronçons autoroutiers, les bretelles d'entrées/sorties, les bretelles dans les échangeurs et les voies d'accélération et de décélération.

Les tableaux ci-dessous présentent les FPS provenant du FHWA pour les divers types d'infrastructures énumérés présents sur le réseau à l'étude.

#### FPS – TRONÇONS AUTOROUTIERS

Ces FPS sont développées à partir des caractéristiques autoroutières suivantes :

- **Type de milieu** - urbain ou rural;
- **Nombre de voies** - 2, 3, 4 voies et plus;
- **Gravité des accidents** – total, mortels, blessures corporelles, dommages matériels;
- **Type d'échangeurs** - Une distinction est faite entre les tronçons autoroutiers situés à l'intérieur d'un échangeur et ceux se trouvant à l'extérieur. Cette distinction a pour but de considérer le nombre plus élevé de manœuvres d'entrecroisement, de changements de voies ainsi que de mouvements d'accélération et/ou de décélération qui s'effectuent immédiatement en amont, en aval et entre les bretelles d'un échangeur.

Mentionnons que les FPS reliées aux tronçons autoroutiers situés dans un échangeur, prennent en considération les accidents qui ont lieu dans les voies auxiliaires d'accélération ou de décélération, lesquelles incluent le biseau.

Les tableaux 5.1 et 5.2 présentent une description des coefficients des diverses FPS.

TABLEAU 5.1 : COEFFICIENTS RELIÉS AUX FPS – ACCIDENTS TOTAUX POUR LES TRONÇONS AUTOROUTIERS

TRONÇONS AUTOROUTIERS – ACCIDENTS TOTAUX					
No FPS	PRÉSENCE D'UN ÉCHANGEUR	NOMBRE DE VOIES	ORDONNÉE À L'ORIGINE (a)	COEFFICIENT (b)	PARAMÈTRE DE SUR-DISPERSION
<b><math>N = e^a \times DJMA^b \times \text{longueur de segment}</math></b>					
1	Oui	2	-11.23	1.30	0.81
2	Oui	3	-11.25	1.28	0.60
3	Oui	4	-26.76	2.58	0.52
4	Non	2	-7.85	1.00	0.99
5	Non	3	-5.96	0.78	0.48
6	Non	4	-16.24	1.67	0.45

TABLEAU 5.2 : COEFFICIENTS RELIÉS AUX FPS – ACCIDENTS AVEC DOMMAGES CORPORELS SEULEMENT POUR LES TRONÇONS AUTOROUTIERS

TRONÇONS AUTOROUTIERS – ACCIDENTS AVEC DOMMAGES CORPORELS					
No FPS	PRÉSENCE D'UN ÉCHANGEUR	NOMBRE DE VOIES	ORDONNÉE À L'ORIGINE (a)	COEFFICIENT (b)	PARAMÈTRE DE SUR-DISPERSION
<b><math>N = e^a \times DJMA^b \times \text{longueur de segment}</math></b>					
1	Oui	2	-12,89	1,38	0,79
2	Oui	3	-13,62	1,42	0,55
3	Oui	4	-25,63	2,42	0,53
4	Non	2	-8,82	1,02	1,15
5	Non	3	-7,6	0,85	0,54
6	Non	4	-19,16	1,85	0,52

### FPS – BRETelles DANS LES ÉCHANGEURS

Les FPS associées aux bretelles d'échangeurs sont développées en tenant compte des aspects suivants :

- **Type de milieu** - urbain ou rural;
- **Fonction de la bretelle** - accès, sortie, autoroute à autoroute;
- **Gravité des accidents** - total, mortels, blessures corporelles, dommages matériels;
- **Configuration de la bretelle** - losange, trèfle, directif, partiel.

Les tableaux 5.3 et 5.4 présentent une description des coefficients des diverses FPS.

TABLEAU 5.3 : COEFFICIENTS RELIÉS AUX FPS – ACCIDENTS TOTAUX POUR LES BRETelles D'ÉCHANGEURS

BRETelles D'ÉCHANGEURS – ACCIDENTS TOTAUX						
No FPS	FONCTION DE LA BRETelle	CONFIGURATION DE LA BRETelle	ORDONNÉE À L'ORIGINE (a)	COEFFICIENT (b)	COEFFICIENT (e)	PARAMÈTRE DE SUR-DISPERSION
<b><math>N = e^a \times (\text{DJMA bretelle})^b \times \text{longueur de bretelle}^e</math></b>						
1	Sortie	Losange	-3.17	0.45	1.0	1.49
2	Accès	Losange	-8.28	1.03	1.0	2.57
3	Sortie	Trèfle partiel	-4.50	0.73	1.0	1.17
4	Accès	Trèfle partiel	-2.11	0.43	1.0	1.77
5	Sortie	Trèfle	-4.50	0.73	1.0	1.17
6	Accès	Trèfle	-2.11	0.43	1.0	1.77
7	Autoroute à autoroute	Directif	-1.80	0.45	1.0	1.67

TABLEAU 5.4 : COEFFICIENTS RELIÉS AUX FPS – ACCIDENTS AVEC DOMMAGES CORPORELS SEULEMENT POUR LES BRETelles D'ÉCHANGEURS

BRETelles D'ÉCHANGEURS – ACCIDENTS AVEC DOMMAGES CORPORELS						
No FPS	FONCTION DE LA BRETelle	CONFIGURATION DE LA BRETelle	ORDONNÉE À L'ORIGINE (a)	COEFFICIENT (b)	COEFFICIENT (e)	PARAMÈTRE DE SUR-DISPERSION
<b><math>N = e^a \times (\text{DJMA bretelle})^b \times \text{longueur de bretelle}^e</math></b>						
1	Sortie	Losange	-6,88	0,78	1,0	2,21
2	Accès	Losange	-14,40	1,61	1,0	3,44
3	Sortie	Trèfle partiel	-3,63	0,53	1,0	1,71
4	Accès	Trèfle partiel	-3,37	0,44	1,0	0,82
5	Sortie	Trèfle	-3,63	0,53	1,0	1,71
6	Accès	Trèfle	-3,37	0,44	1,0	0,82
7	Autoroute à autoroute	Directif	-2,80	0,46	1,0	1,89

### FPS – VOIES D'ACCÉLÉRATION

Ces fonctions, développées en fonction du type de milieu et de la gravité des accidents, sont présentées aux tableaux 5.5 et 5.6.

TABLEAU 5.5 : COEFFICIENTS RELIÉS AUX FPS – ACCIDENTS TOTAUX POUR LES VOIES D'ACCÉLÉRATION/DÉCÉLÉRATION

VOIES D'ACCÉLÉRATION/DÉCÉLÉRATION – ACCIDENTS TOTAUX						
No FPS	CONSTANTE (C)	ORDONNÉE À L'ORIGINE (a)	COEFFICIENT (b)	COEFFICIENT (c)	COEFFICIENT (d)	PARAMÈTRE DE SUR-DISPERSION
<b><math>N = C \times e^a \times (\text{DJMA bretelle})^b \times e^c \times \text{Longueur de segment} \times (\text{DJMA autoroute})^d</math></b>						
1	0.44	-6.82	0.78	-2.59	0.13	0.66

TABLEAU 5.6 : COEFFICIENTS RELIÉS AUX FPS – ACCIDENTS AVEC DOMMAGES CORPORELS SEULEMENT POUR LES VOIES D'ACCÉLÉRATION/DÉCÉLÉRATION

VOIES D'ACCÉLÉRATION/DÉCÉLÉRATION – ACCIDENTS AVEC DOMMAGES CORPORELS						
No FPS	CONSTANTE (C)	ORDONNÉE À L'ORIGINE (a)	COEFFICIENT (b)	COEFFICIENT (c)	COEFFICIENT (d)	PARAMÈTRE DE SUR-DISPERSION
<b><math>N = C \times e^a \times (\text{DJMA bretelle})^b \times e^c \times \text{Longueur de segment} \times (\text{DJMA autoroute})^d</math></b>						
1	0,55	-10,68	0,91	-4,55	0,29	0,52

## 5.2 FACTEURS DE MODIFICATION DES ACCIDENTS SÉLECTIONNÉS

Des facteurs de modification des accidents ont été trouvés pour les caractéristiques géométriques énumérées ci-dessous :

1. Largeur des voies de circulation;
2. Largeur de l'accotement intérieur;
3. Largeur de l'accotement extérieur;
4. Alignement horizontal;
5. Alignement vertical;
6. Dévers.

Pour les autres caractéristiques géométriques ayant une influence sur la sécurité, notamment les zones de divergence et de convergence, celles-ci sont considérées par les FPS.

L'annexe B présente une synthèse des FMA sélectionnés.

### PERTINENCE DES FMA EN RAPPORT AUX CONSTATS NOTÉS DANS L'AUDIT

Tel qu'indiqué au chapitre 3, les constants notés dans l'audit et faisant l'objet d'inquiétudes sont reliés à :

- La présence de pentes ascendantes;
- Des rayons de courbe horizontale réduits.

Ces caractéristiques géométriques, à l'exception de la longueur d'entrecroisement, sont considérées dans les FMA sélectionnés.

### 5.3 LIMITES DE LA MÉTHODE D'ANALYSE

Quelques limites de la méthode d'analyse ont été mises en évidence lors de la réalisation de cette étape. Ces limites sont :

1. Plusieurs distances d'entrecroisement sont augmentées dans la révision 1.1 pour offrir plus de temps aux conducteurs lors des manœuvres de changement de voie et ainsi réduire le risque d'erreur de conduite. Toutefois, cette amélioration n'est pas considérée dans la méthode puisqu'aucun FMA n'est disponible pour déterminer le gain en sécurité en fonction de la distance d'entrecroisement. Par ailleurs, selon les FPS, plus la longueur d'un lien est augmenté, plus l'exposition au risque augmente, ce qui contribue à augmenter le risque d'accidents. Par conséquent, le modèle pourrait démontrer une perte en sécurité lorsqu'une distance d'entrecroisement est allongée. Cette limite sera considérée lors de l'interprétation des résultats.
2. Selon le FHWA, les musoirs peints ne se rattachent pas à aucune FPS; toutefois, l'historique des accidents démontrent que certains accidents ont été imputés, par défaut, à cette zone lorsqu'il n'était pas possible de les localiser avec précision. (voir annexe C pour plus de précisions sur cette limite). Puisque aucune FPS n'existe pour les musoirs peints, ceux-ci ont été exclus de l'analyse.

#### 5.4 FORMULES UTILISÉES POUR LA MÉTHODE EMPIRIQUE BAYESIENNE

Les formules mathématiques utilisées pour évaluer le gain ou la perte en sécurité selon la méthode empirique bayésienne, décrites dans l'ouvrage de Hauer<sup>2</sup>, sont présentées dans cette section.

Il s'agit des formules permettant de calculer :

- Le niveau de sécurité pour la géométrie actuelle;
- Le niveau de sécurité pour le scénario révision 1.1;
- Le gain ou la perte en sécurité (indice d'efficacité).

##### Formule EB pour la géométrie actuelle

$$\lambda_{2016} = \frac{(1/k) + M}{\left( \left( \frac{1/k}{E(\lambda_{2016})} \right) + n \right)}$$

Où

$\lambda_{2016}$  Nombre d'accidents estimés en 2016

M Nombre d'accidents observés - 1994 à 1999

$E(\lambda_{2016})$  Nombre d'accidents prédits en 2016

k Paramètre de sur-dispersion;

n Nombre d'années.

La variance est calculée de la façon suivante :

$$Var(\lambda_{2016}) = (1 - \alpha) \times \lambda_{2016}$$

$$\alpha = \frac{1}{1 + (k + E(\lambda_{2016}))}$$

2. Hauer, E. *Observational Before-After Studies in Road Safety: Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety*. Pergamon, Elsevier Science Ltd, Oxford, U.K., 1997.



Formule EB pour la révision 1.1

Pour les tronçons similaires  
pour les deux configurations  
(actuelle et révision 1.1) :

$$\delta_{2016} = \left( \frac{E(\delta_{2016})}{E(\lambda_{2016})} \right) \times \lambda_{2016}$$

Pour les nouveaux tronçons de  
la révision 1.1 :

$$\delta_{2016} = E(\delta_{2016})$$

La variance est calculée de la façon suivante :

$$Var(\delta_{2016}) = \delta_{2016}$$

Où

- $\delta_{2016}$  Nombre d'accidents estimé en 2016
- $E(\delta_{2016})$  Nombre d'accidents prédit en 2016 –  
avec révision 1.1
- $E(\lambda_{2016})$  Nombre d'accidents prédit en 2016 –  
avec conditions actuelles.

Formule pour le calcul de l'indice de sécurité (perte ou gain en sécurité)

$$\theta = \frac{\left( \frac{\delta_{2016}}{\lambda_{2016}} \right)}{1 + \left( \frac{Var(\lambda_{2016})}{(\lambda_{2016})^2} \right)}$$

Où

$\theta$  = Indice de sécurité avec:

- $\theta < 1$  gain en sécurité;
- $\theta > 1$  perte en sécurité.

L'écart-type se calcule de cette façon :

$$s = \left( \theta^2 \times \left( \frac{\left( \frac{Var(\delta_{2016})}{(\delta_{2016})^2} \right) + \left( \frac{Var(\lambda_{2016})}{(\lambda_{2016})^2} \right)}{\left( 1 + \left( \frac{Var(\lambda_{2016})}{(\lambda_{2016})^2} \right) \right)^2} \right) \right)^{0.5}$$

Ces formules, développées par Synectics, ont été présentées et acceptées au Transportation Research Board en 2006.

Les formules permettent de calculer en une seule équation mathématique la fréquence ajustée ainsi que le poids  $w$  associés aux deux sources d'information. Par ailleurs, ces formules permettent de calculer l'écart-type afin de connaître les limites des résultats.

## 5.5 INTÉGRATION DES DONNÉES AU MODÈLE

L'intégration des données géométriques, d'accidents et de débits dans le modèle a préalablement nécessité un traitement des données suivantes :

- Base de données sur les accidents;
- Segmentation du réseau autoroutier existant et de la révision 1.1;
- Alimentation des bases de données des caractéristiques géométriques des deux géométries en format MapInfo dans l'outil en format Excel;
- Estimation des débits de circulation pour l'année 1999, année de référence pour les données d'accidents.

Le détail de ces traitements est présenté à l'annexe C.

## 6. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Cette section comprend tout d'abord une description de la méthode utilisée pour comparer le niveau de sécurité des divers tronçons autoroutiers du réseau existant et du concept révision 1.1. Par la suite, les résultats de l'évaluation sont présentés sous la forme d'un tableau synthèse.

### 6.1 MÉTHODE DE COMPARAISON

Étant donné que la segmentation diffère entre le réseau existant et la révision 1.1, il n'est pas toujours possible de comparer, un à un, les divers tronçons. Pour comparer les deux réseaux autoroutiers, un regroupement des tronçons a été réalisé. Pour ce faire, tous les tronçons caractérisant un mouvement dans le complexe Turcot ont été regroupés. Un exemple de regroupement est illustré à l'annexe D.

### 6.2 UTILITAIRE DE CALCUL

Un utilitaire a été développé pour effectuer les calculs de la méthode empirique bayésienne à l'aide du logiciel Excel. Cet outil permet d'estimer le nombre d'accidents ainsi que les gains et/ou pertes tout en permettant de varier les dimensions des paramètres de conception du complexe (ex. largeur de voie, d'accotement, etc.) ainsi que les débits de circulation.

Cet utilitaire permet d'estimer le gain ou la perte en sécurité pour différentes années d'analyse se situant entre 1999 et 2016. Toutefois, puisque les données de débits ne sont pas disponibles pour la révision 1.1 pour l'année de référence 1999, il est seulement possible d'utiliser cet outil pour estimer les accidents pour l'horizon 2016, année où les débits pour les deux scénarios sont disponibles.

### 6.3 ANALYSE DES RÉSULTATS

Le niveau de sécurité a été estimé pour tous les tronçons autoroutiers du réseau routier actuel ainsi que pour ceux de la révision 1.1. Les résultats se trouvent au tableau 6.1.

Pour chacun des mouvements, les principaux indicateurs de sécurité considérés pour déterminer l'impact sur la sécurité sont l'indice de sécurité ainsi que le nombre d'accidents estimés par année. Ces deux indicateurs sont utilisés pour présenter les résultats pour l'ensemble des accidents et pour les accidents impliquant des

blessures corporelles seulement. À l'annexe E se trouve l'illustration des différents mouvements analysés.

Des indices de sécurité inférieurs à 1 indiquent un gain en termes de sécurité alors que ceux supérieurs à 1 signifient une perte. Tel que démontré au tableau, plusieurs caractéristiques géométriques influencent les résultats. Une de ces caractéristiques est la longueur du mouvement puisque plus le tronçon est long, plus l'exposition au risque augmente. Pour certains mouvements dont la longueur est augmentée, les résultats indiquent une perte en sécurité malgré l'amélioration des autres caractéristiques géométriques telles que les largeurs d'accotement. Pour ces mouvements, une interprétation des résultats est nécessaire et présentée au tableau.

Tableau 6.1 : Synthèse des résultats

MOUVEMENT	INDICES DE SÉCURITÉ (ACCIDENTS CORPORELS SEULEMENT)	DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS AYANT UNE INFLUENCE SUR LA SÉCURITÉ	NOMBRE TOTAL DE COLLISIONS ESTIMÉ/ANNÉE (ACCIDENTS CORPORELS SEULEMENT)		CONSTAT
			COMPLEXE ACTUEL	COMPLEXE PROPOSÉ	
A 720 Ouest avant l'échangeur Turcot	0,18 (0,17)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Élargissement des accotements à 3 mètres.</li> </ul>	9,02 (8,93)	1,73 (1,65)	Gain en sécurité
B 720 Ouest vers 15 Sud	1,75 (1,48)	<p><u>Accidents totaux</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Longueur totale du mouvement augmente de 0,87 km à 1,45 km due au déplacement de la bretelle à l'extérieur du complexe Turcot, contrairement à l'actuelle bretelle qui est située à l'intérieur.</li> <li>Géométrie proposée de la bretelle offre un gain en sécurité en raison de l'augmentation du rayon de courbure de la bretelle (140 m à 190 m).</li> </ul>	4,08 (3,69)	8,18 (5,75)	Pas de gain ou de perte
C 720 Ouest vers 20 Ouest	1,08 (1,17)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration des FMA due à l'élargissement des accotements à 3 m, ce qui offre un gain en sécurité; toutefois, l'augmentation de la longueur (4,00 à 4,24 km) du mouvement accentue l'exposition au risque, ce qui ne permet d'apprécier le gain.</li> </ul>	49,79 (45,18)	54,36 (53,67)	Pas de gain ou de perte
D 720 Ouest vers 15 Nord	0,78 (0,14)	<p><u>Accidents totaux</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Élargissement des voies de circulation de 3,57 à 4,3 et augmentation du rayon de courbure, de 317 m à 360 m, offrent un petit gain en sécurité.</li> </ul> <p><u>Accidents avec dommages corporels</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction significative des accidents impliquant des blessures.</li> </ul>	4,32 (4,21)	3,97 (0,67)	Gain en sécurité

MOUVEMENT	INDICES DE SÉCURITÉ (ACCIDENTS CORPORELS SEULEMENT)	DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS AYANT UNE INFLUENCE SUR LA SÉCURITÉ	NOMBRE TOTAL DE COLLISIONS ESTIMÉ/ANNÉE (ACCIDENTS CORPORELS SEULEMENT)		CONSTAT
			COMPLEXE ACTUEL	COMPLEXE PROPOSÉ	
E 15 Sud vers 20 Ouest	0,68 (0,01)	<u>Accidents totaux</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction du rayon de courbure de 212 à 190 ne réduit pas le niveau de sécurité.</li> </ul> <u>Accidents avec dommages corporels</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction significative des accidents impliquant des blessures.</li> </ul>	1,84 (1,75)	1,68 (0,01)	Gain en sécurité
F 15 Nord vers 20 Ouest	Tout le mouvement 3,57 (3,86) Courbe seulement 0,97 (0,01)	<u>Accidents totaux</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Longueur de la bretelle augmente de 0.20 km à 0.84 km due au déplacement de la bretelle à l'extérieur du complexe Turcot, contrairement à l'actuelle bretelle qui se situe à l'intérieur. Cette modification est nécessaire pour permettre la convergence de la voie du coté droit de l'autoroute 20, laquelle offre dorénavant des voies dans le sens traditionnel de la circulation.</li> <li>Augmentation de la pente verticale de la bretelle (3% à 6%) et de la diminution du rayon de courbure (145 m à 135 m) ne dégradent pas la sécurité.</li> </ul> <u>Accidents avec dommages corporels</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Si la courbe est analysée de façon isolée dans ce mouvement, un gain en sécurité est noté pour les accidents impliquant des blessures.</li> </ul>	1,46 (1,28)	Tout le mouvement 7,93 (5,95) Courbe seulement 2,16 (0,01)	Pas de gain ou de perte
G Portion Angrignon	0,34 (0,33)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration générale du mouvement due principalement à la diminution de l'exposition au risque par la réduction de la longueur des tronçons (4,46 à 0,79 km).</li> </ul>	12,01 (12,06)	4,25 (4,14)	Gain en sécurité

MOUVEMENT	INDICES DE SÉCURITÉ (ACCIDENTS CORPORELS SEULEMENT)	DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS AYANT UNE INFLUENCE SUR LA SÉCURITÉ	NOMBRE TOTAL DE COLLISIONS ESTIMÉ/ANNÉE (ACCIDENTS CORPORELS SEULEMENT)		CONSTAT
			COMPLEXE ACTUEL	COMPLEXE PROPOSÉ	
H 20 Est vers 720 Est	1,30 (1,30)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration globale des FMA due à l'élargissement des accotements à 3 mètres, ce qui offre un gain en sécurité; toutefois, l'augmentation de la longueur du mouvement (de 3,89 à 4,64 km) accentue l'exposition au risque, ce qui ne permet pas d'obtenir un gain ou une perte en sécurité.</li> </ul>	53,26 (52,61)	70,25 (69,50)	Pas de gain ou de perte
I 20 Est vers 15 Sud	0,78 (0,12)	<p><u>Accidents totaux</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction du rayon de courbure de la bretelle (349 à 300 m) ne réduit pas le niveau de sécurité pour l'ensemble du mouvement.</li> </ul> <p><u>Accidents avec dommages corporels</u></p> Réduction des accidents impliquant des blessures.	2,32 (2,19)	2,30 (0,32)	Gain en sécurité
J 720 Est après l'échangeur Turcot	0,15 (0,15)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration globale du mouvement due à l'élargissement des accotements à 3 mètres.</li> </ul>	4,33 (4,11)	0,70 (0,66)	Gain en sécurité
K Sortie Atwater	0,62 (0,21)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maintien du niveau de sécurité; la géométrie proposée est identique au réseau actuel;</li> <li>Faible diminution du nombre de collisions s'explique par la diminution des débits dans la bretelle.</li> </ul>	0,98 (0,92)	0,84 (0,21)	Pas de gain ou de perte
L 15 Sud vers 720 Est	0,45 (0,20)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration du mouvement due à l'augmentation du rayon de courbure de la bretelle (232 à 350 m).</li> </ul>	2,08 (1,94)	1,11 (0,42)	Gain en sécurité
M 15 Sud vers 720 Est	0,94 (0,44)	<p><u>Accidents totaux</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Augmentation de la pente verticale dans la bretelle de 1,1 à 4,0 %.</li> </ul>	8,55 (8,39)	8,77 (3,99)	Gain en sécurité

MOUVEMENT	INDICES DE SÉCURITÉ (ACCIDENTS CORPORELS SEULEMENT)	DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS AYANT UNE INFLUENCE SUR LA SÉCURITÉ	NOMBRE TOTAL DE COLLISIONS ESTIMÉ/ANNÉE (ACCIDENTS CORPORELS SEULEMENT)		CONSTAT
			COMPLEXE ACTUEL	COMPLEXE PROPOSÉ	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Diminution de la largeur des accotements passant de 1,51 à 1,0 et de 0,92 à 0,5 m pour les accotements extérieur et intérieur respectivement.</li> <li>Augmentation du rayon de courbure de la bretelle de 330 à 410 m.</li> </ul> <p><u>Accidents avec dommages corporels</u> Réduction des accidents impliquant des blessures.</p>			
N 15 Nord	0,70 (0,69)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Élargissement des accotements à 3 m pour l'ensemble du mouvement;</li> <li>Augmentation du rayon de courbure à l'échangeur De La Vérendrye de 320 à 460 m.</li> </ul>	26,33 (26,73)	18,97 (18,87)	Gain en sécurité
O Échangeur De La Vérendrye	0,47 (0,04)	<p><u>Accidents totaux</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Diminution importante de la longueur totale des mouvements, ce qui diminue l'exposition au risque (1.55 à 0.58 km).</li> </ul> <p><u>Accidents avec dommages corporels</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction des accidents impliquant des blessures.</li> </ul>	6,61 (5,06)	3,35 (0,23)	Gain en sécurité
P Bretelle entrée Girouard	0,21 (0,18)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diminution de l'exposition au risque de ce mouvement car la longueur diminue de 0,3 à 0,16 km.</li> </ul>	0,65 (0,71)	0,16 (0,13)	Gain en sécurité
Q 15 Sud	0,94 (0,84)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Élargissement des accotements à 3 m pour l'ensemble du mouvement;</li> <li>Augmentation du rayon de courbure à l'échangeur De La</li> </ul>	39,57 (39,70)	37,82 (34,22)	Gain en sécurité



MOUVEMENT	INDICES DE SÉCURITÉ (ACCIDENTS CORPORELS SEULEMENT)	DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS AYANT UNE INFLUENCE SUR LA SÉCURITÉ	NOMBRE TOTAL DE COLLISIONS ESTIMÉ/ANNÉE (ACCIDENTS CORPORELS SEULEMENT)		CONSTAT
			COMPLEXE ACTUEL	COMPLEXE PROPOSÉ	
		Vérendrye de 320 à 474 m.			
R 20 Est vers 15 Nord	0,88 (0,01)	<u>Accidents totaux</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Légère dégradation du niveau de la sécurité due à la diminution du rayon de courbure de la bretelle de 256 à 198 m.</li> </ul> <u>Accidents avec dommages corporels</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction des accidents impliquant des blessures.</li> </ul>	2,14 (2,05)	2,49 (0,01)	Pas de gain ou de perte
S Bretelle Saint-Rémi	0,54 (0,21)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Élimination d'une des deux courbes;</li> <li>Augmentation de la largeur de la voie et de l'accotement intérieur.</li> </ul>	1,08 (1,17)	0,72 (0,25)	Gain en sécurité
<b>Global</b>	<b>0,97 (0,87)</b>		<b>230 (223)</b>	<b>224 (195)</b>	<b>Gain en sécurité</b>

## 6.4 RÉSULTATS

De façon globale, **le concept révision 1.1 offre un gain en sécurité** puisque l'indice de sécurité est inférieur à 1. Ce gain est principalement attribuable à la provision d'accotements intérieurs et extérieurs en section courante qui offrira une zone de récupération aux conducteurs. En ce qui a trait au nombre d'accidents impliquant des blessures uniquement, il est noté que la majorité des mouvements procurent un gain en sécurité comparativement au concept actuel.

Par ailleurs, certains mouvements sont caractérisés par une plus grande longueur de chaussée carrossable. Cette particularité augmente l'exposition au risque des usagers et par conséquent le nombre d'accidents estimé. Toutefois, cette augmentation de la chaussée carrossable procure des gains en termes de sécurité qui ne peuvent pas être quantifiées par cette évaluation. En effet, l'augmentation de la chaussée carrossable permet d'augmenter les distances d'entrecroisement, les longueurs des voies d'accélération/décélération tout en permettant d'éliminer certaines bretelles d'entrée situées sur le côté gauche. Pour l'analyse de ces mouvements, l'augmentation de l'exposition au risque ne permet pas toujours de mettre en évidence les gains en sécurité anticipés par les aménagements géométriques proposés.

Enfin, mentionnons qu'un nouvel audit de sécurité serait nécessaire pour évaluer l'impact sur la sécurité des possibles mesures de bonification du concept qui pourraient être apportées à l'étape de l'avant-projet définitif.

## 7. CONCLUSIONS

Dans le but d'intervenir en raison de l'état de dégradation avancé des structures de l'échangeur Turcot, un concept de réaménagement complet a été développé pour le complexe Turcot (Révision 1.1). Plusieurs particularités caractérisent ce concept. Il s'agit entre autre de l'abaissement du profil des voies surélevées et de la transposition des voies de l'autoroute 20 dans le sens habituel de la circulation.

Suivant la réalisation d'un audit en sécurité routière, lequel mettait en évidence certains aspects normatifs pouvant influencer la sécurité, le ministère des Transports du Québec a décidé de réaliser une étude de sécurité sur les liens autoroutiers pour estimer les gains ou les pertes en sécurité de la révision 1.1.

La méthode empirique bayésienne, qui est actuellement reconnue comme étant la méthode la plus précise pour estimer le niveau de sécurité des aménagements routiers, a été utilisée pour cette évaluation. Cette méthode estime la performance en sécurité d'un aménagement routier en combinant deux sources d'information : le bilan des accidents et les modèles de prédiction des accidents pour des aménagements semblables. Compte tenu du court délai d'exécution, les modèles de prédiction des accidents ont été extraits d'une récente étude réalisée par le Federal Highway Administration au lieu de les développer à partir de données d'accidents provenant d'autoroutes situées dans la région montréalaise. Ces modèles ont ensuite été adaptés aux caractéristiques géométriques du secteur à l'étude à l'aide de facteurs de modification des accidents, lesquels ont été également trouvés dans la littérature.

Étant donné le nombre et la complexité des calculs, un utilitaire de calcul a été développé afin d'estimer plus rapidement le niveau de sécurité lorsque des modifications au niveau de la géométrie sont apportées au concept.

L'évaluation du niveau de sécurité a été réalisé pour le réseau routier actuel ainsi que pour le concept de la révision 1.1 afin d'estimer le gain ou la perte en sécurité pour chacun des mouvements du complexe Turcot. ***De façon globale, le concept proposé offre un gain en sécurité, lequel est attribuable aux améliorations géométriques proposées au concept.***

Par ailleurs, la longueur de certains mouvements est augmentée pour permettre d'augmenter des distances d'entrecroisement et les longueurs des voies d'accélération/décélération ainsi que pour éliminer certaines bretelles d'entrée situées sur le côté gauche. Ces modifications géométriques qui visent à rehausser le niveau de sécurité ne sont pas toujours bien évaluées par les modèles de prédiction. En effet, une augmentation de la longueur d'un lien augmente l'exposition au risque et ainsi le nombre d'accidents estimé pour la révision 1.1. Une interprétation des résultats à ces endroits a permis de mettre en évidence que les caractéristiques géométriques du concept de la révision 1.1 améliorent le niveau de sécurité.

**ANNEXE A**  
**SOMMAIRE DES RÉFÉRENCES UTILISÉES POUR LES FMA**

# Interchange Safety Analysis Tool (ISAT): User Manual

PUBLICATION NO. FHWA-HRT-07-045

JUNE 2007



U.S. Department of Transportation  
**Federal Highway Administration**

Research, Development, and Technology  
Turner-Fairbank Highway Research Center  
6300 Georgetown Pike  
McLean, VA 22101-2296

## **Foreword**

This User Manual describes the usage and operation of the spreadsheet-based Interchange Safety Analysis Tool (ISAT). ISAT provides design and safety engineers with an automated tool for assessing the safety effects of geometric design and traffic control features at an existing interchange and adjacent roadway network. ISAT can also be used to predict the safety performance of design alternatives for new interchanges and prior to reconstruction of existing interchanges. The primary outputs from an analysis include: the number of predicted crashes for the entire interchange area, the number of predicted crashes by interchange element type, the number of predicted crashes by year, and the number of predicted crashes by collision type. The User Manual presents basic information for getting started with using ISAT, the general methodology that users will follow when conducting an analysis with ISAT, input requirements of the program, default data incorporated within the program and recommendations on when and how these default data should be updated by the user, output reports generated by ISAT, and general information on different applications for which ISAT can be applied. For more information on ISAT, the user is referred to the final project report for Contract No. DTFH61-05-P-00302.

Michael Trentacoste  
Director, Office of Safety  
Research and Development

## **Notice**

This document is disseminated under the sponsorship of the U.S. Department of Transportation in the interest of information exchange. The U.S. Government assumes no liability for the use of the information contained in this document.

The U.S. Government does not endorse products or manufacturers. Trademarks or manufacturers' names appear in this report only because they are considered essential to the objective of the document.

## **Quality Assurance Statement**

The Federal Highway Administration (FHWA) provides high-quality information to serve Government, industry, and the public in a manner that promotes public understanding. Standards and policies are used to ensure and maximize the quality, objectivity, utility, and integrity of its information. FHWA periodically reviews quality issues and adjusts its programs and processes to ensure continuous quality improvement.

## TECHNICAL REPORT DOCUMENTATION PAGE

1. Report No. FHWA-HRT-07-045	2. Government Accession No.	3. Recipient's Catalog No.	
4. Title and Subtitle Interchange Safety Analysis Tool (ISAT): User Manual		5. Report Date June 2007	
		6. Performing Organization Code: 440545878	
7. Author(s) D.J. Torbic, D.W. Harwood, D.K. Gilmore, and K.R. Richard		8. Performing Organization Report No. 110448	
9. Performing Organization Name and Address Midwest Research Institute 425 Volker Boulevard Kansas City, MO 64110		10. Work Unit No. 001	
		11. Contract or Grant No. DTFH61-05-P-00302	
12. Sponsoring Agency Name and Address Federal Highway Administration Turner-Fairbank Highway Research Center Office of Safety Research & Development 6300 Georgetown Pike McLean, VA 22101-2296		13. Type of Report and Period Covered User Manual 9/7/2005–6/31/2007	
		14. Sponsoring Agency Code HRDS-05	
15. Supplementary Notes FHWA Contracting Officer's Technical Representative (COTR): Joe G. Bared, HRDS-05			
16. Abstract <p>This User Manual describes the usage and operation of the spreadsheet-based Interchange Safety Analysis Tool (ISAT). ISAT provides design and safety engineers with an automated tool for assessing the safety effects of geometric design and traffic control features at an existing interchange and adjacent roadway network. ISAT can also be used to predict the safety performance of design alternatives for new interchanges and prior to reconstruction of existing interchanges. The primary outputs from an analysis include: the number of predicted crashes for the entire interchange area, the number of predicted crashes by interchange element type (i.e., mainline freeway segments, ramps, ramp terminals and intersections, and crossroad roadway segments), the number of predicted crashes by year, and the number of predicted crashes by collision type.</p> <p>This User Manual presents basic information for getting started with using ISAT, the general methodology that users will follow when conducting an analysis with ISAT, input requirements of the program, default data incorporated within the program and recommendations on when and how these default data should be updated by the user, output reports generated by ISAT, and general information on different applications for which ISAT can be applied. An example problem is also provided on the safety performance of a rural diamond interchange and surrounding roadway network, illustrating user inputs and generated output reports.</p>			
17. Key Words Interchange, safety, geometric design, safety performance function		18. Distribution Statement No restrictions. This document is available through the National Technical Information Service, Springfield, VA 22161.	
19. Security Classif. (of this report) Unclassified	20. Security Classif. (of this page) Unclassified	21. No. of Pages 105	22. Price

# SI\* (MODERN METRIC) CONVERSION FACTORS

## APPROXIMATE CONVERSIONS TO SI UNITS

Symbol	When You Know	Multiply By	To Find	Symbol
<b>LENGTH</b>				
in	inches	25.4	millimeters	mm
ft	feet	0.305	meters	m
yd	yards	0.914	meters	m
mi	miles	1.61	kilometers	km
<b>AREA</b>				
in <sup>2</sup>	square inches	645.2	square millimeters	mm <sup>2</sup>
ft <sup>2</sup>	square feet	0.093	square meters	m <sup>2</sup>
yd <sup>2</sup>	square yard	0.836	square meters	m <sup>2</sup>
ac	acres	0.405	hectares	ha
mi <sup>2</sup>	square miles	2.59	square kilometers	km <sup>2</sup>
<b>VOLUME</b>				
fl oz	fluid ounces	29.57	milliliters	mL
gal	gallons	3.785	liters	L
ft <sup>3</sup>	cubic feet	0.028	cubic meters	m <sup>3</sup>
yd <sup>3</sup>	cubic yards	0.765	cubic meters	m <sup>3</sup>
NOTE: volumes greater than 1000 L shall be shown in m <sup>3</sup>				
<b>MASS</b>				
oz	ounces	28.35	grams	g
lb	pounds	0.454	kilograms	kg
T	short tons (2000 lb)	0.907	megagrams (or "metric ton")	Mg (or "t")
<b>TEMPERATURE (exact degrees)</b>				
°F	Fahrenheit	5 (F-32)/9 or (F-32)/1.8	Celsius	°C
<b>ILLUMINATION</b>				
fc	foot-candles	10.76	lux	lx
fl	foot-Lamberts	3.426	candela/m <sup>2</sup>	cd/m <sup>2</sup>
<b>FORCE and PRESSURE or STRESS</b>				
lbf	poundforce	4.45	newtons	N
lbf/in <sup>2</sup>	poundforce per square inch	6.89	kilopascals	kPa

## APPROXIMATE CONVERSIONS FROM SI UNITS

Symbol	When You Know	Multiply By	To Find	Symbol
<b>LENGTH</b>				
mm	millimeters	0.039	inches	in
m	meters	3.28	feet	ft
m	meters	1.09	yards	yd
km	kilometers	0.621	miles	mi
<b>AREA</b>				
mm <sup>2</sup>	square millimeters	0.0016	square inches	in <sup>2</sup>
m <sup>2</sup>	square meters	10.764	square feet	ft <sup>2</sup>
m <sup>2</sup>	square meters	1.195	square yards	yd <sup>2</sup>
ha	hectares	2.47	acres	ac
km <sup>2</sup>	square kilometers	0.386	square miles	mi <sup>2</sup>
<b>VOLUME</b>				
mL	milliliters	0.034	fluid ounces	fl oz
L	liters	0.264	gallons	gal
m <sup>3</sup>	cubic meters	35.314	cubic feet	ft <sup>3</sup>
m <sup>3</sup>	cubic meters	1.307	cubic yards	yd <sup>3</sup>
<b>MASS</b>				
g	grams	0.035	ounces	oz
kg	kilograms	2.202	pounds	lb
Mg (or "t")	megagrams (or "metric ton")	1.103	short tons (2000 lb)	T
<b>TEMPERATURE (exact degrees)</b>				
°C	Celsius	1.8C+32	Fahrenheit	°F
<b>ILLUMINATION</b>				
lx	lux	0.0929	foot-candles	fc
cd/m <sup>2</sup>	candela/m <sup>2</sup>	0.2919	foot-Lamberts	fl
<b>FORCE and PRESSURE or STRESS</b>				
N	newtons	0.225	poundforce	lbf
kPa	kilopascals	0.145	poundforce per square inch	lbf/in <sup>2</sup>

\*SI is the symbol for the International System of Units. Appropriate rounding should be made to comply with Section 4 of ASTM E380.  
(Revised March 2003)



## TABLE OF CONTENTS

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>GETTING STARTED .....</b>	<b>5</b>
SYSTEM REQUIREMENTS.....	5
INSTALLATION OF ISAT SOFTWARE.....	5
MICROSOFT EXCEL SPREADSHEET SOFTWARE BASICS .....	5
EXCEL NAVIGATION.....	6
ENTERING DATA.....	6
SAVING, PRINTING, AND CLEARING DATA.....	7
MODIFYING CALIBRATION COEFFICIENTS AND CRASH DISTRIBUTIONS .....	7
ENDING AN EXCEL SPREADSHEET SOFTWARE SESSION .....	8
<b>BASIC ANALYSIS PROCEDURES .....</b>	<b>9</b>
STEP 1—START MICROSOFT EXCEL SPREADSHEET SOFTWARE .....	9
STEP 2—START ISAT.....	9
STEP 3—REVIEW DEFAULT DATA AND UPDATE VALUES TO REFLECT CURRENT LOCAL CONDITIONS .....	10
STEP 4—IDENTIFY INDIVIDUAL COMPONENTS OF ANALYSIS AREA .....	11
STEP 5—ENTER GENERAL INTERCHANGE DATA .....	11
STEP 6—ENTER INTERCHANGE ELEMENT DATA .....	11
STEP 7—PERFORM CALCULATIONS.....	11
STEP 8—REVIEW RESULTS .....	12
<b>INPUT REQUIREMENTS .....</b>	<b>13</b>
GENERAL INTERCHANGE INPUTS .....	13
MAINLINE FREEWAY SEGMENT INPUTS.....	19
RAMP INPUTS .....	22
CROSSROAD RAMP TERMINALS AND INTERSECTIONS INPUTS.....	26
CROSSROAD SEGMENT INPUTS.....	30
<b>DEFAULT DATA .....</b>	<b>35</b>
SAFETY PERFORMANCE FUNCTIONS (SPFs) .....	35
Mainline Freeway Segment SPFs .....	36
Ramp SPFs.....	38
Crossroad Ramp Terminal and Intersection SPFs .....	44
Crossroad Segment SPFs .....	44
CALIBRATION COEFFICIENTS.....	47
Calibration Procedure .....	50
Calibration Example .....	56
CRASH DISTRIBUTIONS BY SEVERITY AND TYPE .....	62
Crash Distributions for Mainline Freeways.....	63
Crash Distributions for Ramps .....	63
Crash Distributions for Crossroad Ramp Terminals and Intersections.....	65
Crash Distributions for Crossroad Segments.....	65

<b>OUTPUT REPORTS.....</b>	<b>73</b>
GENERAL OUTPUT REPORT.....	73
INDIVIDUAL OUTPUT REPORTS FOR INTERCHANGE ELEMENTS .....	75
<b>APPLICATIONS OF ISAT .....</b>	<b>87</b>
TYPES OF ANALYSIS APPLICATIONS .....	87
Application 1—Estimating the Safety Performance of an Existing Interchange .....	87
Application 2—Predicting the Safety Performance of Design Alternatives for a New Interchange .....	87
Application 3—Predicting the Safety Performance of Design Alternatives for an Existing Interchange .....	88
APPLICATION OF ISAT TO SPECIFIC INTERCHANGE CONFIGURATIONS .....	88
Full Diamond Interchange .....	92
Partial Cloverleaf Interchange .....	93
Full Cloverleaf Interchange .....	93
Directional Interchange.....	94
Extended Roadway Networks Near Interchanges.....	94
<b>REFERENCES.....</b>	<b>97</b>

## LIST OF FIGURES

Figure 1. Example interchange illustrating individual components. ....	3
Figure 2. General interchange input data screen.....	14
Figure 3. Typical gore area characteristics .....	17
Figure 4. Typical ramp configurations.....	26
Figure 5. Sample application of ISAT to a full diamond interchange.....	89
Figure 6. Sample application of ISAT to a partial cloverleaf interchange. ....	90
Figure 7. Sample application of ISAT to a full cloverleaf interchange.....	91
Figure 8. Sample application of ISAT to a directional interchange. ....	92

## LIST OF TABLES

Table 1. Summary of input variables for general interchange area. ....	15
Table 2. Example data for rural diamond interchange (Input-General).....	18
Table 3. Mainline freeway segments input data screen. ....	20
Table 4. Summary of input variables for mainline freeway segments. ....	21
Table 5. Example data for rural diamond interchange (Input Mainline Freeways).....	23
Table 6. Ramps input data screen. ....	24
Table 7. Summary of input variables for ramps. ....	25
Table 8. Example data for rural diamond interchange (Input Ramps). ....	28
Table 9. Crossroad ramp terminal and intersection input data screen. ....	28
Table 10. Summary of input variables for crossroad ramp terminals and intersections.....	29
Table 11. Example data for rural diamond interchange (Input Ramp Terminals).....	31
Table 12. Arterial crossroad roadway segment input data screen. ....	31
Table 13. Summary of input variables for crossroad roadway segments. ....	32
Table 14. Example data for rural diamond interchange (Input Crossroad Segments).....	33
Table 15. SPF Coefficients and parameters for mainline freeway segments. ....	39
Table 16. Definitions of coefficients and parameters of SPFs for mainline freeway segments. ...	40
Table 17. SPF Coefficients and parameters for ramps. ....	41
Table 18. Definitions of coefficients and parameters of SPFs for ramps. ....	42
Table 19. SPF Coefficients and parameters for acceleration lanes.....	43
Table 20. Definitions of coefficients and parameters of SPFs for acceleration Lanes. ....	43
Table 21. SPF Coefficients and parameters for crossroad ramp terminals and intersections. ....	45
Table 22. Definitions of coefficients and parameters of SPFs for crossroad ramp terminals and intersections.....	46
Table 23. SPF coefficients and parameters for crossroad segments. ....	48
Table 24. Definitions of coefficients and parameters of SPFs for crossroad segments.....	49
Table 25. Calibration coefficients for mainline freeway segment SPFs.....	50
Table 26. Calibration coefficients for ramp SPFs.....	51
Table 27. Calibration coefficients for crossroad ramp terminal and intersection SPFs.....	52
Table 28. Calibration coefficients for crossroad segment SPFs. ....	53
Table 29. Nomenclature for calibration procedures. ....	53
Table 30. Example data for calibration procedure (Input-General).....	58

Table 31. Example data for calibration procedure (Input Mainline Freeways).....	59
Table 32. Example output report for calibration procedure.....	60
Table 33. Example calibration procedure (Input Calibration Worksheet).....	61
Table 34. Nomenclature for crash distribution calculations. ....	62
Table 35. Proportions of crashes by severity and type for mainline freeways. ....	64
Table 36. Proportions of crashes by severity and type for ramps. ....	66
Table 37. Proportions of crashes by severity and type for crossroad ramp terminals and intersections. ....	68
Table 38. Proportions of crashes by severity and type for arterial crossroad roadway segments.....	70
Table 39. General interchange information (General Output Report).....	74
Table 40. Number of predicted crashes for entire interchange area (General Output Report). ....	74
Table 41. Number of predicted crashes by interchange element type (General Output Report)...	76
Table 42. Number of predicted crashes by year (General Output Report). ....	76
Table 43. Number of predicted crashes by collision type (General Output Report). ....	77
Table 44. Number of predicted crashes by collision type for all mainline freeway segments combined.....	77
Table 45. Number of predicted crashes for individual mainline freeway segments.....	78
Table 46. Number of predicted crashes by collision type for all ramps combined. ....	80
Table 47. Number of predicted crashes for individual ramps.....	81
Table 48. Number of predicted crashes by collision type for all crossroad ramp terminals and intersections combined.....	82
Table 49. Number of predicted crashes for individual crossroad ramp terminals and intersections. ....	83
Table 50. Number of predicted crashes by collision type for all arterial crossroad roadway segments combined.....	84
Table 51. Number of predicted crashes for Individual arterial crossroad roadway segments.....	85

### Technical Report Documentation Page

<b>1. Report No.</b>  FHWA-RD-97-106	<b>2. Government Accession No.</b>	<b>3. Recipient's Catalog No.</b>
<b>4. Title and Subtitle</b>  STATISTICAL MODELS OF ACCIDENTS ON INTERCHANGE RAMPS AND SPEED-CHANGE LANES	<b>5. Report Date</b>	<b>6. Performing Organization</b>
	<b>8. Performing Organization Report No.</b>  3195-02	
<b>7. Author(s)</b>  K.M. Bauer and D.W. Harwood	<b>9. Performing Organization Name and Address</b>  Midwest Research Institute 425 Volker Boulevard Kansas City, Missouri 64110-2299	
<b>12. Sponsoring Agency Name and Address</b>  Office of Safety and Traffic Operations Research and Development Federal Highway Administration 6300 Georgetown Pike McLean, Virginia 22101-2296	<b>10. Work Unit No. (TRAIS)</b>  3A5A	<b>11. Contract or Grant No.</b>  DTFH61-92-C- 00031
	<b>13. Type of Report and Period Covered</b>  Final Technical Report May 1994 - July 1997	
<b>14. Sponsoring Agency Code</b>		<b>15. Supplementary Notes</b>  Contracting Officer's Technical Representative (COTR): Joe Bared, HSR-20
<b>16. Abstract</b>  The objective of this research was to develop statistical models for defining the relationship between traffic accidents and highway geometric design elements and traffic volumes for interchange ramps and speed-change lanes. The data base used to develop the models consisted of data for interchange ramps and speed-change lanes in the State of Washington and was obtained from the FHWA Highway Safety Information System. Additional geometric design features were obtained from the review of interchange diagrams. Data on other geometric design features, such as the ramp grades and horizontal curvature, were collected for a sample of ramps from aerial photographs and other existing highway agency files.  The statistical modeling approaches used in the research included Poisson and negative binomial regression. Regression models to determine relationships between accidents and the geometric design and traffic volume characteristics of ramps were difficult to develop because the observed accident frequencies for most ramps and speed-change lanes are very low. The regression models developed, based on the negative binomial distribution, explained between 10 and 42 percent of the variability in the accident data, with the negative binomial distribution providing a poor to moderate fit to the data. However, most of that variability was explained by ramp Annual Average Daily Traffic (AADT). Other variables found to be significant in some models included mainline freeway AADT, area type (rural/urban), ramp type (on/off), ramp configuration, and		



combined length of ramp and speed-change lane.

The best models obtained for predicting accident frequencies were those obtained when modeling the combined accident frequency for an entire ramp, together with its adjacent speed-change lanes. These models provided a better fit than separate models for ramps and speed-change lanes. Models developed to predict total accidents generally performed slightly better than did models to predict fatal and injury accidents.

<b>17. Key Words</b>		<b>18. Distribution</b>	<b>Statement</b>
Accident Modeling	Poisson Regression	No restrictions.	This document is available to the public through the National Technical Information Service, Springfield, Virginia 22161.
Traffic Accidents	Negative Binomial		
Geometric Design	Regression		
Interchange Ramps	Speed-Change Lanes		
<b>19. Security Classif. (of this report)</b>	<b>20. Security Classif. (of this page)</b>	<b>21. No. of Pages</b>	<b>22. Price</b>
Unclassified	Unclassified	163	

Form DOT F 1700.7 (8-72) Reproduction of completed page authorized

## TABLE OF CONTENTS

### CHAPTER 1: [INTRODUCTION](#)

- [Background](#)
- [Research Overview](#)
- [Scope and Organization of This Report](#)

### CHAPTER 2: [OVERVIEW OF LITERATURE AND STATISTICAL MODELING APPROACHES](#)

- [Previous Evaluations of Ramp and Speed-Change Lane Accidents](#)
  - [Statistical Modeling of Interchange Accidents](#)
  - [Effect of Horizontal Alignment of Ramps](#)
  - [Effect of Vertical Alignment of Ramps](#)
  - [Effect of Ramp Configuration](#)
  - [Accident Location Along Ramps](#)
  - [Effect of Ramp Traffic Volumes](#)
  - [Speed-Change Lanes and Weaving Areas](#)
- [Innovative Approaches of Statistical Modeling](#)

### CHAPTER 3: [DATA BASE SELECTION](#)

### CHAPTER 4: [DATA BASE DESCRIPTION](#)

- [Variables Available in the Washington State Data Base](#)
- [Additional Variables Obtained From Review of Interchange Diagrams](#)

- [Additional Variables Obtained From Washington State DOT Records](#)

## **CHAPTER 5: STATISTICAL MODELING**

- [Data Preparation](#)
  - [Types and Combinations of Interchange Elements](#)
  - [Safety Measures of Effectiveness \(Dependent Variables\)](#)
  - [Selection of Geometric and Traffic Parameters of Interest \(Independent Variables\)](#)
- [Accident Rates and Frequency Distributions](#)
- [Loglinear Regression Model](#)
  - [Poisson Regression Model](#)
  - [Negative Binomial Regression Model](#)
  - [Treatment of Traffic Volume Variables in Loglinear Regression Models](#)
- [Accident Modeling Results](#)
  - [Ramp Proper Segments \(Including All Accidents\)](#)
  - [Ramp Proper Segments, Off-Ramp Only \(Excluding Rear-End Accidents\)](#)
  - [Entire Ramps \(Including All Accidents\)](#)
  - [Entire Ramps Only \(Excluding Rear-End Accidents\)](#)
  - [Speed-Change Lanes](#)
  - [Entire ramps and Adjacent Speed-Change Lanes Combined](#)
  - [Selection Urban Off-Ramps](#)
  - [Discussion of Results](#)

## **CHAPTER 6: FINDINGS AND CONCLUSIONS**

### **APPENDIX A: DEFINITIONS OF GEOMETRIC DESIGN AND TRAFFIC VOLUME VARIABLES**

### **APPENDIX B: ACCIDENT SEVERITY DISTRIBUTION BY RAMP SEGMENT TYPE FOR EIGHT SELECTED RAMP TYPES**

### **APPENDIX C: ACCIDENT TYPE DISTRIBUTIONS BY RAMP SEGMENT TYPE FOR EIGHT SELECTED RAMP TYPES**

### **APPENDIX D: ACCIDENT FREQUENCY DISTRIBUTIONS FOR SELECTED INTERCHANGE ELEMENTS**

## **REFERENCES**

---

### **LIST OF FIGURES**

1. [Typical Interchange Configurations](#)
2. [Typical Ramp Configurations](#)
3. [Illustration of Ramps and Adjacent Speed-Change Lanes](#)
4. [Typical Interchange Diagram Used to Determine Relationships Between Interchange Elements](#)
5. [Accident Frequency Distributions for Entire Ramps](#)
6. [Accident Frequency Distributions for Ramp Proper Segments: Off-Ramps vs. On-Ramps](#)

7. [Total Accident Frequency Distributions for Ramp Proper Segments: Off-Ramps vs. On-Ramps](#)
8. [Fatal and Injury Accident Frequency Distributions for Ramp Proper Segments: Off-Ramp vs On-Ramp](#)
9. [Accident Frequency Distribution for Ramp Proper Segments, Off-Ramps Only \(Rear-end Accidents Excluded\)](#)
10. [Accident Frequency Distribution for Entire Ramps, Off-Ramps Only \(Rear-End Accidents Excluded\)](#)
11. [Accident Frequency Distributions for Speed-Change Lanes](#)
12. [Accident Frequency Distributions for Entire Ramps, Including the Adjacent Speed-Change Lane](#)
13. [Accident Frequency Distributions for Urban Diamond Off-Ramps](#)
14. [Accident Frequency Distributions for Urban Parclo and Free-Flow Loop Off-Ramps](#)
15. [Accident Frequency Distributions for Urban Outer Connection Off-Ramps](#)
16. [Annual Accident Frequency Distributions for Entire Ramps \(1993-1995\)](#)
17. [Annual Accident Frequency Distributions for Ramp Proper Segments \(1993-1995\)](#)

### **List of Tables**

1. [Accident Rates on Outer Connection Ramps as a Function of Curvature and Average Daily Traffic Volume](#)
2. [Accident Rates for Loop Ramps as a Function of Curvature and Average Daily Traffic Volume](#)
3. [Accident Rates by Ramp Type and Configuration](#)
4. [Accident Rates by Area Type and Interchange Unit](#)
5. [Variables Available in the Existing Washington Data Base for Ramps and Speed-Change Lanes](#)
6. [Accident History Variables Derived From Washington State Accident File](#)
7. [Additional Variables Obtained From Review of Data and Interchange Diagrams](#)
8. [Additional Variables Obtained From Review of Other Highway Agency Records](#)
9. [Number of Ramps by Facility Type, Ramp Type, and Area Type](#)
10. [Number of Interstate Ramps by Ramp Configuration, Area Type, and Ramp Type](#)
11. [Number of Entire Ramps by Ramp Configuration, Area Type, and Ramp Type](#)
12. [Number of Ramp Proper Segments by Ramp Configuration, Area Type, and Ramp Type](#)
13. [Total Accident Frequencies and Rates for Entire Ramps by Ramp Configuration, Area Type, and Ramp Type \(1993-1995\)](#)
14. [Fatal and Injury Accident Frequencies and Rates for Entire Ramps by Ramp Configuration, Area Type, and Ramp Type \(1993-1995\)](#)
15. [Descriptive Statistics for Ramp Proper Segments](#)
16. [Model Diagnostics for Total and Fatal and Injury Accidents on Ramp Proper Segments](#)
17. [Negative Binomial Regression Results for Total Accident on Ramp Proper Segments](#)
18. [Negative Binomial Regression Results for Fatal and Injury Accidents on Ramp Proper Segments](#)
19. [Descriptive Statistics for Ramp Proper Segments on Off-Ramps \(Rear-End Accidents Excluded\)](#)
20. [Model Diagnostics for Total and Fatal and Injury Accidents for Ramp Proper Segments of Off-Ramps \(Rear-End Accidents Excluded\)](#)
21. [Negative Binomial Regression Results for Total Accidents for Ramp Proper Segments on Off-Ramps \(Rear-End Accidents Excluded\)](#)
22. [Negative Binomial Regression Results for Fatal and Injury Accidents for Ramp Proper Segments on Off-Ramps \(Rear-End Accidents Excluded\)](#)
23. [Descriptive Statistics for Entire Ramps](#)
24. [Model Diagnostics for Total and Fatal and Injury Accidents on Entire Ramps](#)
25. [Negative Binomial Regression Results for Total Accidents on Entire Ramps](#)
26. [Negative Binomial Regression Results for Fatal and Injury Accidents on Entire Ramps](#)

27. [Descriptive Statistics for Entire Off-Ramps \(Rear-End Accidents Excluded\)](#)
28. [Model Diagnostics for Total and Fatal and Injury Accidents on Entire Off-Ramps \(Rear-End Accidents Excluded\)](#)
29. [Negative Binomial Regression Results for Total and Fatal and Injury Accidents on Entire Off-Ramps \(Rear-End Accidents Excluded\)](#)
30. [Descriptive Statistics for Speed-Change Lanes](#)
31. [Model Diagnostics for Total and Fatal and Injury Accidents in Speed-Change Lanes](#)
32. [Negative Binomial Regression Results for Total Accidents in Acceleration Lanes \(Diamond On-Ramps Only\)](#)
33. [Negative Binomial Regression Results for Fatal and Injury Accidents in Acceleration Lanes \(Diamond On-Ramps Only\)](#)
34. [Descriptive Statistics for Entire Ramps, Including the Adjacent Speed-Change Lane](#)
35. [Model Diagnostics for Total and Fatal and Injury Accidents on Entire Ramps, Including the Adjacent Speed-Change Lane](#)
36. [Negative Binomial Regression Results for Total Accidents on Entire Ramps, Including the Adjacent Speed-Change Lane \(Reduced Model at 10-Percent Significance Level\)](#)
37. [Negative Binomial Regression Results for Fatal and Injury Accidents on Entire Ramps, Including the Adjacent Speed-Change Lane \(Reduced Model at 10-Percent Significance Level\)](#)
38. [Negative Binomial Regression Results for Total Accidents on Entire Ramps, Including the Adjacent Speed-Change Lane \(Reduced Model at 20-Percent Significance Level\)](#)
39. [Negative Binomial Regression Results for Fatal and Injury Accidents on Entire Ramps, Including the Adjacent Speed-Change Lane \(Reduced Model at 20-Percent Significance Level\)](#)
40. [Descriptive Statistics for Urban Diamond Off-Ramps](#)
41. [Model Diagnostics for Total and Fatal and Injury Accidents on Urban Diamond Off-Ramps](#)
42. [Summary of Statistically Significant Variables in Modeling Accidents on Urban Diamond Off-Ramps](#)
43. [Expected Accident Experience for Rural Off-Ramps](#)
44. [Expected Accident Experience for Rural On-Ramps](#)
45. [Expected Accident Experience for Urban Off-Ramps](#)
46. [Expected Accident Experience for Urban On-Ramps](#)
47. [Definitions of Variable Considered in Statistical Modeling Of Ramp and Speed-Change Lane Accidents](#)
48. [Accident Severity Distribution by Ramp Segment Type for Rural Diamond Off-Ramps \(1993 Through 1995\)](#)
49. [Accident Severity Distribution by Ramp Segment Type for Rural Diamond On-Ramps \(1993 Through 1995\)](#)
50. [Accident Severity Distribution by Ramp Segment Type for Urban Diamond Off-Ramps \(1993 Through 1995\)](#)
51. [Accident Severity Distribution by Ramp Segment Type for Urban Parclo Loop Off-Ramps \(1993 Through 1995\)](#)
52. [Accident Severity Distribution by Ramp Segment Type for Urban Free-Flow Off-Ramps \(1993 Through 1995\)](#)
53. [Accident Severity Distribution by Ramp Segment Type for Urban Outer Connection Off-Ramps \(1993 Through 1995\)](#)
54. [Accident Severity Distribution by Ramp Segment Type for Urban Direct and Semi-Direct Connection Off-Ramps \(1993 Through 1995\)](#)
55. [Accident Severity Distribution by Ramp Segment Type for Urban C/D Roads \(1993 Through 1995\)](#)
56. [Accident Type Distribution by Ramp Segment Type for Rural Diamond Off-Ramps \(1993 Through 1995\)](#)
57. [Accident Type Distribution by Ramp Segment Type for Rural Diamond On-Ramps \(1993](#)

- [Through 1995\)](#)
58. [Accident Type Distribution by Ramp Segment Type for Urban Urban Diamond Off-Ramps \(1993 Through 1995\)](#)
  59. [Accident Type Distribution by Ramp Segment Type for Urban Parclo Loop Off-Ramps\(1993 Through 1995\)](#)
  60. [Accident Type Distribution by Ramp Segment Type for Urban Free-Flow Loop Off-Ramps \(1993 Through 1995\)](#)
  61. [Accident Type Distribution by Ramp Segment Type for Urban Outer Connection Off-Ramps \(1993 Through 1995\)](#)
  62. [Accident Type Distribution by Ramp Segment Type for Urban Direct and Semi-Direct Connection Ramps \(1993 Through 1995\)](#)
  63. [Accident Type Distribution by Ramp Segment Type for Urban C/D Roads\(1993 Through 1995\)](#)



# **Planning Level Regression Models for Crash Prediction on Interchange and Non-Interchange Segments of Urban Freeways**

Arun Chatterjee, Professor  
Department of Civil and Environmental Engineering  
The University of Tennessee  
Knoxville, TN 37996  
Tel: (865) 974-7714  
Fax: (865) 974-2669  
E-mail: [arun@utk.edu](mailto:arun@utk.edu)

Joseph E. Hummer, Professor  
Department of Civil, Construction, and Environmental Engineering  
North Carolina State University  
Raleigh, NC 27695-7908  
Tel: (919) 515-7733  
Fax: (919) 515-7908  
E-mail: [hummer@eos.ncsu.edu](mailto:hummer@eos.ncsu.edu)

Vasin Kiattikomol, Graduate Student  
Department of Civil and Environmental Engineering  
The University of Tennessee  
Knoxville, TN 37996

Mary Sue Younger, Associate Professor  
Department of Statistics  
The University of Tennessee  
Knoxville, TN 37996  
Tel: (865) 974-1638  
Fax: (865) 974-2490  
E-mail: [msyounger@utk.edu](mailto:msyounger@utk.edu)

Prepared for the Southeastern Transportation Center,  
Center for Transportation Research,  
The University of Tennessee,  
Knoxville, TN 37996-4133  
August, 2005

**ABSTRACT**

The need for safety assessment tools for long-range transportation planning at statewide and metropolitan levels received serious recognition when the Transportation Equity Act for Twenty First Century (TEA-21) established a requirement related to safety considerations in the planning process of Metropolitan Planning Organizations (MPO) and state Departments of Transportation. However, most MPOs do not currently assess the safety consequences of alternative transportation systems, and one of the reasons is the lack of suitable methodology. The goal of this research was to develop practical tools for assessing safety consequences of freeways in the context of long-range urban transportation plans. Data for crashes, identified by freeway segments, were obtained from the North Carolina Department of Transportation and Tennessee Department of Transportation. The researchers used the negative-binomial regression modeling approach to develop separate models to predict number of crashes for different level of crash severity for non-interchange segments and interchange segments. A major consideration for the selection of independent variables of the models was planners' ability to forecast future values of the variables for alternative highway networks. The research provides crash prediction models that MPO planners can use to evaluate the safety impact of alternative freeway networks. These models are appropriate for 'safety conscious planning'.



# Safety Assessment of Interchange Spacing on Urban Freeways

Publication No.: FHWA-HRT-07-031

FHWA Contact: Joe G. Bared, HRDS-05, 202-493-3314, or Wei Zhang, HRDS-05, 202-493-3317

## Objective

The decision to build a new interchange between an existing pair of interchanges is made by evaluating whether there is sufficient need for traffic to enter and/or exit the freeway at that location. The obvious intent is to reduce the systemwide travel times and delays for all users by providing convenient freeway access and egress. Although there are ways to evaluate these operational benefits quantitatively, to date researchers have not expressed in measurable terms the compromise in safety, or the increase in crashes per mile of freeway. This knowledge is essential for conducting a comprehensive cost-benefit analysis of new interchange construction projects. To fill this void, we endeavored to study interchange spacing from a safety perspective by estimating regression models to express crash frequencies as a function of highway characteristics, including interchange spacing. We then used the regression models to quantify the crash sensitivity to interchange spacing for fatal and injury crashes. We used data pertaining to freeway sections from 7 urban freeways in California and 10 urban areas in Washington for building the regression models.

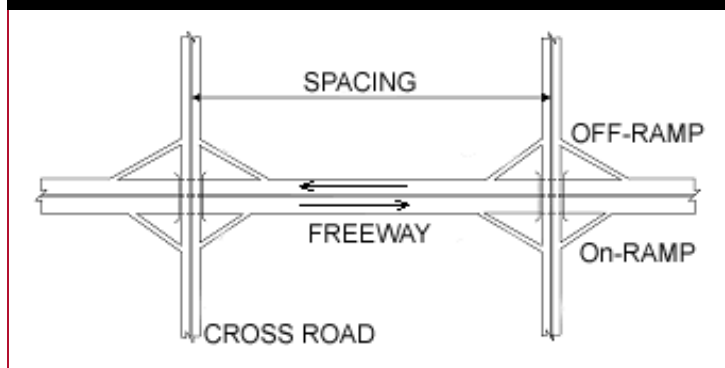


U.S. Department  
of Transportation  
**Federal Highway  
Administration**

Research, Development, and  
Technology  
Turner-Fairbank Highway  
Research Center  
6300 Georgetown Pike  
McLean, VA 22101-2296

[www.tfhrc.gov](http://www.tfhrc.gov)

**Figure 1. Spacing between interchanges.**



# **Safety Performance Assessment of Freeway Interchanges, Ramps, and Ramp Terminals**

Bishnu Parajuli, City of Brampton  
Bhagwant Persaud, Ryerson University  
Craig Lyon, Ryerson University  
Janice Munro, Ministry of Transportation Ontario

Paper prepared for presentation

at the "Road Safety Engineering Management" Session  
of the 2006 Annual Conference of the  
Transportation Association of Canada  
Charlottetown, Prince Edward Island

## **Acknowledgement**

The work was performed under a grant from MTO's Highway Infrastructure Innovation Funding Program (HIIFP) for Ontario Universities and Colleges. This support is greatly appreciated, as is the assistance in data collection from numerous individuals within the MTO. A grant from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC) supported the development of the fundamental research concepts that were applied in this project.

## **ABSTRACT**

The paper describes the development of new safety performance functions for interchanges, ramps and ramp terminals for Ontario freeways, using negative binomial regression modelling that relates collision frequency to traffic volumes and basic entity characteristics. Also presented is the application of these safety performance functions for network screening using two varieties of the potential for safety improvement (PSI) index method, one based on expected collision frequency and one based on expected collision frequency in excess of what is considered normal. The rankings of screened sites based on the two methods are compared. A third method, which is based on an index of a high proportion of a specific collision type, is applied to ramp terminals by way of illustration to identify those sites with high proportions of specific collision types. This method does not require safety performance functions or traffic volumes but does require the application of some fairly intricate statistical methodology. A comparison of the rankings so obtained with those derived by applying the PSI methods for a specific collision type suggests that the method of screening for high proportions of specific collisions can be a useful alternative to the PSI index method where safety performance functions and/or traffic volumes are not available since, unlike the PSI Index method, it does not require these inputs in doing network screening for specific collision types. This work has been developed as part of the continuing efforts of the Ministry of Transportation Ontario to establish a state-of-the-art knowledge base on the interaction of human factors, highway design and highway safety that can be put into practical use. The body of knowledge that is being assembled is referred to as the “The Science of Highway Safety”.

## **INTRODUCTION**

Rational road safety management requires the efficient screening of the road network to identify those elements (e.g., ramps, interchanges, ramp terminals) where there is a high potential for safety improvement. It is important that this process be efficient since an inefficient process could cause resources to be wasted on unsafe elements while safe ones are left untreated. Conventional techniques utilizing collision counts and/or rates, often in a statistical quality control framework, are not as efficient as desired. Using collision counts could produce a bias in favour of high-volume elements; and using collision rates could produce a bias in favour of low volume ones because of the inherent non-linearity in the relationship between collisions and traffic volume, a relationship that has been confirmed by numerous researchers. In addition, the regression-to-mean effect could result in elements with temporarily-high observed collision frequencies and/or rates to be incorrectly identified as unsafe, and vice-versa.

To overcome the difficulties with the conventional techniques, an approach based on operational or safety performance functions<sup>1</sup> has been developed as part of the continuing efforts of the Ministry of Transportation Ontario (MTO) to establish a state-of-the-art knowledge base concerning the interaction of human factors, highway design and highway safety that can be put into practical use. The body of knowledge that is being assembled is referred to as “The Science of Highway Safety”. This approach compensates for random fluctuations in collision occurrence

---

<sup>1</sup> “Operational” performance function is a term used by MTO for what is commonly referred to as “Safety” performance function.

1. Report No. FHWA/TX-05/0-4703-P1		2. Government Accession No.		3. Recipient's Catalog No.	
4. Title and Subtitle ROADWAY SAFETY DESIGN SYNTHESIS				5. Report Date May 2005 Resubmitted: September 2005 Resubmitted: November 2005	
				6. Performing Organization Code	
7. Author(s) J. Bonneson, K. Zimmerman, and K. Fitzpatrick				8. Performing Organization Report No. Product 0-4703-P1	
9. Performing Organization Name and Address Texas Transportation Institute The Texas A&M University System College Station, Texas 77843-3135				10. Work Unit No. (TRAIS)	
				11. Contract or Grant No. Project 0-4703	
12. Sponsoring Agency Name and Address Texas Department of Transportation Research and Technology Implementation Office P.O. Box 5080 Austin, Texas 78763-5080				13. Type of Report and Period Covered Product	
				14. Sponsoring Agency Code	
15. Supplementary Notes Project performed in cooperation with the Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration. Project Title: Incorporating Safety into the Highway Design Process URL: <a href="http://tti.tamu.edu/documents/0-4703-P1.pdf">http://tti.tamu.edu/documents/0-4703-P1.pdf</a>					
16. Abstract  Highway safety is an ongoing concern to the Texas Department of Transportation (TxDOT). As part of its proactive commitment to improving highway safety, TxDOT is moving toward including quantitative safety analyses earlier in the project development process. The objectives of this research project are: (1) the development of safety design guidelines and evaluation tools to be used by TxDOT designers, and (2) the production of a plan for the incorporation of these guidelines and tools in the planning and design stages of the project development process.  This document describes the effect of key design components on street and highway safety. The information presented herein represents the findings from a critical review of the literature and an evaluation of the reported safety trends and relationships. The purpose of this document is to promote the explicit and objective consideration of safety in the design process. It is envisioned to be a reference document that will be useful to engineers and researchers who desire detailed safety information on various highway geometric design elements. The information in this document was used to develop the guidelines presented in the <i>Interim Roadway Safety Design Workbook</i> .					
17. Key Words Highway Design, Highway Safety, Freeways, Urban Streets, Rural Highways, Types of Intersections, Ramps (Interchanges)			18. Distribution Statement		
19. Security Classif.(of this report)		20. Security Classif.(of this page)		21. No. of Pages 204	22. Price

# ROADWAY SAFETY DESIGN SYNTHESIS

by

J. Bonneson, P.E.  
Research Engineer  
Texas Transportation Institute

K. Zimmerman, P.E.  
Assistant Research Engineer  
Texas Transportation Institute

and

K. Fitzpatrick, P.E.  
Research Engineer  
Texas Transportation Institute

Product 0-4703-P1  
Project Number 0-4703  
Project Title: Incorporating Safety into the Highway Design Process

Performed in cooperation with the  
Texas Department of Transportation  
and the  
Federal Highway Administration

May 2005  
Resubmitted: September 2005  
Resubmitted: November 2005

TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE  
The Texas A&M University System  
College Station, Texas 77843-3135

## **DISCLAIMER**

The contents of this report reflect the views of the authors, who are responsible for the facts and the accuracy of the data published herein. The contents do not necessarily reflect the official view or policies of the Federal Highway Administration (FHWA) and/or the Texas Department of Transportation (TxDOT). This report does not constitute a standard, specification, or regulation. It is not intended for construction, bidding, or permit purposes. The engineer in charge of the project was James Bonneson, P.E. #67178.

## **NOTICE**

The United States Government and the State of Texas do not endorse products or manufacturers. Trade or manufacturers' names appear herein solely because they are considered essential to the object of this report.

## ACKNOWLEDGMENTS

This research project was sponsored by the Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration. The research was conducted by Dr. James Bonneson, Dr. Karl Zimmerman, and Dr. Kay Fitzpatrick with the Texas Transportation Institute.

The researchers would like to acknowledge the support and guidance provided by the Project Monitoring Committee:

- Ms. Aurora (Rory) Meza, Project Coordinator (TxDOT);
- Ms. Elizabeth Hilton, Project Director (TxDOT);
- Mr. David Bartz (FHWA);
- Mr. Mike Battles (TxDOT);
- Mr. Stan Hall (TxDOT);
- Mr. Richard Harper (TxDOT);
- Ms. Meg Moore (TxDOT); and
- Ms. Joanne Wright (TxDOT).

In addition, the researchers would like to acknowledge the valuable assistance provided by Mr. Michael P. Pratt during the report preparation and review stages.



# TABLE OF CONTENTS

	Page
<b>LIST OF FIGURES</b> .....	ix
<b>LIST OF TABLES</b> .....	xi
<b>CHAPTER 1. INTRODUCTION</b> .....	1-1
OVERVIEW .....	1-3
HIGHWAY SAFETY AND GEOMETRIC DESIGN .....	1-3
ROLE OF SAFETY-CONSCIOUS DESIGN IN THE TxDOT DESIGN PROCESS .....	1-6
PURPOSE AND ORGANIZATION OF THE SYNTHESIS .....	1-9
REFERENCES .....	1-10
<b>CHAPTER 2. FREEWAYS</b> .....	2-1
INTRODUCTION .....	2-3
SAFETY PREDICTION MODELS .....	2-4
ACCIDENT MODIFICATION FACTORS .....	2-10
REFERENCES .....	2-25
<b>CHAPTER 3. RURAL HIGHWAYS</b> .....	3-1
INTRODUCTION .....	3-3
SAFETY PREDICTION MODELS .....	3-4
ACCIDENT MODIFICATION FACTORS .....	3-9
REFERENCES .....	3-36
<b>CHAPTER 4. URBAN STREETS</b> .....	4-1
INTRODUCTION .....	4-3
SAFETY PREDICTION MODELS .....	4-4
ACCIDENT MODIFICATION FACTORS .....	4-14
REFERENCES .....	4-33
<b>CHAPTER 5. INTERCHANGE RAMPS</b> .....	5-1
INTRODUCTION .....	5-3
SAFETY PREDICTION MODELS .....	5-5
ACCIDENT MODIFICATION FACTORS .....	5-16
REFERENCES .....	5-16

## TABLE OF CONTENTS (Continued)

	Page
<b>CHAPTER 6. RURAL INTERSECTIONS</b> .....	6-1
INTRODUCTION .....	6-3
SAFETY PREDICTION MODELS .....	6-5
ACCIDENT MODIFICATION FACTORS .....	6-15
REFERENCES .....	6-34
<b>CHAPTER 7. URBAN INTERSECTIONS</b> .....	7-1
INTRODUCTION .....	7-3
SAFETY PREDICTION MODELS .....	7-5
ACCIDENT MODIFICATION FACTORS .....	7-18
REFERENCES .....	7-29

## LIST OF FIGURES

Figure	Page
1-1 Components of the Project Development Process .....	1-7
2-1 Severe Crash Frequency for Urban Freeways .....	2-9
2-2 Severe Crash Frequency for Rural Freeways .....	2-10
2-3 Horizontal Curve AMF for Freeways .....	2-12
2-4 Grade AMF for Freeways .....	2-13
2-5 Lane Width AMF for Freeways .....	2-15
2-6 Outside Shoulder Width AMF for Freeways .....	2-16
2-7 Inside Shoulder Width AMF for Freeways .....	2-18
2-8 Relationship between Median Width and Severe Crash Frequency .....	2-18
2-9 Median Width AMF for Freeways .....	2-19
2-10 Speed Limit AMF for Freeways .....	2-24
3-1 Severe Crash Frequency for Rural Two-Lane Highways .....	3-10
3-2 Severe Crash Frequency for Rural Multilane Divided Highways .....	3-10
3-3 Horizontal Curve AMF for Rural Highways .....	3-11
3-4 Grade AMF for Rural Highways .....	3-14
3-5 Lane Width AMF for Rural Highways .....	3-19
3-6 Lane Width AMF for Low Volume Rural Highways .....	3-19
3-7 Outside Shoulder Width AMF for Rural Highways .....	3-21
3-8 Outside Shoulder Width AMF for Low Volume Rural Highways .....	3-21
3-9 Inside Shoulder Width AMF for Rural Highways .....	3-23
3-10 Relationship between Median Width and Severe Crash Frequency .....	3-23
3-11 Median Width AMF for Rural Highways .....	3-24
3-12 TWLTL Median Type AMF for Rural Highways .....	3-26
3-13 Correlation between Relative Bridge Width and Bridge Crash Rate .....	3-31
3-14 Driveway Density AMF for Rural Highways .....	3-34
3-15 Speed Limit AMF for Rural Highways .....	3-36
4-1 Severe Crash Frequency for Undivided Streets .....	4-13
4-2 Severe Crash Frequency for Streets with TWLTL .....	4-13
4-3 Severe Crash Frequency for Four-Lane Streets with Raised-Curb Median .....	4-14
4-4 Curve Radius AMF for Urban Streets .....	4-15
4-5 Lane Width AMF for Urban Streets .....	4-17
4-6 Shoulder Width AMF for Two-Lane Urban Streets .....	4-18
4-7 Shoulder Width AMF for Four-Lane Urban Streets .....	4-19
4-8 Median Width AMF for Urban Streets .....	4-20
4-9 TWLTL Median Type AMF for Urban Streets .....	4-23
4-10 Parking AMF for Urban Streets .....	4-24
4-11 Driveway Density AMF for Urban Streets .....	4-31

## LIST OF FIGURES (Continued)

Figure	Page
4-12 Truck Presence AMF for Urban Streets .....	4-32
4-13 Speed Limit AMF for Urban Streets .....	4-33
5-1 Commonly Used Interchange Types .....	5-4
5-2 Basic Interchange Ramp Configurations .....	5-6
5-3 Severe Crash Frequency Predicted by Bauer and Harwood Model .....	5-8
5-4 Comparison of Predicted and Reported Crash Rates .....	5-11
5-5 Acceleration and Deceleration Speed-Change Lanes .....	5-14
5-6 Crash Frequencies for Ramp Speed-Change Lanes .....	5-15
6-1 Comparison of Safety Prediction Models for Rural Signalized Intersections .....	6-8
6-2 Comparison of Safety Prediction Models for Rural Unsignalized Intersections .....	6-12
6-3 Correlation between Model Coefficients .....	6-13
6-4 Driveway Frequency AMF for Rural Signalized Intersections .....	6-21
6-5 Truck Presence AMF for Rural Signalized Intersections .....	6-22
6-6 Speed AMF for Rural Signalized Intersections .....	6-24
6-7 Shoulder Width AMF for Rural Unsignalized Intersections .....	6-27
6-8 Median Width AMF for Rural Unsignalized Intersections .....	6-28
6-9 Skew Angle AMF for Rural Unsignalized Intersections .....	6-30
6-10 Driveway Frequency AMF for Rural Unsignalized Intersections .....	6-32
6-11 Truck Presence AMF for Rural Unsignalized Intersections .....	6-33
6-12 Speed AMF for Rural Unsignalized Intersections .....	6-34
7-1 Crash Models Developed by Lyon et al. for Four-Leg Intersections .....	7-7
7-2 Crash Models Developed by Lyon et al. for Three-Leg Intersections .....	7-7
7-3 Comparison of Safety Prediction Models for Urban Signalized Intersections .....	7-11
7-4 Comparison of Safety Prediction Models for Urban Unsignalized Intersections .....	7-15
7-5 Correlation between Model Coefficients .....	7-16
7-6 Lane Width AMF for Urban Signalized Intersections .....	7-21
7-7 Speed AMF for Urban Signalized Intersections .....	7-22
7-8 Lane Width AMF for Urban Unsignalized Intersections .....	7-25
7-9 Shoulder Width AMF for Urban Unsignalized Intersections .....	7-26
7-10 Median Width AMF for Urban Unsignalized Intersections .....	7-28
7-11 Speed AMF for Urban Unsignalized Intersections .....	7-29

## LIST OF TABLES

Table	Page
1-1 National Motor Vehicle Crash Statistics for 1995 and 2000 .....	1-4
1-2 Comparison of Texas with National Motor Vehicle Crash Statistics .....	1-5
1-3 Potential Safety Tasks in the Project Development Process .....	1-8
2-1 Database Characteristics for Various Freeway Safety Prediction Models .....	2-6
2-2 Typical Values Used for Freeway Model Comparison .....	2-9
2-3 AMFs Related to Geometric Design of Freeways .....	2-10
2-4 Coefficient Values for Grade on Freeways .....	2-13
2-5 Crash Distribution for Freeway Lane Width AMF .....	2-15
2-6 Crash Distribution for Freeway Outside Shoulder Width AMF .....	2-16
2-7 Crash Distribution for Freeway Inside Shoulder Width AMF .....	2-17
2-8 Coefficient Values for Median Width on Freeways .....	2-19
2-9 AMFs for Shoulder Rumble Strips on Freeways .....	2-20
2-10 Crash Distribution for Freeway Shoulder Rumble Strip AMF .....	2-20
2-11 AMFs Related to Roadside Design of Freeways .....	2-21
2-12 Coefficient Values for Utility Pole Density along Freeways .....	2-22
2-13 Crash Distribution for Freeway Utility Pole Density AMF .....	2-22
2-14 RSAP Input Data Requirements .....	2-23
2-15 Coefficient Values for Speed Limit on Freeways .....	2-24
3-1 Database Characteristics for Rural Two-Lane Highway Safety Prediction Models .....	3-6
3-2 Database Characteristics for Rural Multilane Highway Safety Prediction Models .....	3-7
3-3 Typical Values Used for Rural Highway Model Comparison .....	3-9
3-4 AMFs Related to Geometric Design of Rural Highways .....	3-10
3-5 Crash Rate Analysis for Various Rural Highway Cross Sections .....	3-13
3-6 Coefficient Values for Grade on Rural Highways .....	3-15
3-7 Coefficient Analysis for Lane and Shoulder Width on Rural Highways .....	3-16
3-8 Crash Distribution for Rural Highway Lane Width AMF .....	3-18
3-9 Crash Distribution for Rural Highway Outside Shoulder Width AMF .....	3-20
3-10 Crash Distribution for Rural Highway Inside Shoulder Width AMF .....	3-22
3-11 Coefficient Values for Median Width on Rural Highways .....	3-24
3-12 AMFs for Shoulder Rumble Strips on Rural Highways .....	3-25
3-13 Crash Distribution for Rural Highway Shoulder Rumble Strip AMF .....	3-25
3-14 AMFs for Centerline Rumble Strip on Rural Two-Lane Highways .....	3-25
3-15 AMFs for Superelevation on Rural Highways .....	3-27
3-16 AMFs for Passing Lanes on Rural Two-Lane Highways .....	3-27
3-17 AMFs Related to Roadside Design of Rural Highways .....	3-28
3-18 Coefficient Values for Horizontal Clearance on Rural Highways .....	3-29
3-19 Crash Distribution for Rural Highway Horizontal Clearance Width AMF .....	3-29
3-20 Coefficient Values for Side Slope on Rural Highways .....	3-29

## LIST OF TABLES (Continued)

Table	Page
3-21 Coefficient Values for Utility Pole Density on Rural Highways .....	3-30
3-22 Crash Distribution for Rural Highway Utility Pole Density AMF .....	3-30
3-23 Coefficient Values for Bridge Width on Rural Highways .....	3-31
3-24 Crash Distribution for Rural Highway Bridge Width AMF .....	3-31
3-25 RSAP Input Data Requirements .....	3-32
3-26 Coefficient Values for Driveway Density for Rural Highways .....	3-33
3-27 Coefficient Values for Speed Limit for Rural Highways .....	3-35
4-1 Base Crash Rates and Adjustment Factors Reported by Harwood .....	4-5
4-2 Database Characteristics for Various Safety Prediction Models .....	4-6
4-3 Typical Values Used for Urban Street Model Comparison .....	4-12
4-4 AMFs Related to Geometric Design of Urban Streets .....	4-14
4-5 Crash Distribution for Urban Street Lane Width AMF .....	4-17
4-6 Crash Distribution for Urban Street Shoulder Width AMF .....	4-18
4-7 Coefficient Values for Median Width on Urban Streets .....	4-20
4-8 Before-After TWLTL Crash Data Analysis .....	4-22
4-9 AMFs for Parallel Parking on Urban Streets .....	4-23
4-10 Comparison of Angle Parking with Parallel Parking .....	4-25
4-11 Coefficient Values for Uncurbed Cross Section on Urban Streets .....	4-26
4-12 AMFs for Uncurbed Cross Section on Urban Streets .....	4-26
4-13 AMFs Related to Roadside Design of Urban Streets .....	4-27
4-14 Coefficient Values for Utility Pole Offset on Urban Streets .....	4-28
4-15 Crash Distribution for Urban Street Utility Pole Offset AMF .....	4-28
4-16 RSAP Input Data Requirements .....	4-29
4-17 Coefficient Values for Speed Limit on Urban Streets .....	4-33
5-1 Crash Adjustment Factors for Equation 5-1 .....	5-7
5-2 Severe Crash Rates Reported by Khorashadi .....	5-9
5-3 Severe Crash Rates for Various Ramp Configurations .....	5-12
5-4 Severe Crash Rate Analysis for Frontage-Road Ramps .....	5-13
6-1 Database Characteristics for Signalized Intersection Safety Prediction Models .....	6-6
6-2 Typical Values Used for Rural Signalized Intersection Model Comparison .....	6-7
6-3 Database Characteristics for Unsignalized Intersection Safety Prediction Models .....	6-10
6-4 Typical Values Used for Rural Unsignalized Intersection Model Comparison .....	6-11
6-5 Severe Crash Rates for Three-Leg Rural Intersections .....	6-14
6-6 Severe Crash Rates for Four-Leg Rural Intersections .....	6-15
6-7 AMFs Related to Geometric Design of Rural Signalized Intersections .....	6-16
6-8 Effect of Adding a Left-Turn Lane at a Rural Signalized Intersection .....	6-16
6-9 AMFs for Excluding a Left-Turn Lane at a Rural Signalized Intersection .....	6-16

## LIST OF TABLES (Continued)

Table	Page
6-10 AMFs for Adding a Right-Turn Lane at a Rural Signalized Intersection . . . . .	6-17
6-11 AMFs for Number of Through Lanes at Rural and Urban Signalized Intersections . . .	6-18
6-12 Coefficient Analysis for Driveway Frequency at Rural Intersections . . . . .	6-20
6-13 Coefficient Analysis for Truck Presence at Rural Signalized Intersections . . . . .	6-22
6-14 Coefficient Analysis for Speed at Rural and Urban Intersections . . . . .	6-23
6-15 AMFs Related to Geometric Design of Rural Unsignalized Intersections . . . . .	6-23
6-16 AMFs for Adding a Left-Turn Lane at a Rural Unsignalized Intersection . . . . .	6-25
6-17 AMFs for Adding a Right-Turn Lane at a Rural Unsignalized Intersection . . . . .	6-25
6-18 AMFs for Number of Through Lanes at Rural Unsignalized Intersections . . . . .	6-26
6-19 AMFs for Median Presence at Rural Unsignalized Intersections . . . . .	6-27
6-20 Coefficient Analysis for Median Width at Rural Unsignalized Intersections . . . . .	6-28
6-21 Coefficient Analysis for Skew Angle at Rural Unsignalized Intersections . . . . .	6-29
6-22 Coefficient Analysis for Truck Presence at Rural Unsignalized Intersections . . . . .	6-33
7-1 Calibration Coefficients for Lyon Models . . . . .	7-6
7-2 Database Characteristics for Signalized Intersection Safety Prediction Models . . . . .	7-8
7-3 Calibration Coefficients for McGee Signalized Intersection Models . . . . .	7-9
7-4 Typical Values Used for Urban Signalized Intersection Model Comparison . . . . .	7-10
7-5 Database Characteristics for Unsignalized Intersection Safety Prediction Models . . . .	7-13
7-6 Calibration Coefficients for McGee Unsignalized Intersection Models . . . . .	7-13
7-7 Typical Values Used for Urban Unsignalized Intersection Model Comparison . . . . .	7-14
7-8 Severe Crash Rates for Three-Leg Urban Intersections . . . . .	7-17
7-9 Severe Crash Rates for Four-Leg Urban Intersections . . . . .	7-17
7-10 AMFs Related to Geometric Design of Urban Signalized Intersections . . . . .	7-18
7-11 Effect of Adding a Left-Turn Lane at an Urban Signalized Intersection . . . . .	7-19
7-12 AMFs for Excluding a Left-Turn Lane at an Urban Signalized Intersection . . . . .	7-19
7-13 AMFs for Adding a Right-Turn Lane at an Urban Signalized Intersection . . . . .	7-20
7-14 AMFs for Number of Through Lanes at Urban Signalized Intersections . . . . .	7-20
7-15 AMFs Related to Geometric Design of Urban Unsignalized Intersections . . . . .	7-23
7-16 Effect of Adding a Left-Turn Lane at an Urban Unsignalized Intersection . . . . .	7-23
7-17 AMFs for Excluding a Left-Turn Lane at an Urban Unsignalized Intersection . . . . .	7-23
7-18 AMFs for Adding a Right-Turn Lane at an Urban Unsignalized Intersection . . . . .	7-24
7-19 AMFs for Number of Through Lanes at Urban Unsignalized Intersections . . . . .	7-24
7-20 Coefficient Analysis for Lane Width at Urban Unsignalized Intersections . . . . .	7-25
7-21 AMFs for Median Presence at Urban Unsignalized Intersections . . . . .	7-27
7-22 Coefficient Analysis for Median Width at Urban Unsignalized Intersections . . . . .	7-27



1. Report No. FHWA/TX-06/0-4703-P4		2. Government Accession No.		3. Recipient's Catalog No.	
4. Title and Subtitle INTERIM ROADWAY SAFETY DESIGN WORKBOOK				5. Report Date May 2005 Resubmitted: October 2005 Published: April 2006	
				6. Performing Organization Code	
7. Author(s) J. Bonneson, K. Zimmerman, and K. Fitzpatrick				8. Performing Organization Report No. Product 0-4703-P4	
9. Performing Organization Name and Address Texas Transportation Institute The Texas A&M University System College Station, Texas 77843-3135				10. Work Unit No. (TRAIS)	
				11. Contract or Grant No. Project 0-4703	
12. Sponsoring Agency Name and Address Texas Department of Transportation Research and Technology Implementation Office P.O. Box 5080 Austin, Texas 78763-5080				13. Type of Report and Period Covered Product	
				14. Sponsoring Agency Code	
15. Supplementary Notes Project performed in cooperation with the Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration. Project Title: Incorporating Safety Into the Highway Design Process URL: <a href="http://tti.tamu.edu/documents/0-4703-P4.pdf">http://tti.tamu.edu/documents/0-4703-P4.pdf</a>					
16. Abstract  Highway safety is an ongoing concern to the Texas Department of Transportation (TxDOT). As part of its proactive commitment to improving highway safety, TxDOT is moving toward including quantitative safety analyses earlier in the project development process. The objectives of this research project are: (1) the development of safety design guidelines and evaluation tools to be used by TxDOT designers, and (2) the production of a plan for the incorporation of these guidelines and tools in the planning and design stages of the project development process.  This document provides the best-available information describing the relationship between various highway geometric design components and crash frequency. It is intended to be used by engineers for the purpose of explicitly evaluating the potential safety trade-offs associated with various design alternatives. This document focuses on quantitative safety relationships for specific design components known to be correlated with crash frequency. It is intended for engineers responsible for the geometric design of streets and highways. The methods used to develop the information presented herein are documented in the <i>Roadway Safety Design Synthesis</i> .					
17. Key Words Highway Design, Highway Safety, Freeways, Urban Streets, Rural Highways, Types of Intersections, Ramps (Interchanges)				18. Distribution Statement	
19. Security Classif.(of this report)		20. Security Classif.(of this page)		21. No. of Pages 180	22. Price



# **INTERIM ROADWAY SAFETY DESIGN WORKBOOK**

by

J. Bonneson, P.E.  
Research Engineer  
Texas Transportation Institute

K. Zimmerman, P.E.  
Assistant Research Engineer  
Texas Transportation Institute

and

K. Fitzpatrick, P.E.  
Research Engineer  
Texas Transportation Institute

Product 0-4703-P4  
Project Number 0-4703  
Project Title: Incorporating Safety Into the Highway Design Process

Performed in cooperation with the  
Texas Department of Transportation  
and the  
Federal Highway Administration

May 2005  
Resubmitted: October 2005  
Published: April 2006

TEXAS TRANSPORTATION INSTITUTE  
The Texas A&M University System  
College Station, Texas 77843-3135



## **DISCLAIMER**

The contents of this report reflect the views of the authors, who are responsible for the facts and the accuracy of the data published herein. The contents do not necessarily reflect the official view or policies of the Federal Highway Administration (FHWA) and/or the Texas Department of Transportation (TxDOT). This report does not constitute a standard, specification, or regulation. It is not intended for construction, bidding, or permit purposes. The engineer in charge of the project was James Bonneson, P.E. #67178.

## **NOTICE**

The United States Government and the State of Texas do not endorse products or manufacturers. Trade or manufacturers' names appear herein solely because they are considered essential to the object of this report.

## ACKNOWLEDGMENTS

This research project was sponsored by the Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration. The research was conducted by Dr. James Bonneson, Dr. Karl Zimmerman, and Dr. Kay Fitzpatrick with the Texas Transportation Institute.

The researchers would like to acknowledge the support and guidance provided by the Project Monitoring Committee:

- Ms. Aurora (Rory) Meza, Project Coordinator (TxDOT);
- Ms. Elizabeth Hilton, Project Director (TxDOT);
- Mr. David Bartz (FHWA);
- Mr. Mike Battles (TxDOT);
- Mr. Stan Hall (TxDOT);
- Mr. Richard Harper (TxDOT);
- Ms. Meg Moore (TxDOT); and
- Ms. Joanne Wright (TxDOT).

In addition, the researchers would like to acknowledge the valuable assistance provided by Mr. Michael P. Pratt during the report preparation and review stages.

# TABLE OF CONTENTS

	Page
<b>CHAPTER 1. INTRODUCTION</b> .....	1-1
OVERVIEW .....	1-7
ROLE OF SAFETY IN THE DESIGN PROCESS .....	1-8
ORGANIZATION OF THE WORKBOOK .....	1-10
CRASH DATA VARIABILITY .....	1-11
GLOSSARY .....	1-22
REFERENCES .....	1-24
<b>CHAPTER 2. FREEWAYS</b> .....	2-1
INTRODUCTION .....	2-5
PROCEDURE .....	2-5
REFERENCES .....	2-17
<b>CHAPTER 3. RURAL HIGHWAYS</b> .....	3-1
INTRODUCTION .....	3-5
PROCEDURE .....	3-5
REFERENCES .....	3-29
<b>CHAPTER 4. URBAN STREETS</b> .....	4-1
INTRODUCTION .....	4-5
PROCEDURE .....	4-5
REFERENCES .....	4-19
<b>CHAPTER 5. INTERCHANGE RAMPS</b> .....	5-1
INTRODUCTION .....	5-5
PROCEDURE .....	5-5
REFERENCES .....	5-11
<b>CHAPTER 6. RURAL INTERSECTIONS</b> .....	6-1
INTRODUCTION .....	6-5
PROCEDURE .....	6-5
REFERENCES .....	6-28
<b>CHAPTER 7. URBAN INTERSECTIONS</b> .....	7-1
INTRODUCTION .....	7-5
PROCEDURE .....	7-5
REFERENCES .....	7-23
<b>APPENDIX A. WORKSHEETS</b> .....	A-1



## Technical Report Documentation Page

**1. REPORT No.**

FHWA/CA/TE-98/13

**2. GOVERNMENT ACCESSION No.****3. RECIPIENT'S CATALOG No.****4. TITLE AND SUBTITLE**

Effect of Ramp Type and Geometry on Accidents

**5. REPORT DATE**

November, 1998

**6. PERFORMING ORGANIZATION****7. AUTHOR(S)**

Ahmad Khorashadi

**8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT No.**

51-366-680406 S

**9. PERFORMING ORGANIZATION NAME AND ADDRESS**

California Department of Transportation  
Traffic Operations Program  
1120 N Street  
Sacramento, CA 95814

**10. WORK UNIT No.****11. CONTRACT OR GRANT No.****12. SPONSORING AGENCY NAME AND ADDRESS**

California Department of Transportation  
Traffic Operations Program  
1120 N Street

**13. TYPE OF REPORT & PERIOD COVERED****14. SPONSORING AGENCY CODE**

51-366

**15. SUPPLEMENTARY NOTES****16. ABSTRACT**

Accident rates (fatal, fatal+injury, total, wet, and dark) were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and analysis of covariance (ANCOVA) methods. The analyses were intended to look at the sympathetic differences in accident rates between ramps of different design, stratified by whether a ramp was in a rural or urban area, as well as whether it was an on-ramp or an off-ramp. Finally, a series of ANCOVA models was run, again stratified by rural/urban and on/off-ramp status, which included the measured ramp traffic volume as a covariant, and ramp's configurations were performed to assess the differences between pairs of ramp configurations with respect to accident rates. The statistical analysis of accident data and findings are used along with the finding of other literature to provide an update to a previously published report entitled "Effect of Ramp Type and Geometry on Accidents", Lundy, R.A. (1966) 2nd ed., published by Traffic Department, Division of Highways, Department of Public Works, State of California.

**17. KEYWORDS**

Ramp, Acceleration Deceleration lane, on-ramp, off-ramp, exit, entrance, diamond ramp, buttonhook ramp

**18. No. OF PAGES:**

126

**19. DRI WEBSITE LINK**

<http://www.dot.ca.gov/hq/research/researchreports/1997-2001/ramp.pdf>

**20. FILE NAME**

ramp.pdf

STATE OF CALIFORNIA. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION  
**TECHNICAL REPORT DOCUMENTATION PAGE**  
 TROO03 (REV. 10/98)

1. REPORT NUMBER FHWA/CA/TE-98/13	2. GOVERNMENT ASSOCIATION NUMBER	3. RECIPIENTS CATALOG NUMBER
4. TITLE AND SUBTITLE Effect of Ramp Type and Geometry on Accidents	5. REPORT DATE November, 1998	6. PERFORMING ORGANIZATION CODE 51-366-680406 S
	8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO.	
7. AUTHOR Ahmad Khorashadi	10. WORK UNIT NUMBER	
9. PERFORMING ORGANIZATION NAME AND ADDRESS California Department of Transportation Traffic Operations Program 1120 N Street Sacramento, CA 95814	11. CONTRACT OR GRANT NUMBER	
	13. TYPE OF REPORT AND PERIOD COVERED	
12. SPONSORING AGENCY AND ADDRESS California Department of Transportation Traffic Operations Program 1120 N Street Sacramento, CA 95814	14. SPONSORING AGENCY CODE 51-366	
	15. SUPPLEMENTARY NOTES	
16. ABSTRACT  <p>Accident rates (fatal, fatal+injury, total, wet, and dark) were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and analysis of covariance (ANCOVA) methods. The analyses were intended to look at the systematic differences in accident rates between ramps of different design, stratified by whether a ramp was in a rural or urban area, as well as whether it was an on-ramp or an off-ramp. Finally, a series of ANCOVA models were run, again stratified by rural/urban and on/off-ramp status, which included the measured ramp traffic volume as a covariant, and ramp configurations were performed to assess the differences between pairs of ramp configurations with respect to accident rates. The statistical analysis of accident data and findings are presented along with the findings of other literature to provide an update to a previously published report entitled "Effect of Ramp Type and Geometry on Accidents", Lundy, R.A. (1966) 2<sup>nd</sup> ed., published by Traffic Department, Division of Highways, Department of Public Works, State of California.</p>		
17. KEY WORDS Ramp, Acceleration Deceleration lane, on-ramp, off-ramp, exit, entrance, diamond ramp, buttonhook ramp	18. DISTRIBUTION STATEMENT	
19. SECURITY CLASSIFICATION (of this report) Unclassified	20. NUMBER OF PAGES 117	21. PRICE



**APPLICATION AND EVALUATION OF COLLISION  
MODIFICATION FACTORS (CMFs) FOR ONTARIO  
HIGHWAY APPLICATIONS -- GEOMETRIC DESIGN AND  
SAFETY DESIGN**

**AGREEMENT NUMBER: 9015-A-000195**

**Submitted to:**

Ministry of Transportation for Ontario  
Jim Connell, Project Manager

**Submitted by:**

J. McGill, Consultant Team Project Manager  
Synectics Transportation Consultants Incorporated

**February, 2003**

**ANNEXE B**  
**SYNTHÈSE DES FACTEURS DE MODIFICATION DES ACCIDENTS SÉLECTIONNÉS**

Tableau B.1 : Synthèse des FMA sélectionnés

CARACTÉRISTIQUES	SITES	DESCRIPTION DU FMA	LIMITE D'APPLICABILITÉ
Largeur des voies <sup>3</sup>	Tronçons d'autoroute et bretelles	$FMA_i = (e^{-0.047 \times (W_i - 12)} - 1.0) \times \frac{P_i}{P_b} + 1.0$ <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ FMA<sub>i</sub> = Facteur de modification d'accidents ajusté pour les combinaisons de voies et de terre-pleins.</li> <li>▪ W<sub>i</sub> = Largeur de voie (en pied).</li> <li>▪ P<sub>i</sub> = Proportion des "accidents reliés par la cause" sur route avec des combinaisons de voies et de terre-pleins. La valeur est de 0.40 pour les autoroutes en milieu urbain à 4, 6 et 8 voies (deux directions) et de 0.43 pour les autoroutes urbaines pouvant avoir jusqu'à 10 voies.</li> <li>▪ P<sub>b</sub> = 0.37</li> </ul> <p>Notons que la même formule a été utilisée pour les bretelles d'accès/sortie même si celles-ci sont caractérisées par une voie de circulation seulement.</p>	Aucune
	Tronçons de route transversale	$FMA_i = (e^{-0.040 \times (W_i - 12)} - 1.0) \times \frac{P_i}{0.24} + 1.0$ <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <u>Cas d'une chaussée divisée</u>: P<sub>i</sub> a une valeur de 0.25, 0.18 et 0.14 pour des routes transversales de 2, 4, et 6 voies respectivement.</li> <li>▪ <u>Cas d'une chaussée non-divisée</u>: P<sub>i</sub> a une valeur de 0.24 et 0.27 pour des routes transversales de 4 et 6 voies respectivement.</li> </ul>	Aucune
Largeur de l'accotement intérieur <sup>4</sup>	Tronçons d'autoroute et bretelles	$FMA_{swi,i} = (e^{-0.021 \times (W_{is} - W_{sb})} - 1.0) \times \frac{P_i}{0.15} +$ <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ FMA<sub>swi,i</sub> = Facteur de modification d'accidents pour la largeur de l'accotement intérieur.</li> <li>▪ W<sub>is</sub> = Largeur de l'accotement intérieur (en pied)</li> <li>▪ W<sub>sb</sub> = Basé sur la largeur de l'accotement intérieur 4 pieds pour 4 voies et 10.0 pieds pour les autoroutes de 6 voies et plus.</li> </ul>	

3. Texas Transportation Institute. *Roadway safety design workbook*. The Texas A&M University, Station, Texas. 2005.

4. Idem.

CARACTÉRISTIQUES	SITES	DESCRIPTION DU FMA	LIMITE D'APPLICABILITÉ
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>P_i</math> a une valeur de 0.15, 0.13, 0.12, et 0.11 pour les autoroutes urbaines de 4, 6, 8, et 10 voies respectivement dans les deux directions.</li> </ul> <p>Notons que la même formule a été utilisée pour les bretelles d'accès/sortie même si celles-ci sont caractérisées par une voie de circulation seulement.</p>	
Largeur de l'accotement extérieur <sup>5</sup>	Tronçons d'autoroute et bretelles	$FMA_{swo,i} = (e^{-0.021 \times (W_{os} - 10.0)} - 1.0) \times \frac{P_i}{0.15} + 1.0$ <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>FMA_{swo,i}</math> = Facteur de modification d'accidents pour la largeur de l'accotement extérieur.</li> <li>▪ <math>W_{os}</math> = Largeur de l'accotement extérieur (en pied)</li> <li>▪ <math>P_i</math> a une valeur de 0.16, 0.14, 0.12, et 0.13 pour les autoroutes urbaines avec 4, 6, 8, et 10 voies respectivement dans les deux directions.</li> </ul> <p>Notons que la même formule a été utilisée pour les bretelles d'accès/sortie même si celles-ci sont caractérisées par une voie de circulation seulement.</p>	Aucune
Alignement horizontal <sup>6</sup>	Tronçons d'autoroute et bretelles	$FMA_{cr} = 1.0 + \frac{1.0}{I_c} \times \left(\frac{5590}{R}\right)^2$ <p>et</p> $I_c = L_c / (R / 5280 / 57.3)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>R</math> = Rayon de la courbe en pied.</li> <li>▪ <math>L_c</math> = Longueur de la courbe horizontal en pied.</li> <li>▪ <math>I_c</math> = Angle de déflexion de la courbe en degré.</li> </ul>	FMA récemment développé pour une route avec accès contrôlée. L'auteur stipule d'utiliser ce FMA pour un réseau autoroutier compte tenu de l'âge d'un autre FMA développé dans le passé pour le réseau autoroutier
Alignement vertical <sup>7</sup>	Tronçons d'autoroute, bretelles et route transversale	$FMA_g = (e^{bP_g} - 1.0) \times P_s + 1.0$ <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>P_g</math> = Valeur absolue du pourcentage de déclivité de la pente.</li> <li>▪ <math>P_s</math> = Proportion d'accidents à laquelle cela s'applique (=1.0). La valeur de <math>b</math> est estimée à 0.019.</li> </ul> <p>Notons que le pourcentage de déclivité de la</p>	Peut être utilisé pour des artères principales à voies multiples en milieu rural et urbain, mais peut être aussi utilisé pour le réseau autoroutier

5. Texas Transportation Institute. *Roadway safety design workbook*. The Texas A&M University System, College Station, Texas. 2005.

6. Idem.

7. Texas Transportation Institute. *Roadway safety design workbook*. The Texas A&M University System, College Station, Texas. 2005.

CARACTÉRISTIQUES	SITES	DESCRIPTION DU FMA	LIMITE D'APPLICABILITÉ
		<p>penne correspond à la valeur moyenne des longueurs de k divisée par la valeur de k de chacun des tronçons.</p>	
Dévers <sup>8</sup>		<p>FMA pour les tronçons avec des écarts au niveau du dévers de 1, 2, 3, 4, et 5 % sont de 1.00, 1.06, 1.09, 1.12, et 1.15 respectivement.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L'écart au niveau du dévers est par définition la différence entre le dévers existant et celui requis selon la littérature.</li> </ul>	Aucune

**ANNEXE C**  
**TRAITEMENTS ET MANIPULATIONS DES DONNÉES**



## **BASE DE DONNÉES SUR LES ACCIDENTS**

Cette section décrit le traitement effectué par le MTQ pour localiser les accidents sur le réseau routier.

La banque contenant les données d'accidents routiers pour le réseau autoroutier de l'île de Montréal (incluant les voies de services) a été stockée et géocodée par l'entremise du logiciel MapInfo (système d'information géographique).

La première phase de géocodage a été accomplie sur la base des informations contenues au fichier des accidents routiers de la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ). La qualité du géocodage dépend du degré d'exactitude des informations décrivant le lieu de l'accident et du libellé noté au rapport d'accident. Sur cette base, trois niveaux de précision sont définis pour qualifier le degré de confiance pour chaque accident géocodé, soit : certain, imputé et incertain. Pour bonifier le géocodage, une seconde phase de localisation a été obligatoire lors d'une étude de sécurité routière portant sur de petites unités d'analyse. Cette seconde étape a consisté à consulter certaines parties du rapport original (commentaires du policier, croquis de l'accident et les dommages à la propriété) dans le but de valider la position de l'accident sur le réseau et de la corriger au besoin.

## **SEGMENTATION DU RÉSEAU AUTOROUTIER EXISTANT ET DE LA RÉVISION**

### **1.1**

Les hypothèses utilisées pour définir la segmentation des réseaux autoroutiers ont évolué au cours du projet. Au début du mandat, le MTQ a fourni au consultant, en format MapInfo, une segmentation du réseau autoroutier existant. Au total, cette segmentation comprenait 70 zones nommées unités.

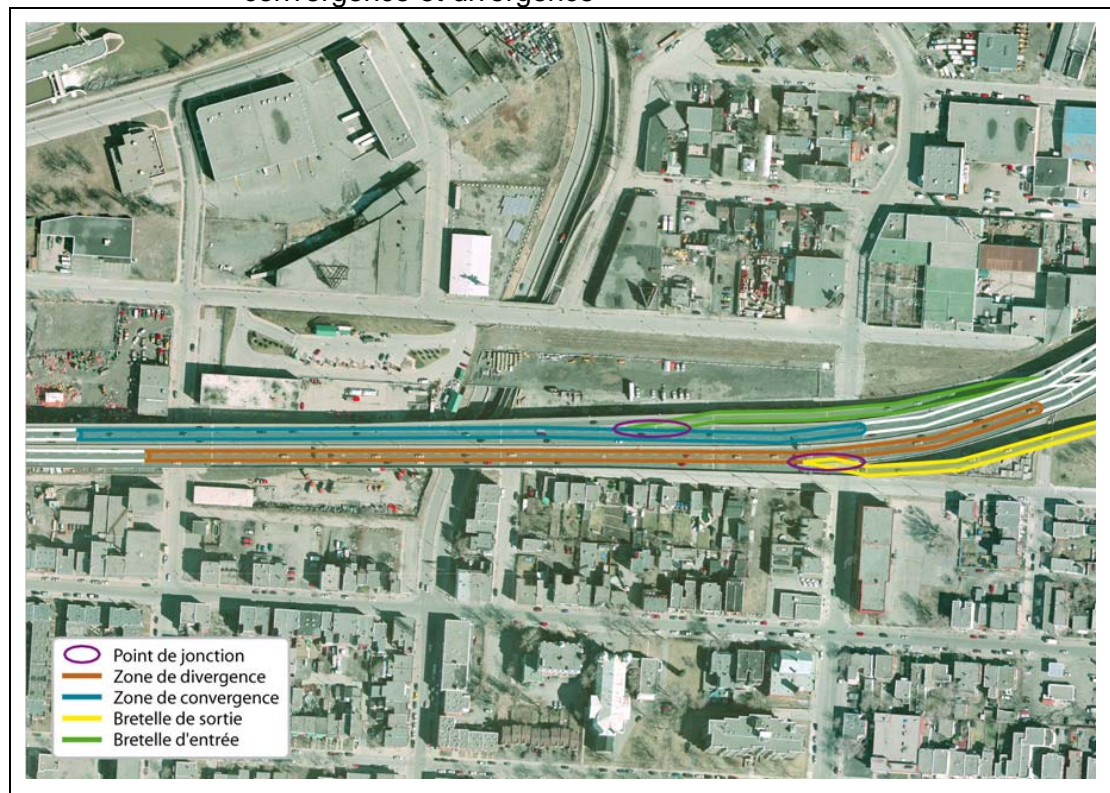
Les hypothèses de segmentation utilisées par le MTQ sont expliquées dans les paragraphes ci-après.

- **Zone de convergence (i.e. entrée)** – Zone englobant une section courante d'une longueur maximale de 600 m, répartie sur 150 m en amont du point de jonction et 450 m en aval de celui-ci. Si la distance entre la divergence ou la zone de convergence suivante sur le réseau est inférieure à 600 m, une longueur équivalente est attribuée à chacune des entités;
- **Zone de divergence (i.e. sortie)** – Zone englobant une section courante d'une longueur maximale de 600 m, répartie sur 450 m en amont du point de jonction et 150 m en aval de celui-ci. Si la distance entre la zone de divergence ou la zone de convergence suivante sur le réseau est inférieure à 600 m, une longueur équivalente est attribuée à chacune des entités;

- **Zone d'entrecroisement** – Zone ayant une longueur variable englobant une entrée suivie d'une sortie. La zone d'influence débute à 150 m en amont du point de jonction de la convergence et à 150 m en aval de la jonction de la divergence du même tronçon;
- **Bretelle d'entrée** – Zone débutant au commencement du réseau supérieur et se terminant au point de jonction. Longueur variable tout en étant indépendante d'une zone de divergence, convergence ou d'entrecroisement;
- **Bretelle de sortie** – Zone débutant au point de jonction et se terminant à la fin du réseau supérieur. Longueur variable tout en étant indépendante d'une zone de divergence, convergence ou d'entrecroisement.

La figure B.1 suivante illustre la segmentation proposée par le MTQ.

Figure B.1 : Segmentation proposée par le MTQ pour une zone de convergence et divergence



En résumé, la segmentation du MTQ réside dans la localisation du point de jonction entre les sections courantes et les bretelles de sortie ou d'entrée. Toutefois, la localisation des accidents du MTQ impute tous les accidents de code 2, qui ne peuvent pas être localisés de façon précise à cette zone, au point de jonction. Ainsi, il est possible que certains accidents, localisés au point de jonction soient survenus sur la voie rapide de l'autoroute alors que d'autres soient survenus sur la voie menant vers la bretelle. Par ailleurs, il est possible que certains accidents soient survenus en amont ou en aval de ce point de jonction.

## ADÉQUATION DE LA MÉTHODE DE LOCALISATION DES ACCIDENTS DU MTQ PAR RAPPORT À LA SEGMENTATION UTILISÉE POUR DÉVELOPPER LES FPS

Une vérification de l'adéquation de la méthode de segmentation du MTQ par rapport à celle utilisée pour développer les FPS a été réalisée. Au terme de cette vérification, il a été déterminé que la segmentation proposée par le MTQ ne pouvait pas être utilisée telle quelle. Ainsi, de nouvelles hypothèses de segmentation ont été choisies, lesquelles ont considéré la problématique des accidents localisés avec inexactitude au point de jonction des nœuds topologiques issus de la carte de MapInfo.

La segmentation utilisée pour l'évaluation est décrite dans les paragraphes ci-dessous pour les situations suivantes :

- Bretelles d'entrée et de sortie;
- Bretelle d'entrée ou de sortie où le point de jonction des nœuds topologiques se trouve à l'extérieur du musoir peint;
- Zones de divergence et de convergence.

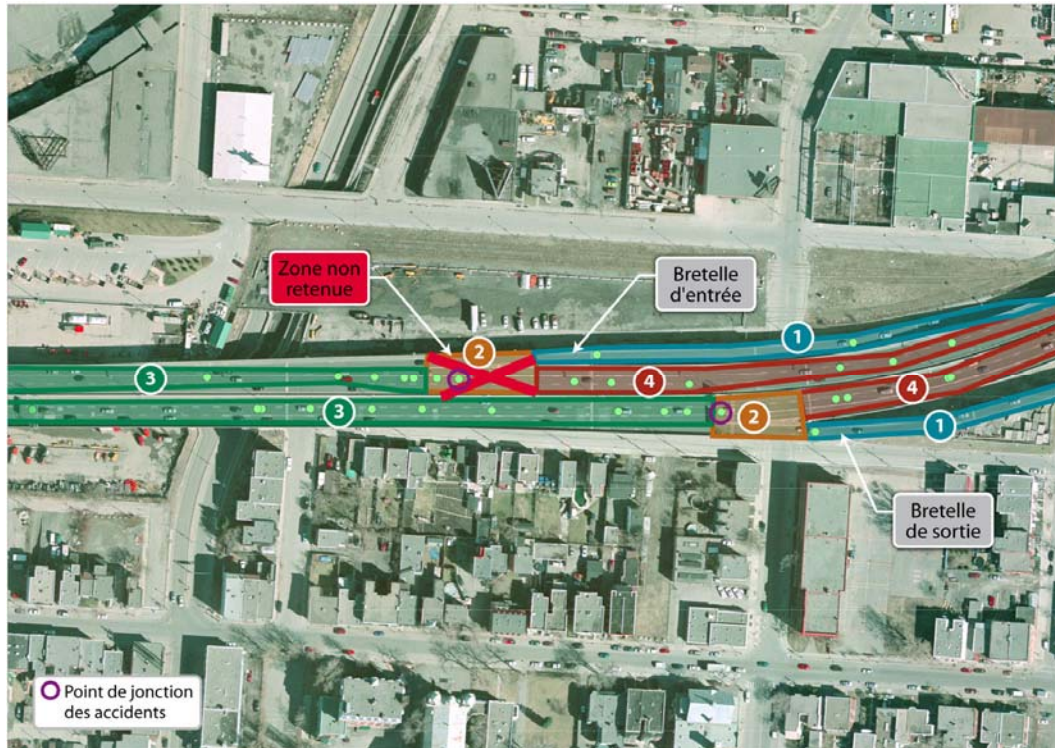
### SEGMENTATION - BRETelles D'ENTRÉE ET DE SORTIE

Les hypothèses suivantes sont utilisées pour segmenter en diverses unités les zones situées à proximité des bretelles d'entrée et de sortie :

- 1- **Bretelles d'entrée et de sortie** - Tronçons commençant ou finissant au musoir physique;
- 2- **Musoir peint** – Tronçons débutant au musoir peint et finissant au musoir physique. Ces tronçons incluent le point de jonction des nœuds topologiques qui englobe les accidents qui ne peuvent être localisés de façon précise (le point de jonction est illustré à l'aide d'un cercle mauve sur la figure B1). Il est de l'avis du MTQ et du consultant que de nombreux accidents attribués à la zone 2 pourraient être survenus à l'entrée de la bretelle ou dans les voies rapides. **Par conséquent, la zone caractérisée par le musoir peint n'a pas été considérée dans l'analyse afin d'éviter toute surreprésentation ou sous-évaluation des résultats due à la localisation incertaine des accidents**
- 3- **Tronçon autoroutier dans échangeur avec voie d'accélération/décélération** - Tronçon de la voie rapide incluant les biseaux (voie d'accélération ou de décélération). La FPS est développée pour une longueur de voie d'accélération ou de décélération de 160 m. Lorsque cette longueur diffère pour le tronçon à l'étude, un facteur de modification des accidents est appliqué dans la FPS.
- 4- **Tronçon routier dans échangeur** - Tronçon commençant ou finissant au musoir physique.

La figure B.2 présente une illustration de la méthode de segmentation pour ce type d'aménagement.

Figure B.2 : Segmentation des unités près des bretelles d'entrée et de sortie



### SEGMENTATION - BRETelles D'ENTRÉE ET DE SORTIE LORSQUE LE POINT DE JONCTION DES NœUDS TOPOLOGIQUES SE SITUE À L'EXTÉRIEUR DU MUSOIR PEINT

Il est possible qu'en certains endroits, le point de jonction des nœuds topologiques se trouve à l'extérieur du musoir peint, c'est-à-dire à l'extérieur de la zone 2. Pour ces endroits, la zone 2 a été surdimensionnée afin d'inclure le point de jonction tel qu'illustré à la figure B.3.



Figure B.3 : Segmentation des unités lorsque le point de jonction se situe à l'extérieur du musoir peint



### SEGMENTATION - ZONES DE DIVERGENCE ET DE CONVERGENCE

La segmentation des zones de convergence et de divergence a été réalisée selon les hypothèses décrites ci-dessous. La figure B.4 présente la segmentation d'une zone de divergence.

- 1- **Tronçon autoroutier** – Voie rapide
- 2- **Musoir peint** - Tronçon où la séparation de la voie rapide commence au nez du musoir peint et se termine au musoir physique. Ce tronçon inclue le point de jonction des nœuds topologiques qui englobe les accidents qui ne peuvent être localisés de façon précise. Il est de l'avis du MTQ et du consultant que de nombreux accidents attribués à la zone 2 pourraient être survenus à l'entrée de la bretelle ou dans les voies rapides. **Par conséquent, la zone caractérisée par le musoir peint n'a pas été considérée dans l'analyse afin d'éviter toute surreprésentation ou sous-évaluation des résultats due à la localisation incertaines des accidents**
- 3- **Bretelles de sortie** - Tronçons commençant au musoir physique;
- 4- **Tronçon autoroutier dans échangeur ou hors échangeur** - Voie rapide où le tronçon commence au musoir physique.

Figure B.4 : Segmentation des unités dans les zones de divergence



## **ALIMENTATION DES BASES DE DONNÉES POUR LA GÉOMÉTRIE ACTUELLE ET LA RÉVISION 1.1**

Les caractéristiques géométriques des réseaux autoroutiers existant et de la révision 1.1 énumérées ci-dessous ont été considérées dans l'évaluation :

- Longueur des liens;
- Largeur des accotements (intérieure et extérieure);
- Nombre et largeur des voies;
- Longueur des biseaux (voie d'accélération ou de décélération);
- Rayon de courbure;
- Devers;
- Paramètre K.

### **Réseau existant**

En ce qui a trait au réseau existant, la plupart des données ont été fournies par le MTQ. Lorsque les données n'étaient pas disponibles, des mesures ont été prises en utilisant les orthophotos géoréférencées dans MapInfo.

### **Révision 1.1**

Pour les tronçons caractérisant la révision 1.1, une mesure des différentes caractéristiques géométriques a été effectuée à partir des plans conceptuels. Notons qu'il a été nécessaire de transférer le plan conceptuel, en format Autocad, dans le logiciel MapInfo pour la réalisation de cette étape.

## **DÉBITS DE CIRCULATION**

À la suite d'une analyse pour la préparation des audiences publiques, le MTQ a fourni les débits journaliers annuels moyens balancés pour les années 2006 et 2016 pour l'ensemble du réseau routier actuel. Également, les débits de circulation projetés selon l'horizon 2016 ont été fournis pour la révision 1.1.

Afin d'obtenir un estimé des débits de circulation pour l'année 1999 pour le réseau actuel, un taux de croissance unique, fourni par le MTQ, a été employé.



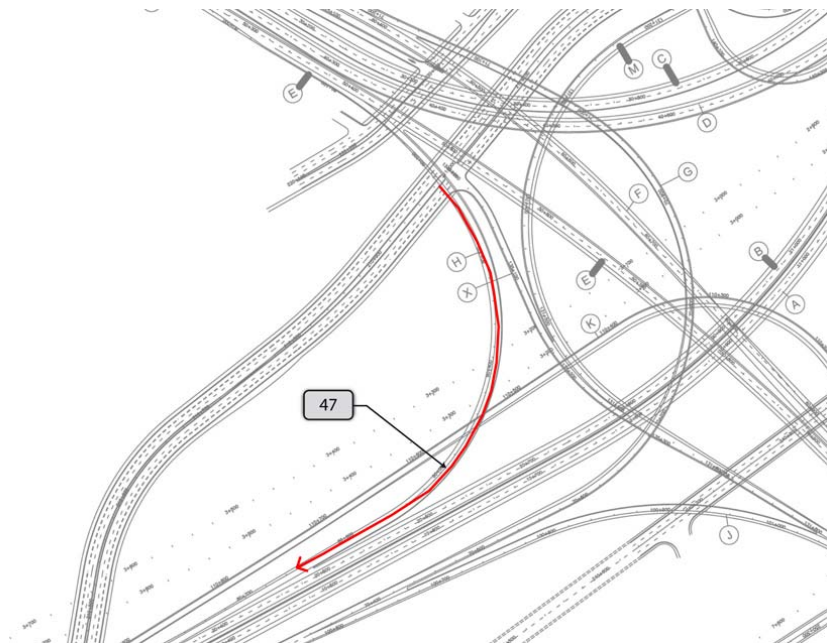
**ANNEXE D**  
**EXEMPLES - REGROUPEMENT DE TRONÇONS FORMANT UN MOUVEMENT**

Exemple 1 - Le mouvement 15 Sud, direction 20 Ouest, pour le réseau existant correspond seulement au tronçon 47 puisque les musoirs situés à l'amont et à l'aval de la bretelle ne sont pas considérés dans l'analyse. La figure suivante illustre ce mouvement

### Réseau actuel



### Réseau futur



Exemple 2 Regroupement des tronçons 9 et 68 faisant partie du réseau existant même s'ils se situent dans deux bretelles différentes. Pour la révision 1.1, ils représentent les tronçons 9, 68, 531, 602 et 603 afin de reproduire le même mouvement tel qu'illustré ci-dessous.

### Réseau actuel



### Réseau futur



**ANNEXE E**  
**ILLUSTRATION DES MOUVEMENTS**



ÉVALUATION DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE  
DU SCÉNARIO RÉVISION 1.1  
PROJET DE RECONSTRUCTION  
DU COMPLEXE TURCOT

**ILLUSTRATION  
DES MOUVEMENTS**

Annexe E



605295A  
Mars 2009

**LÉGENDE**

- A- 720 Ouest avant l'échangeur Turcot
- B- 720 Ouest vers 15 Sud
- C- 720 Ouest vers 20 Ouest
- D- 720 Ouest vers 15 Nord
- E- 15 Sud vers 20 Ouest
- F- 15 Nord vers 20 Ouest
- G- Portion Angrignon
- H- 20 Est vers 720 Est
- I- 20 Est vers 15 Sud
- J- 720 Est après l'échangeur Turcot
- K- Sortie Atwater
- L- 15 Nord vers 720 Est
- M- 15 Sud vers 720 Est
- N- 15 Nord
- O- Échangeur De La Vérendrye
- P- Bretelle entrée Girouard
- Q- 15 Sud
- R- 20 Est vers 15 Nord
- S- Bretelle Saint-Rémi

