PolyPublie
Polytechnique Montréal

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
UNIVERSITÉ D'INGÉNIERIE

Titre: Title:	Étude de la dangerosité d'une courbe en section courante sur une autoroute
Auteur: Author:	Jean-Sébastien Audet
Date:	2010
Type:	Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis
Référence: Citation:	Audet, J.-S. (2010). Étude de la dangerosité d'une courbe en section courante sur une autoroute [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. https://publications.polymtl.ca/256/

Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: PolyPublie URL:	https://publications.polymtl.ca/256/
Directeurs de recherche: Advisors:	Karsten Baass, & Robert Chapleau
Programme: Program:	Génie civil

Ce fichier a été téléchargé à partir de PolyPublie, le dépôt institutionnel de Polytechnique Montréal
This file has been downloaded from PolyPublie, the institutional repository of Polytechnique Montréal

https://publications.polymtl.ca

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉTUDE DE LA DANGEROSITÉ D'UNE COURBE EN SECTION COURANTE SUR UNE AUTOROUTE

JEAN-SÉBASTIEN AUDET

DÉPARTEMENT DES GÉNIES

CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES

(GÉNIE CIVIL)

AVRIL 2010

© Jean-Sébastien Audet, 2010

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

ÉTUDE DE LA DANGEROSITÉ D'UNE COURBE EN SECTION COURANTE SUR UNE AUTOROUTE

présenté par : AUDET Jean-Sébastien

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. TRÉPANIER Martin, Ph.D., président

M. BAASS Karsten, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. CHAPLEAU Robert, Ph.D., membre et codirecteur de recherche

M. BARBER Patrick, M.Sc.A., membre

REMERCIEMENTS

L’auteur désire remercier, dans un premier temps, le professeur Karsten Baass pour son précieux encadrement tout au long de cette recherche et pour ces multiples discussions sur les grands fondements en circulation routière. Sa grande expérience combinée à la sagesse de ses réflexions aura été très profitable pour le développement académique de l’auteur.

Des remerciements vont ensuite au professeur Robert Chapleau pour l’éveil qu’il a su susciter quant aux multiples approches et méthodes de travail possibles face à l’étude d’un sujet, défavorisant la paresse d’esprit.

Des remerciements particuliers vont également à Patrick Barber de la Direction de la sécurité en transport du ministère des Transports du Québec pour son influence majeure dans le choix du sujet de la présente recherche ainsi que son constant soutien technique. Son dévouement pour le développement du domaine de la sécurité routière au Québec aura été exemplaire et très influent chez l’auteur.

L’auteur est reconnaissant envers le Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies, le ministère des Transports du Québec ainsi que le professeur Karsten Baass pour leur appui financier dans la réalisation du projet de recherche.

L’auteur souhaite finalement remercier tous ses collègues du département de transport de l’École Polytechnique pour les nombreux échanges constructifs, sans oublier sa compagne, Stéphanie, pour sa présence, sa patience et son inestimable support.

RÉSUMÉ

Le présent document vise principalement à analyser la dangerosité des autoroutes dans le cadre d'une démarche exploratoire axée sur les données d'accidents. Pour se rendre à destination, trois principales étapes sont parcourues, soit la revue de la littérature sur l'analyse et la modélisation d'éléments géométriques autoroutiers, la constitution et la caractérisation de bases de données reliées aux accidents sur les autoroutes, puis finalement une première phase d'analyse de la dangerosité d'un élément géométrique spécifique. La recherche se distingue par l'ampleur de l'échantillon utilisé, soit l'ensemble des accidents autoroutiers du Québec pour une plage de cinq ans (début 2000 à fin 2004). En l'absence de la technologie de pointe d'aujourd'hui, un tel type d'étude nécessitait autrefois une démarche relativement fastidieuse limitant les analyses et résultats. L'amélioration du système d'exploitation et de constitution de la banque de données d'accidents au MTQ lors des dernières années permet désormais de faciliter ce genre d'étude. Pour répondre à ce nouveau besoin, il est donc nécessaire de mettre à jour la méthodologie de traitement et d'analyse des accidents, ce à quoi le rapport tente en partie de répondre.

La revue de la littérature constitue une partie importante du présent rapport. Cette revue est axée spécifiquement sur l'analyse et la modélisation d'éléments géométriques autoroutiers, car il s'agit d'éléments clés dans l'atteinte des objectifs de réduction d'accidents d'aujourd'hui. Étant donné l'amélioration constante du réseau et des investissements importants dans les études de sécurité au cours des dernières années, il est de plus en plus difficile de réduire les accidents. La méthode actuelle la plus prometteuse est d'effectuer des audits de sécurité sur les projets routiers à réaliser ou en cours de réalisation. Ces audits ne se font toutefois pas sans l'aide d'outils pour évaluer la dangerosité des éléments de la route. Faire ressortir les différents modèles de la littérature pour expliquer les accidents et mieux prévoir le comportement accidentogène de la route représente donc une étape qui ne peut pas être négligée. Des modèles ont donc été trouvés et analysés dans le détail pour un découpage exhaustif des éléments géométriques et des ensembles d'éléments, sauf pour les courbes et tronçons droits en section courante. Ces derniers éléments peuvent sembler banals, mais c'est eux qui regroupent le plus d'accidents au total sur les autoroutes. Ils ont donc été retenus pour un approfondissement supplémentaire.

Auparavant, il est essentiel de comprendre les tendances générales des données de base. Ainsi, une reconstitution des trois principales bases de données est effectuée, soit les données

géographiques, les données sur la circulation et les données d'accidents. Ces différentes bases sont ensuite fusionnées dans l'objectif de caractériser les dimensions fondamentales des accidents, soit l'exposition spatiale et temporelle. Dans la présente recherche, il a été choisi de limiter les analyses à ces deux dimensions. De par ces analyses, il a été possible d'identifier les plages temporelles ainsi que les autoroutes les plus problématiques. De plus, pour valider la méthodologie des calculs, les principaux indicateurs de sécurité routière ont été extraits de l'ensemble des données, afin de caractériser l'échantillon à l'étude.

Enfin, le rapport propose une approche méthodologique détaillée pour l'étude de la dangerosité d'un élément géométrique autoroutier spécifique : la courbe en section courante. Dans le cadre de cette section, un sous-ensemble des données a été sélectionné, soit les autoroutes 20 et 40. Des éléments rectilignes ont été examinés en parallèle à titre de base de comparaison. Les premières analyses permettent de constater l'influence des variables comme le facteur d'exposition et le rayon de courbure sur les accidents, sans toutefois statuer sur un modèle précis pour le calcul de prédiction d'accidents. L'objectif premier de cette partie est plutôt axé sur le développement d'un cadre de travail transposable pour d'autres éléments géométriques comme une bretelle d'autoroute, par exemple.

Plusieurs avenues de recherche s'ouvrent à la suite de la réalisation de cette recherche. Pour ce qui est de la démarche exploratoire, il pourrait être intéressant d'analyser, en repartant des données élaborées dans le présent rapport, le caractère spatio-temporel des accidents. Une analyse microscopique des accidents en fonction du débit horaire pourrait également être sujet de nouveauté. Pour ce qui est de l'analyse de la dangerosité d'éléments géométriques, de nombreux éléments pourraient être peaufinés pour tendre vers un modèle plus près de la réalité comme la segmentation des données selon le milieu (urbain ou rural) ou l'ajout de variables physiques comme la largeur des voies de circulation ou des accotements.

ABSTRACT

The primarily objective of this document is to analyze the dangerousness of freeways through an exploratory approach based on accident data. To achieve its purpose, three main stages are proposed: the literature review on analysis and modeling of freeway geometric elements, the formation and characterization of linked databases to accidents on freeways, and finally a phase analysis of the dangerousness of a specific geometric element. The research is distinguished by the size of the sample used in the analysis that corresponds to all freeway accidents in the province of Quebec in a range of five years (beginning of the year 2000 to the end of 2004). Before today's technology, this type of study required a relatively tedious process limiting the previous analysis and results. The improvements in the accident databases and operating systems of the Ministère des Transports du Québec in the recent years greatly facilitate this kind of study. To meet this new need, it is necessary now to update the methodology for processing and analyzing accidents. This is what the report tries to achieve.

The literature review is an important part of this report. This review focuses specifically on the analysis and modeling of freeway geometric elements, because it is a major part in achieving the objectives of reducing accidents today. Given the continuous improvement of network and significant investment in safety studies in recent years, it is increasingly difficult to reduce accidents. The most promising current method is to carry out safety audits during all engineering stages of road projects (concept, pre-feasibility, preliminary and detailed design) to make sure that the final design is the safest. These audits however can't be done without support of tools to assess the dangerousness of road's elements. To highlight the different models of literature explaining the accidents and better predict behaviour in accidents on the road thus represents a step that can not be neglected. Models have been found and analyzed in detail for a comprehensive breakdown of geometric elements and sets of elements, except for curves and straight segments on mainline. These two last items may seem trivial, but most of the total accidents on freeways occur on them. They were therefore selected for further deepening.

Previously, it is essential to understand the general trends of data. Thus, a reconstruction of the three major databases is performed: geographic data, traffic data and accident data. These various databases are then merged to characterize the fundamental dimensions of accidents: exposure time and space. In this research, it was decided to limit the analysis to these two dimensions.

Through this analysis, it was possible to identify time ranges and freeways that were the most dangerous. Furthermore, to validate the methodology of calculation, the main road safety indicators have been extracted from the data set to characterize the study sample.

Finally, the report provides a detailed methodological approach to study the dangerousness of a specific freeway geometric element: the curve segment on mainline. Under this section, a subset of data was selected: freeways A-20 and A-40. Linear elements were also examined in parallel as a basis for comparison. The first outcomes confirmed the influence of variables such as the exposure factor and the radius of curvature on accidents, but cannot confirm a precise and useable model to predict accidents quantitatively. The primary objective of this part is rather focused on developing a framework that could be eventually used for some other elements such as ramps.

Further research could be done based on the outcomes of this document. Regarding the exploratory approach, it might be interesting to analyze the space-temporal nature of accidents from data compiled in this report. A microscopic analysis of freeway accidents according to the hourly traffic flow may also be new and unique. Regarding the dangerousness analysis of geometric elements, many variables could be added (like physical characteristics: width of lanes or shoulders, presence of rumble stripes, etc.) or refined (such as the split of data by area: urban or rural) to work towards models closer to reality.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS III

RÉSUMÉ IV

ABSTRACT VI

TABLE DES MATIÈRES VIII

LISTE DES TABLEAUX XII

LISTE DES FIGURES XVI

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS XXIV

LISTE DES ANNEXES XXVI

CHAPITRE 1 INTRODUCTION 1

1.1 Le paradoxe de l'accident 1

1.2 Mise en contexte 1

1.3 Objectifs et contenu du mémoire 2

CHAPITRE 2 CADRE THÉORIQUE ET NOTIONS FONDAMENTALES 4

2.1 Fondements de la conception actuelle et sécurité des éléments autoroutiers 4

2.2 Fondements en sécurité routière 5

2.3 Les changements à travers les époques quant au nombre, à la gravité et au coût des accidents 5

2.4 La localisation des accidents 10

2.5 Nomenclature, définitions et indicateurs reliés aux autoroutes et aux accidents 12

2.6 Les différentes approches du sujet et la segmentation des éléments géométriques autoroutiers 18

2.7 Variables ayant un impact sur les accidents 20

2.8 Survol des méthodes d'analyse et de modélisation dans la littérature 22

CHAPITRE 3 REVUE DE LA LITTÉRATURE 23

3.1 Introduction à la revue de la littérature 23
3.2 Section courante en dehors d'une zone d'échangeur 23
3.2.1 Section dans sa globalité 23
3.2.2 Tronçons droits en section courante 34
3.2.3 Courbes en section courante 35
3.3 Échangeur dans son ensemble 36
3.4 Zone d'échangeur et extrémité de bretelle (sortie ou accès à l'autoroute) 51
3.4.1 Section courante à l'intérieur d'une zone d'échangeur 51
3.4.2 Voie d'accélération 56
3.4.3 Voie de décélération 70
3.4.4 Zone d'entrecroisement 78
3.5 Bretelle proprement dite (directe ou indirecte) 81
3.5.1 Entrée (à partir d'une rue ou route), bretelle indirecte 81
3.5.2 Sortie (vers une rue ou route), bretelle indirecte 86
3.5.3 Autoroute à autoroute (ou artère/collectrice importante), bretelle directe 91
3.6 Autres combinaisons d'éléments 95
3.6.1 Bretelle proprement dite et voie de changement de vitesse (voie d'accélération ou de décélération) 95
3.6.2 Autoroute dans son ensemble, éléments non spécifiés 98
3.7 Résumé de la littérature consultée et état actuel de la recherche 99
CHAPITRE 4 CARACTÉRISATION DES ACCIDENTS AUTOROUTIERS DU QUÉBEC, MÉTHODOLOGIE ET EXPLORATION DES DONNÉES 101
4.1 Introduction à la caractérisation des accidents autoroutiers au Québec et méthodologie 101
4.2 Présentation des données de base 102

4.2.1 Division des données 102
4.2.2 Base de données géographique routière 102
4.2.3 Base de données des débits véhiculaires 107
4.2.4 Base de données des accidents autoroutiers 109
4.3 Traitement des données 120
4.3.1 Croisement des données 120
4.3.2 Filtration des données 127
4.3.3 Élaboration de champs dérivés 130
4.4 Analyse descriptive des accidents autoroutiers 137
4.4.1 Estimation de la longueur du réseau routier et autoroutier 137
4.4.2 Calcul des indicateurs de base de sécurité routière 145
4.4.3 Distribution spatiale 155
4.4.4 Distribution temporelle 164
CHAPITRE 5 ANALYSE DES ACCIDENTS DANS LES COURBES EN SECTION COURANTE D'AUTOROUTE 189
5.1 Introduction à l'analyse des accidents dans les courbes en section courante d'autoroutes 189
5.2 Échantillon et méthodologie de traitement des données 189
5.2.1 Choix de l'échantillon 189
5.2.2 Résumé des étapes précédent l'analyse 190
5.2.3 Reconstitution des éléments géométriques en section courante des autoroutes 20 et 40 190
5.2.4 Création de nouvelles bases de données 198
5.2.5 Jonction spatiale des données géométriques et des données d'accidents 201
5.3 Analyse et résultats 205

5.3.1 Caractérisation des éléments géométriques reconstitués 205
5.3.2 Analyse selon l'approche de l'entité « accident » 208
5.3.3 Analyse selon l'approche de l'entité « élément géométrique » 209
CHAPITRE 6 CONCLUSION 217
6.1 Rappel des étapes et objectifs des travaux de recherche 217
6.2 Principaux résultats 217
6.3 Recommandations et nouvelles avenues de recherche 219
RÉFÉRENCES 222
ANNEXES 226

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1: Sommaire des variables ayant un impact sur les accidents, sans distinction quant aux éléments géométriques, adapté de Kopelias & al. (2007) 20

Tableau 2-2: Liste exhaustive des variables pouvant avoir un impact sur les accidents autoroutiers, adaptée de Cirillo, Dietz & Beatty (1969) 21

Tableau 3-1: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents dans un tronçon d'autoroute en section courante en dehors de la zone d'échangeur 24

Tableau 3-2: Coefficients et paramètres du modèle présenté par Torbic & al. (2007b) pour la section courante d'une autoroute en dehors de la zone d'un échangeur 25

Tableau 3-3: Impact de l'ajout d'un échangeur au centre d'un tronçon autoroutier sur le nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés par année selon le modèle de Pilko & al. (2007) 30

Tableau 3-4: Impact de l'ajout d'un échangeur au centre d'un tronçon autoroutier sur le nombre d'accidents total (toutes gravités) par année selon le modèle de Pilko & al. (2007).....32

Tableau 3-5: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents dans un tronçon droit d'autoroute en section courante 34

Tableau 3-6: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents dans une courbe d'autoroute en section courante.....36

Tableau 3-7: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à un échangeur dans son ensemble 37

Tableau 3-8: Résumé de l'impact des variables sur le nombre d'accidents reliés à un échangeur dans son ensemble selon les modèles de Cirillo, Dietz & Beatty (1969).....50

Tableau 3-9: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents dans un tronçon d'autoroute en section courante dans la zone d'échangeur 52

Tableau 3-10: Coefficients et paramètres du modèle présenté par Torbic & al. (2007b) pour la section courante d'une autoroute dans la zone d'un échangeur 53

Tableau 3-11: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à la voie d'accélération d'une autoroute 58

Tableau 3-12: Résumé de l'impact des variables sur le nombre d'accidents reliés à une voie d'accélération selon le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969) 63

Tableau 3-13: Coefficients et paramètres du modèle repris par Torbic & al. (2007b) pour la voie d'accélération 67

Tableau 3-14: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à la voie de décélération d'une autoroute 72

Tableau 3-15: Résumé de l'impact des variables sur le nombre d'accidents reliés à une voie de décélération selon le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969) 78

Tableau 3-16: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à la zone d'entrecroisement d'un échangeur 79

Tableau 3-17: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à une bretelle d'entrée d'autoroute 82

Tableau 3-18: Coefficients et paramètres du modèle présenté par Torbic & al. (2007b) pour une bretelle d'entrée 84

Tableau 3-19: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à une bretelle de sortie d'autoroute 87

Tableau 3-20: Coefficients et paramètres du modèle présenté par Torbic & al. (2007b) pour une bretelle de sortie 89

Tableau 3-21: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à une bretelle d'autoroute à d'autoroute (ou artère/collectrice importante) 92

Tableau 3-22: Coefficients et paramètres du modèle présenté par Torbic & al. (2007b) pour une bretelle d'autoroute à autoroute 93

Tableau 3-23: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à une bretelle d'autoroute combinée à sa voie de changement de vitesse 96

Tableau 3-24: Liste des variables ayant potentiellement un impact sur le nombre d'accidents sur une autoroute dans son ensemble 98

Tableau 3-25: Besoins en recherche pour complémenter ISAT, adapté de Torbic & al. (2007b) 100

Tableau 4-1: Extrait du fichier descriptif de la BDGR 103

Tableau 4-2: Extrait tabulaire du fichier paramétrique de la BDGR 104

Tableau 4-3: Extrait de la BDDV 108

Tableau 4-4: Extrait de la BDAA 113

Tableau 4-5: Estimation de la longueur du réseau routier à la fin du mois de juin 2002 142

Tableau 4-6: Longueur du réseau routier global à la fin juin 2002 selon les différents types de longueurs 143

Tableau 4-7: Longueur du réseau autoroutier à la fin juin 2002 selon les différents types de longueurs et proportion par rapport au réseau global 143

Tableau 4-8: Nombre total d'accidents autoroutiers entre 2000 et 2004 en fonction du code de sous-route et de la gravité de l'accident après répartition des accidents non localisés (code Vide) 148

Tableau 4-9: Taux annuel d'accidents autoroutiers par rapport à la longueur selon le code de sous-route et la gravité de l'accident 149

Tableau 4-10: Taux moyen d'accidents en section courante d'autoroute par rapport au DJMA et à la longueur selon la gravité de l'accident 149

Tableau 4-11: Nombre total de véhicules impliqués dans un accident entre 2000 et 2004 en fonction du code de sous-route et de la gravité de l'accident après répartition des véhicules impliqués dans des accidents non localisés (code Vide) 151

Tableau 4-12: Taux annuel de véhicules impliqués dans un accident par rapport à la longueur selon le code de sous-route et la gravité de l'accident 152

Tableau 4-13: Taux moyen de véhicules impliqués dans un accident en section courante d'autoroute par rapport au DJMA et à la longueur selon la gravité de l'accident 152

Tableau 4-14: Nombre total de personnes ayant subi des blessures dans un accident entre 2000 et 2004 en fonction du code de sous-route et de la gravité des blessures après répartition des personnes impliquées dans les accidents non localisés (code Vide) 153

Tableau 4-15: Taux annuel de personnes ayant subi des blessures dans un accident par rapport à la longueur selon le code de sous-route et la gravité des blessures 154

Tableau 4-16: Taux moyen de personnes ayant subi des blessures dans un accident en section courante d'autoroute par rapport au DJMA et à la longueur selon la gravité des blessures 154

Tableau 4-17: Exemple de recherche des dates à nombre ou taux élevé d'accidents 188

Tableau 5-1: Tableau comparatif du taux moyen d'accidents pour les courbes et tronçons droits en section courante des autoroutes 20 et 40 210

Tableau 5-2: Analyse des corrélations entre les variables associées à l'élément courbe 211

Tableau 5-3: Analyse des corrélations entre les variables associées à l'élément tronçon droit ... 211

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1: Évolution dans le temps du nombre de véhicules en circulation selon le type.....6

Figure 2.2: Évolution dans le temps du nombre d'accidents selon la gravité.....6

Figure 2.3: Évolution dans le temps du nombre d'accidents selon la gravité en fonction du nombre total de véhicules en circulation.....6

Figure 2.4: Évolution dans le temps du nombre de véhicules accidentés et du nombre de victimes d'accident de la route au Québec.....6

Figure 2.5: Évolution dans le temps du nombre de véhicules accidentés et du nombre de victimes d'accident de la route par rapport au nombre de véhicules en circulation au Québec.....7

Figure 2.6: Évolution dans le temps du nombre de victimes d'accident mortel au Québec.....7

Figure 2.7: Évolution dans le temps du nombre de victimes d'accident mortel par rapport au nombre de véhicules en circulation au Québec.....7

Figure 2.8: Évolution dans le temps des coûts liés à l'indemnisation des accidents routiers au Québec.....7

Figure 2.9: Principaux types d'échangeurs, adapté de Torbic & al. (2007b).....17

Figure 2.10: Principaux types de bretelles, adapté de Torbic & al. (2007b).....18

Figure 3.1: Prédiction du nombre d'accidents par année toutes gravités sur un segment d'autoroute en dehors de la zone d'un échangeur en fonction du milieu et du nombre de voies pour un DJMA fixe de 20 000 véh/jour et une longueur de segment variable.....26

Figure 3.2: Prédiction du nombre d'accidents par année toutes gravités sur un segment d'autoroute en dehors de la zone d'un échangeur en fonction du milieu et du nombre de voies pour une longueur de segment fixe de 1 km et un DJMA variable.....27

Figure 3.3: Prédiction du nombre d'accidents avec blessés et/ou mortels par année sur un segment d'autoroute en dehors de la zone d'un échangeur en fonction du milieu et du nombre de voies pour une longueur de segment fixe de 1 km et un DJMA variable.....27

Figure 3.4: Nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés par année prédit par le modèle de Pilko & al. (2007) en fonction de l'espacement entre deux échangeurs sur un tronçon

autoroutier et selon différentes conditions de circulation (impact de l'ajout d'un échangeur à mi-distance du tronçon) 31

Figure 3.5: Nombre d'accidents total (toutes gravités) par année prédit par le modèle de Pilko & al. (2007) en fonction de l'espacement entre deux échangeurs sur un tronçon autoroutier et selon différentes conditions de circulation (impact de l'ajout d'un échangeur à mi-distance du tronçon) 33

Figure 3.6: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du débit sur l'autoroute principale et du type d'échangeur, adapté de Leisch & al. (1982) 41

Figure 3.7: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du débit sur l'autoroute principale (paramètre X) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969) 42

Figure 3.8: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du débit sortant de l'autoroute principale (paramètre Z) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969) 43

Figure 3.9: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du nombre de commerces par cent pieds sur la route transversale (paramètre A) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969) 43

Figure 3.10: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du milieu (paramètre B) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969) 44

Figure 3.11: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du pourcentage de véhicules commerciaux de jour (paramètre C) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969) 44

Figure 3.12: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du pourcentage de véhicules commerciaux la nuit (paramètre D) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969) 45

Figure 3.13: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction de la dimension (paramètre E) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969) 45

Figure 3.14: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction de l'intensité lumineuse (paramètre F) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969) .46

Figure 3.15: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du type de route transversale (paramètre G) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz etBeatty (1969).....46

Figure 3.16: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du nombre de voies sur la route transversale (paramètre H) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969).....47

Figure 3.17: Estimation du nombre d'accidents par année pour le paramètre J (distinction entre trois branches et trompette) selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969).....47

Figure 3.18: Prédiction du nombre d'accidents par année toutes gravités sur un segment directionnel d'autoroute dans la zone d'un échangeur en fonction du milieu et du nombre de voies pour un DJMA fixe de 20 000 véh/jour et une longueur de segment variable.....54

Figure 3.19: Prédiction du nombre d'accidents par année toutes gravités sur un segment directionnel d'autoroute dans la zone d'un échangeur en fonction du milieu et du nombre de voies pour une longueur de segment fixe de 1 km et un DJMA variable 55

Figure 3.20: Prédiction du nombre d'accidents avec blessés et/ou mortels par année sur un segment directionnel d'autoroute dans la zone d'un échangeur en fonction du milieu et du nombre de voies pour une longueur de segment fixe de 1 km et un DJMA variable 55

Figure 3.21: Distinction des deux types de voies de changement de vitesse (en parallèle ou en biseau) à l'entrée ou à la sortie d'une autoroute, Baker (1980) 57

Figure 3.22: Taux d'accidents (nombre d'accidents par 100 millions de véhicules : l'ordonnée sur le graphique) en fonction de la longueur de la voie d'accélération (selon une base de données de 233 entrées, 491 accidents et 622,5 millions de véhicules), Leisch & al. (1982) 61

Figure 3.23: Prédiction du nombre d'accidents en fonction de la longueur de la voie d'accélération et du DJMA sur la bretelle en amont selon le modèle de Leisch & al. (1982) 65

Figure 3.24: Prédiction du nombre d'accidents en fonction de la longueur de la voie d'accélération et du degré de courbure de la bretelle en amont selon le modèle de Leisch & al. (1982) 65

Figure 3.25: Prédiction du nombre d'accidents en fonction de la longueur de la voie d'accélération, du milieu et de la gravité des accidents selon le modèle de Torbic & al. (2007b) pour un DJMA de 10 000 véh/jour sur la bretelle et de 100 000 véh/jour sur l'autoroute 68

Figure 3.26: Prédiction du nombre d'accidents toutes gravités en milieu urbain en fonction de la longueur de la voie d'accélération selon le modèle de Torbic & al. (2007b) pour un DJMA de 10 000 véh/jour sur la bretelle et un DJMA variable sur l'autoroute.....68

Figure 3.27: Prédiction du nombre d'accidents toutes gravités en milieu urbain en fonction de la longueur de la voie d'accélération selon le modèle de Torbic & al. (2007b) pour un DJMA de 100 000 véh/jour sur l'autoroute et un DJMA variable sur la bretelle.....69

Figure 3.28: Taux d'accidents en fonction de la longueur de la voie de décélération et de la proportion du trafic divergent vers la bretelle de sortie de l'autoroute(Leisch & al. 1982)...75

Figure 3.29: Taux d'accidents (nombre d'accidents par millions de véhicules) en fonction de différentes configurations de bretelles d'entrée, Leisch & al. (1982).....83

Figure 3.30: Prédiction du nombre d'accidents par année en milieu rural ou urbain sur une bretelle proprement dite d'entrée en fonction de sa configuration et de la gravité des accidents pour une longueur fixe de 250 m et un DJMA variable.....85

Figure 3.31: Taux d'accidents (nombre d'accidents par million de véhicules) en fonction de différentes configurations de bretelles de sortie, Leisch & al. (1982) 88

Figure 3.32: Prédiction du nombre d'accidents par année en milieu rural ou urbain sur une bretelle proprement dite de sortie en fonction de sa configuration et de la gravité des accidents pour une longueur fixe de 250 m et un DJMA variable.....90

Figure 3.33: Prédiction du nombre d'accidents par année en milieu rural ou urbain sur une bretelle proprement dite d'autoroute à autoroute en fonction de sa configuration et de la gravité des accidents pour une longueur fixe de 250 m et un DJMA variable.....94

Figure 4.1: Exemple de projection de la BDGR dans MapInfo 107

Figure 4.2: Fenêtre type d'une requête dans le DSR 110

Figure 4.3: Fenêtre type des résultats d'une requête dans le DSR 111

Figure 4.4: Signification des codes d'impact, SAAQ (2006) 119

Figure 4.5: Signification des codes de facteurs d'accidents 120

Figure 4.6: Représentation schématique de l'interrelation entre la BDGR, la BDDV et la BDAA 121

Figure 4.7: Visualisation de la BDGR pour les autoroutes seulement et avant fusion avec la BDAA 123

Figure 4.8: Visualisation de la fusion BDGR-BDAA pour les autoroutes du Québec 124

Figure 4.9: Description du procédé de jonction de la BDDV à la BDAA 126

Figure 4.10: Filtration des données pour un prolongement d'autoroute (exemple de l'A70 à Jonquière) 129

Figure 4.11: Filtration des données pour une autoroute qui n'avait pas de séparation physique entre ses voies en sens opposé à l'année 2000 (exemple de l'A55 à Windsor) 129

Figure 4.12: Filtration des données pour une artère urbaine où les accidents y sont classés comme étant autoroutiers (exemple de l'avenue Papineau à Montréal) 130

Figure 4.13: Étendue kilométrique de la BDGR 2000 et 2008 en fonction du code de sous-route 140

Figure 4.14: Différence entre les différents indicateurs d'étendue routière et proportion du réseau autoroutier filtré par rapport au réseau routier dans son ensemble 144

Figure 4.15: Distribution du nombre total d'accidents pour une grille formée de cellules de 1,9 km par 1,9 km pour les données d'accidents des années 2000 à 2004 (inclusivement) 157

Figure 4.16: Nombre total d'accidents par autoroute selon les données d'accidents des années 2000 à 2004 (inclusivement) 158

Figure 4.17: Taux d'accidents annuel par kilomètre par autoroute selon les données d'accidents des années 2000 à 2004 (inclusivement) 159

Figure 4.18: Distribution des sommes de taux ponctuels d'accidents par million de véhicules pour une grille formée de cellules de 1,9 km par 1,9 km et pour les données d'accidents des années 2000 à 2004 (inclusivement) 160

Figure 4.19: Taux moyen d'accidents par autoroute selon les données d'accidents des années 2000 à 2004 (inclusivement) 161

Figure 4.20: Distribution des indices de gravité pour une grille formée de cellules de 1,9 km par 1,9 km pour les données d'accidents des années 2000 à 2004 (inclusivement) 162

Figure 4.21: Indice de gravité par autoroute selon les données d'accidents des années 2000 à 2004 (inclusivement).....163

Figure 4.22: Distribution des accidents autoroutiers selon l'heure et le code de sous-route 166

Figure 4.23: Distribution des accidents autoroutiers selon l'heure et la gravité (GR 1, GR 2 et GR 3) 167

Figure 4.24: Distribution des accidents autoroutiers selon l'heure et la gravité (GR 4 et GR 5) 168

Figure 4.25: Distribution des accidents selon l'heure et le jour de la semaine 169

Figure 4.26: Distribution des accidents autoroutiers selon le code d'éclairement et le code de sous-route 170

Figure 4.27: Distribution des accidents autoroutiers selon le code d'éclairement et la gravité....171

Figure 4.28: Distribution des accidents autoroutiers selon le jour de la semaine et le code de sous-route 173

Figure 4.29: Distribution des accidents autoroutiers selon le jour de la semaine et la gravité (GR1, GR2 et GR3).....174

Figure 4.30: Distribution des accidents autoroutiers selon le jour de la semaine et la gravité (GR4 et GR5) 175

Figure 4.31: Distribution des accidents autoroutiers selon le mois et le code de sous-route.....176

Figure 4.32: Distribution des accidents autoroutiers selon le mois et la gravité (GR1, GR2 et GR3) 177

Figure 4.33: Distribution des accidents autoroutiers selon le mois et la gravité (GR4 et GR5) ..178

Figure 4.34: Distribution des accidents autoroutiers selon la saison et le code de sous-route.....179

Figure 4.35: Distribution des accidents autoroutiers selon la saison et la gravité (GR1, GR2 et GR3) 180

Figure 4.36: Distribution des accidents autoroutiers selon la saison et la gravité (GR4 et GR5) 181

Figure 4.37: Distribution du nombre et du taux d'accidents pondéré par le DJMS en section courante d'autoroute selon la saison pour le code de sous-route 0 182

Figure 4.38: Distribution des accidents autoroutiers selon l'année et le code de sous-route 183

Figure 4.39: Distribution des taux d'accidents pondérés par le nombre de véhicules en circulation en fonction de la gravité des accidents, tendances générales sur les routes du Québec.....184

Figure 4.40: Distribution des taux d'accidents pondérés par le DJMS et le DJMS2002 en fonction de la gravité des accidents autoroutiers pour le code de sous-route 0.....185

Figure 4.41: Distribution des accidents autoroutiers selon leur date 186

Figure 4.42: Distribution des accidents mortels selon leur date 187

Figure 5.1: Processus de reconstitution du tracé à l'aide de l'outil Excel développé par des étudiants de l'école Polytechnique, exemple pour une courbe en section courante de l'autoroute 740 à Québec.....194

Figure 5.2: Représentation de l'interface MapInfo avec les différentes couches du processus de reconstitution de la courbe et la jonction des zones tampons avec les accidents.....194

Figure 5.3: Étapes du procédé de reconstitution des éléments géométriques dans AutoCAD 197

Figure 5.4: Fragment de la BDTD obtenue pour l'autoroute 20 Est.....200

Figure 5.5: Fragment de la BDC obtenue pour l'autoroute 20 Est 201

Figure 5.6: Exemple de jonction du champ « Rayon » de la BDC vers la BDAA pour l'autoroute 20 Est 202

Figure 5.7 : Exemple de jonction des informations de la BDAA vers la BDC, moyenne des DJMA de l'an 2002 sur chacune des courbes de l'autoroute 20 Est.....204

Figure 5.8: Distribution des rayons des courbes en section courante des autoroutes 20 et 40 206

Figure 5.9: Distribution des longueurs des courbes en section courante des autoroutes 20 et 40 206

Figure 5.10: Distribution des angles de déflexion des courbes en section courante des autoroutes 20 et 40 207

Figure 5.11: Distribution des longueurs de tronçons droits en section courante des autoroutes 20 et 40 207

Figure 5.12: Nombre d'accidents en fonction du facteur d'exposition sur les tronçons droits et courbes en section courante.....212

Figure 5.13: Nombre d'accidents en fonction du facteur d'exposition sur les tronçons droits et courbes en section courante après agrégation d'éléments géométriques 213

Figure 5.14: Distribution des taux d'accidents et des rayons pour chacune des courbes de l'autoroute 20 et 40 214

Figure 5.15: Taux moyen d'accidents par classes de rayons 215

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AADT	Annual Average Daily Traffic (Débit journalier moyen annuel)
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials (Institution)
ADT	Average Daily Traffic (Débit journalier moyen)
AIPCR	Association mondiale de la Route
AMF	Accident Modification Factor (Facteur de modification des accidents)
ANN	Artificial Neural Network (Réseau neural artificiel)
ARF	Accident Reduction Factor (Facteur de réduction des accidents)
ATC	Association des transports du Canada (Institution)
BDAA	Base de données des accidents autoroutiers
BDC	Base de données des courbes en section courante d'autoroute
BDDV	Base de données des débits véhiculaires
BDGR	Base de données géographique routière
BDTD	Base de données des tronçons droits en section courante d'autoroute
CART	Classification and Regression Tree (Arbre de classification et régression)
CDSR	Comptoir de données en sécurité routière (Système informatique de traitement des données d'accidents par tableaux croisés dynamiques du ministère des Transports du Québec)
CRF	Crash Reduction Factor/Function (Facteur/fonction de réduction des accidents)
DJM	Débit journalier moyen
DJMA	Débit journalier moyen annuel
DOT	U.S. Department of Transportation (Institution)
DSR	Diagnostic de sécurité routière (Système informatique regroupant l'ensemble

	des données d'accidents disponibles au ministère des Transports du Québec)
DT	Direction territoriale du ministère des Transports du Québec
FARS	Fatality Analysis Reporting System (Système de compilation et d'analyse des accidents mortels)
FHWA	Federal Highway Administration (Institution)
GPS	Global Positioning System (Système de positionnement global par satellite)
HOV	High Occupancy Vehicle lane (Voie réservée pour véhicules avec parfois deux, parfois trois passagers ou plus)
ISAT	Interchange Safety Analysis Tool (Outil d'analyse du niveau de sécurité d'un échangeur)
ITE	Institute of Transportation Engineers
MTQ	Ministère des Transports du Québec (Institution)
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program (Institution)
NCSA	National Center for Statistics and Analysis (Institution)
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration (Institution)
RITA	Research and Innovative Technology Administration (Institution)
SAAQ	Société de l'assurance automobile du Québec (Institution)
SIG	Système d'information géographique
SIGAR	Système d'information géographique des accidents de la route
SPF	Safety Performance Function (Fonction de performance en sécurité routière)
TRB	Transportation Research Board (Institution)
TSI	Transportation Safety Institute (Institution)

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 – Bibliographie …….. 226

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Le paradoxe de l'accident

« Évènement imprévisible malheureux ». Voici la définition du terme « accident » selon le dictionnaire Antidote RX (Brunelle & al., 2009). Qu'un accident corresponde à une situation qui implique un bouleversement, voire même un certain chaos physique et mental, il va sans dire. Mais l'adjectif « imprévisible » demeure probablement le plus grand paradoxe du chercheur qui étudie les accidents routiers et, par le fait même, tente d'anticiper l'imprévisible. Est-ce réellement une tâche perdue d'avance? Est-il raisonnable d'outrepasser la théorie de conception routière qui dicte les normes et la forme des routes? Est-il possible de construire mieux que ce qui a été conçu jadis à partir de principes théoriques précis? Plusieurs questions se posent, mais l'objectif scientifique demeure : prédire ces événements fortuits et non désirés.

1.2 Mise en contexte

Au Québec, la question des accidents routiers en ingénierie était jadis de nature surtout « réactive » et était principalement abordée selon un processus d'analyse « cas par cas ». Encore aujourd'hui, lorsqu'un site présente un problème de sécurité routière constaté par un taux anormalement élevé d'accidents, il fait automatiquement l'objet d'une étude de sécurité et des solutions pour corriger le problème sont mises de l'avant. Cette procédure correspond à l'approche traditionnelle d'analyse et d'intervention en sécurité routière. En supplément toutefois, depuis 2001, le ministère des Transports du Québec (MTQ) a débuté graduellement la réalisation d'audits de sécurité routière (Houle & Bélanger, 2009). Ces derniers ont apporté une contribution beaucoup plus « proactive » à l'ingénieur en sécurité routière. Les audits s'insèrent à travers les différentes étapes de réalisation d'un projet routier, passant par l'étude de concept, l'avant-projet préliminaire, les plans et devis, la construction et peuvent même intervenir jusqu'à la mise en service d'une route. Ils correspondent à une alternative prometteuse pour perpétuer la réduction des accidents sur les routes (les objectifs étant de plus en plus difficiles à atteindre avec les méthodes traditionnelles). Les auditeurs nécessitent, par ailleurs, certains outils de travail pour parvenir à leurs fins. Les analyses d'accidents d'un point de vue global, bien que peu exploitées à travers la littérature consultée, jouent un rôle primordial dans l'établissement de ces outils. Il

existe pourtant certaines bases de données pouvant être examinées à plus grande échelle. En guise d'exemple, chaque année, la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) recueille les rapports d'accidents du corps policier et compile ces données pour alimenter les gestionnaires du réseau (MTQ et municipalités). Pour sa part, suite à de nombreux efforts au courant des dernières années, le ministère des Transports du Québec a mis sur pied un outil à l'échelle du Québec permettant aux directions territoriales (DT) de consulter et de traiter les données d'accidents réunies dans une seule et même base de données mise à jour continuellement et partagée sur un réseau. Il est devenu alors possible de considérer une nouvelle avenue d'exploitation de ces données. En effet, il est désormais plus facile et rapide d'analyser les accidents sur le réseau entier. Tout en conservant la pertinence de l'analyse traditionnelle des variables selon un découpage par site, il devient complémentaire maintenant d'étudier l'impact d'une ou plusieurs variables pour un grand nombre de sites similaires.

1.3 Objectifs et contenu du mémoire

Le projet de recherche correspond à une première étape d'analyse des données d'accidents autoroutiers sur le territoire de la province de Québec. Il a été réalisé en partenariat avec la Direction de la sécurité en transport du ministère des Transport du Québec. Les trois principaux objectifs du travail sont de synthétiser la littérature sur l'analyse et la modélisation des accidents autoroutiers en fonction des éléments géométriques formant une autoroute et ses échangeurs, de développer une approche de traitement et d'analyse d'accidents à grande échelle et de développer une méthodologie d'analyse ciblée pour un élément géométrique autoroutier spécifique (courbe en section courante plus précisément traitée dans le cadre du présent mémoire). Par le fait même, le projet vise à fournir aux praticiens dans le domaine de la sécurité routière une approche méthodologique et des outils pour évaluer la dangerosité d'éléments géométriques autoroutiers.

Le présent document débute donc en exposant les principaux fondements en sécurité routière, puis dresse un court portrait de l'historique des accidents routiers au Québec. Pour faciliter la compréhension du sujet, le document présente ensuite les concepts de base comprenant notamment la nomenclature, certaines définitions, une segmentation des composantes géométriques d'une autoroute et de ses échangeurs, les variables principales ayant un impact potentiel sur les accidents et quelques méthodes d'analyse et de modélisation. Cette section est suivie d'un chapitre effectuant la synthèse de la littérature, principalement états-unienne, portant

sur l'analyse et la modélisation des accidents autoroutiers. Cette revue de la littérature correspond à une insigne partie du mémoire et est présentée selon la décomposition par élément géométrique préalablement définie. Elle se termine par un résumé de l'état passé et actuel en recherche sur le sujet. Le chapitre qui suit expose et analyse cinq ans de données d'accidents autoroutiers au Québec. Il vise principalement à caractériser l'échantillon à l'étude à l'aide des indicateurs de sécurité routière et à en faire ressortir les principales tendances spatiales et temporelles. Finalement, une dernière rubrique suggère une première étape d'analyse des accidents associés à un élément géométrique spécifique : la courbe en section courante d'autoroute. L'objectif principal de cette section est d'établir une méthodologie pour l'analyse d'un élément segmenté de manière à éventuellement l'extrapoler pour d'autres composantes géométriques spécifiques (comme une bretelle d'autoroute) ou pour un ensemble d'éléments du réseau (comme un échangeur). Le second but est de tenter de faire ressortir certaines corrélations entre des variables comme le débit, le rayon, la longueur d'une courbe et les accidents. Une synthèse des points importants de la littérature, des résultats et des problématiques d'analyse conclut ce rapport.

CHAPITRE 2 CADRE THÉORIQUE ET NOTIONS FONDAMENTALES

2.1 Fondements de la conception actuelle et sécurité des éléments autoroutiers

La conception actuelle des autoroutes repose sur des normes et des guides préparés directement ou avec le support de différents paliers gouvernementaux, paragouvernementaux ou avec les grandes organisations en transport (AASHTO, DOT, FHWA, TRB, NCHRP, NCSA, NHTSA, TSI ou RITA aux États-Unis, Transports Canada ou ATC au Canada, MTQ ou SAAQ au Québec). Les principaux ouvrages de référence considérés pour la conception d'autoroutes et d'échangeurs sont les suivants :

- Normes du ministère des Transports du Québec, MTQ;
- Guide canadien de conception géométrique des routes, ATC;
- A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO;
- Highway Capacity Manual, HCM.

Ces ouvrages se basent principalement sur des aspects théoriques de conception, même lorsque le thème de la sécurité y est traité. Par exemple, selon les lois de la physique classique, une courbe sera conçue de façon à ce qu'un véhicule roulant à une vitesse de conception donnée dans la courbe subisse une force centrifuge égale à sa force centripète, ce qui empêche théoriquement le dérapage. On prévoit également des conditions défavorables (chaussée mouillée, pneus usés) de façon à conserver une certaine marge de sécurité sur le terrain. Qu'en est-il cependant du comportement humain face à la route? L'étude des accidents répond à cette question en présentant le résultat de l'interaction réelle entre la route et le conducteur. Lors de l'apparition des manuels de base en conception, il faut noter que la localisation des accidents était relativement complexe, fastidieuse et imprécise de par la technologie en place. Aujourd'hui, la situation s'est grandement améliorée et c'est pourquoi les conclusions des analyses d'accidents pourraient dorénavant complémenter ces guides et prescriptions. C'est dans cette optique que le présent document s'intéresse à la question.

2.2 Fondements en sécurité routière

La référence la plus complète trouvée à ce jour traitant de sécurité routière correspond au Manuel de sécurité routière de l'AICPR (2003). Ce dernier parcourt l'étendue du sujet de manière exhaustive en passant notamment par les principes de gestion, d'identification, d'étude et de traitement des sites accidentogènes. La présente recherche se fonde principalement sur cette référence dans le cadre de ses discussions, calculs et analyses ainsi que pour le choix de ses approches de travail.

2.3 Les changements à travers les époques quant au nombre, à la gravité et au coût des accidents

Une série d'études ont été menées entre la fin des années 60 et le début des années 80 à propos des accidents sur les autoroutes. À l'époque, les bases de données d'accidents présentaient quantité de limitations et d'imprécisions. De plus, sans l'aide d'outils technologiques tels que les GPS ou les SIG/SIGAR, il était plus fastidieux et difficile d'obtenir, compiler et corréler les données d'accidents aux éléments géométriques. Quelques modèles ont été malgré tout développés et ces derniers font partie de la présente revue de littérature. Il faut toutefois les considérer avec discernement, car de nombreux changements sont survenus à travers les années au niveau de la circulation et des accidents. Les graphiques qui suivent, tirées des données statistiques 2006 de la SAAQ (2007) et du bilan 2007 (SAAQ, 2008a), présentent un résumé de cette évolution au Québec.

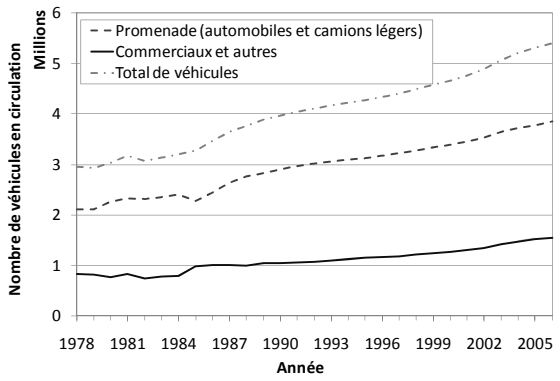


Figure 2.1: Évolution dans le temps du nombre de véhicules en circulation selon le type

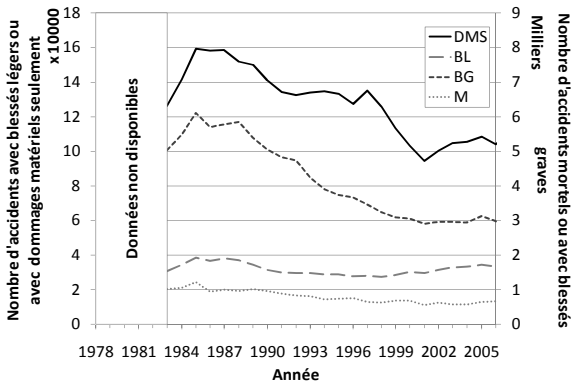


Figure 2.2: Évolution dans le temps du nombre d'accidents selon la gravité[1]

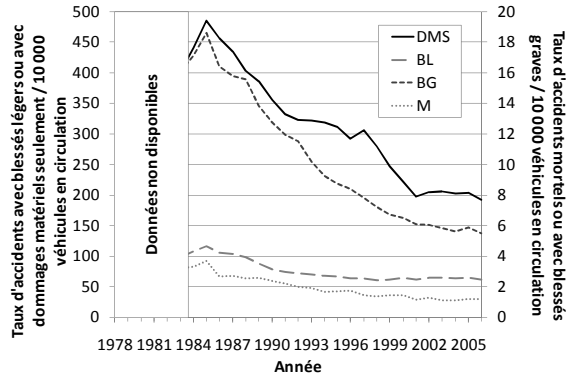


Figure 2.3: Évolution dans le temps du nombre d'accidents selon la gravité en fonction du nombre total de véhicules en circulation

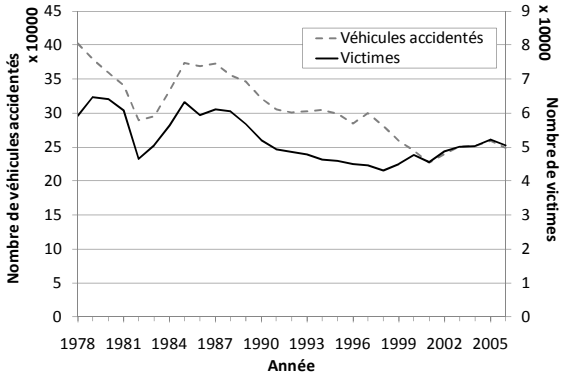


Figure 2.4: Évolution dans le temps du nombre de véhicules accidentés et du nombre de victimes d'accident de la route au Québec

[1] DMS : Accidents à dommage matériel seulement, BL : Accidents avec blessé(s) léger(s), BG : Accidents avec blessé(s) grave(s), M : Accidents mortels

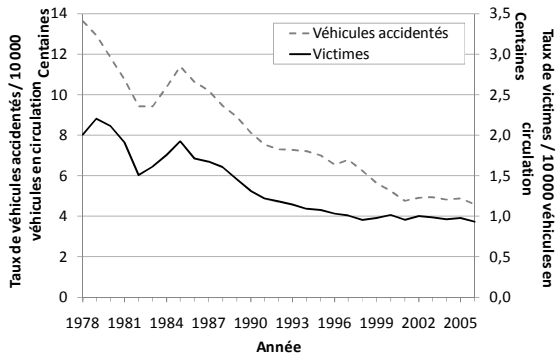


Figure 2.5: Évolution dans le temps du nombre de véhicules accidentés et du nombre de victimes d'accident de la route par rapport au nombre de véhicules en circulation au Québec

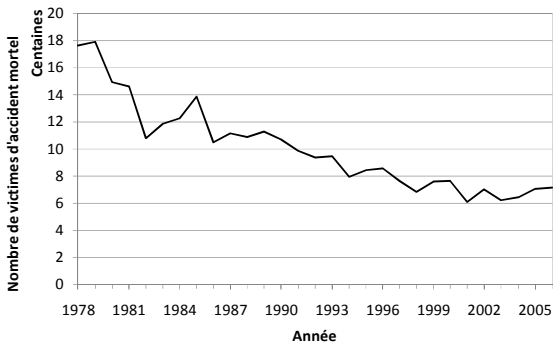


Figure 2.6: Évolution dans le temps du nombre de victimes d'accident mortel au Québec

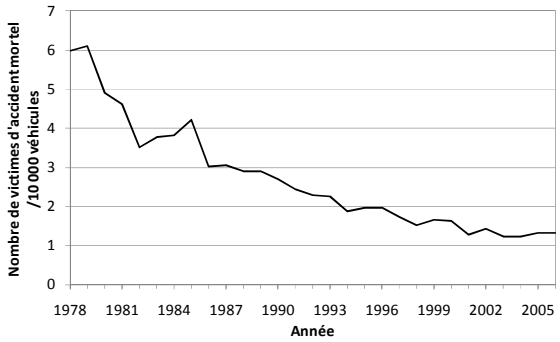


Figure 2.7: Évolution dans le temps du nombre de victimes d'accident mortel par rapport au nombre de véhicules en circulation au Québec

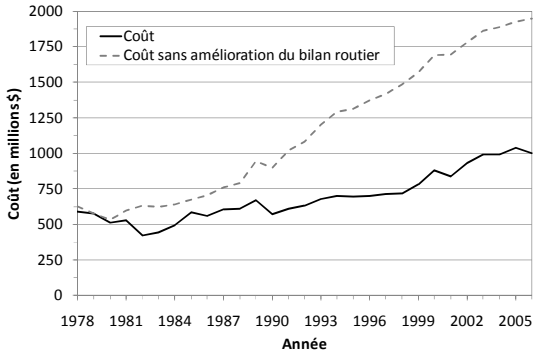


Figure 2.8: Évolution dans le temps des coûts liés à l'indemnisation des accidents routiers au Québec[2]

[2]Les séries de paiements pour chacune des victimes sont évaluées à un montant unique payable à la date d'accident. Les montants uniques relatifs aux accidents d'une année sont additionnés et ils constituent le coût réel (frais d'administration exclus) de l'année. Le graphique montre la façon dont le coût des indemnités aurait évolué sans amélioration du bilan routier, c'est-à-dire sans réduction du taux de victimes par 10 000 titulaires de permis (SAAQ, 2007).

La Figure 2.1 illustre, dans un premier temps, une importante augmentation du nombre de véhicules en circulation au Québec entre les années 1978 et 2006. Pourtant, depuis 1985, le nombre d'accidents (peu importe la gravité), de victimes (incluant blessés légers, blessés graves et mortalités) et de véhicules accidentés (toutes gravités) est, quant à lui, globalement à la baisse (voir Figure 2.2 et Figure 2.4). La diminution la plus prononcée est associée au nombre de mortalités (voir Figure 2.6). Pour toutes gravités d'accidents, lorsqu'exprimé par rapport au débit de circulation, le constat de décroissance est accentué (voir Figure 2.3, Figure 2.5 et Figure 2.7). Il est à noter toutefois que la baisse signalée à travers les années se stabilise depuis 2001. D'autre part, une des raisons principales qui pousse la société à vouloir diminuer les accidents est le coût lié à l'indemnisation des accidents routiers. Ce coût a généralement augmenté depuis 1982 et a atteint un sommet à plus d'un milliard de dollars en 2005 (voir Figure 2.8). Si des efforts n'avaient pas été mis de l'avant pour réduire les accidents, ce coût aurait pu s'élever jusqu'à presque deux milliards de dollars selon la SAAQ (2007).

Malgré l'augmentation des coûts, le taux d'accidents sur les routes a, quant à lui et comme discuté précédemment, considérablement diminué en 40 ans, et ce, pour plusieurs raisons. Les lignes qui suivent présentent quelques hypothèses expliquant cette diminution.

- *Le changement de comportement des usagers de la route*

  Aujourd'hui, presque tous les conducteurs sont nés dans une société où la voiture est omniprésente. Ils ont commencé à conduire plus jeunes et sont donc habitués à la géométrie des routes. Ils sont probablement plus à l'aise qu'à l'époque.

- *L'évolution des normes de conception routière*

  Les normes de conception routière, non seulement au Québec, mais un peu partout à travers le monde, ont fait l'objet de constantes révisions et améliorations dans le but de rendre les routes plus sécuritaires.

- *Des véhicules plus performants*

  Les constructeurs automobiles ont travaillé sur leurs designs pour augmenter sans cesse les performances et la qualité de leurs véhicules tout en répondant aux nouveaux standards de l'industrie de plus en plus stricts. Le résultat de ce travail correspond à des voitures plus stables et plus sécuritaires qu'autrefois. Par contre, il n'est pas impossible

que ces améliorations soient un couteau à double tranchant. En effet, un conducteur qui se sent plus en sécurité grâce au confort des nouvelles automobiles peut être tenté à augmenter sa vitesse, diminuer son attention sur la route et à être finalement moins alerte et éventuellement plus à risque.

- *La réglementation plus sévère et la perception des contrevenants au Code de la route*

  Les excès de vitesse et la consommation d'alcool ou de drogue au volant sont punis plus sévèrement. Les contrevenants au Code de la route ont une mauvaise image comparativement à dans le passé où il n'était pas nécessairement mal vu de conduire après avoir consommé de l'alcool, par exemple.

- *Les efforts soutenus des différentes organisations en sécurité routière*

  De grandes améliorations sont survenues dans la méthodologie des analyses d'accidents à travers les années. Le nombre d'études de sécurité réalisées s'est vu également croître considérablement.

- *Le ralentissement de l'expansion routière*

  Il va sans dire que plus le nombre de kilomètres carrossables est élevé, plus l'exposition au risque d'accident est grande. Au courant des quatre dernières décennies, peu de nouvelles routes ont été construites comparativement au « boom » des années soixante. L'exposition au risque (en ce qui a trait à la longueur) est donc demeurée relativement stable, ce qui favorise le bilan routier. Par contre, il faut noter que le ralentissement de l'expansion routière s'accompagne d'une augmentation de nombre de kilomètres parcourus par les usagers (phénomène d'étalement urbain), ce qui implique une plus grande exposition au risque pour certains usagers.

Il est donc difficile de transposer directement les modèles d'autrefois à aujourd'hui. Ces modèles demeurent toutefois pertinents non pas pour leurs coefficients, mais au sens de leur nature propre, c'est-à-dire pour leurs variables et la signification de ces dernières.

Tout récemment, un intérêt est réapparu à travers les publications scientifiques concernant les relations entre la géométrie autoroutière et les accidents. Un outil informatique du nom de ISAT (*Interchange Safety Analysis Tool*) a notamment été développé aux États-Unis pour évaluer la performance en sécurité routière des autoroutes actuelles et futures (Torbic, Harwood, Gilmore,

& Richard, 2007a). Les plus récents modèles présentés dans la revue de la littérature ont été développés pour être intégrés dans cet outil.

À propos de l'outil ISAT

ISAT a été développé dans l'objectif que les ingénieurs en conception et en sécurité routière disposent d'un outil automatique pour évaluer rapidement l'impact d'éléments géométriques et de dispositifs de contrôle sur un échangeur actuel ou projeté (ou sur son réseau adjacent). L'interface d'ISAT correspond à une série de feuilles dans le logiciel Excel de Microsoft. Il est divisé en deux parties : la section « entrée de données » (inputs) et la section « résultats » (outputs). Les données à entrer constituent les éléments de base caractérisant la circulation, la géométrie et l'historique en termes d'accidents d'un site donné. Une calibration des modèles peut également être effectuée dans cette section. Le facteur d'ajustement correspond au quotient du nombre d'accidents survenus au courant d'une période d'étude donnée et sur un élément géométrique donné ayant des caractéristiques constantes (concernant le milieu, le nombre de voies, etc.) par rapport au nombre d'accidents généré par ISAT pour un tel élément géométrique. Les résultats (outputs) que génère ISAT correspondent à une prédiction du nombre d'accidents par année selon la gravité, le type de collision et pour un ensemble ou une segmentation d'éléments. Le découpage géométrique d'ISAT est le suivant :

- Un échangeur dans son ensemble;
- La section courante d'une autoroute;
- Les bretelles d'une autoroute;
- Les extrémités de bretelles et intersections avec une route transversale;
- Les segments d'une route transversale.

2.4 La localisation des accidents

La localisation des accidents routiers au Québec s'effectue par le corps policier et est régie par la SAAQ. Lorsque survient sur le réseau routier un accident nécessitant plus qu'un simple constat à l'amiable, un rapport doit être complété caractérisant et localisant l'accident. Normalement, tous les accidents qui impliquent un ou des blessés devraient obligatoirement nécessiter qu'un rapport d'accident soit complété. Par contre, lorsqu'il s'agit d'accidents à dommage matériel seulement,

la ligne est plus difficile à tracer. Certains conducteurs ne contacteront pas le corps policier ou les patrouilleurs du réseau, d'autres le feront. En cas de congestion sur les autoroutes, les patrouilleurs peuvent également être appelés à déplacer rapidement les véhicules impliqués dans un accident pour ne pas obstruer la circulation (surtout s'il s'agit d'un accident sans aucun blessé qui survient à l'heure de pointe, par exemple). Il faut donc toujours tenir compte que la base de données d'accidents de la SAAQ n'est jamais tout à fait complète.

Pour toutes les études d'accidents routiers au Québec actuellement, il existe une incertitude majeure en ce qui a trait à la localisation des accidents. Bien que plusieurs mécanismes aient été mis en place pour améliorer cet aspect au fil des ans, la précision demeure difficile à interpréter d'une donnée à l'autre. Il faut toujours traiter la position des accidents avec précaution et veiller à ne pas tout prendre comme de l'absolu. L'utilisation de GPS par le corps policier pour localiser les accidents est une solution à ce problème très documentée dans la littérature. Wu, Sando, Mussa, Sobanjo et Spainhour (2004) ont notamment étudié ce sujet et démontrent qu'il s'agit d'une alternative de choix. Plus précisément, ils concluent que le GPS combiné aux SIG présente cinq avantages :

- L'obtention d'informations complètes sur une donnée d'accident;
- Une uniformité des noms de rues reportés;
- Une élimination des erreurs humaines lors de l'inscription manuelle des coordonnées de l'accident;
- Une écriture correcte des noms de rues due au fait qu'ils sont tirés directement d'une table de données;
- Une économie de temps engendré par le système de complétion automatique des informations sur la localisation.

Graettinger, Rushing et McFadden (2001) démontrent, en complément, que les données GPS fournissent plus d'information que les méthodes de localisation conventionnelles, et ce, à de faibles coûts. L'AIPCR (2003) en rajoute : il s'agit d'une méthode simple et rapide d'utilisation plus précise que toute autre méthode existante.

Donc, pour ces multiples raisons et pour parfaire les résultats des analyses de sécurité au Québec, il serait fortement recommandé d'implanter un tel système dans le processus de localisation des

accidents au Québec. La localisation étant la donnée de base d'une étude de sécurité, une amélioration de sa précision permettrait une multitude de nouvelles avenues de recherche sur les accidents et notamment sur des éléments géométriques plus pointues comme les bretelles d'une autoroute.

2.5 Nomenclature, définitions et indicateurs reliés aux autoroutes et aux accidents

Dans la présente section, une attention particulière est accordée aux principaux indicateurs utilisés pour caractériser les accidents, les personnes ou véhicules impliqués dans un accident ainsi que la route où surviennent les accidents. Ces indicateurs peuvent varier d'une référence à l'autre et n'ont donc pas toujours la même signification. Voici une liste d'éléments à clarifier auxquels une définition et/ou une note explicative sont proposées. Pour connaître les formules plus spécifiques associées à certains indicateurs, se référer à la section 4.2.

- *L, Longueur d'un segment routier*

  Peut être utilisée comme dénominateur du taux d'accidents (voir Ta dans les lignes qui suivent) pour quantifier la dangerosité d'un segment routier mesurable, typiquement en mètres ou kilomètres. Cette caractéristique peut être associée à un tronçon droit ou à une courbe. La longueur peut être interprétée de différentes façons, notamment selon le type de route, le nombre de voies et les directions (voir section 4.4.1).

- *R, Rayon de courbure*

  Variable quantifiant l'alignement horizontal d'une courbe sur une route où peuvent survenir des accidents. Plus cette valeur est grande, plus la courbe s'apparente à un segment droit.

- *D°, Degré de courbure*

  Autre variable quantifiant l'alignement horizontal d'une courbe sur une route où peuvent survenir des accidents. Celle-ci est typiquement utilisée sur le terrain pour implanter une courbe. Il s'agit de l'angle de déviation pour une corde de cent pieds. L'équation qui relie le rayon et le degré de courbure est la suivante : $D° = \frac{1746}{Rayon\ (m)}$ ou $D° = \frac{5730}{Rayon\ (pi)}$.

- *D ou V, Débit ou volume de circulation*

  Peut être utilisé comme dénominateur du taux d'accidents (voir Ta dans les lignes qui suivent) pour quantifier la dangerosité d'un site en fonction du nombre de véhicules qui y circulent. Le taux d'accidents est typiquement exprimé par rapport au débit journalier moyen annuel (DJMA), mais peut également l'être selon toute autre forme du débit comme le débit journalier moyen saisonnier (DJMS) ou simplement le nombre de véhicules à l'heure de pointe (fonction de la plage de données d'accidents).

- *N, Nombre ou fréquence d'accidents (crashes)*

  Un accident peut inclure plusieurs véhicules et plusieurs personnes. D'autre part, il peut impliquer soit une ou plusieurs collisions entre véhicules, ou n'impliquer aucune collision (notamment dans le cas d'une sortie de route).

- *Collision*

  Une collision correspond au contact entre deux véhicules ou entre un véhicule et un obstacle (lampadaire, panneau de signalisation, fût d'un feu de circulation, etc.).

- *Nombre de véhicules accidentés*

  Un ou plusieurs véhicules peuvent être impliqués dans un accident. Également, un véhicule accidenté peut n'inclure aucune personne accidentée ou en inclure plusieurs.

- *Nombre de véhicules impliqués dans des accidents*

  Est le produit du nombre d'accidents fois le nombre de véhicules impliqués dans un accident.

- *Nombre de victimes*

  Correspond au nombre de personnes décédées ou ayant subi des blessures corporelles suite à un accident routier, ce qui exclut habituellement les personnes impliquées dans un accident à dommage matériel seulement. À noter qu'il peut arriver malgré tout qu'on réfère à des « victimes d'accidents à dommage matériel seulement », selon la source.

- *Nombre de conducteurs*

  Exclut les passagers du véhicule et peut parfois être utilisé comme synonyme de nombre de véhicules (puisqu'il n'y a qu'un conducteur par véhicule).

- *Nombre de titulaires de permis de conduire*

  Donne une indication sur le nombre de conducteurs potentiels, mais n'est pas équivalent au nombre de véhicules en circulation, car un titulaire peut ne pas posséder de véhicules, ou, à l'inverse, en posséder plusieurs.

- *Nombre de véhicules en circulation*

  Inclut tous les véhicules immatriculés, même ceux qui ne sont pas utilisés en réalité.

- *Gravité, sévérité ou nature des blessures*

  Est attribué aux victimes, mais peut parfois aussi être associé à un accident (voir indice de gravité ci-dessous).

- *Ig, Indice de gravité*

  Pondération d'un accident par rapport à la victime la plus sévèrement atteinte de cet accident.

- *Ta, Taux d'accidents*

  Est l'expression du nombre d'accidents par rapport à une ou plusieurs variables, soit habituellement la longueur d'un tronçon routier et le nombre de véhicules en circulation. Peut également être associé à un carrefour routier.

- *Tm, Taux moyen d'accidents*

  Correspond au Ta, mais pour un groupe de sites. Le taux moyen d'accidents sert habituellement de base comparative lors d'étude de sécurité routière.

- *Tc, Taux critique d'accidents*

  Valeur limite pour déterminer si un site présente une problématique de sécurité par rapport à sa catégorie en considérant la nature aléatoire des accidents.

- *Tp, Taux pondéré d'accidents*

  Correspond à la combinaison de différents indicateurs de sécurité, typiquement le produit du taux d'accident par l'indice de gravité.

- *CRF, Crash Reduction Factor/Function ou AR, Accident Reduction Factor (facteur ou fonction de réduction des accidents)*

  Bahar, Masliah, Wolff & Park (2007) définissent le CRF comme étant la quantification (en pourcentage) de la réduction du nombre d'accidents attendue grâce à l'implantation d'une mesure de mitigation. Un CRF de 10, par exemple, indique que l'on prévoit une diminution de 10 % des accidents avec l'implantation d'une certaine mesure de mitigation. Un pourcentage négatif indique que la mesure a, contrairement aux attentes, augmenté le nombre d'accidents. Le CRF peut varier en fonction de certains paramètres, on parle alors de *Crash Reduction Function*. Voici un exemple de CRF sous forme d'équation faisant intervenir le pourcentage de véhicules lourds durant l'heure de pointe (Pt) :

  > Exemple 1 : $CRF = 100 \times [1-e^{(0,026x(Pt-9)}]$. La valeur de 9 dans l'équation représente la situation initiale (9 % de véhicules lourds). Pour calculer l'impact attendu d'une réduction à 7 % de véhicules lourds, par exemple, il suffit de remplacer Pt par 7 dans l'équation. La valeur de CRF devient alors égale à 5, ce qui signifie une réduction de 5 % des accidents en diminuant de 9 à 7 % la proportion de véhicules lourds dans une situation donnée.

  Garber & Hoel (1997) utilisent plutôt le terme AR pour exprimer le même facteur de réduction d'accidents. Ils ajoutent toutefois une clarification dans les calculs. Premièrement, l'analyste doit pondérer le nombre d'accidents potentiellement évité par le débit.

  > Exemple 2 : pour une période de trois ans d'étude, on observe un DJMA moyen de 7850 véh/jour et une moyenne de 13 accidents par année. Lorsque la mesure de mitigation sera implantée, on prévoit un DJMA de 9000 véh/jour. Pour un AR de 30 %, on prévoit éviter alors environ 4 accidents (13 x 0,30 x 9000 / 7850 = 4,47).

  Deuxièmement, l'analyste peut calculer l'impact d'une combinaison de mesures de mitigation à l'aide de l'équation : $AR = AR_1 + (1 - AR_1)AR_2 + (1 - AR_1)(1 - AR_2)AR_3 + \cdots + ((1 - AR_1) \dots (1 - AR_{m-1})AR_m$.

Exemple 3 : Trois mesures de mitigation avec des valeurs respectives de AR de 40, 28 et 20 % sont prévues à un site X. La valeur de AR combinée est alors égale à 66 % (0,40 + (1 - 0,40) 0,28 + (1 - 0,40) (1 - 0,28) 0,20 = 0,66).

- *AMF, Accident Modification Factor ou CMF, Crash Modification Factor (FMA, Facteur de modification des accidents)*

  La valeur de FMA est une autre façon d'exprimer un changement au niveau du nombre d'accidents suite à l'implantation d'une mesure de mitigation. Cette valeur est reliée à celle de CRF par l'équation suivante : $AMF = (1 - CRF)$. Un AMF de 85 % signifie donc une réduction des accidents de 15 % par rapport à la situation initiale. (Harkey & al., 2005)

- *SPF, Safety Performance Function (Fonction de performance en sécurité)*

  Les SPF sont des modèles qui tentent de prédire la performance en sécurité routière (en termes de nombre d'accidents par année) de sites spécifiques en fonction de leurs caractéristiques. Les SPF ont été conçues pour trois types de sites : les segments routiers, les intersections et les bretelles. (Harwood et al., 2004)

Dans l'objectif de clarifier les termes utilisés en référence aux éléments géométriques autoroutiers, les figures suivantes illustrent les principaux types d'échangeurs (Figure 2.9) et de bretelles (Figure 2.10) traités dans la littérature.

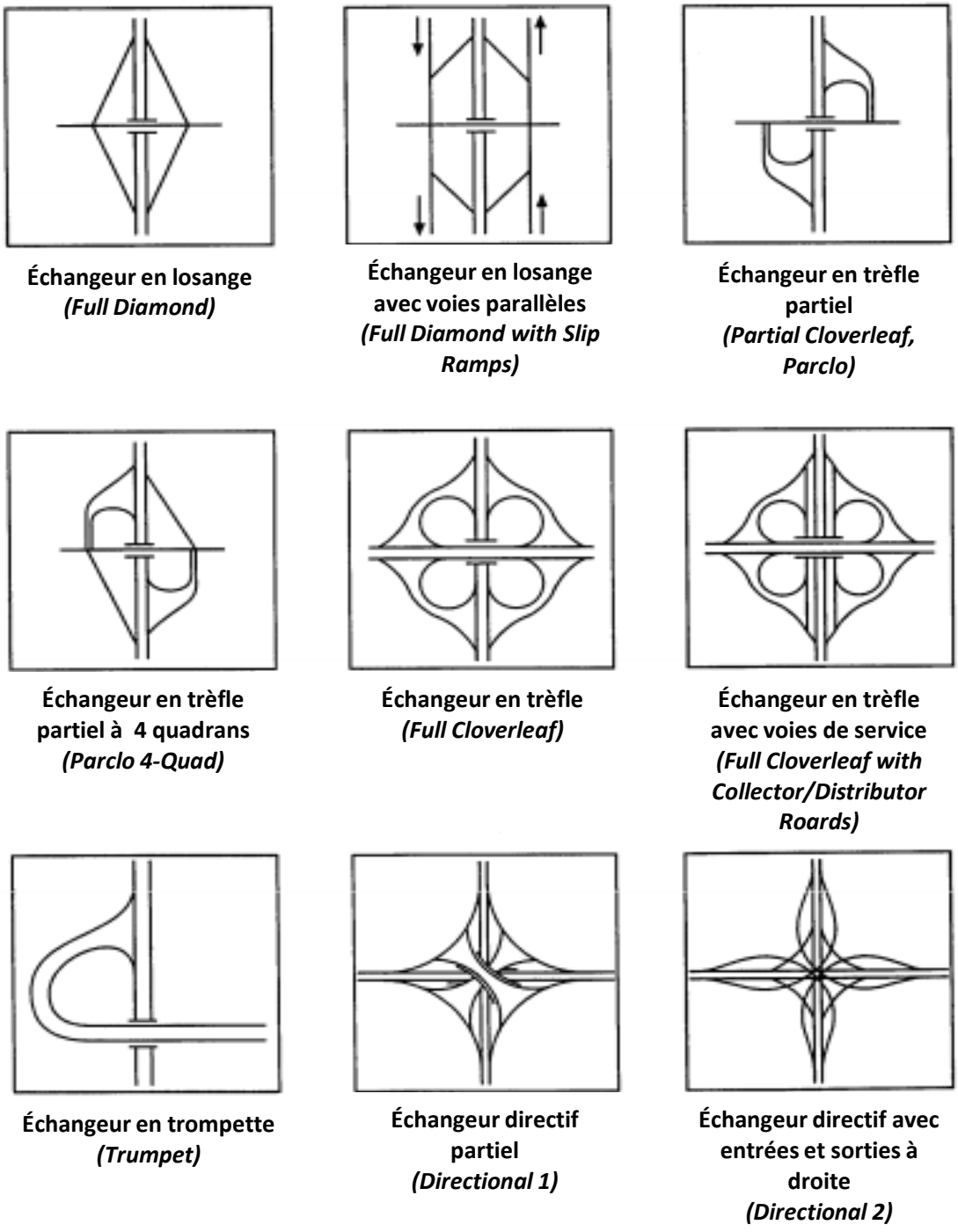


Figure 2.9: Principaux types d'échangeurs, adapté de Torbic & al. (2007b)

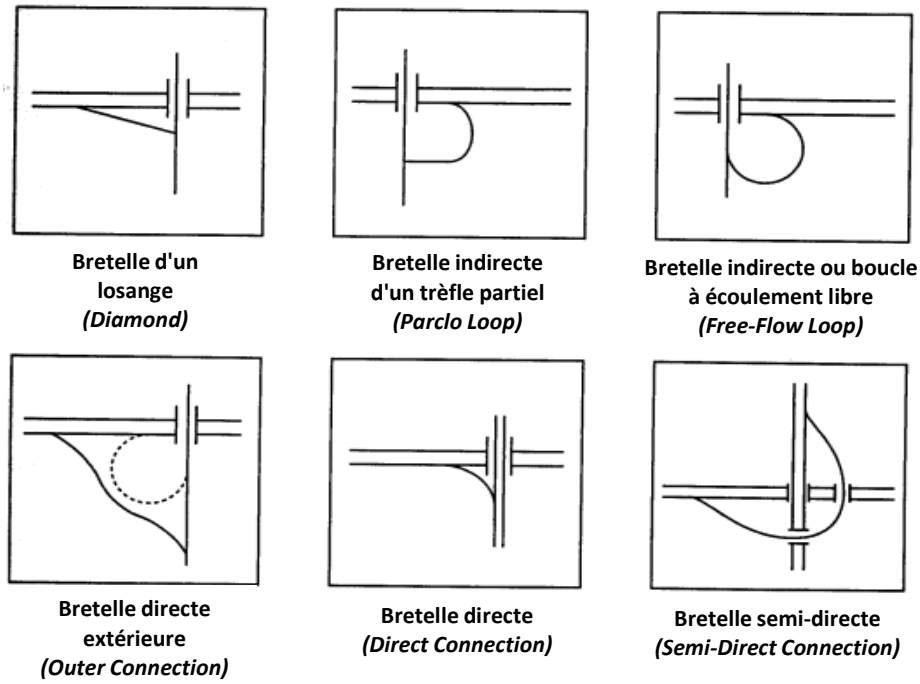


Figure 2.10: Principaux types de bretelles, adapté de Torbic & al. (2007b)

2.6 Les différentes approches du sujet et la segmentation des éléments géométriques autoroutiers

Le traitement du sujet dans la littérature se fait tout d'abord en deux temps :

- Analyse des accidents en fonction des éléments reliés à l'autoroute / échangeur
  - ✓ Pour évaluer les tendances et le niveau de sécurité de l'existant
- Modélisation des accidents en fonction des éléments reliés à l'autoroute ou l'échangeur
  - ✓ Pour prédire le niveau de sécurité d'une future autoroute ou d'un échangeur

Ensuite, il existe quantité de variables qui influencent le taux d'accidents sur les autoroutes. Celles-ci peuvent varier selon le type de tronçon étudié. Puisque l'objectif est d'analyser et de modéliser les accidents de façon la plus précise possible, il importe de délimiter les composantes d'une autoroute et de ses échangeurs. La littérature propose plusieurs divisions différentes, ce qui fait en sorte que certains éléments géométriques se chevauchent d'une référence à l'autre. Les

lignes qui suivent présentent une décomposition qui permet d'englober l'essentiel de ce qui est exposé ou non dans la littérature consultée.

Section courante en dehors d'une zone d'échangeur

- ✓ Section dans sa globalité (fonction de l'espacement entre les échangeurs)
- ✓ Tronçons droits en section courante
- ✓ Courbes en section courante

Échangeur dans son ensemble

Zone d'échangeur[3] et extrémité de bretelle (sortie ou accès à l'autoroute)

- ✓ Section courante à l'intérieur d'une zone d'échangeur
- ✓ Voie d'accélération
- ✓ Voie de décélération
- ✓ Zone d'entrecroisement (voie d'accélération et de décélération fusionnées)

Bretelle proprement dite (directe ou indirecte)

- ✓ Entrée (à partir d'une rue)
- ✓ Sortie (vers une rue)
- ✓ Autoroute à autoroute (ou artère/collectrice importante)

Autres combinaisons d'éléments

- ✓ Bretelle proprement dite et voie de changement de vitesse
- ✓ Autoroute dans son ensemble, éléments non spécifiés

Le Chapitre 3 expose de façon plus précise la littérature concernant les relations entre les éléments géométriques autoroutiers et les accidents en faisant intervenir une série de variables dépendantes et indépendantes. Ces variables sont discutées à la section 2.7 qui suit.

[3] La zone d'échangeur est, par définition, délimitée par une certaine distance sur l'autoroute principale de part et d'autre de l'échangeur. Elle exclut les bretelles proprement dites.

2.7 Variables ayant un impact sur les accidents

Il existe de nombreuses références traitant des relations qui peuvent exister entre les accidents et la route, mais peu traitent spécifiquement d'autoroutes. Certains auteurs semblent extrapoler le comportement accidentogène des usagers sur les routes directement aux autoroutes ou bien ne font pas de distinction particulière entre les deux types. Kopelias & al. (2007), par exemple, dans un article traitant d'accidents autoroutiers, énumèrent les principales variables indépendantes qui ont un impact sur les accidents (voir Tableau 2-1) en indiquant si elles sont significatives ou non, mais sans évaluer s'il est possible de faire cette extrapolation aux autoroutes. D'autre part, bien qu'il s'agisse de la liste la plus récente trouvée dans la littérature, elle demeure limitée. Dans les publications plus anciennes, il est possible de trouver une liste plus complète. En effet, Cirillo, Dietz & Beatty (1969) présentent une liste exhaustive des variables pouvant avoir un impact sur les accidents autoroutiers (voir Tableau 2-2) en indiquant s'il a été possible de les modéliser ou non. Ils suggèrent également une division simplifiée des éléments autoroutiers et des variables qui leur sont associées : bretelle, voie de changement de vitesse, autoroute principale et passage dénivelé.

Tableau 2-1: Sommaire des variables ayant un impact sur les accidents, sans distinction quant aux éléments géométriques, adapté de Kopelias & al. (2007)

Liste des variables indépendantes traitées dans la littérature	Impact significatif	Liste des variables indépendantes traitées dans la littérature	Impact significatif
DJMA	X	Largeur de la bande médiane	X
DJMA/voie	X	Densité (v/c)	X
Alignement vertical		Bretelle de sortie	
Nombre de véhicules commerciaux		Bretelle d'entrée	X
Alignement horizontal	X	Condition du pavage	X
Angle de courbure maximal	X	Signalisation	X
Degré de courbure	X	Vitesse	X
Longueur de la courbe		Limite de vitesse	X
Rayon de courbure	X	Vitesse moyenne	X
Nombre de courbes	X	Écart type de la vitesse	X
Jour de la semaine	X	Nombre de courbes verticales (pentes)	X
Débit ou volume	X	Temps	X
Longueur de la pente		Largeur de voie	X
Pente	X	Largeur de l'accotement droit	
Nombre de voies	X	Largeur de la route	X
Conditions lumineuses (jour/nuit)	X	Largeur de l'accotement	X

Tableau 2-2: Liste exhaustive des variables pouvant avoir un impact sur les accidents autoroutiers, adaptée de Cirillo, Dietz & Beatty (1969)

Liste des variables pouvant avoir un impact sur les accidents autoroutiers	Modélisé
VARIABLES GLOBALES	
Longueur de l'unité	x
1/Longueur de l'unité	
DJM/Longueur de l'unité	
Débit journalier moyen (DJM)	x
Milieu urbain ou rural	x
Division de la route secondaire (croisant l'autoroute principale)	x
Nombre de voies sur la route secondaire	
Vitesse de conception (de base)	
Nombre de voies	
Largeur totale du pavage	
Largeur des voies	
Largeur de l'accotement de droite	
Largeur de l'accotement de gauche	x
Type de pavage (béton ou asphalte)	x
Type de pavage sur l'accotement de droite (pavée ou non)	
Type de pavage sur l'accotement de gauche (pavée ou non)	
Pente (montante ou descendante)	
Pourcentage de la pente	x
Courbure maximale	x
Distance de visibilité d'arrêt minimale (DVA)	x
1/DVA	
DJM/DVA	
Présence d'une zone tampon entre un obstacle (structure, clôture, etc.) et la route	
Écart moyen de la distance entre un obstacle et la route	
Distance de la plus proche halte routière	
Nombre de panneaux de signalisation d'indication lisibles	x
Nombre de panneaux publicitaires lisibles	x
Distance de la fin la plus proche de l'autoroute	
Présence de lampadaires	
Type d'éclairage (vapeur mercury ou autres)	
Intensité lumineuse	x
Écart moyen de l'espacement des lampadaires	
Présence du marquage pour délimiter les voies	
Présence du marquage des lignes de rive	x
Présence de délinéateurs physiques (autre que du marquage)	x
Écart moyen de l'espacement des délinéateurs	
Présence de téléphones publiques	
Présence de téléphones d'urgence	
Possibilité de tourner à gauche sur la route secondaire	
Proportion du débit 7h à 9h par rapport au débit journalier	
Proportion du débit 16h à 18h par rapport au débit journalier	
Proportion du débit 18h à 7h par rapport au débit journalier	
Pourcentage de véhicules particuliers de jour	
Pourcentage de véhicules particuliers de nuit	
(Courbure maximale) x (vitesse de conception)	
Pourcentage de véhicules commerciaux	
(Vitesse de conception) x (type de pavage)	
(Courbure maximale) x (intensité lumineuse)	
(Courbure maximale) x (présence de délinéateurs)	
(Courbure maximale) x (pourcentage de la pente)	
(Vitesse de conception) x (type de pavage)	
(Courbure maximale) x (largeur de l'acottement de droite)	
(Courbure maximale) x (largeur de l'acottement de gauche)	
(Courbure maximale) x (pourcentage de la pente)	
(Vitesse de conception) x (pourcentage de la pente)	
(Courbure maximale) x (intensité lumineuse)	
(Courbure maximale) x (présence de délinéateurs)	
(Courbure maximale) x (largeur des voies)	
(Pourcentage de la pente) x (type de pavage)	
Log(DJM)	
Log(DJM/voie)	
(DJM)²	
(DJM/voie)²	
(Intensité lumineuse)²	
(Largeur de l'acottement de droite)²	
(Largeur de l'acottement de gauche)²	
(Courbure maximale)²	
(Vitesse de conception)²	

Liste des variables pouvant avoir un impact sur les accidents autoroutiers (suite)	Modélisé
VARIABLES ASSOCIÉES À UNE BRETELLE	
Distance entre le musoir et l'endroit sur la bretelle où la courbure est de plus de 10°	x
Type de bretelle (entrée ou sortie)	x
Côté de l'entrée ou de la sortie (gauche ou droite)	
Longueur de la voie de changement de vitesse reliée à la bretelle	x
(Vitesse de conception de la voie de changement de vitesse) - (vitesse de conception de la bretelle)	x
(Longueur de la voie de changement de vitessse reliée à la bretelle) x ([vitesse de conception de la voie de changement de vitesse] - [vitesse de conception de la bretelle])	
(Longueur de la voie de changement de vitessse reliée à la bretelle)²	
(Distance entre le musoir et l'endroit sur la bretelle où la courbure est de plus de 10°)²	
VARIABLES ASSOCIÉES À LA VOIE DE CHANGEMENT DE VITESSE	
Largeur de la bande médiane	x
Type de bande médiane (franchissable ou non)	
Longueur du biseau de la voie de changement de vitesse	x
Distance entre le musoir et l'endroit sur la bretelle où la courbure est de plus de 10°	x
Patrouille policière (nombre de véhicules x heures / distance / année)	
Nombre d'arrestations par distance et par année	
Nombre de d'avertissements écrits par la distance et par année	
Nombre d'avertissements oraux par la distance et par année	
Vitesse moyenne pratiquée	
Écart type de la vitesse	
(Largeur de la bande médiane) * (type de bande médiane)	
(Direction de la pente) x (pourcentage de la pente)	
(Distance entre le musoir et l'endroit sur la bretelle où la courbure est de plus de 10°)²	
(Pourcentage de la pente) x (longueur de l'unité)	
VOIES DE L'AUTOROUTE PRINCIPALE	
Largeur de la bande médiane	x
Type de bande médiane (franchissable ou non)	
Patrouille policière (nombre de véhicules x heures / distance / année)	
Nombre d'arrestations par distance et par année	
Nombre de d'avertissements écrits par la distance et par année	
Nombre d'avertissements oraux par la distance et par année	
Vitesse moyenne pratiquée	
Écart type de la vitesse	
(Largeur de la bande médiane) x (type de bande médiane)	
Distance entre deux échangeurs	x
Distance de visibilité de dépassement minimale sur une autoroute à deux voies	
PASSAGE DÉNIVELÉ (OVERPASS ET UNDERPASS)	
Largeur de la bande médiane	x
Type de bande médiane (franchissable ou non)	
Longueur du passage dénivelé au croisement du rivière majeur	x
Patrouille policière (nombre de véhicules x heures / distance / année)	
Nombre d'arrestations par distance et par année	
Nombre de d'avertissements écrits par la distance et par année	
Nombre d'avertissements oraux par la distance et par année	
Vitesse moyenne pratiquée	
Écart type de la vitesse	
Distance entre deux échangeurs	x
(Largeur de la bande médiane) x (type de bande médiane)	
(Pourcentage de la pente) x (longueur du passage dénivelé)	

2.8 Survol des méthodes d'analyse et de modélisation dans la littérature

Différentes méthodes sont utilisées pour analyser et modéliser les accidents. Voici quelques exemples documentés dans la littérature :

- Méthodes d'analyse traditionnelles comprenant les régressions linéaires simples et multiples (Leisch, Neuman, Leisch, Hess, & Rosenbaum, 1982);
- Régression binomiale négative (Bauer & Harwood, 1998);
- Poisson (Bauer & Harwood, 1998);
- Arbre de classification et régression (CART : Classification and Regression Tree) (Chang & Chen, 2005);
- Réseau neurologique artificiel (ANN : Artificial Neural Network) (Chang, 2005).

Certaines distinctions entre les différentes méthodes sont étudiées plus en détail par Chang & Chen (2005), par Chang (2005) et par Oppe (1992). Un exemple détaillé d'application pour les routes rurales à deux voies est présenté également par Vogt & Bared (1998).

Même si certains auteurs ont publié plus récemment des articles critiquant la régression binomiale négative, il existe une certaine convergence vers cette méthode dans la littérature. En effet, les plus récents modèles de prédiction d'accidents sur les autoroutes et leurs échangeurs utilisent la régression binomiale négative comme étant un standard. Ils justifient leur choix par le fait qu'une étude reliée aux accidents fait intervenir une faible fréquence d'observations avec une dispersion élevée (variance plus élevée que la moyenne), ce qui est approprié pour la régression binomiale négative (Harwood et al., 2004). Malgré tout, le fait que le nombre d'accidents sur les autoroutes soit relativement faible demeure une problématique majeure dans toutes les tentatives de modélisation de la littérature.

CHAPITRE 3 REVUE DE LA LITTÉRATURE

3.1 Introduction à la revue de la littérature

La présente section du mémoire correspond à une revue de la littérature sur l'analyse des accidents autoroutiers. Il a été choisi d'y accorder une attention particulière afin de favoriser la compréhension du sujet dans son ensemble et pour faire ressortir des outils (modèles et tendances) pour les professionnels désirant améliorer la sécurité du réseau autoroutier, par l'entremise notamment d'audits. Étant donnée son envergure et afin de mettre en évidence les problématiques d'analyse, cette partie est présentée en chapitre distinct. D'autre part, tel que mentionné à la section 2.6, l'information tirée de la littérature est séparée selon un découpage géométrique prédéterminé. Ce chapitre est également complémenté de discussions sur les fondements et les problématiques particulières reliées à chacun des éléments examinés.

3.2 Section courante en dehors d'une zone d'échangeur

3.2.1 Section dans sa globalité

La section courante en dehors d'une zone d'échangeur est composée de courbes et de tronçons droits. Elle est également fonction de l'espacement entre deux échangeurs subséquents. Il existe plusieurs variables pouvant influencer les accidents sur une section courante d'autoroute entre deux échangeurs. La liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents autoroutiers pour cet élément géométrique est présentée au Tableau 3-1. Les zones du tableau qui n'indiquent pas le symbole « x » signifient qu'aucune information n'a été trouvée dans la littérature consultée. Ce tableau pourrait être parachevé dans une étape ultérieure à la présente recherche. Il présente malgré tout la liste exhaustive des variables possibles même si, en pratique, peu de celles-ci ont réellement été étudiées et encore moins intégrées dans des modèles. Les plus importantes demeurent la longueur de la section, l'espacement entre deux échangeurs, le DJMA sur l'autoroute et sur les bretelles des échangeurs à proximité, le milieu (urbain ou rural) et le nombre de voies.

Le détail de l'impact et une analyse de sensibilité des variables du Tableau 3-1 sont présentés dans la section *Modélisation* qui suit.

Tableau 3-1: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents dans un tronçon d'autoroute en section courante en dehors de la zone d'échangeur

Liste des variables indépendantes traitées dans la littérature	Discussion	Analyse	Significance	Modèle(s)
Longueur du tronçon	x	x	x	x
Espacement entre les échangeurs	x	x	x	x
DJMA sur les bretelles des échangeurs à proximité	x	x	x	x
DJMA	x	x	x	x
Milieu urbain ou rural	x	x	x	x
Proportion de véhicules lourds				
Présence de voie(s) réservée(s)	x	x	x	x
Nombre de voies	x	x	x	x
Largeur des voies				
Largeur des accotements				
Type d'accotements (asphalté, bande rugueuse, etc.)				
Type de bande médiane	x	x	x	x
Largeur de la bande médiane	x	x	x	x
Nombre de courbes				
Caract. des courbes (ex:rayon moyen)				
Nombre de pentes				
Caract. des pentes (ex: pente moyenne montante/descendante)				
Dévers				
Vitesse affichée				
Vitesse pratiquée				
Signalisation verticale				
Signalisation horizontale (marquage)				
Distance de visibilité				
Conditions lumineuses				
Type de revêtement de chaussée (asphalte ou béton)				
État de la chaussée				
Densité (v/c)				

Modélisation

Torbic & al. (2007b) présentent un modèle qui prédit le nombre d'accidents en section courante d'une autoroute, en dehors de la zone d'un échangeur. Ce modèle est présenté ci-dessous. À la suite de l'équation sont présentés les coefficients et paramètres reliés au modèle (voir Tableau 3-2).

$$N = e^{a} \times AADT^{b} \times SL$$

Tableau 3-2: Coefficients et paramètres du modèle présenté par Torbic & al. (2007b) pour la section courante d'une autoroute en dehors de la zone d'un échangeur

Milieu	NbV	Gravité	a	b	DJMA Max (véh/jour)
R	2	TOT	-6,46	0,79	60 621
R	3	TOT	-9,67	1,07	190 403
U	2	TOT	-7,85	1	151 038
U	3	TOT	-5,96	0,78	241 255
U	4	TOT	-16,24	1,67	223 088
R	2	MB	-8,86	0,9	60 621
R	3	MB	-11,67	1,17	190 403
U	2	MB	-8,82	1,02	151 038
U	3	MB	-7,6	0,85	241 255
U	4	MB	-19,16	1,85	223 088

où N = Prédiction du nombre d'accidents par mille par année;

AADT = DJMA sur l'autoroute dans les deux directions (en véh/jour);

SL = Longueur bidirectionnelle du segment (Segment Length) (en milles);

R = Rural; U = Urbain;

NbV = Nombre de voies sur l'autoroute (par direction);

TOT = Toutes gravités; MB = Accidents avec blessé(s) et/ou accidents mortels;

a = Coefficient d'interception logarithmique;

b = Coefficient associé au logarithme du DJMA;

DJMA Max = Limite maximale du DJMA pour que le modèle demeure valable.

Il est à noter que, pour ce modèle, l'auteur ne spécifie pas directement si le problème est considéré selon un ensemble d'un tronçon autoroutier et ses deux directions ou s'il est traité pour une seule direction à la fois. Ainsi, il est légitime de s'interroger au sujet des variables N, AADT et SL à savoir s'ils s'appliquent aux deux directions d'une autoroute ou non. La méthode usuelle étant d'utiliser un DJMA et une longueur bidirectionnelle, cette hypothèse a donc été retenue d'où la spécification dans la description des variables ci-haut. Cette hypothèse s'applique également pour tous les autres modèles de Torbic & al. (2007b) présentés un peu plus loin dans la revue de la littérature, sauf dans le cas de tronçons unidirectionnels comme les bretelles. À ce

sujet, il faut noter que l'utilisation d'un DJMA et des longueurs unidirectionnelles revient normalement exactement au même que l'approche précédente dans le cadre du calcul classique d'un taux d'accidents. Par contre, pour le modèle précédent, étant donné l'apparition du facteur b en exposant au DJMA, le calcul ne revient pas exactement au même selon les deux approches.

Les figures qui suivent (Figure 3.1, Figure 3.2 et Figure 3.3) présentent une analyse de la sensibilité des paramètres de l'équation.

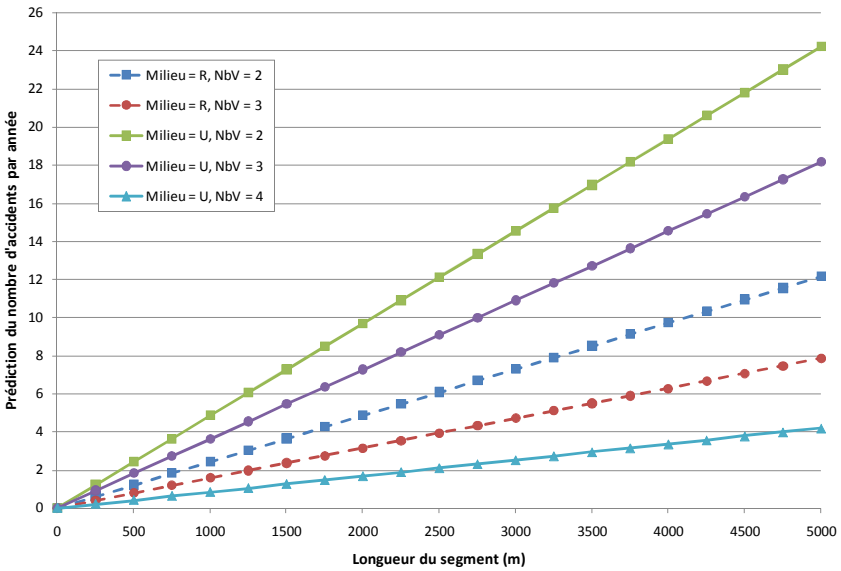


Figure 3.1: Prédiction du nombre d'accidents par année toutes gravités sur un segment d'autoroute en dehors de la zone d'un échangeur en fonction du milieu et du nombre de voies pour un DJMA fixe de 20 000 véh/jour et une longueur de segment variable

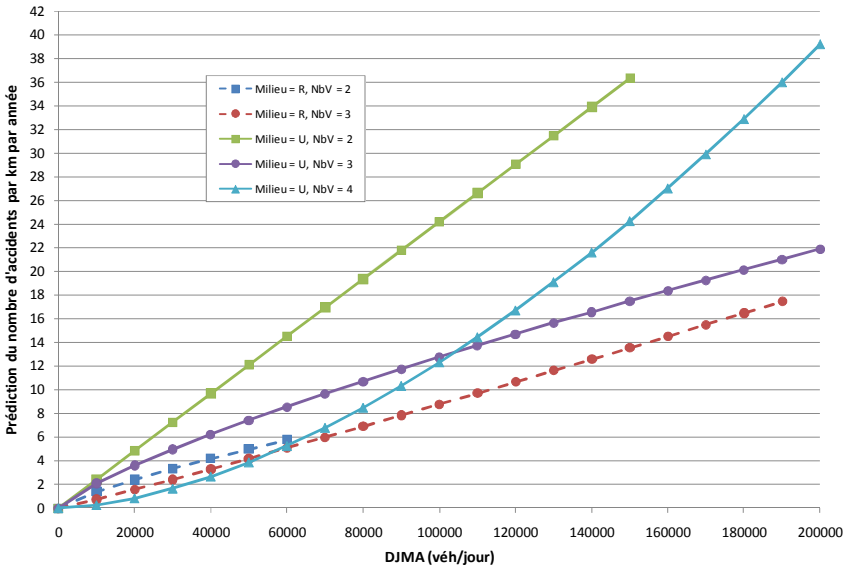


Figure 3.2: Prédiction du nombre d'accidents par année toutes gravités sur un segment d'autoroute en dehors de la zone d'un échangeur en fonction du milieu et du nombre de voies pour une longueur de segment fixe de 1 km et un DJMA variable

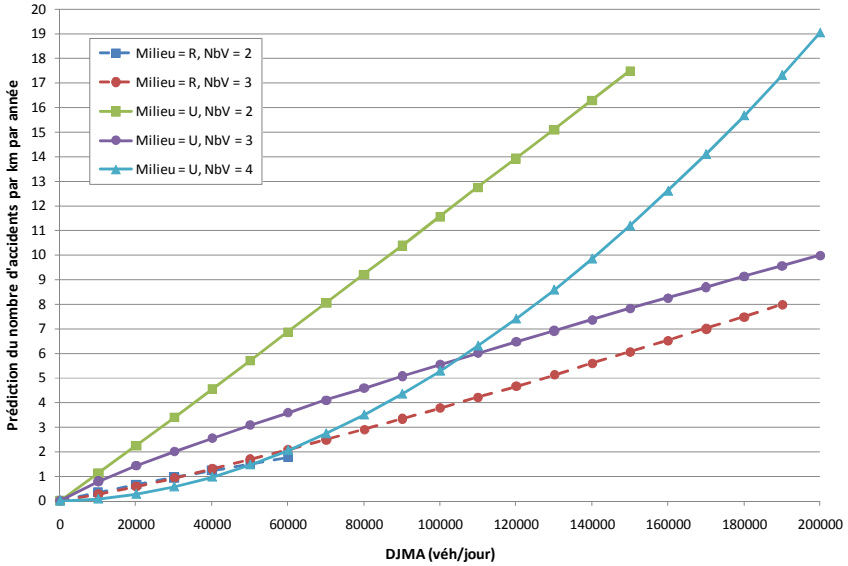


Figure 3.3: Prédiction du nombre d'accidents avec blessés et/ou mortels par année sur un segment d'autoroute en dehors de la zone d'un échangeur en fonction du milieu et du nombre de voies pour une longueur de segment fixe de 1 km et un DJMA variable

La Figure 3.1 illustre dans un premier temps que, pour DJMA donné, le nombre d'accidents (toutes gravités) prédit augmente de façon linéaire selon la longueur du segment considéré. Ce résultat est cohérent avec le principe que l'exposition au risque est proportionnelle aux accidents. Par ailleurs, le taux d'augmentation varie selon le milieu et le nombre de voies. Pour un milieu donné, plus le nombre de voies augmente, plus le taux d'augmentation d'accidents en fonction de la longueur du segment diminue. Exception faite pour une autoroute à quatre voies par direction, la modélisation prédit un nombre plus élevé d'accidents en milieu urbain qu'en milieu rural pour un même DJMA. Concrètement, le taux le plus élevé d'accidents en fonction de la longueur est associé à un segment d'autoroute à deux voies en milieu urbain et s'évalue à presque cinq accidents par kilomètre. À une longueur de segment donnée, il est également possible de voir l'impact du débit sur les accidents (voir Figure 3.2 et Figure 3.3). Cette relation illustre que le modèle à quatre voies en milieu urbain présente une progression plus rapide en fonction du DJMA et donc, à des débits très élevés, ce type de tronçon devient plus dangereux que pour les autres modèles. En comparant la Figure 3.2 avec la Figure 3.3, il est possible de remarquer que la gravité des accidents ne semble presque pas faire varier les tendances. La seule distinction à ce niveau est que le nombre d'accidents à dommage matériel seulement (différence entre le total des accidents et le nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés) prédit par le modèle semble légèrement plus élevé en milieu rural pour un segment à deux voies. Il est à noter aussi que la courbe pour un segment à deux voies en milieu urbain présente un niveau de dangerosité toujours dans les plus élevés et ce, peu importe la longueur du segment, le DJMA ou s'il s'agit du modèle pour tous les accidents ou seulement les accidents mortels et/ou avec blessés. Enfin, il faut mentionner qu'aucune limite inférieure n'est présentée par l'auteur par rapport à ces modèles. En réalité, il est peu probable de retrouver un débit en dessous de 80 000 véhicules par jour en milieu urbain sur des autoroutes à trois ou quatre voies par direction, par exemple. À l'opposé, une limite maximale de 150 000 véhicules par jour en milieu urbain sur une autoroute à deux voies est peut-être également quelque peu surestimée. Avec un tel débit, on peut prévoir que l'autoroute sera à saturation une bonne partie de la journée et que le comportement accidentogène pourrait différer considérablement des tendances. Il faut donc lire ces modèles avec précaution et discernement. Cette remarque s'applique d'ailleurs à tous les modèles présentés dans la présente revue de la littérature. Les limites d'applications doivent toujours être prises avec un « bémol ».

Bared, Edara & Kim (2007) abordent cet élément d'une façon différente. En effet, ils étudient plus spécifiquement l'effet de la distance entre deux échangeurs. En se basant sur des données californiennes, ils ont développé plusieurs modèles présentant de faibles coefficients de dispersion. C'est toutefois dans une publication en parallèle, celle de Pilko, Bared, Edara & Kim (2007), que sont présentés les modèles finaux les plus performants. Ces derniers se basent également sur des données en provenance de la Californie, mais aussi en provenance de l'état de Washington. Ces modèles sont présentés ci-dessous.

Modèle de Bared, Edara & Kim (2007) pour accidents mortels et/ou avec blessés :

$$FI_{CA,WA} = y \cdot e^{(-13{,}3269+1{,}3687LN\left(\frac{AADT}{LANE}\right)+0{,}6184LN(SPACING)+0{,}2632LN(RAMPAADT)-0{,}0032(MEDWID))}$$

K = 0,18 et R_α^2 = 0,71

Modèle de Bared, Edara & Kim (2007) pour total des accidents (toutes gravités) :

$$TC_{CA} = y \cdot e^{(-9{,}91+1{,}39LN\left(\frac{AADT}{LANE}\right)+0{,}57LN(SPACING)+1{,}50(RRATIO)+0{,}37(HOV)-0{,}01(MEDWID)+0{,}27(MEDTYP))}$$

K = 0,11 et R_α^2 = 0,68

où TC_{CA} = Nombre total d'accidents toutes gravités sur l'autoroute entre deux échangeurs (modèle selon les données de Californie);

$FI_{CA,WA}$ = Nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés sur l'autoroute entre deux échangeurs (modèle selon les données de Californie et de Washington combinées);

y = Nombre d'années à l'étude;

AADT = DJMA à mi-distance du segment d'autoroute (en véh/jour);

AADT/LANE = DJMA divisé par le nombre total de voies à mi-distance du segment d'autoroute (cela inclut les voies principales, les voies de service et les voies auxiliaires, lorsque plus grandes que 0,32 km) (en véh/jour);

SPACING = Espacement centre à centre entre les échangeurs (en mi);

HOV = Voies réservées (High Occupancy Vehicule lane) (1 lorsque présence, 0 lorsqu'absence);

RAMPAADT = Somme des DJMA sur les quatre bretelles des deux échangeurs dans une direction (deux d'entrée et deux de sortie) (en véh/jour);

RRATIO = RAMPAADT divisé par AADT;

MEDWID = Largeur de la bande médiane (en pieds);

MEDTYP = Type de bande médiane (0 lorsque pavé, 1 lorsque non pavé);

K = Paramètre de dispersion du modèle binomial négatif

R_α^2 = Coefficient de dispersion ($1 - K / K_{max}$)

Le tableau qui suit (Tableau 3-3) quantifie l'effet d'une variation de l'espacement entre deux échangeurs sur le nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés engendrés selon le modèle de Pilko & al. (2007). Ce tableau est suivi d'une figure (Figure 3.4) qui illustre cet impact.

Tableau 3-3: Impact de l'ajout d'un échangeur au centre d'un tronçon autoroutier sur le nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés par année selon le modèle de Pilko & al. (2007)

Scénario	Espacement, mi (km)		Accidents mortels et/ou avec blessés par année					
	Initial		Débits faibles		Débits moyens		Débits élevés	
	Divisé en deux		Nombre	Augmentation	Nombre	Augmentation	Nombre	Augmentation
1	3,00	(4,83)	19,93	1,7 (8,6 %)	26,62	2,3 (8,6 %)	37,61	3,2 (8,5 %)
	2 x 1,50	(2 x 2,41)	21,64		28,90		40,82	
2	2,50	(4,02)	17,81	1,5 (8,5 %)	23,78	2,0 (8,6 %)	33,60	2,9 (8,5 %)
	2 x 1,25	(2 x 2,01)	19,32		25,82		36,46	
3	2,00	(3,22)	15,51	1,3 (8,6 %)	20,72	1,8 (8,5 %)	29,27	2,5 (8,5 %)
	2 x 1,00	(2 x 1,61)	16,84		22,48		31,76	
4	1,60	(2,57)	13,51	1,2 (8,5 %)	18,05	1,6 (8,6 %)	25,49	2,2 (8,6 %)
	2 x 0,80	(2 x 1,29)	14,66		19,60		27,68	

Considérations :

- La largeur de la bande médiane est posée à 40 pi;
- Le terme « Débits faibles » est utilisé pour les conditions suivantes : DJMA sur l'autoroute = 60 000 véh/jour, nombre de voies sur l'autoroute (total deux directions) = 4, DJMA total sur les bretelles = 20 000 véh/jour pour tronçon complet et DJMA total sur les bretelles = 10 000 véh/jour lorsque le tronçon est divisé en deux;
- Le terme « Débits moyens » est utilisé pour les conditions suivantes : DJMA sur l'autoroute = 120 000 véh/jour, nombre de voies sur l'autoroute (total deux directions) = 7, DJMA total sur les bretelles = 30 000 véh/jour pour tronçon complet et DJMA total sur les bretelles = 15 000 véh/jour lorsque le tronçon est divisé en deux;

- Le terme « Débits élevés » est utilisé pour les conditions suivantes : DJMA sur l'autoroute = 200 000 véh/jour, nombre de voies sur l'autoroute (total deux directions) = 10, DJMA total sur les bretelles = 50 000 véh/jour pour tronçon complet et DJMA total sur les bretelles = 25 000 véh/jour lorsque le tronçon est divisé en deux.

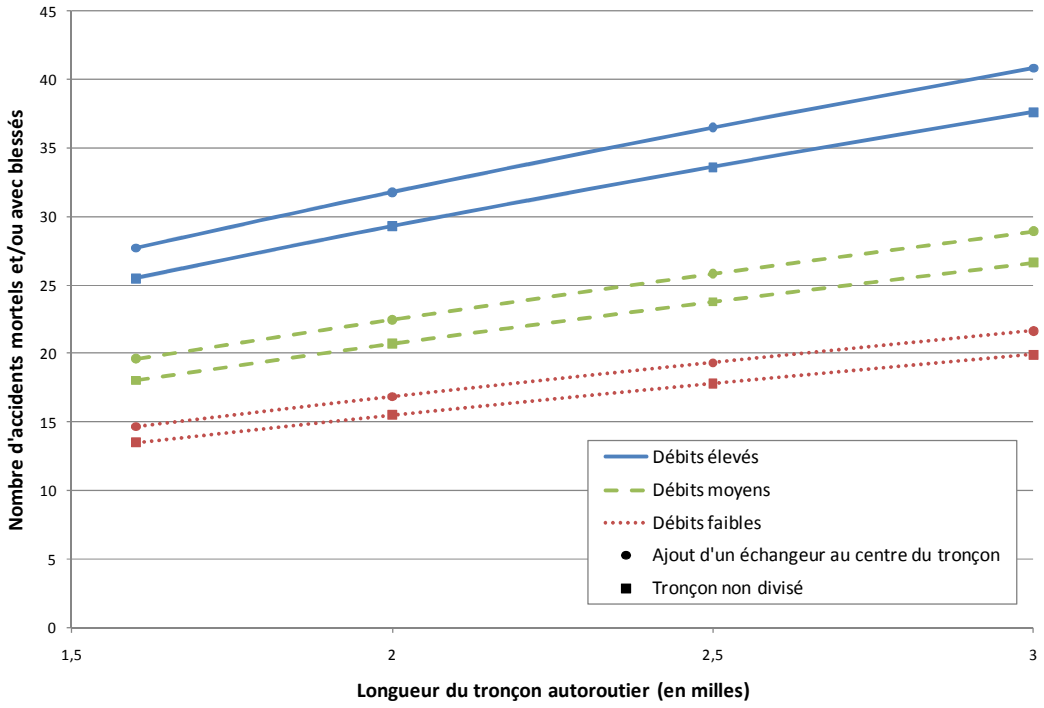


Figure 3.4: Nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés par année prédit par le modèle de Pilko & al. (2007) en fonction de l'espacement entre deux échangeurs sur un tronçon autoroutier et selon différentes conditions de circulation (impact de l'ajout d'un échangeur à mi-distance du tronçon)

Comme l'indique le Tableau 3-3, le modèle de Pilko & al. (2007) chiffre à environ 8,5 % l'augmentation du nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés en ajoutant un échangeur sur un tronçon autoroutier. La Figure 3.4 illustre cette augmentation. En effet, à chaque droite (correspondant à des conditions de circulation préétablies) est associée une autre droite au-dessus et en parallèle qui montre l'impact de l'ajout d'un échangeur sur les accidents de cette gravité. Cette figure démontre aussi qu'à des débits élevés, cette augmentation est plus marquée en

valeurs absolues. Bref, tel qu'attendu, une diminution de l'espacement entre les échangeurs provoque un accroissement du nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés. D'autre part, il est possible de constater que, comme pour le modèle précédent (Torbic & al. (2007b) pour une section en dehors de la zone d'un échangeur), la longueur du segment et le débit de circulation provoquent une augmentation proportionnelle du nombre d'accidents prédit.

Le tableau qui suit (Tableau 3-4) quantifie l'effet d'une variation de l'espacement entre deux échangeurs sur le nombre total d'accidents engendrés selon le modèle de Pilko & al. (2007). Ce tableau est suivi d'une figure (Figure 3.5) qui illustre cet impact.

Tableau 3-4: Impact de l'ajout d'un échangeur au centre d'un tronçon autoroutier sur le nombre d'accidents total (toutes gravités) par année selon le modèle de Pilko & al. (2007)

Scénario	Espacement, mi (km)		Total des accidents (toutes gravités) par année					
	Initial		Débits faibles		Débits moyens		Débits élevés	
	Divisé en deux		Nombre	Augmentation	Nombre	Augmentation	Nombre	Augmentation
1	3,00	(4,83)	85,81	4,2 (4,9 %)	91,18	10,7 (11,7 %)	112,9625901	13,2 (11,7 %)
	2 x 1,50	(2 x 2,41)	90,04		101,83		126,1674497	
2	2,50	(4,02)	77,34	3,8 (4,9 %)	82,18	9,6 (11,7 %)	101,81	11,9 (11,7 %)
	2 x 1,25	(2 x 2,01)	81,15		91,78		113,71	
3	2,00	(3,22)	68,11	3,4 (4,9 %)	72,36	8,5 (11,7 %)	89,65	10,5 (11,7 %)
	2 x 1,00	(2 x 1,61)	71,46		80,82		100,13	
4	1,60	(2,57)	59,97	3 (4,9 %)	63,72	7,4 (11,7 %)	78,94	9,2 (11,7 %)
	2 x 0,80	(2 x 1,29)	62,92		71,17		88,17	

Considérations :

- La largeur de la bande médiane est posée à 40 pi;
- Les tronçons n'ont pas de voie réservée;
- Les tronçons ont tous une bande médiane pavée;
- Le terme « Débits faibles » est utilisé pour les conditions suivantes : DJMA sur l'autoroute = 60 000 véh/jour, nombre de voies sur l'autoroute (total deux directions) = 4, DJMA total sur les bretelles = 20 000 véh/jour pour tronçon complet et DJMA total sur les bretelles = 10 000 véh/jour lorsque le tronçon est divisé en deux;
- Le terme « Débits moyens » est utilisé pour les conditions suivantes : DJMA sur l'autoroute = 120 000 véh/jour, nombre de voies sur l'autoroute (total deux directions) = 7, DJMA total sur les bretelles = 30 000 véh/jour pour tronçon complet et DJMA total sur les bretelles = 15 000

véh/jour lorsque le tronçon est divisé en deux;

- Le terme « Débits élevés » est utilisé pour les conditions suivantes : DJMA sur l'autoroute = 200 000 véh/jour, nombre de voies sur l'autoroute (total deux directions) = 10, DJMA total sur les bretelles = 50 000 véh/jour pour tronçon complet et DJMA total sur les bretelles = 25 000 véh/jour lorsque le tronçon est divisé en deux.

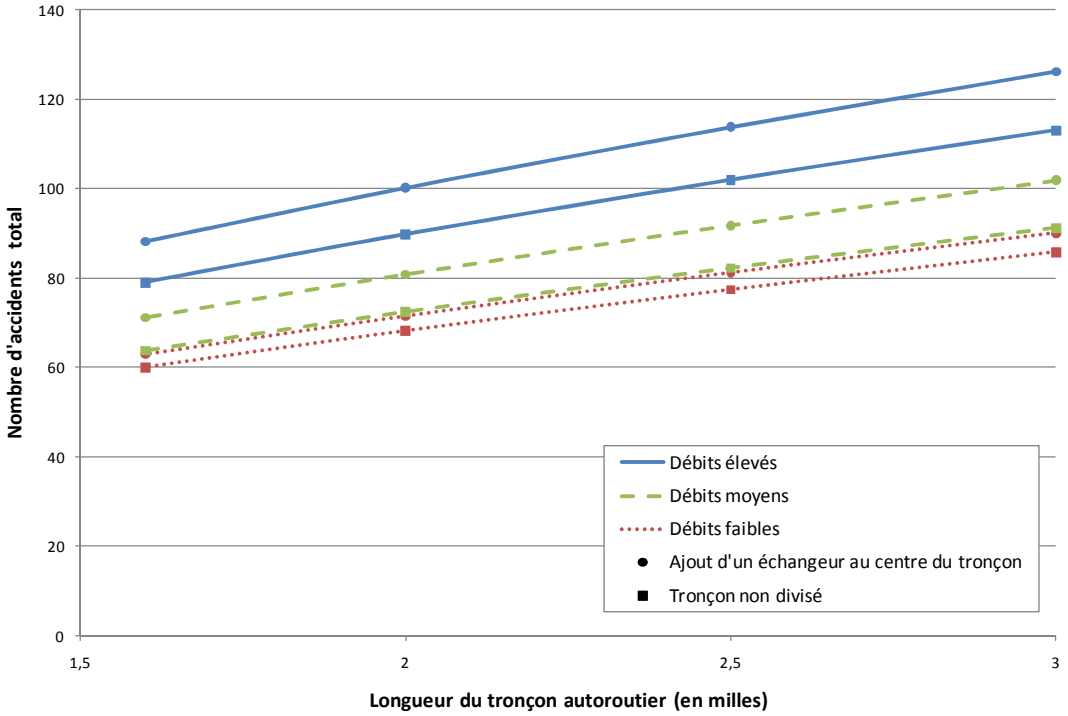


Figure 3.5: Nombre d'accidents total (toutes gravités) par année prédit par le modèle de Pilko & al. (2007) en fonction de l'espacement entre deux échangeurs sur un tronçon autoroutier et selon différentes conditions de circulation (impact de l'ajout d'un échangeur à mi-distance du tronçon)

Les conclusions de cette analyse sont les mêmes que pour le nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés à quelques distinctions près. D'une part, la proportion d'augmentation pour toutes les gravités d'accidents est plus élevée pour des débits moyens à élevés (11,7 %). Ensuite, contrairement aux conclusions précédentes, à des débits faibles, le pourcentage d'augmentation des accidents est diminué d'environ la moitié (4,9 %). Donc, le fait d'ajouter un échangeur sur un

tronçon autoroutier a moins d'impact sur le total d'accidents prédit pour toutes les gravités et à des densités faibles.

3.2.2 Tronçons droits en section courante

Aucune des sources consultées ne traite spécifiquement des tronçons droits en section courante sur une autoroute. La section courante dans sa globalité est généralement examinée plutôt que cette segmentation particulière.

En réalité, il existe malgré tout plusieurs variables pouvant influencer les accidents sur cet élément géométrique et sa performance au niveau de la sécurité est probablement bien différente d'un tronçon englobant des courbes et des tronçons droits. La liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents autoroutiers pour cet élément géométrique est présentée au Tableau 3-5. Les zones du tableau qui n'indiquent pas le symbole « x » signifient qu'aucune information n'a été trouvée dans la littérature consultée. Il serait recommandé dans des travaux de recherches ultérieurs de parachever cette section. Le tableau propose malgré tout une liste exhaustive des variables possibles même si, en pratique, peu de celles-ci ont réellement été étudiées et encore moins intégrées dans des modèles.

Tableau 3-5: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents dans un tronçon droit d'autoroute en section courante

Liste des variables indépendantes traitées dans la littérature	Discussion	Analyse	Significance	Modèle(s)
Longueur du tronçon				
DJMA				
Milieu urbain ou rural				
Proportion de véhicules lourds				
Nombre de voies				
Largeur des voies				
Largeur des accotements				
Type d'accotements (asphalté, bande rugueuse, etc.)				
Type de bande médiane				
Largeur de la bande médiane				
Nombre de pentes				
Caract. des pentes (ex: pente moyenne montante/descendante)				
Pente transversale				
Vitesse affichée				
Vitesse pratiquée				
Signalisation verticale				
Signalisation horizontale (marquage)				
Distance de visibilité				
Conditions lumineuses				
Type de revêtement de chaussée (asphalte ou béton)				
État de la chaussée				
Densité (v/c)				

3.2.3 Courbes en section courante

Plusieurs sources analysent et modélisent la dangerosité des courbes sur une route à deux voies et quelques-unes dans les bretelles, mais aucune des sources consultées ne traitent spécifiquement des courbes en section courante d'autoroute. La distinction entre route et autoroute n'est pourtant pas négligeable, notamment en ce a trait à la gravité : il est reconnu qu'une route non séparée à deux voies (une voie par direction) engendre beaucoup plus d'accidents mortels. Il est donc difficile de transposer des modèles adaptés pour les routes aux autoroutes directement et c'est pourquoi ceux-ci ne sont pas présentés dans le présent document.

Encore une fois, il existe malgré tout plusieurs variables pouvant influencer les accidents sur cet élément géométrique et sa performance au niveau de la sécurité est probablement différente d'un tronçon droit où d'un ensemble englobant des courbes et des tronçons droits. La liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents autoroutiers pour cet élément géométrique est présentée au Tableau 3-6. Les zones du tableau qui n'indiquent pas le symbole « x » signifient qu'aucune information n'a été trouvée dans la littérature consultée. Il serait recommandé dans des travaux de recherches ultérieurs de parachever cette section. Il propose malgré tout une liste exhaustive des variables possibles même si, en pratique, peu de celles-ci ont réellement été étudiées et encore moins intégrées dans des modèles.

Tableau 3-6: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents dans une courbe d'autoroute en section courante

Liste des variables indépendantes traitées dans la littérature	Discussion	Analyse	Signifiance	Modèle(s)
Longueur de la courbe				
Rayon ou degré de courbure				
Type de courbe (présence de spirale ou non)				
Sens de la courbe (droite ou gauche)				
Présence d'une autre courbe en amont ou en aval				
DJMA				
Milieu urbain ou rural				
Proportion de véhicules lourds				
Nombre de voies				
Largeur des voies				
Largeur des accotements				
Type d'accotements (asphalté, bande rugueuse, etc.)				
Type de bande médiane				
Largeur de la bande médiane				
Présence de délinéateurs				
Présence de pente(s)				
Caract. de la ou des pentes, le cas échéant				
Dévers				
Vitesse affichée				
Vitesse pratiquée				
Signalisation verticale				
Signalisation horizontale (marquage)				
Distance de visibilité				
Conditions lumineuses				
Type de revêtement de chaussée (asphalte ou béton)				
État de la chaussée				
Densité (v/c)				

3.3 Échangeur dans son ensemble

Il existe plusieurs variables pouvant influencer les accidents dans un échangeur, lorsqu'examiné dans son ensemble. La liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents autoroutiers pour cet ensemble d'éléments géométriques est présentée au Tableau 3-7. Les zones du tableau qui n'indiquent pas le symbole « x » signifient qu'aucune information n'a été trouvée dans la littérature consultée. Ce tableau pourrait être parachevé dans une étape ultérieure à la présente recherche. Il présente malgré tout la liste exhaustive des variables possibles même si, en pratique, peu de celles-ci ont réellement été étudiées et encore moins intégrées dans des modèles. Les plus importantes demeurent le type d'échangeur, le DJMA sur l'autoroute principale, le

DJMA sortant de l'autoroute principale, la proportion de véhicules lourds de jour et de nuit, la densité de commerces sur la route transversale et les conditions lumineuses de nuit. Ces six variables sont analysées et modélisées dans Cirillo, Dietz & Beatty (1969). La section suivante où sont présentés les modèles en fonction du type d'échangeur présente quelques autres variables, mais comme l'indique l'analyse de sensibilité correspondante, elles n'ont pas autant d'impact que les six mentionnées plus haut.

Tableau 3-7: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à un échangeur dans son ensemble

Liste des variables indépendantes traitées dans la littérature	Discussion	Analyse	Signifiance	Modèle(s)
Type d'échangeur	x	x	x	x
Présence de voies de service	x	x	x	x
Dimensions de l'échangeur	x	x	x	x
DJMA sur l'autoroute	x	x	x	x
DJMA sur chacune des bretelles				
DJMA sortant de l'autoroute	x	x	x	x
Milieu urbain ou rural	x	x	x	x
Proportion de véhicules lourds de jour vs de nuit	x	x	x	x
Proportion de véhicules lourds sur l'autoroute vs dans les bretelles				
Nombre de commerces sur la rue/route croisant l'autoroute, le cas échéant	x	x	x	x
Nombre de voies sur l'autoroute				
Largeur des voies sur l'autoroute				
Nombre de voies dans les bretelles				
Largeur des voies dans les bretelles				
Largeur des accotements sur l'autoroute				
Largeur des accotements dans les bretelles				
Type d'accotements (asphalté, bande rugueuse, etc.)				
Type de bandes médianes				
Largeur des bandes médianes				
Type de la route secondaire (qui croise l'autoroute principale)	x	x	x	x
Nombre de voies sur la route secondaire				
Densité (v/c) dans les bretelles				
Densité (v/c) sur l'autoroute				
Dévers sur l'autoroute				
Dévers dans les bretelles				
Type de voies d'accélération (directes ou parallèles)				
Type de voies de décélération (directes ou parallèles)				
Vitesse affichée dans les bretelles				
Vitesse pratiquée dans les bretelles				
Vitesse affichée sur l'autoroute				
Vitesse pratiquée sur l'autoroute				
Type de musoir				
Dispositifs de contrôle aux extrémités des bretelles				
Signalisation verticale				
Signalisation horizontale (marquage)				
Distance de visibilité				
Conditions lumineuses	x	x	x	x
Type de revêtement de chaussée (asphalte ou béton)				
État de la chaussée				

Puisque la littérature s'avère très limitée sur l'analyse d'un échangeur dans son ensemble, le lecteur est invité à consulter la section *Modélisation* ci-dessous et son analyse de sensibilité pour évaluer l'impact des paramètres cochés au Tableau 3-7. Pour une synthèse plus succincte de l'impact de ces paramètres, se référer au Tableau 3-8.

Modélisation

Aucun modèle récent n'a été trouvé pour calculer le nombre d'accidents sur un échangeur dans son ensemble. La littérature actuelle à ce sujet fait encore référence à Cirillo, Dietz & Beatty (1969). Ces derniers ont développé six modèles pour prédire le nombre d'accidents reliés à un échangeur dans son ensemble. Les auteurs ont séparé ces modèles selon le type d'échangeur. (Voir Figure 2.9 pour l'illustration des types d'échangeurs.)

Liste des modèles

(1) Échangeur en trèfle (sans voie de service)

$$Y = -3{,}7 + 1{,}3X - 0{,}025C$$ N = 186 R^2 = 0,80

(2) Échangeur en trèfle partiel

$$Y = -1{,}6 + 0{,}24X + 2{,}9Z - 0{,}17F$$ N = 191 R^2 = 0,69

(3) Échangeur en trompette ou directif partiel à trois branches

$$Y = 0{,}41 + 0{,}20X + 0{,}17J$$ N = 160 R^2 = 0,53

(4) Échangeur en losange[4]

$$Y = -1{,}0 + 0{,}31X + 2{,}0Z + 1{,}0A + 0{,}14B - 0{,}0045D - 0{,}11F - 0{,}51G + 0{,}61H$$

N = 681 R^2 = 0,89

(5) Échangeur en demi-losange

$$Y = -0{,}64 + 0{,}15X + 1{,}2Z + 0{,}50A + 0{,}14B - 0{,}0064D$$ N = 94 R^2 = 0,86

(6) Échangeur en losange avec voies parallèles

$$Y = 2{,}9 + 2{,}0X - 0{,}067C - 0{,}0013E$$ N = 96 R^2 = 0,76

[4] L'élément « +1,0A » dans le modèle pour l'échangeur en losange était à l'origine « -1,0A », mais a été modifié en raison de l'incohérence des résultats de l'analyse de sensibilité. En effet, en traçant le modèle pour l'échangeur en losange sur un graphique à partir de l'équation de base, on obtient une décroissance du nombre d'accidents en augmentant le débit journalier moyen sur l'autoroute principale, ce qui ne concorde pas avec la Figure 3.6 dérivée par les développeurs du modèle. Ce paramètre (A, le nombre de commerces sur la route transversale par cent pieds) tend d'autant plus à accroître le nombre d'accidents dans le modèle de demi-losange avec un facteur multiplicatif de +0,5 (la moitié du facteur pour le losange). Tout porte donc à croire que le signe du facteur multiplicatif aurait été inversé dans la publication de Cirillo, Dietz & Beatty (1969).

Signification des variables

Y = Nombre d'accidents toutes gravités prédit par année;

N = Nombre d'observations;

R^2 = Le carré du coefficient de corrélation multiple;

X = DJM sur l'autoroute principale (milliers de véh/jour, total deux directions) [5];

Z = DJM sortant de l'autoroute principale (milliers de véh/jour, total deux directions);

A = X · Nombre de commerces par cent pieds sur la route transversale;

B = X · Milieu (urbain = 0, rural = 1);

C = X · Pourcentage de véhicules commerciaux le jour;

D = X · Pourcentage de véhicules commerciaux la nuit;

E = X · Dimensions de l'échangeur (pieds) (longueur couverte par l'échangeur sur l'autoroute principale);

F = X · Intensité lumineuse (pieds-chandelles);

G = X · Type de route transversale (non divisée = 0, divisée = 1);

H = X · Nombre de voies sur la route transversale (deux = 0, quatre ou plus = 1);

J = X · Type d'échangeur (trois branches = 0, trompette = 1).

La Figure 3.6, tirée de Leisch & al. (1982), mais construite à l'origine par Cirillo, Dietz & Beatty (1969), illustre la différence entre les principaux types d'échangeurs modélisés quant aux accidents qu'ils engendrent, en fonction du débit journalier moyen sur l'autoroute principale dans les deux directions.

[5] L'utilisation du terme DJM dans la littérature plus ancienne ne spécifie pas sur quelle période le débit moyen journalier est calculé. L'hypothèse la plus probable est qu'il s'agirait en fait de l'ancienne appellation du DJMA, terme qui ne semblait pas être utilisé à cette époque dans la littérature consultée. Cette hypothèse est valable pour tous les autres modèles ou analyses indiquant seulement le terme ADT ou DJM sans spécifier de période particulière.

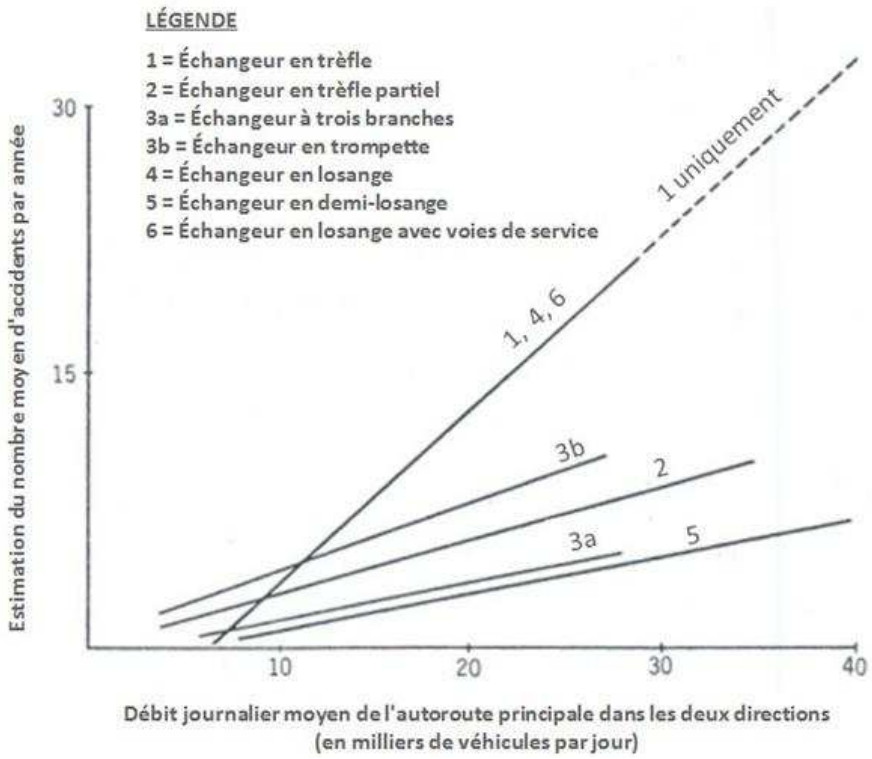
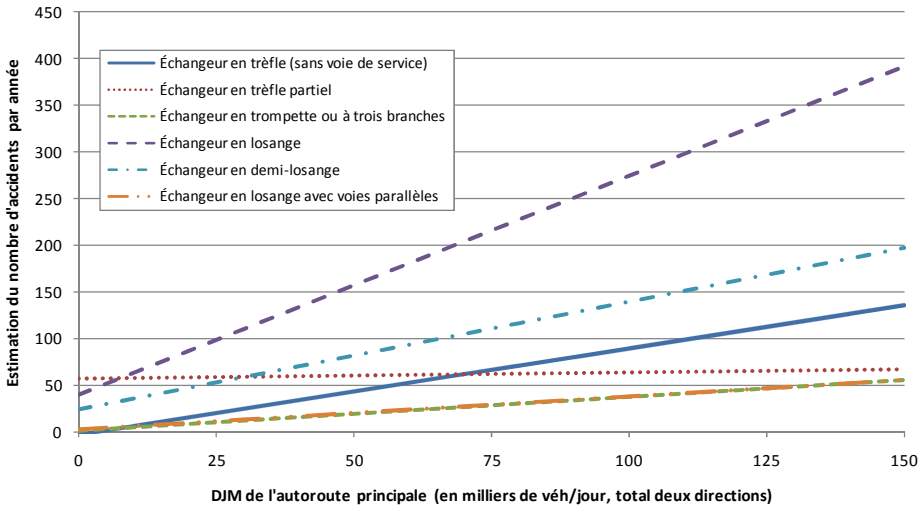


Figure 3.6: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du débit sur l'autoroute principale et du type d'échangeur, adapté de Leisch & al. (1982)

De cette figure, il est possible de déduire qu'à faible débit (environ < 8 000 véh/jour), les échangeurs en trèfle et en losange (avec ou sans voie de service) sont les types les plus sécuritaires. Toutefois, à partir d'environ 8 000 jusqu'à 12 000 véh/jour, ce sont les échangeurs en demi-losange, à trois branches, en trèfle partiel et en trompette, respectivement, qui le deviennent (graduellement). Il est à noter que ni les considérations et constantes posées pour arriver à cette figure, ni les limites des modèles sont spécifiées dans Cirillo, Dietz & Beatty (1969). Une hypothèse à ce niveau est que la fin et le début des droites sur la figure représenteraient ces limites, mais aucune spécification n'a été trouvée dans le texte la confirmant. Il demeure donc difficile d'identifier les conditions requises pour obtenir de telles relations.

Pour pallier dans une certaine mesure cette absence, les lignes qui suivent reprennent cette analyse en se basant uniquement sur les équations de base. En supplément, l'effet de chacune des variables (X, Z, A, B jusqu'à J et non pas seulement la variable X) sur les accidents est étudié en posant des constantes connues pour les autres paramètres. Les figures subséquentes (Figure 3.7à

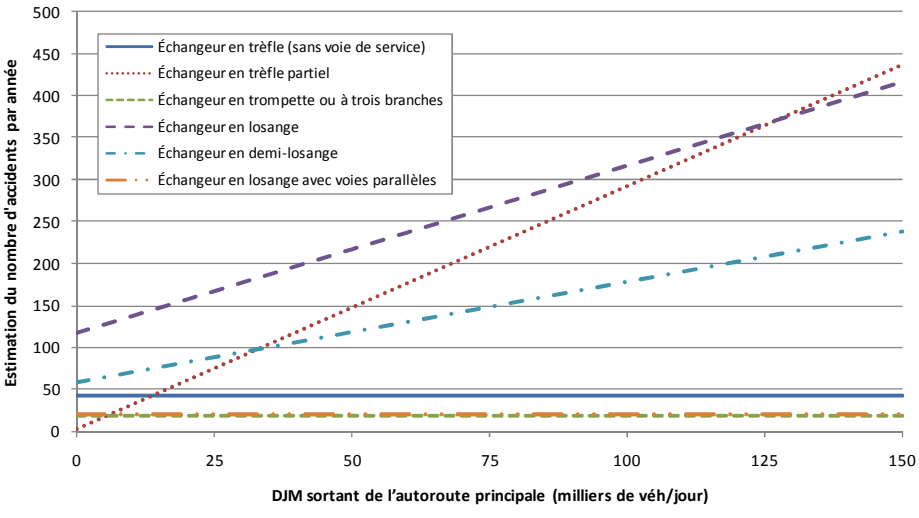
Figure 3.17) illustrent cette analyse de sensibilité. Pour faciliter la compréhension des constantes posées, les valeurs de A à J, qui sont en réalité une multiplication des paramètres par X (le débit), sont présentées sans cette multiplication. De cette façon, il est possible d'interpréter plus directement l'ordre de grandeur des valeurs posées. Par exemple, une valeur de 2 sous la variable A dans le tableau sous la Figure 3.7 indique qu'on pose qu'il y aurait deux commerces par cent pieds sur la route transversale. Dans ce cas, il faut donc noter que la valeur réelle de A serait de 2*X tel qu'indiqué précédemment dans la section signification des variables.



Constantes posées (A à J sont divisées par X)

Z	A	B	C	D	E	F	G	H	J
20	2	1	15	20	500	1	1	1	1

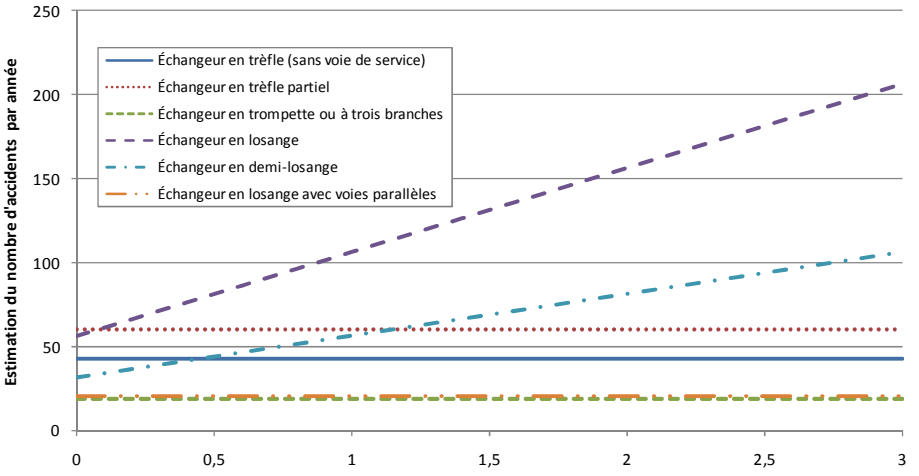
Figure 3.7: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du débit sur l'autoroute principale (paramètre X) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969)



Constantes posées (A à J sont divisées par X)

X	A	B	C	D	E	F	G	H	J
50	2	1	15	20	500	1	1	1	1

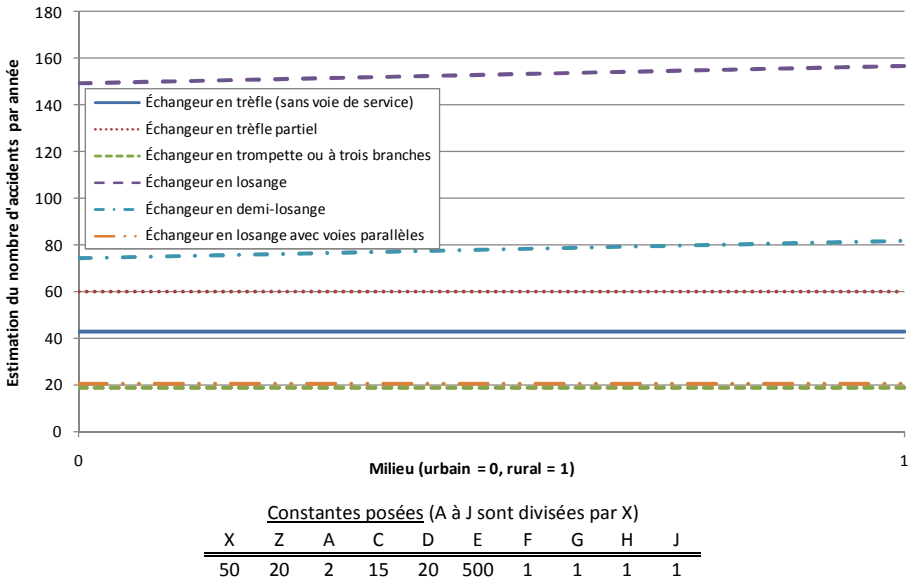
Figure 3.8: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du débit sortant de l'autoroute principale (paramètre Z) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969)



Constantes posées (B à J sont divisées par X)

X	Z	B	C	D	E	F	G	H	J
50	20	1	15	20	500	1	1	1	1

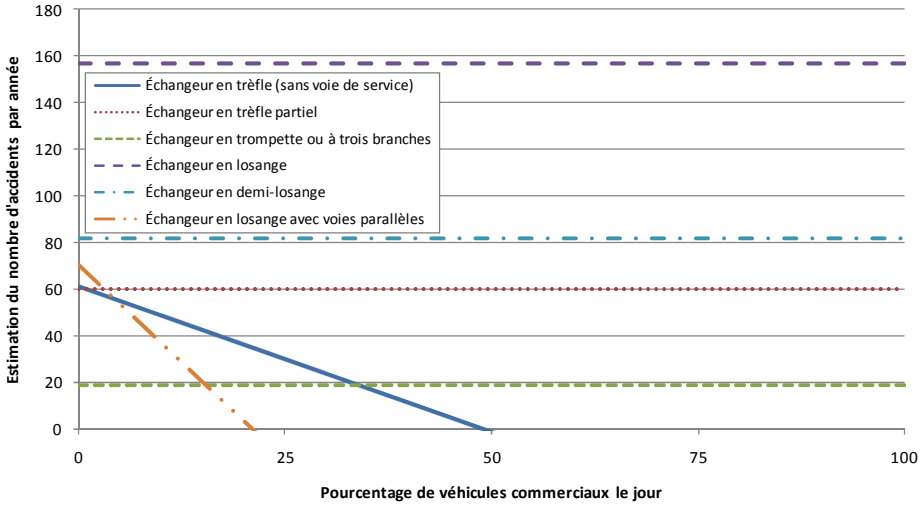
Figure 3.9: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du nombre de commerces par cent pieds sur la route transversale (paramètre A) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969)



Constantes posées (A à J sont divisées par X)

X	Z	A	C	D	E	F	G	H	J
50	20	2	15	20	500	1	1	1	1

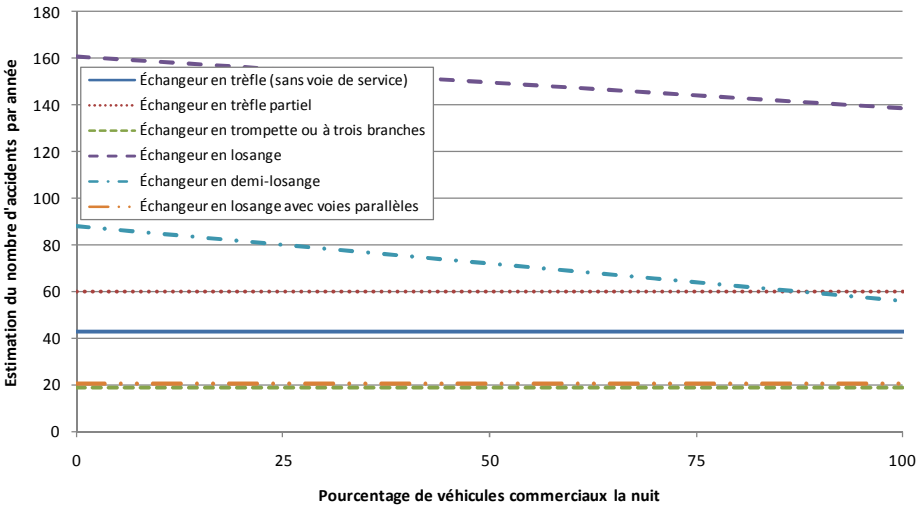
Figure 3.10: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du milieu (paramètre B) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969)



Constantes posées (A à J sont divisées par X)

X	Z	A	B	D	E	F	G	H	J
50	20	2	1	20	500	1	1	1	1

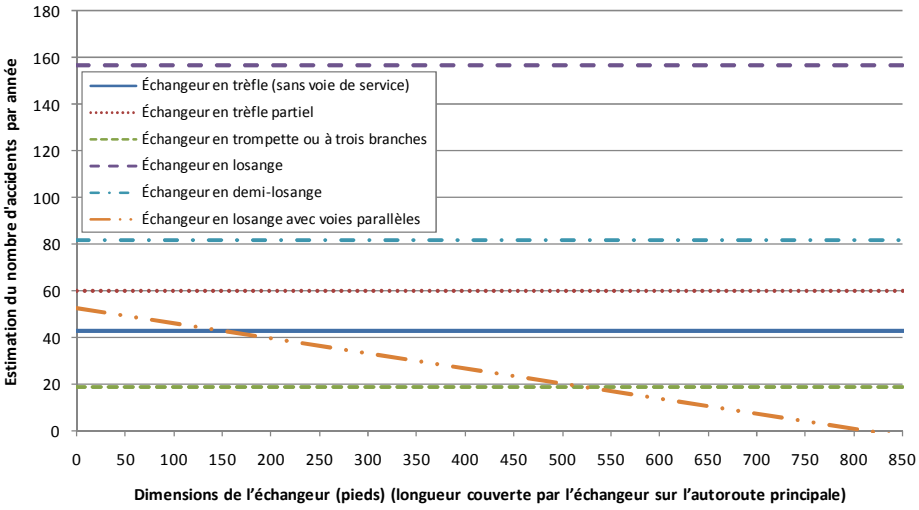
Figure 3.11: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du pourcentage de véhicules commerciaux de jour (paramètre C) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969)



Constantes posées (A à J sont divisées par X)

X	Z	A	B	C	E	F	G	H	J
50	20	2	1	15	500	1	1	1	1

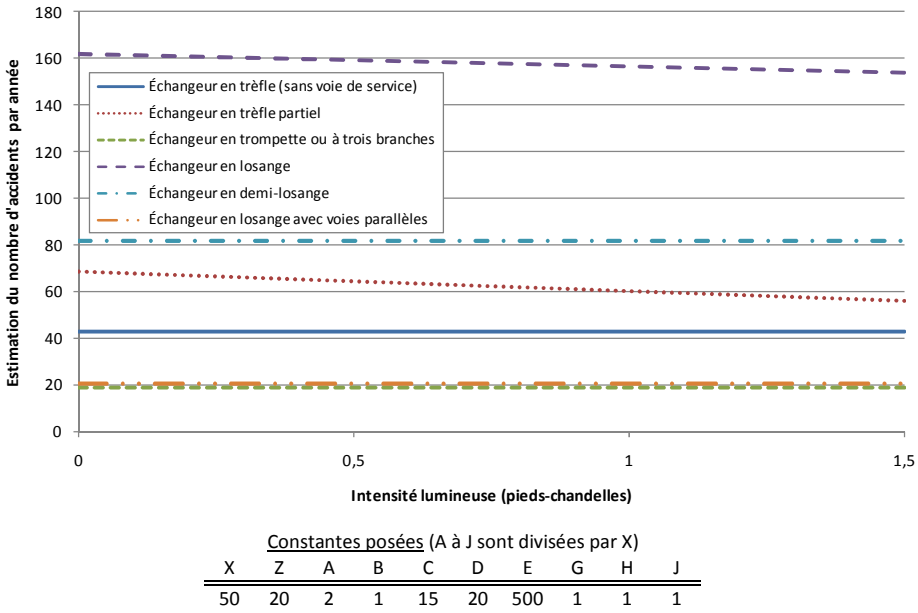
Figure 3.12: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du pourcentage de véhicules commerciaux la nuit (paramètre D) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969)



Constantes posées (A à J sont divisées par X)

X	Z	A	B	C	D	F	G	H	J
50	20	2	1	15	20	1	1	1	1

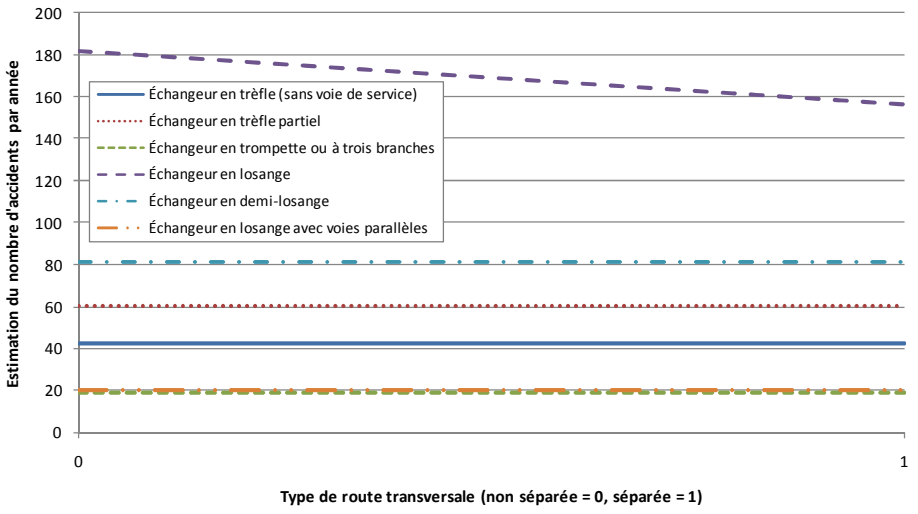
Figure 3.13: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction de la dimension (paramètre E) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969)



Constantes posées (A à J sont divisées par X)

X	Z	A	B	C	D	E	G	H	J
50	20	2	1	15	20	500	1	1	1

Figure 3.14: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction de l'intensité lumineuse (paramètre F) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969)



Constantes posées (A à J sont divisées par X)

X	Z	A	B	C	D	E	F	H	J
50	20	2	1	15	20	500	1	1	1

Figure 3.15: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du type de route transversale (paramètre G) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz etBeatty (1969)

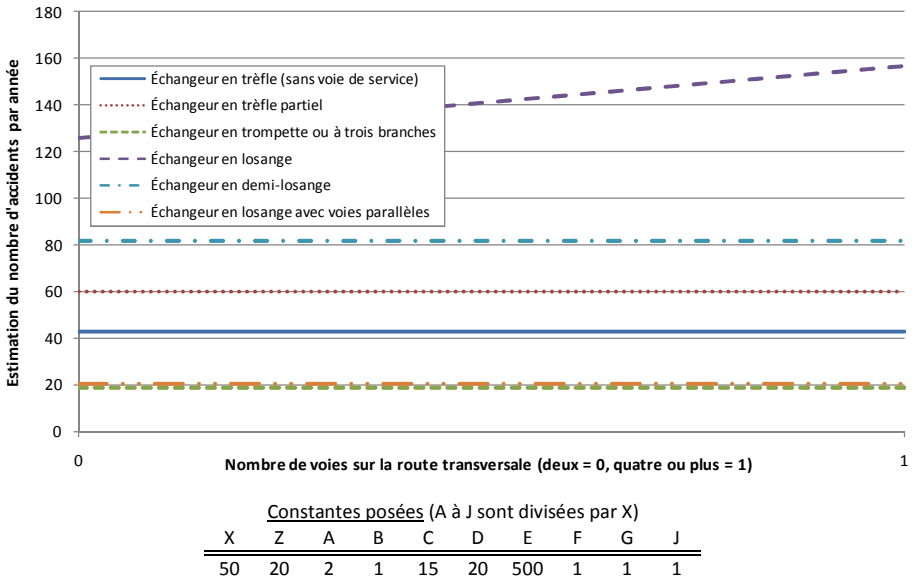


Figure 3.16: Estimation du nombre d'accidents par année en fonction du nombre de voies sur la route transversale (paramètre H) et du type d'échangeur selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969)

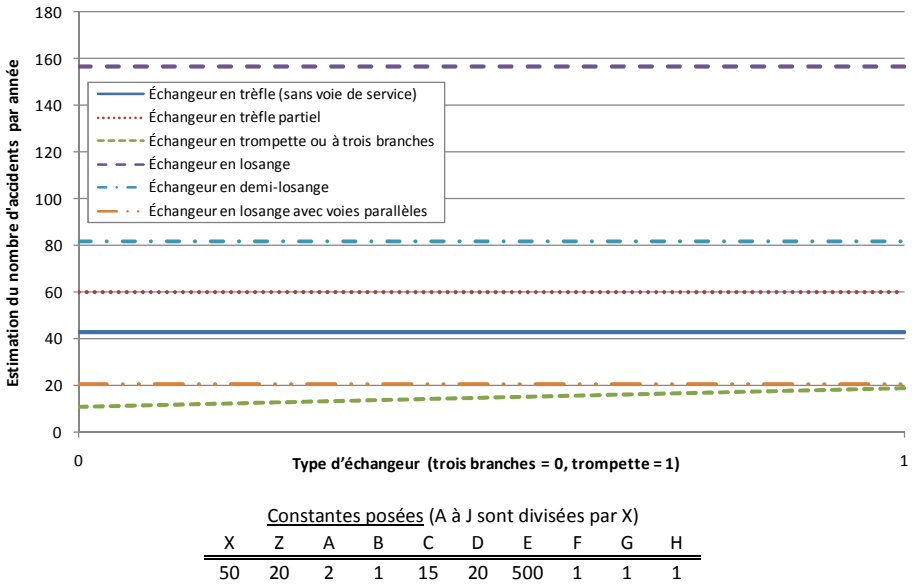


Figure 3.17: Estimation du nombre d'accidents par année pour le paramètre J (distinction entre trois branches et trompette) selon les modèles de Cirillo, Dietz et Beatty (1969)

Le DJM sur l'autoroute principale, comme dans tous les modèles de prédiction d'accidents, est la variable ayant le plus d'impact. Sur la Figure 3.7, il est possible de constater, par exemple, que d'augmenter le débit de 25 000 à 50 000 véh/jour engendre une hausse de quelques 59 et 23 accidents, respectivement, sur un échangeur en losange et en trèfle. Cette constatation rappelle que la solution la plus efficace à considérer pour réduire le nombre d'accidents demeure la réduction du débit de circulation sur les autoroutes. D'autre part, il faut rappeler que les limites des modèles ne sont pas spécifiées par les développeurs et qu'il est possible qu'une droite sur la figure ne soit pas valable à certaines plages de débit. Également, comme discuté précédemment dans la section 2.3, le fait que ces modèles datent de presque 40 ans implique un nombre d'accidents relativement plus élevé que ce qui pourrait être prédit aujourd'hui. Comparativement à ce qui est représenté sur la Figure 3.6, l'échangeur en losange et en demi-losange sont ici plus dangereux que l'échangeur en trèfle.

Le DJM sortant de l'autoroute principale est également un paramètre d'importance puisqu'il est lié aux conflits directionnels des véhicules. Comme le montre la Figure 3.8, cette variable suit sensiblement la même tendance que le DJM sur l'autoroute principale à une différence près. En effet, l'échangeur en trèfle partiel semble beaucoup plus touché par cette variable. Par ailleurs, il est à noter qu'une droite horizontale (comme pour l'échangeur en trèfle, par exemple, à la Figure 3.8) signifie que le modèle ne tient pas compte de la variable. Les auteurs ont, en fait, négligé l'impact de la variable ou considéré celle-ci comme non significative dans leurs modèles. Il faut donc considérer ces droites avec un certain discernement. Cette remarque s'applique à toutes les figures de l'analyse de sensibilité.

Le nombre de commerces sur la route transversale, tel qu'illustré à la Figure 3.9, engendre une augmentation du nombre d'accidents sur les échangeurs en losange et demi-losange. Quantitativement, en faisant varier de 0 à 3 le nombre de commerces par 100 pi (30,48 m) sur la route transversale pour le modèle de l'échangeur en losange, par exemple, le nombre d'accidents quadruple. Il est à noter que cette variable intervient seulement lorsque la route transversale de l'échangeur n'est pas une autoroute et où il peut y avoir des commerces, ce qui est le cas pour les échangeurs en losange et demi-losange.

Le milieu ne démontre pas un impact aussi significatif que les variables explicitées précédemment. La Figure 3.10 démontre malgré tout une légère augmentation du nombre

d'accidents sur les échangeurs en losange et demi-losange en passant d'un milieu urbain à rural, ce qui va dans le sens inverse des modèles récents présentés par Torbic & al. (2007b) où le milieu urbain tend généralement à accroître le nombre d'accidents prédit (voir Figure 3.18).

Les pourcentages de véhicules commerciaux durant le jour (voir Figure 3.11) et durant la nuit (voir Figure 3.12) sont des variables qui, en les faisant varier à la hausse, font diminuer le nombre d'accidents prédit par les modèles. La diminution est plus marquée le jour pour un échangeur en losange avec voies parallèles et pour un échangeur en trèfle. Par exemple, pour un échangeur en losange avec voies parallèles, le nombre d'accidents par année passe de 70 à 0 pour une augmentation du pourcentage de véhicules commerciaux de 0 à 20%. Ces conclusions semblent à première vue contre-intuitives, mais une hypothèse pour expliquer cette tendance est que les conducteurs pourraient être plus prudents en présence de véhicules lourds.

La croissance des dimensions d'un échangeur, comme le démontre la Figure 3.13, engendre une diminution du nombre d'accidents. Il est à noter que cette variable est appliquée seulement au modèle de l'échangeur en losange avec voies parallèles. Ce résultat entre en contradiction avec l'hypothèse de l'augmentation de l'exposition au risque énoncé par Bauer & Harwood (1998) pour les voies d'accélération (voir section 3.4.2 – Longueur de la voie d'accélération).

Bien qu'applicables seulement pour les échangeurs en trèfle partiel et en losange, les modèles indiquent que l'intensité lumineuse engendre une diminution des accidents (voir Figure 3.14). Le taux de décroissance relié à ce paramètre est d'environ 10 accidents / pied-chandelle. Même si Cirillo, Dietz & Beatty (1969) n'en font pas mention dans la référence étudiée, il est possible de supposer que cette relation n'est valable que pour l'intensité lumineuse de nuit, car en plein jour, la luminosité est telle que le modèle ferait réduire de façon irréaliste le nombre d'accidents.

Le fait que la route transversale d'un échangeur en losange présente une séparation de ses voies en sens contraire fait également diminuer le nombre d'accidents prédit (voir Figure 3.15). Quantitativement, un peu plus de vingt accidents par année sont prédits de moins dans un échangeur en losange lorsque la route transversale est séparée. Encore une fois ici, peu de détails sont indiqués dans Cirillo, Dietz & Beatty (1969) sur les considérations du modèle. Le type de séparation pris en compte demeure notamment indéfini (marquage ou élément physique comme un terre-plein).

Les caractéristiques de la route transversale, comme indiqué au paragraphe précédent, ont une influence sur la dangerosité d'un échangeur en losange. En plus du type de séparation, le nombre de voies semble également peser dans la balance. En effet, comme le montre la Figure 3.16, il est possible de constater une augmentation de la dangerosité avec l'ajout de voies sur la route transversale. Une trentaine d'accidents de plus sont prévus lorsque cette route possède quatre voies ou plus comparativement à une route à deux voies.

Finalement, la modélisation de Cirillo, Dietz & Beatty (1969) illustre que le type d'échangeur en trompette est légèrement plus à risque que celui à trois branches (voir Figure 3.17).

Le tableau suivant (Tableau 3-8) fait la synthèse de l'impact des paramètres des modèles.

Tableau 3-8: Résumé de l'impact des variables sur le nombre d'accidents reliés à un échangeur dans son ensemble selon les modèles de Cirillo, Dietz & Beatty (1969)

Variables	Impact
X : DJM sur l'autoroute principale (milliers de véh/jour, total deux directions)	+
Z : DJM sortant de l'autoroute principale (milliers de véh/jour, total deux directions)	+
A : Nombre de commerces par cent pieds sur la route transversale	+
B : Milieu (urbain = 0, rural = 1)	+
C : Pourcentage de véhicules commerciaux le jour	-
D : Pourcentage de véhicules commerciaux la nuit	-
E : Dimensions de l'échangeur (pieds) (longueur couverte par l'échangeur sur l'autoroute principale)	-
F : Intensité lumineuse (pieds-chandelles)	-
G : Type de route transversale (non divisée = 0, divisée = 1)	-
H : Nombre de voies sur la route transversale (deux = 0, quatre ou plus = 1)	+
J : Type d'échangeur (trois branches = 0, trompette = 1)	+

Dans ce tableau, le symbole positif (+) signifie qu'augmenter la valeur de la variable fait augmenter le nombre d'accidents prédit tandis que le symbole négatif (-) signifie qu'augmenter la valeur de la variable fait diminuer le nombre d'accidents prédit. Il est à noter que lorsque la variable est binaire, le symbole de l'impact (+ ou -) est relié à la variable de valeur égale à 1. Une valeur égale à 0 signifie que la variable n'a aucun impact sur le nombre d'accidents prédit. Par exemple, le fait qu'un échangeur se situe en milieu rural (1) implique une augmentation du nombre d'accidents prédit tandis qu'en milieu urbain (0), il ne devrait pas y avoir ni d'augmentation, ni de diminution du nombre d'accidents prédit dans l'échangeur, selon ces modèles.

Dans la littérature plus récente, aucun modèle n'a été trouvé pour prédire le nombre d'accidents pour un échangeur dans son ensemble. Il semble que cette agrégation d'éléments ne soit pas une préoccupation dans les travaux de recherche qui se font aux États-Unis actuellement.

3.4 Zone d'échangeur et extrémité de bretelle (sortie ou accès à l'autoroute)

3.4.1 Section courante à l'intérieur d'une zone d'échangeur

Il existe plusieurs variables pouvant influencer les accidents sur la section courante d'une autoroute dans la zone d'échangeur. La liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents autoroutiers pour cet élément géométrique est présentée au Tableau 3-9. Les zones du tableau qui n'indiquent pas le symbole « x » signifient qu'aucune information n'a été trouvée dans la littérature consultée. Ce tableau pourrait être parachevé dans une étape ultérieure à la présente recherche. Il présente malgré tout la liste exhaustive des variables possibles même si, en pratique, peu de celles-ci ont réellement été étudiées et encore moins intégrées dans des modèles. Les plus importantes demeurent la longueur de la section, le DJMA sur l'autoroute et sur les bretelles à proximité, le milieu (urbain ou rural) et le nombre de voies.

Le détail de l'impact et une analyse de sensibilité des variables du Tableau 3-9 sont présentés dans la section *Modélisation* qui suit.

Tableau 3-9: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents dans un tronçon d'autoroute en section courante dans la zone d'échangeur

Liste des variables indépendantes traitées dans la littérature	Discussion	Analyse	Signifiance	Modèle(s)
Longueur du tronçon	x	x	x	x
Présence de voie de service				
DJMA sur l'autoroute	x	x	x	x
DJMA dans les bretelles en amont et en aval	x	x	x	x
Milieu urbain ou rural	x	x	x	x
Proportion de véhicules lourds				
Nombre de voies	x	x	x	x
Largeur des voies				
Largeur des accotements				
Type d'accotements (asphalté, bande rugueuse, etc.)				
Type de bande médiane				
Largeur de la bande médiane				
Nombre de pentes				
Caract. des pentes (ex: pente moyenne montante/descendante)				
Dévers				
Vitesse affichée				
Vitesse pratiquée				
Signalisation verticale				
Signalisation horizontale (marquage)				
Distance de visibilité				
Conditions lumineuses				
Type de revêtement de chaussée (asphalte ou béton)				
État de la chaussée				
Densité (v/c) par zone (en amont, en aval et entre les entrées/sorties)				

Modélisation

Foody & Wray (1975) ont développé un modèle pour prédire le nombre d'accidents sur l'ensemble des voies d'une autoroute principale dans la zone d'un échangeur (délimitée par la fin des voies de changement de vitesse de part et d'autre de l'échangeur. Ce modèle inclut également les voies de changement de vitesse. Ce dernier est présenté ci-dessous.

$$Y = 0{,}917214 + 0{,}0000016X_1X_1 + 0{,}009235X_3 \qquad (R^2 = 0{,}697)$$

où Y = Nombre d'accidents toutes gravités prédit par année;

X_1 = Débit entrant (de pointe, sens unique, DJM) (en véh/jour);

X_3 = DJM de pointe sur la bretelle directe extérieure de sortie (en véh/jour);

R^2 = Coefficient de corrélation multiple.

Les variables de ce modèle ne sont pas expliquées clairement dans la référence. Une certaine confusion persiste notamment quant à l'utilisation du terme « de pointe » (ou *peak ADT* en anglais) et au niveau du débit entrant de pointe en sens unique. Considérant cet imbroglio, il a été choisi de ne pas examiner plus amplement ce modèle. Par contre, une remarque persiste au regard de cette équation et n'est pas négligeable considérant le coefficient de corrélation : le débit est encore une fois une variable principalement impliquée dans la prédiction des accidents sur les autoroutes.

Torbic & al. (2007b) présentent un modèle plus récent qui prédit le nombre d'accidents sur les voies principales d'une autoroute et ses voies de changement de vitesse, c'est-à-dire la voie d'accélération, la voie de décélération et la zone d'entrecroisement (le cas échéant). Ce modèle est présenté ci-dessous. À la suite de l'équation sont présentés les coefficients et paramètres reliés au modèle (voir Tableau 3-10).

$$N = e^{a} \times AADT^{b} \times SL$$

Tableau 3-10: Coefficients et paramètres du modèle présenté par Torbic & al. (2007b) pour la section courante d'une autoroute dans la zone d'un échangeur

Milieu	NbV	Gravité	a	b	DJMA Max (véh/jour)
R	2	TOT	-7,28	0,92	60 621
R	3	TOT	-10,05	1,14	197 798
U	2	TOT	-11,23	1,3	241 255
U	3	TOT	-11,25	1,28	255 154
U	4	TOT	-26,76	2,58	233 323
R	2	MB	-8,68	0,94	60 621
R	3	MB	-12,07	1,22	197 798
U	2	MB	-12,89	1,38	241 255
U	3	MB	-13,62	1,42	255 154
U	4	MB	-25,63	2,42	233 323

où N = Prédiction du nombre d'accidents par mille par année sur un segment directionnel d'autoroute;

AADT = DJMA sur l'autoroute (en véh/jour);

SL = Longueur du segment (Segment Length) (en milles);

R = Rural; U = Urbain;

NbV = Nombre de voies sur l'autoroute (par direction);

TOT = Toutes gravités; MB = Accidents mortels et/ou avec blessé(s);

a = Coefficient d'interception logarithmique;

b = Coefficient associé au logarithme du DJMA;

DJMA Max = Limite maximale du DJMA pour que le modèle demeure valable.

Les figures qui suivent (Figure 3.18, Figure 3.19 et Figure 3.20) présentent une analyse de la sensibilité des paramètres de l'équation.

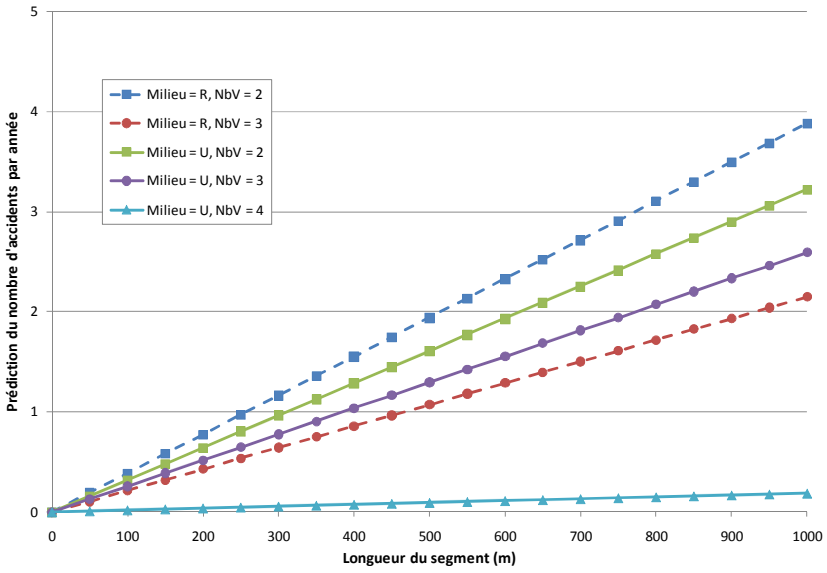


Figure 3.18: Prédiction du nombre d'accidents par année toutes gravités sur un segment directionnel d'autoroute dans la zone d'un échangeur en fonction du milieu et du nombre de voies pour un DJMA fixe de 20 000 véh/jour et une longueur de segment variable

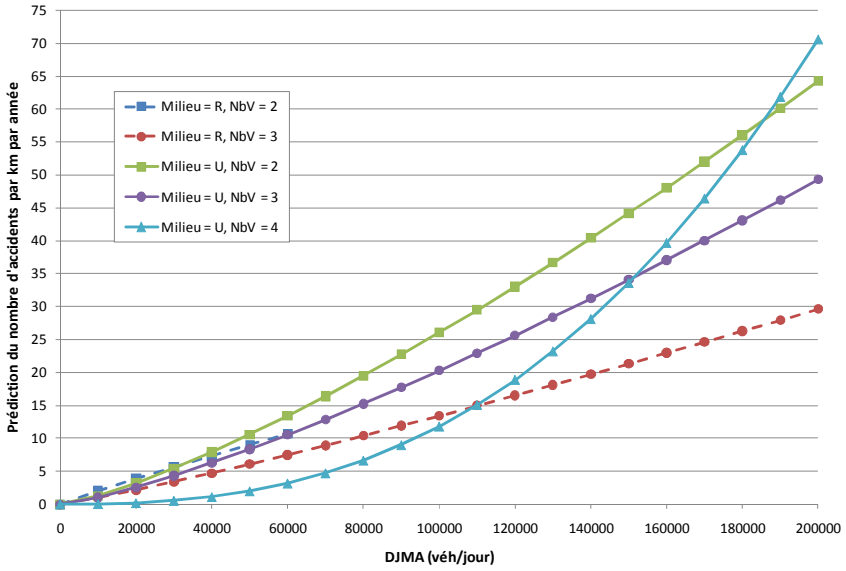


Figure 3.19: Prédiction du nombre d'accidents par année toutes gravités sur un segment directionnel d'autoroute dans la zone d'un échangeur en fonction du milieu et du nombre de voies pour une longueur de segment fixe de 1 km et un DJMA variable

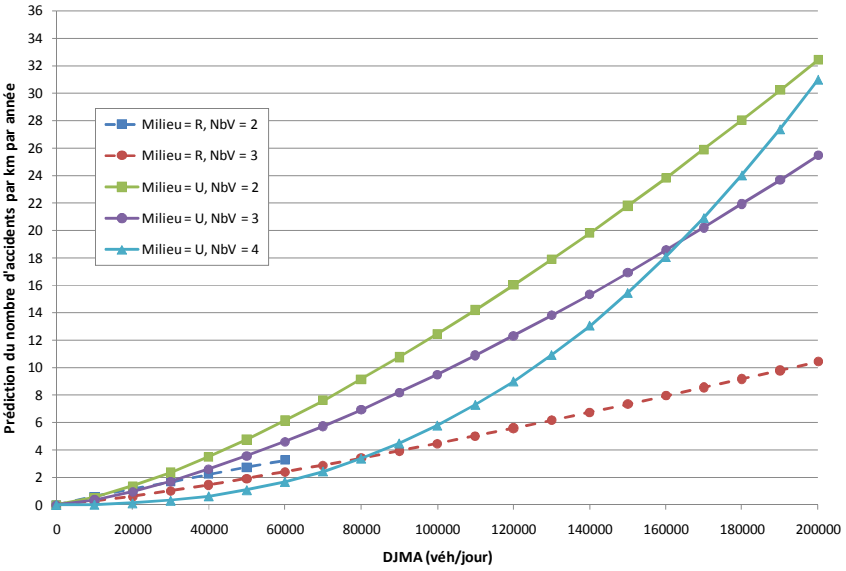


Figure 3.20: Prédiction du nombre d'accidents avec blessés et/ou mortels par année sur un segment directionnel d'autoroute dans la zone d'un échangeur en fonction du milieu et du nombre de voies pour une longueur de segment fixe de 1 km et un DJMA variable

La Figure 3.18 démontre, tout d'abord, que le nombre d'accidents prédit sur une autoroute dans la zone d'un échangeur est proportionnel à la longueur du tronçon. Il est également possible de remarquer un écart considérable entre la droite pour le milieu urbain à quatre voies et les autres types de tronçon. Cette situation s'explique par le relativement faible débit fixé pour l'analyse. En fait, comme le montrent les deux autres graphiques (Figure 3.19 et Figure 3.20), le modèle à quatre voies en milieu urbain présente une progression plus rapide en fonction du DJMA et donc, à des débits très élevés, ce type de tronçon s'avère plus dangereux qu'en milieu urbain à trois ou deux voies. D'autre part, toujours selon le modèle, le milieu rural engendre moins d'accidents que le milieu urbain, sauf pour des débits relativement faibles et lorsque le tronçon possède deux voies. Pour ce qui est du nombre de voies, plus le nombre est élevé, plus le tronçon est sécuritaire, sauf pour l'exception du milieu urbain à quatre voies discuté précédemment. En comparant la Figure 3.19 avec la Figure 3.20, il est possible de remarquer que la gravité des accidents ne semble presque pas faire varier les tendances. La seule distinction à ce niveau est que le nombre d'accidents à dommage matériel seulement (différence entre le total des accidents et le nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés) prédit par le modèle semble plus élevé en milieu rural. Il est à noter enfin que la courbe pour un segment à deux voies en milieu urbain présente un niveau de dangerosité toujours dans les plus élevés et ce, peu importe la longueur du segment, le DJMA ou s'il s'agit du modèle pour tous les accidents ou seulement les accidents mortels et/ou avec blessés.

3.4.2 Voie d'accélération

Il est important de noter dans un premier temps que la dangerosité d'une voie d'accélération est directement reliée à la bretelle qui la précède. Pour cette raison, certains chercheurs ont choisi d'étudier une combinaison des éléments « voie de changement de vitesse » et « bretelle proprement dite ». Il s'agit d'une agrégation d'éléments qui a l'avantage de simplifier la modélisation, mais qui cerne de façon un peu moins précise le problème. Ce regroupement est présenté à la section 3.6.1. La présente section traite des relations entre les accidents et l'élément « voie d'accélération » uniquement. Il existe au moins deux modèles dans la littérature qui tentent de prédire le nombre d'accidents sur les voies d'accélération. Ces derniers sont présentés à la fin de la présente section.

La conception usuelle d'une voie d'accélération se base sur des considérations théoriques de sécurité. Sa longueur est calculée de façon à considérer une accélération confortable entre la vitesse en amont dans la bretelle et la vitesse à atteindre sur l'autoroute. En pratique, même si l'usager possède la distance suffisante pour effectuer sa manœuvre, sa réaction face à la situation peut varier. Le conducteur doit notamment regarder sur l'autoroute et s'insérer dans un créneau. Cette manœuvre fait intervenir le facteur humain et ajoute donc un risque difficile à évaluer de prime abord. L'étude des accidents sur une voie d'accélération permet d'évaluer, au-delà de la théorie, la réaction des gens à la rencontre de cet élément géométrique.

Comme l'illustre la Figure 3.21 tirée de Baker (1980), une voie d'accélération peut être conçue de deux façons distinctes : en parallèle (parallel type) ou en biseau (taper type). Ce choix géométrique engendre des comportements différents chez les usagers du réseau routier.

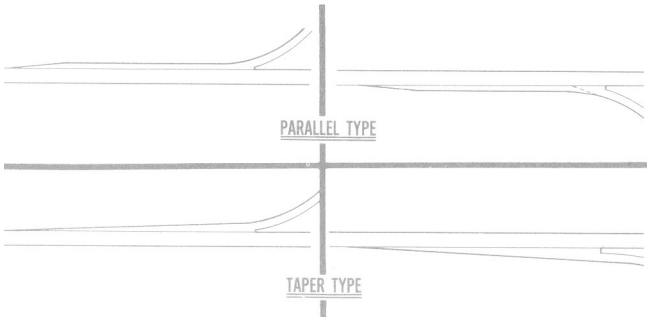


Figure 3.21: Distinction des deux types de voies de changement de vitesse
(en parallèle ou en biseau) à l'entrée ou à la sortie d'une autoroute, Baker (1980)

Il existe plusieurs variables pouvant influencer les accidents sur une voie d'accélération. La liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents autoroutiers pour cet élément géométrique est présentée au Tableau 3-11. Les zones du tableau qui n'indiquent pas le symbole « x » signifient qu'aucune information n'a été trouvée dans la littérature consultée. Ce tableau pourrait être parachevé dans une étape ultérieure à la présente recherche. Il présente malgré tout la liste exhaustive des variables possibles même si, en pratique, peu de celles-ci ont réellement été étudiées et encore moins intégrées dans des modèles. Les plus importantes demeurent la longueur de la voie d'accélération, le DJMA sur la bretelle en amont, le DJMA sur l'autoroute où converge la bretelle, le milieu (urbain ou rural) et l'alignement horizontal de la bretelle en amont.

Ces cinq variables sont analysées dans la plupart des références. Les auteurs de la principale publication qui traitent spécifiquement des voies de changement de vitesse et des bretelles (Bauer & Harwood, 1998) se restreignent notamment à ces variables. Ils justifient ce choix par la limitation des données. Ils étudient malgré tout d'autres paramètres, mais arrivent à la conclusion que ces derniers ne sont pas significatifs.

Tableau 3-11: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à la voie d'accélération d'une autoroute

Liste des variables indépendantes traitées dans la littérature	Discussion	Analyse	Significance	Modèle(s)
Type de voie d'accélération (en biseau ou en parallèle)	x			
Présence de voie de service				
DJMA dans la bretelle en amont	x	x	x	x
DJMA sur l'autoroute où converge la bretelle, avant l'entrée	x	x	x	x
Milieu urbain ou rural	x	x	x	x
Proportion de véhicules lourds sur la bretelle				
Proportion de véhicules lourds sur l'autoroute				
Nombre de voies sur l'autoroute				
Largeur des voies sur l'autoroute				
Nombre de voies sur la bretelle/voie d'accélération	x			
Largeur des voies sur la bretelle/voie d'accélération	x	x		
Largeur des accotements sur la bretelle/voie de décélération	x	x		x
Type d'accotements (asphalté, bande rugueuse, etc.)	x	x		x
Type de bande médiane sur l'autoroute				
Largeur de la bande médiane sur l'autoroute				
Présence de délinéateurs dans la bretelle				
Type de bretelle en amont	x	x		
Longueur de la bretelle				
Longueur de la voie d'accélération	x	x	x	x
Alignement horizontal de la voie d'accélération				
Alignement horizontal de la bretelle en amont	x	x	x	x
Alignement vertical de la voie d'accélération				
Alignement vertical de la bretelle en amont				
Dévers sur la voie d'accélération				
Vitesse affichée dans la bretelle				
Vitesse pratiquée dans la bretelle				
Vitesse affichée sur l'autoroute				
Vitesse pratiquée sur l'autoroute				
Type de musoir				
Signalisation verticale				
Signalisation horizontale (marquage)				
Dispositif de contrôle pour l'accès à l'autoroute				
Côté de l'entrée (droit ou gauche de l'autoroute)	x	x	x	
Distance de visibilité				
Conditions lumineuses	x	x		x
Angle de convergence	x			
Type de revêtement de chaussée (asphalte ou béton)	x	x		x
État de la chaussée				
Densité (v/c) dans la bretelle en amont				
Densité (v/c) sur l'autoroute				

Type de voie d'accélération (en biseau ou en parallèle)

Même s'il s'agit d'un élément intuitivement fondamental, le type de voie d'accélération (en parallèle ou en biseau) n'est ni analysé ni intégré dans les modèles existants pour prédire les

accidents sur une voie d'accélération isolée. Au niveau de l'usage, des principes et du comportement des usagers, cette variable fait toutefois l'objet d'une étude par Koepke (1993). Cette étude révèle que 75 % des agences gouvernementales interrogées (une proportion de 34 sur 45 états américains ayant répondu au sondage) préfèrent le type de voie d'accélération en parallèle à celui en biseau. Koepke rappelle qu'un conducteur entrant sur une autoroute est dans l'obligation de se chercher un créneau à travers la circulation (ce qui n'est pas le cas pour une voie de décélération). Cette action nécessite un certain laps de temps et une certaine distance est parcourue durant la recherche du créneau par le conducteur. En complément à cette discussion, il est rapporté que les conducteurs tendent à converger à mi-distance de la voie d'accélération lorsqu'elle est de type en parallèle tandis qu'ils convergent entre la demie et le trois quarts de la distance pour le type en biseau. D'autres études sont malgré tout requises pour évaluer si le type en parallèle est réellement plus sécuritaire pour une voie d'accélération.

Débit dans la bretelle d'entrée

D'après la littérature consultée, plus le débit sur la bretelle d'entrée ou dans la voie d'accélération (il s'agit théoriquement de la même valeur) augmente, plus le risque d'accident augmente sur une voie d'accélération. Cette variable est considérée dans la modélisation, et ce, tant pour les anciens modèles exposés par Cirillo, Dietz & Beatty (1969) et Leisch & al. (1982) que pour les plus récents par Bauer & Harwood (1998) et Torbic & al. (2007b) présentés plus loin dans cette section.

Débit sur l'autoroute où converge la bretelle, en amont de l'entrée

La circulation sur l'autoroute où convergent les véhicules a également un impact significatif sur les accidents de la voie d'accélération selon Bauer & Harwood (1998). Un débit élevé résulte en une augmentation du taux d'accidents. Cette variable n'a pas été considérée dans le modèle de Leisch & al. (1982), mais fait partie de celui de Bauer & Harwood (1998) et de Torbic & al. (2007b).

Milieu (urbain ou rural)

Les analyses de Twomey & al. (1992) révèlent des taux sur voie d'accélération de 76 et 174 accidents par cent millions de véhicules-milles pour les milieux rural et urbain, respectivement. Comme le confirment la revue de littérature et le modèle développé par Bauer & Harwood (1998), le milieu urbain tend à accroître le taux d'accidents toutes gravités. Cette variable est

prise en compte dans le modèle de Torbic & al. (2007b) présenté plus loin. Hauer & Persaud (1996)seconde cette tendance, mais dénote cependant aussi que milieu urbain est plus propice aux accidents mortels.

Nombre de voies sur la bretelle / voie d'accélération

Walker (1993) a étudié les bretelles à deux voies et en vient à la conclusion que lorsqu'elles sont utilisées, il est plus sécuritaire de les implanter avec une configuration directe ou semi-directe (voir Figure 2.10). Cette variable demeure malgré tout peu traitée dans la littérature. Bauer & Harwood (1998) indiquent notamment qu'ils ont exclu cette variable de leurs analyses parce que leur base de données ne comprenait que des bretelles avec une voie.

Largeur des accotements sur la bretelle / voie d'accélération

Le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969) suggère qu'une augmentation de la largeur de l'accotement gauche sur la bretelle engendre une augmentation du nombre d'accidents.

Type d'accotements (asphalté, bande rugueuse, etc.)

Le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969) suggère qu'un accotement asphalté fait diminuer le nombre d'accidents par rapport à tout autre type.

Longueur de la voie d'accélération

La littérature qui porte sur la longueur de la voie d'accélération varie d'une source à l'autre. D'un côté, cette variable semble faire converger les taux d'accidents vers une certaine valeur minimale. Leisch & al. (1982) illustrent cette convergence vers les 1000 pi (environ 300 m), peu importe le changement de vitesse pour passer de la bretelle à l'autoroute (voir Figure 3.22). Cette figure montre également une hausse rapide du taux d'accidents lorsque la longueur de la voie d'accélération diminue sous les 500 pi (environ 150 m). Ces résultats diffèrent des conclusions émises par Bauer & Harwood (1998) : leur modèle rapporte qu'une augmentation de la longueur de la voie d'accélération augmente le taux d'accidents. Une des explications des auteurs face à cette constatation contre-intuitive est qu'augmenter la longueur de la voie implique une plus longue exposition au risque (pour une voie d'accélération en parallèle). Le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969) va dans le même sens que ces résultats. Torbic & al. (2007b), quant à eux, ont repris le modèle de Bauer & Harwood, mais arrivent curieusement à la conclusion

qu’augmenter la longueur diminue le nombre d’accidents. Il semble y avoir une incohérence à ce sujet entre les deux références.

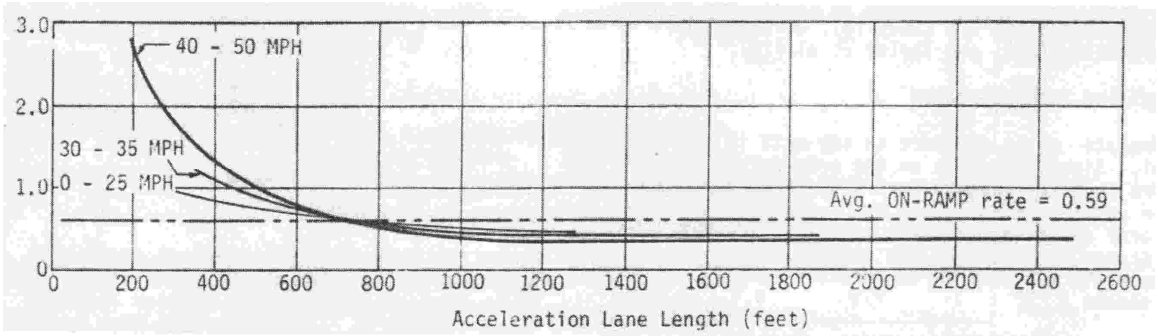


Figure 3.22: Taux d’accidents (nombre d’accidents par 100 millions de véhicules : l’ordonnée sur le graphique) en fonction de la longueur de la voie d'accélération (selon une base de données de 233 entrées, 491 accidents et 622,5 millions de véhicules), Leisch & al. (1982)

Alignement horizontal de la bretelle en amont

Cette variable est intégrée dans le modèle présenté par Leisch & al. (1982) présenté un peu plus loin dans cette section. Ce modèle indique qu’une augmentation du rayon de la bretelle implique une diminution des accidents sur la voie d’accélération (voir Figure 3.24). Bien qu’exprimé un peu différemment, le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969) arrive à la conclusion inverse. Il indique qu’une augmentation de la courbure maximale de la bretelle en amont engendre une diminution des accidents.

Côté de l’entrée (droit ou gauche de l’autoroute)

Le côté de l’entrée représente une variable d’importance au niveau de la sécurité sur les voies d’accélération. Plusieurs études ont été menées à ce sujet dans le passé. Leisch & al. (1982) rappellent notamment qu’une entrée à gauche implique des taux d’accidents 60 % plus élevés qu’une entrée à droite. Cette situation est due au fait qu’une entrée à gauche n’est pas d’usage courant et n’est donc pas uniforme avec le reste du réseau. Le danger relié au fait de s’insérer sur la voie rapide plutôt que sur la voie de droite ajoute également à l’explication; le problème est particulièrement notable pour les véhicules lourds qui couvrent une plus grande surface sur la route et requièrent une plus grande distance pour accélérer. Twomey, Heckman et Hayward

(1992) confirment quantitativement le risque que représente cet aménagement. Tous les guides de conception actuels sont unanimes sur le fait d'éviter le plus possible ce genre de configuration.

Conditions lumineuses

Selon le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969), une augmentation de l'intensité lumineuse de nuit sur une voie d'accélération ferait augmenter le nombre d'accidents prédit. Cette conclusion diverge d'un auteur à l'autre et d'un élément géométrique à l'autre. Cette notion d'éclairage demeure incertaine.

Angle de convergence

Des études datant de la fin des années soixante ont été menées pour évaluer la qualité d'opération en fonction de l'angle de convergence dans une entrée d'autoroute. Leisch & al. (1982) rapportent les conclusions de ces différentes études. D'une part, lorsque l'angle de convergence est plus petit ou égal à 3°, la convergence se fait de façon stable et sans perturbation. Lorsque cet angle est de 10° ou plus, le débit semble être considérablement perturbé. D'autre part, il a été observé que le pourcentage d'acceptation des créneaux diminue avec l'augmentation de l'angle de convergence. Il est démontré, en effet, qu'une certaine crainte existe chez les conducteurs pour des angles de convergences élevés, ce qui provoque une plus grande probabilité d'arrêts subits et de perturbation de la circulation, donc un risque de collisions arrière plus élevé. D'autres études plus récentes devraient toutefois être entreprises pour quantifier ce risque d'accident.

Type de revêtement de chaussée (asphalte ou autre)

Selon le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969), un revêtement en asphalte ferait diminuer le nombre d'accidents par rapport à tout autre type.

Autres variables testées

Bauer & Harwood (1998) ont étudié trois autres variables : la largeur moyenne de la voie d'accélération, la largeur de l'accotement droit et le type de bretelle en amont (c'est-à-dire sa configuration : losange, trèfle, direct, semi-direct, etc.). Il a été trouvé que celles-ci n'étaient pas significatives (moins de 10% de signifiance) pour expliquer le total des accidents sur une voie d'accélération isolée. Le type de bretelle en amont est toutefois considéré dans un autre modèle de Bauer & Harwood (1998), repris par Bared, Giering & Warren (1999) lorsque l'on combine bretelle et voie de changement de vitesse (voir section 3.6.1).

Modélisation

Le premier modèle associé à l'élément voie d'accélération a été développé par Cirillo, Dietz & Beatty (1969). Ce modèle est linéaire et présente un coefficient R^2 égal à 0,64. Puisque ce modèle n'est plus nécessairement très représentatif de la réalité actuelle, il est présenté ci-dessous sans analyse de sensibilité. Il indique toutefois certaines tendances résumées au Tableau 3-12 et est intégrées au Tableau 3-11.

$$Y = -0{,}11 + 0{,}044X_1 + 0{,}000043X_2 + 0{,}016X_5 - 0{,}049X_6 - 0{,}077X_7 - 0{,}0082X_{10} + 0{,}018X_{14}$$

où Y = Nombre d'accidents toutes gravités prédit par année;

X_1 = DJM sur la voie d'accélération (en milliers de véhicules/jour)

X_2 = X_1 · Longueur de la voie de décélération (en pi)

X_5 = X_1 · Largeur de l'accotement gauche (en pi)

X_6 = X_1 · Type de pavage (1 = asphalte, 0 = autre)

X_7 = X_1 · Type d'accotement (1 = pavé, 0 = autre)

X_{10} = X_1 · Courbure maximale de la bretelle en amont (en degrés)

X_{14} = X_1 · Intensité lumineuse de nuit (en pieds-chandelles)

Tableau 3-12: Résumé de l'impact des variables sur le nombre d'accidents reliés à une voie d'accélération selon le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969)

Variables	Impact
X_1 : DJM sur la voie d'accélération (en milliers de véhicules/jour)	+
X_2 : X_1 · Longueur de la voie de décélération (en pi)	+
X_5 : X_1 · Largeur de l'accotement gauche (en pi)	+
X_6 : X_1 · Type de pavage (1 = asphalte, 0 = autre)	-
X_7 : X_1 · Type d'accotement (1 = pavé, 0 = autre)	-
X_{10} : X_1 · Courbure maximale de la bretelle en amont (en degrés)	-
X_{14} : X_1 · Intensité lumineuse de nuit (en pieds-chandelles)	+

L'hypothèse de base pour étudier les accidents sur une voie d'accélération dans Leisch et al. (1982) est d'isoler les accidents de convergence. Cette référence fait mention d'un modèle canadien linéaire datant de 1977 permettant de prévoir ce nombre d'accidents sur une voie d'accélération en biseau. Ce modèle est présenté ci-dessous.

$$Ay = K + 0{,}70Vr - 0{,}80L$$

où Ay = Nombre d'accidents de convergence prédit par année;
K = 4,55 si le degré de courbure est de 0° (rayon infini);
K = 5,52 si le degré de courbure est de 3° (rayon = 582 m);
K = 8,29 si le degré de courbure est de 4° (rayon = 437 m);
Vr = DJM sur la bretelle d'accès (en milliers de véh/jour);
L = Longueur de la voie d'accélération en centaine de pieds (mesurée à partir du début de la voie d'accélération en biseau jusqu'à la fin de la convergence);
Erreur type de 22,6 %;
$R^2 = 0{,}929$.

Les figures qui suivent (Figure 3.23 et Figure 3.24) présentent une analyse de la sensibilité des paramètres de l'équation.

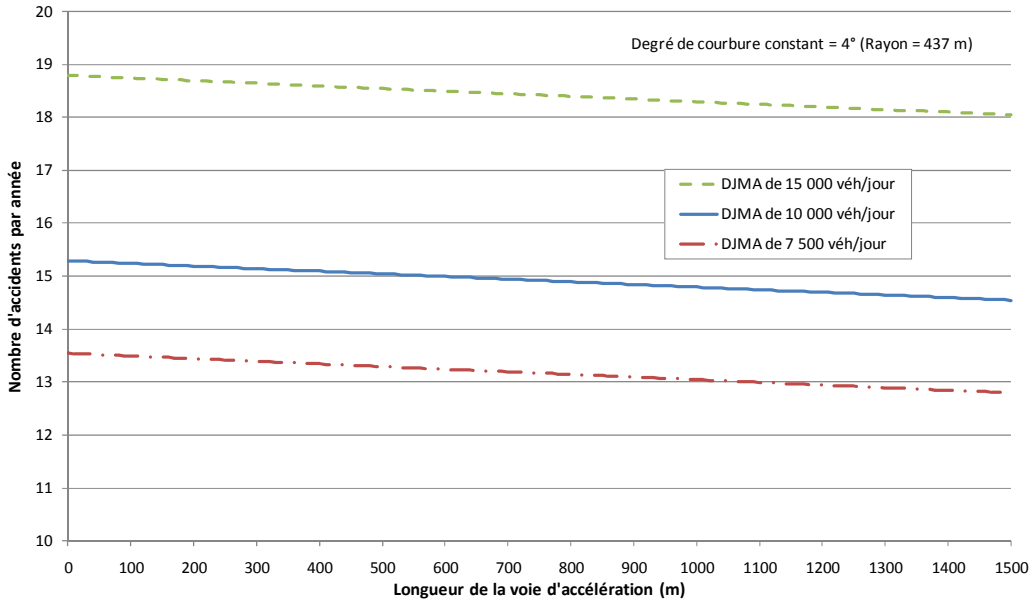


Figure 3.23: Prédiction du nombre d'accidents en fonction de la longueur de la voie d'accélération et du DJMA sur la bretelle en amont selon le modèle de Leisch & al. (1982)

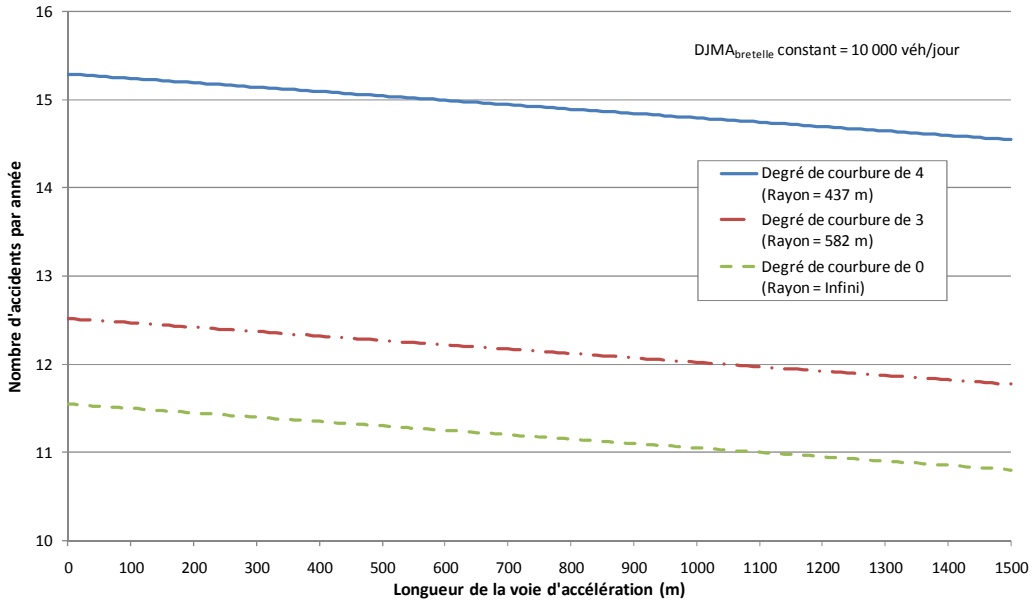


Figure 3.24: Prédiction du nombre d'accidents en fonction de la longueur de la voie d'accélération et du degré de courbure de la bretelle en amont selon le modèle de Leisch & al. (1982)

Des figures précédentes, il est possible de constater une diminution linéaire du nombre d'accidents toutes gravités par année en augmentant la longueur de la voie d'accélération. Cette diminution est d'environ 0,5 accident par kilomètre. De plus, comme le montre la Figure 3.23, un peu plus de cinq accidents sont prédits de plus par année en augmentant le DJMA de 7 500 à 15 000 véhicules par jour sur la bretelle. Pour ce qui est de l'impact du degré de courbure, il est un peu plus difficile à cerner puisque le détail du calcul de la constante K dans l'équation n'est pas spécifié dans Leisch et al. (1982). Il est malgré tout possible de souligner qu'une augmentation de la courbure de la bretelle provoque une augmentation du nombre d'accidents prédit. L'effet n'est toutefois pas n'est pas linéaire puisque l'écart entre la droite de 0° et 3° est considérablement plus faible que l'écart entre 3° et 4°. En effet, il semble y avoir une valeur critique qui engendre une hausse marquée des accidents. Il se pourrait qu'à de faibles valeurs, le conducteur soit en contrôle, mais qu'en atteignant un certain degré de courbure, il se retrouve dans une situation inhabituelle et plus à risque.

Par ailleurs, comme discuté dans la section 2.3, il faut rappeler que cette modélisation date de plus de 35 ans et que le nombre d'accidents prédit risque d'être surestimé. Le lecteur doit donc conserver une certaine vigilance dans l'interprétation de ces analyses.

Plus récemment, Bauer & Harwood (1998) ont étudié la possibilité de modéliser les accidents sur voie d'accélération à partir de données américaines et plus spécifiquement en provenance du département de Transport de l'État de Washington. Ils arrivent à la conclusion que leur modèle développé pour l'élément voie d'accélération isolé ne colle pas aux données de manière statistiquement valable. Toutefois, lorsqu'ils combinent la bretelle proprement dite à la voie d'accélération, le modèle devient plus performant (voir section 3.6.1). Torbic & al. (2007b) adaptent malgré tout ce dernier modèle pour revenir à une prédiction des accidents sur la voie d'accélération seulement. Cette adaptation est présentée ci-dessous. À la suite de l'équation sont présentés les coefficients et paramètres reliés au modèle (voir Tableau 3-13).

$$N = C \times e^{a} \times AADT_{Ramp}{}^{b} \times e^{c \times ALL} \times AADT_{Freeway}{}^{d}$$

Tableau 3-13: Coefficients et paramètres du modèle repris par Torbic & al. (2007b) pour la voie d'accélération

Milieu	Gravité	C	a	b	c	d
R	TOT	0,44	-7,19	0,78	-2,59	0,13
U	TOT	0,44	-6,82	0,78	-2,59	0,13
R	MB	0,55	-10,68	0,91	-4,55	0,29
U	MB	0,55	-10,68	0,91	-4,55	0,29

où N = Prédiction du nombre d'accidents par mille par année;

$AADT_{Ramp}$ = $DJMA_{Bretelle}$, DJMA sur la bretelle en amont (en véh/jour);

$AADT_{Freeway}$ = $DJMA_{Autoroute}$, DJMA sur l'autoroute où convergent les véhicules, en amont de la voie d'accélération (en véhicules/jour);

ALL = Longueur de la voie d'accélération (Acceleration Lane Length) (en milles);

R = Rural; U = Urbain;

TOT = Toutes gravités; MB = Accidents avec blessé(s) et/ou accidents mortels;

C = Constante qui est le produit de deux éléments : elle rapporte la prédiction du nombre d'accidents sur une période d'un an (les fonctions de performance en sécurité routière *SPF* ont été développées pour prédire sur une période de trois ans) et elle tient compte de la longueur de la bretelle proprement dite (valeurs moyennes intégrées dans les fonctions de performance en sécurité routière);

a = Coefficient d'interception logarithmique;

b = Coefficient associé au débit sur la bretelle;

c = Coefficient associé à la longueur de la voie d'accélération;

d = Coefficient associé au débit sur l'autoroute.

Les figures qui suivent (Figure 3.25, Figure 3.26 et Figure 3.27) présentent une analyse de la sensibilité des paramètres de l'équation.

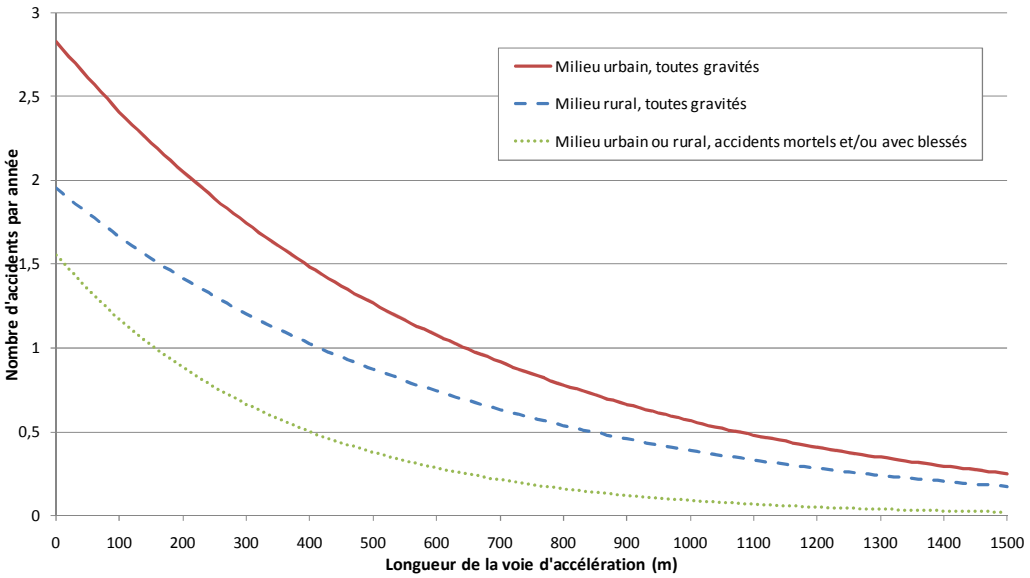


Figure 3.25: Prédiction du nombre d'accidents en fonction de la longueur de la voie d'accélération, du milieu et de la gravité des accidents selon le modèle de Torbic & al. (2007b) pour un DJMA de 10 000 véh/jour sur la bretelle et de 100 000 véh/jour sur l'autoroute

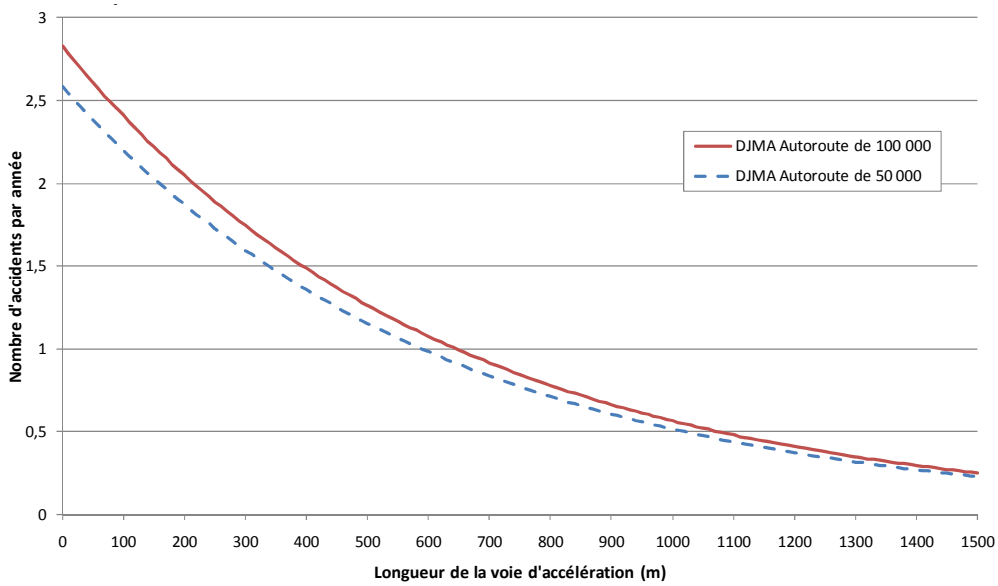


Figure 3.26: Prédiction du nombre d'accidents toutes gravités en milieu urbain en fonction de la longueur de la voie d'accélération selon le modèle de Torbic & al. (2007b) pour un DJMA de 10 000 véh/jour sur la bretelle et un DJMA variable sur l'autoroute

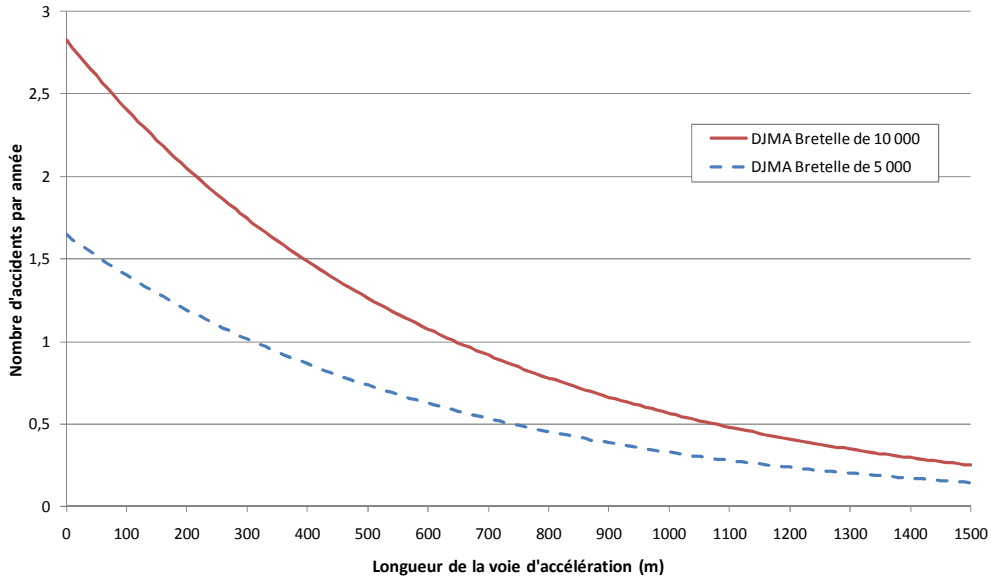


Figure 3.27: Prédiction du nombre d'accidents toutes gravités en milieu urbain en fonction de la longueur de la voie d'accélération selon le modèle de Torbic & al. (2007b) pour un DJMA de 100 000 véh/jour sur l'autoroute et un DJMA variable sur la bretelle

La Figure 3.25 présente la sensibilité du modèle selon la longueur de la voie d'accélération, le milieu et la gravité des accidents. Elle démontre premièrement que l'augmentation de la longueur de la voie d'accélération engendre une diminution des accidents, peu importe leur gravité ou le milieu. Cette diminution est plus importante à de courtes longueurs, ce qui fait en sorte que l'investissement est plus performant en passant d'une longueur de 100 à 200 mètres que de 1100 à 1200 mètres, par exemple. Elle suggère aussi que le milieu urbain prédit plus d'accidents toutes gravités que le milieu rural. L'écart entre les courbes est d'autant plus grand à de courtes longueurs de voie d'accélération, puis les valeurs convergent lorsque cette même longueur est augmentée. Pour les accidents mortels et/ou avec blessés, il n'y a aucune distinction entre les milieux urbain et rural. En examinant cette courbe de plus près, il est possible de constater qu'à de courtes longueurs, le modèle prédit plus d'accidents à dommage matériel seulement en milieu urbain. En milieu rural, le nombre d'accidents à dommage matériel seulement est à son apogée vers les 400 mètres. Le nombre d'accidents à dommage matériel s'évalue à partir de l'écart entre la courbe des accidents mortels et/ou avec blessés et les deux autres courbes.

D’autre part, en diminuant le débit sur l’autoroute (Figure 3.26) ou sur la bretelle (Figure 3.27), le modèle prédit moins d’accidents (en considérant les accidents toutes gravités en milieu urbain). Cette observation suit la tendance générale de la majorité des modèles impliquant le débit. L’impact est toutefois plus marqué pour la variation du débit sur la bretelle que sur l’autoroute. Quantitativement, le modèle prédit à peine 0,1 accident de moins en diminuant le débit sur l’autoroute de 100 000 à 50 000 véh/jour tandis qu’il en prédit environ 0,5 de moins en diminuant de 10 000 à 5 000 véh/jour le débit sur la bretelle, pour une longueur de voie d’accélération constante de 500 mètres. Encore une fois, à de courtes longueurs, l’écart est plus marqué qu’à de longues voies d’accélération. Ce fait est plus marqué en faisant varier les débits sur la bretelle que sur l’autoroute.

Le modèle de Torbic & al. (2007b) et celui présenté par Leisch & al. (1982) présentent certaines différences. Premièrement, le plus récent considère le contexte et le comportement plus actuels des conducteurs. Ensuite, il tient compte du débit sur l’autoroute où convergent les véhicules ainsi que du milieu (urbain ou rural) où se trouve la voie d’accélération. Le modèle de 1982, quant à lui, prend en considération la courbure de la bretelle en amont. Par contre, dans le plus récent modèle, comme mentionné précédemment, il a été trouvé que le type de bretelle en amont n’avait pas un impact suffisant pour être intégré à l’équation de prédiction des accidents.

3.4.3 Voie de décélération

Comme pour la voie d’accélération, il faut noter que la dangerosité d’une voie de décélération est directement reliée à la bretelle de sortie en aval. Pour cette raison, certains chercheurs ont choisi d’étudier une combinaison des éléments « voie de changement de vitesse » et « bretelle proprement dite ». Il s’agit d’une agrégation d’éléments qui a l’avantage de simplifier la modélisation, mais qui cerne de façon un peu moins précise le problème. Ce regroupement est présenté à la section 3.6.1. Il faut noter que, selon Leisch & al. (1982), la sortie d’une autoroute (incluant la bretelle proprement dite) est un point de forte densité d’accidents comparativement au point d’entrée. Koepke (1993) seconde cette tendance en ajoutant toutefois que même si la voie de décélération considérée de façon isolée ne présente pas de grands problèmes opérationnels, le musoir de la sortie, quant à lui, semble engendrer de nombreux accidents. Un bémol est donc à considérer dans les analyses, car certaines difficultés persistent concernant l’association de certains accidents avec les bons éléments.

La présente section traite des relations entre les accidents et l'élément « voie de décélération » uniquement. Comme pour la voie d'accélération encore une fois, il existe deux types de voie de décélération : en biseau et en parallèle (voir Figure 3.21). Comparativement à la voie d'accélération, il est plus courant de concevoir une voie de décélération en biseau puisque pour sortir d'une autoroute, il n'est pas nécessaire d'attendre d'avoir un créneau pour accéder à la bretelle (à moins d'être dans la voie rapide lorsque vient le temps de prendre la sortie).

Les chercheurs semblent avoir plus de difficulté à modéliser la voie de décélération que la voie d'accélération. En effet, même si certaines tentatives ont été entreprises (Bauer & Harwood, 1998), aucun modèle utilisable attribué spécifiquement à la voie de décélération d'une autoroute n'a été trouvé dans la littérature.

Il existe toutefois plusieurs variables pouvant influencer les accidents sur une voie de décélération. La liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents autoroutiers est présentée au Tableau 3-14. Les zones du tableau qui n'indiquent pas le symbole « x » signifient qu'aucune information n'a été trouvée dans la littérature consultée. Ce tableau pourrait être parachevé dans une étape ultérieure à la présente recherche. Cet ensemble correspond à la liste exhaustive des variables, mais en pratique, comme l'indique le tableau, peu de celles-ci ont réellement été étudiées et, tel que mentionné un peu plus haut, aucune d'entre elles n'a été intégrée dans des modèles utilisables. Les plus importantes demeurent le DJMA sur la bretelle de sortie, le milieu (urbain ou rural) et la largeur des accotements sur la bretelle/voie de décélération. Ces trois variables sont analysées dans la plupart des références. Les auteurs de la principale publication qui traite spécifiquement des voies de changement de vitesse et des bretelles (Bauer & Harwood, 1998) se restreignent notamment à ces variables. Ils justifient ce choix par la limitation des données. Ils étudient malgré tout d'autres paramètres, mais ces derniers ne sont pas trouvés comme étant significatifs.

Tableau 3-14: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à la voie de décélération d'une autoroute

Liste des variables indépendantes traitées dans la littérature	Discussion	Analyse	Significance	Modèle(s)
Type de voie de décélération (en biseau ou en parallèle)	x			
Présence de voie de service				
DJMA dans la bretelle en aval	x	x	x	
DJMA sur l'autoroute d'où sortent les véhicules	x	x		
Milieu urbain ou rural	x	x	x	
Proportion de véhicules lourds sur la bretelle				
Proportion de véhicules lourds sur l'autoroute				
Nombre de voies sur l'autoroute				
Largeur des voies sur l'autoroute				
Nombre de voies sur la bretelle/voie de décélération	x			
Largeur des voies sur la bretelle/voie de décélération	x	x		
Largeur des accotements sur la bretelle/voie de décélération	x	x	x	x
Type d'accotements (asphalté, bande rugueuse, etc.)				x
Type de bande médiane sur l'autoroute				
Largeur de la bande médiane sur l'autoroute	x	x		x
Présence de délinéateurs dans la bretelle	x	x		x
Type de bretelle en aval	x	x		
Longueur de la bretelle				
Longueur de la voie de décélération	x	x		x
Alignement horizontal de la voie de décélération				
Alignement horizontal de la bretelle en aval				
Alignement vertical de la voie de décélération	x	x		x
Alignement vertical de la bretelle en aval				
Dévers sur la voie de décélération				
Vitesse affichée dans la bretelle				
Vitesse pratiquée dans la bretelle				
Vitesse affichée sur l'autoroute				
Vitesse pratiquée sur l'autoroute				
Type de musoir				
Signalisation verticale				
Signalisation horizontale (marquage)	x	x		x
Dispositif de contrôle pour la sortie de l'autoroute				
Côté de la sortie (droit ou gauche de l'autoroute)	x	x		
Distance de visibilité	x	x		x
Conditions lumineuses				
Angle de divergence				
Type de revêtement de chaussée (asphalte ou béton)	x	x		x
État de la chaussée				
Densité (v/c) dans la bretelle en aval				
Densité (v/c) sur l'autoroute				

Type de voie de décélération (en biseau ou en parallèle)

Comme pour la voie d'accélération, même si le type de voie est un élément qui semble à priori fondamental, il n'est ni analysé ni intégré dans les modèles existants pour prédire les accidents

sur une voie de décélération isolée. Au niveau de l'usage, des principes et du comportement des usagers, cette variable fait toutefois l'objet d'une étude par Koepke (1993). Cette étude révèle que 91 % des agences gouvernementales interrogées (une proportion de 41 sur 45 états américains ayant répondu au sondage) préfèrent le type de voie de décélération en biseau à celui en parallèle. Il est à noter qu'un conducteur qui emprunte une sortie d'autoroute n'a pas, contrairement à lorsqu'il entre, de créneau à trouver pour diverger vers la voie de décélération. La manœuvre est donc simplifiée pour le conducteur. En chiffres, Koepke (1993) rapporte que 95 % des usagers de la route tendent à diverger directement vers la bretelle de sortie, et ce, même si la voie de décélération a été conçue en parallèle. Il est conclu que le type de voie de décélération en biseau semble être plus représentatif de la tendance des usagers de la route. D'autres études sont malgré tout requises pour évaluer si le type en biseau est réellement plus sécuritaire pour une voie de décélération.

Débit dans la bretelle en aval

La tendance observée par Bauer & Harwood (1998) est qu'une augmentation du débit dans la bretelle engendre une augmentation du nombre d'accidents. Bien que significative, cette variable n'a pas permis aux auteurs de construire un modèle valable pour l'élément voie de décélération. Par contre, en combinant voie de décélération et bretelle proprement dite, il est possible d'évaluer quantitativement l'impact du débit dans la bretelle (voir section 3.6.1). Cirillo, Dietz & Beatty (1969), quant à eux, ont tenté de développer un modèle pour la voie de décélération isolée dont le coefficient R^2 est relativement faible, mais qui, malgré tout, va dans le même sens que la tendance observée par Bauer & Harwood (1998).

Milieu (urbain ou rural)

Les analyses de Twomey & al. (1992) révèlent des taux sur voie de décélération de 137 et 186 accidents par cent millions de véhicules-milles pour les milieux rural et urbain, respectivement. Le milieu urbain tendrait donc à accroître le taux d'accidents comme pour la voie d'accélération.

Nombre de voies sur la bretelle / voie de décélération

Comme mentionné dans la section 3.4.2 pour la voie d'accélération, Walker (1993) a étudié les bretelles à deux voies et en vient à la conclusion (sans distinction par rapport au type de voie de changement de vitesse) que lorsqu'elles sont utilisées, il est plus sécuritaire de les implanter avec une configuration directe ou semi-directe (voir Figure 2.10). Cette variable demeure malgré tout

peu traitée dans la littérature. Bauer & Harwood (1998) indiquent notamment qu'ils ont exclu cette variable de leurs analyses parce que leur base de données ne comprenait que des bretelles avec une voie.

Largeur des accotements sur la bretelle / voie de décélération

La largeur de l'accotement droit dans la bretelle est considérée comme ayant un impact significatif sur le nombre d'accidents sur une voie de décélération par Bauer & Harwood (1998). Plus spécifiquement, un coefficient négatif est présenté par les auteurs, ce qui indique une tendance à la baisse des accidents en augmentant la largeur de l'accotement. Le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969), à l'opposé, suggère qu'une augmentation de la largeur de l'accotement gauche (comparativement à l'accotement droit pour Bauer & Harwood (1998)) sur la bretelle engendrerait une augmentation du nombre d'accidents.

Type d'accotements (asphalté, bande rugueuse, etc.)

Le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969) suggère qu'un accotement asphalté ferait diminuer le nombre d'accidents par rapport à tout autre type.

Largeur de la bande médiane sur l'autoroute

Toujours selon le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969), une augmentation de la largeur de la bande médiane sur l'autoroute ferait diminuer le nombre d'accidents prédit.

Présence de délinéateurs dans la bretelle

Dans le même sens que pour la largeur de la bande médiane, le même modèle prédit que la présence de délinéateurs dans une bretelle ferait diminuer le nombre d'accidents.

Longueur de la voie de décélération

Selon Leisch & al. (1982), la longueur de la voie de décélération constitue la variable la plus importante au niveau de la sécurité d'une sortie d'autoroute. Comme le montre la Figure 3.28, l'augmentation de la longueur de la voie de décélération (de 200 à >700 pi ou de 61 à >213 m en SI) tend à diminuer le taux d'accidents. Le phénomène semble prendre encore plus d'ampleur lorsque la proportion du trafic qui diverge vers la bretelle de sortie est élevée. Les conclusions de Bauer & Harwood (1998) quant à la longueur de la voie de décélération diffèrent. En effet, bien qu'ils aient tenté d'établir des corrélations entre cette variable et les accidents à l'aide d'une base

de données considérable (192 voies de décélération dans l'état de Washington), ils en infèrent que la longueur de la voie de décélération n'a pas d'impact significatif (moins de 10% de signifiance statistique) sur les accidents reliés à une voie de décélération considérée comme un élément isolé. Un peu comme pour la voie d'accélération, selon la modélisation de Cirillo, Dietz & Beatty (1969), la conclusion est opposée à celle de Leisch & al. (1982), c'est-à-dire qu'une plus grande longueur de la voie de décélération engendrerait une exposition au risque plus grande.

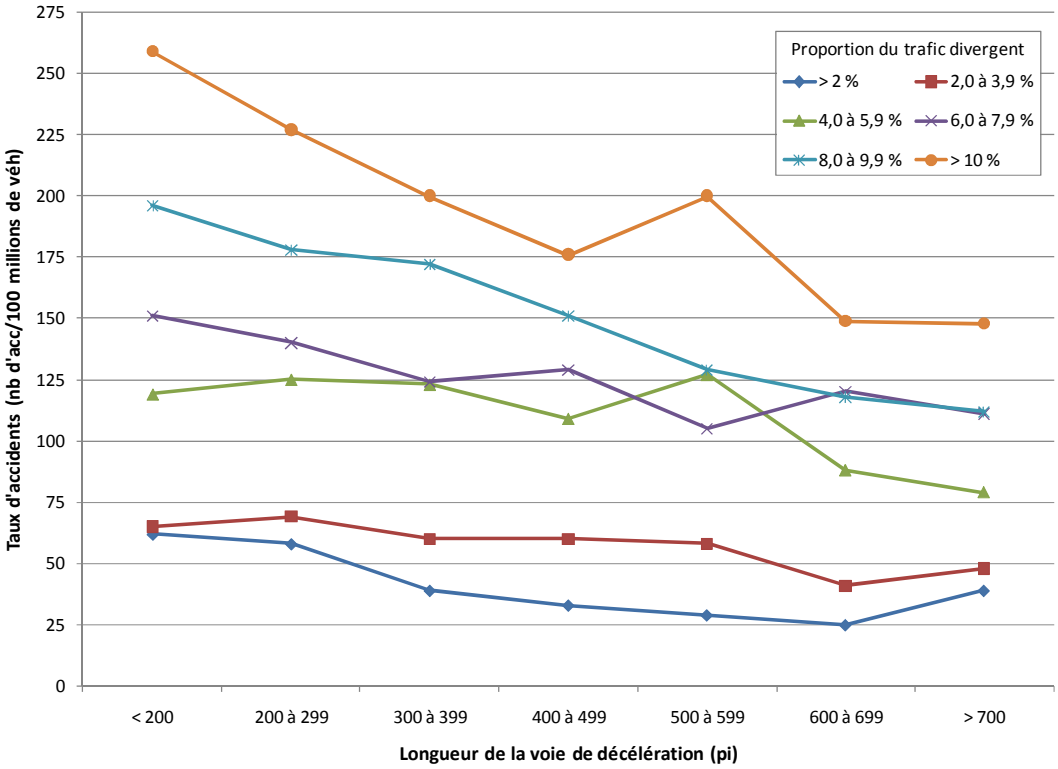


Figure 3.28: Taux d'accidents en fonction de la longueur de la voie de décélération et de la proportion du trafic divergent vers la bretelle de sortie de l'autoroute (Leisch & al. 1982)

Alignement vertical de la voie de décélération

Selon le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969), une augmentation de la pente (sans distinction notée par rapport au fait qu'elle soit positive ou négative) dans la voie de décélération ferait augmenter le nombre d'accidents prédit.

Signalisation horizontale (marquage)

Toujours par rapport aux facteurs dans l'équation du modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969), le fait de marquer d'une ligne de rive les deux côtés de l'autoroute vis-à-vis la voie de décélération provoquerait une augmentation du nombre d'accidents prédit comparativement à tout autre type de marquage de ligne de rive (aucune ligne de rives ou marquage seulement d'un côté), ce qui semble à priori contre-intuitif.

Côté de la sortie (droit ou gauche de l'autoroute)

Le côté de la sortie représente une variable d'importance au niveau de la sécurité sur les voies de décélération. Plusieurs études ont été menées à ce sujet dans le passé. Leisch & al. (1982) rappellent notamment qu'une sortie à gauche implique des taux d'accidents au moins deux fois plus élevés qu'une sortie à droite. Cette situation est due au fait qu'une sortie à gauche n'est pas d'usage courant et n'est donc pas uniforme avec le reste du réseau. Le danger relié à une possible décélération sur la voie rapide plutôt que sur la voie de droite ajoute également à l'explication. Twomey, Heckman et Hayward (1992) confirment quantitativement le risque que représente cet aménagement. Il est à noter que le problème est plus marqué pour les sorties que pour les entrées. Comme mentionné précédemment pour le côté de l'entrée (Section 3.4.2), tous les guides de conception actuels sont unanimes sur le fait d'éviter le plus possible ce genre de configuration.

Distance de visibilité

Le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969) indique qu'une augmentation de la distance de visibilité d'arrêt minimale disponible sur le terrain engendre une diminution des accidents prédit.

Type de revêtement de chaussée (asphalte ou autre)

Selon le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969), un revêtement en asphalte ferait augmenter le nombre d'accidents sur une voie de décélération par rapport à tout autre type. Cette tendance est opposée à celle sur une voie d'accélération.

Autres variables testées

Bauer & Harwood (1998) ont étudié trois autres variables : le débit sur l'autoroute principale, la largeur moyenne de la voie de décélération et le type de bretelle en aval (c'est-à-dire sa configuration : losange, trèfle, direct, semi-direct, etc.). Il a été trouvé que celles-ci n'étaient pas significatives (moins de 10% de signifiance) pour expliquer le total des accidents sur une voie de

décélération isolée. Le type de bretelle en aval est toutefois considéré dans un autre modèle de Bauer & Harwood (1998), repris par Bared, Giering & Warren (1999) lorsque l'on combine bretelle et voie de changement de vitesse (voir section 3.6.1).

Modélisation

Aucun modèle utilisable récent n'a été trouvé dans la littérature pour le calcul du nombre d'accidents sur une voie de décélération. Cirillo, Dietz & Beatty (1969) présentent toutefois un modèle présentant un coefficient R^2 égal à 0,42 indiquant certaines tendances. Puisque ce modèle n'est plus nécessairement très représentatif de la réalité actuelle, il est présenté ci-dessous sans analyse de sensibilité. Il indique toutefois certaines tendances résumées au Tableau 3-15 et est intégrées au Tableau 3-14.

$$Y = -0{,}015 + 0{,}043X_1 + 0{,}000081X_2 + 0{,}0050X_5 + 0{,}019X_6 - 0{,}042X_7 + 0{,}0048X_9 - 0{,}0000077X_{11} + 0{,}024X_{15} - 0{,}017X_{16} - 0{,}00042X_{21}$$

où Y = Nombre d'accidents toutes gravités prédit par année;

X_1 = DJM sur la voie de décélération (en milliers de véhicules/jour)

$X_2 = X_1 \cdot$ Longueur de la voie de décélération (en pi)

$X_5 = X_1 \cdot$ Largeur de l'accotement gauche (en pi)

$X_6 = X_1 \cdot$ Type de pavage (1 = asphalte, 0 = autre)

$X_7 = X_1 \cdot$ Type d'accotement (1 = pavé, 0 = autre)

$X_9 = X_1 \cdot$ Pente (en pourcentage)

$X_{11} = X_1 \cdot$ Distance de visibilité d'arrêt minimale (en pi)

$X_{15} = X_1 \cdot$ Marquage des lignes de rive (1 = deux côtés, 0 = tout autre)

$X_{16} = X_1 \cdot$ Présence de délinéateurs (1 = présence, 0 = absence)

$X_{21} = X_1 \cdot$ Largeur de la bande médiane (en pi)

Tableau 3-15: Résumé de l'impact des variables sur le nombre d'accidents reliés à une voie de décélération selon le modèle de Cirillo, Dietz & Beatty (1969)

Variables	Impact
X_1 : DJM sur la voie de décélération (en milliers de véhicules/jour)	+
X_2 : X_1 · Longueur de la voie de décélération (en pi)	+
X_5 : X_1 · Largeur de l'accotement gauche (en pi)	+
X_6 : X_1 · Type de pavage (1 = asphalte, 0 = autre)	+
X_7 : X_1 · Type d'accotement (1 = pavé, 0 = autre)	-
X_9 : X_1 · Pente (en pourcentage)	+
X_{11} : X_1 · Distance de visibilité d'arrêt minimale (en pi)	-
X_{15} : X_1 · Marquage des lignes de rive (1 = deux côtés, 0 = tout autre)	+
X_{16} : X_1 · Présence de délinéateurs (1 = présence, 0 = absence)	-
X_{21} : X_1 · Largeur de la bande médiane (en pi)	-

3.4.4 Zone d'entrecroisement

La zone d'entrecroisement correspond à la fusion des voies d'accélération et de décélération. Cette situation se retrouve principalement dans un échangeur en trèfle sans voie de service entre les bretelles indirectes (ou boucles) d'entrée et de sortie. Ce type de voie de changement de vitesse est généralement plus à risque puisqu'il implique un nombre plus élevé de mouvements conflictuels. Les conducteurs désirant sortir de l'autoroute sont dans une certaine mesure en concurrence avec ceux désirant entrer sur cette même autoroute. Il existe plusieurs variables pouvant influencer les accidents dans une zone d'entrecroisement. La liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents autoroutiers pour cet élément géométrique est présentée au Tableau 3-16. Les zones du tableau qui n'indiquent pas le symbole « x » signifient qu'aucune information n'a été trouvée dans la littérature consultée. Ce tableau pourrait être parachevé dans une étape ultérieure à la présente recherche. Il présente malgré tout la liste exhaustive des variables possibles même si, en pratique, peu de celles-ci ont réellement été étudiées et encore moins intégrées dans des modèles. Les plus importantes demeurent la longueur de la zone d'entrecroisement et le DJMA s'entrecroisant. Les auteurs de la principale publication qui traitent spécifiquement des voies de changement de vitesse et des bretelles (Bauer & Harwood, 1998) réfèrent aux études de Cirillo à la fin des années soixante pour cet élément.

Tableau 3-16: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à la zone d'entrecroisement d'un échangeur

Liste des variables indépendantes traitées dans la littérature	Discussion	Analyse	Significance	Modèle(s)
Longueur de la zone d'entrecroisement	x	x	x	
Présence de voie de service				
DJMA dans la bretelle d'entrée	x	x	x	x
DJMA dans la bretelle de sortie	x	x	x	x
DJMA sur l'autoroute en amont de la zone d'entrecroisement	x	x	x	x
Milieu urbain ou rural				
Type de bretelle d'entrée	x	x		
Type de bretelle de sortie	x	x		
Nombre de voies à la sortie et à l'entrée des bretelles				
Largeur de voie d'accélération/décélération (zone d'entrecroisement)				
Nombre de voies sur l'autoroute vis-à-vis la zone d'entrecroisement				
Largeur des voies sur l'autoroute vis-à-vis la zone d'entrecroisement				
Largeur des accotements				
Type d'accotements (asphalté, bande rugueuse, etc.)				
Type de bande médiane sur l'autoroute				
Largeur de la bande médiane sur l'autoroute				
Vitesse affichée sur l'autoroute vis-à-vis la zone d'entrecroisement				
Vitesse pratiquée sur l'autoroute vis-à-vis la zone d'entrecroisement				
Vitesse affichée dans la bretelle d'entrée				
Vitesse pratiquée dans la bretelle d'entrée				
Vitesse affichée dans la bretelle de sortie				
Vitesse pratiquée dans la bretelle de sortie				
Type de musoir				
Densité (v/c) sur l'autoroute en amont de la zone d'entrecroisement				
Densité (v/c) dans la bretelle d'entrée				
Densité (v/c) dans la bretelle de sortie				
Signalisation verticale				
Signalisation horizontale (marquage)				
Distance de visibilité				
Conditions lumineuses				
Type de revêtement de chaussée (asphalte ou béton)				
État de la chaussée				

Longueur de la zone d'entrecroisement

D'après ce que rapportent Bauer & Harwood (1998), une augmentation de la longueur de la zone d'entrecroisement engendre une diminution du nombre d'accidents.

DJMA dans la bretelle d'entrée et dans la bretelle de sortie

Bauer & Harwood (1998) rapportent aussi qu'une augmentation du DJMA s'entrecroisant (c'est-à-dire le DJMA sur la bretelle d'entrée additionné au DJMA sur la bretelle de sortie subséquente) provoque une augmentation du nombre d'accidents. Le modèle de Foody & Wray (1975) présenté un peu plus loin semble également aller en ce sens, sauf lorsque sont combinés le DJMA

sur la bretelle de sortie et celui sur l'autoroute en amont de la zone d'entrecroisement où le nombre d'accidents prédit est alors diminué.

DJMA sur l'autoroute en amont de la zone d'entrecroisement

Selon le modèle de Foody & Wray (1975), une hausse du DJMA sur l'autoroute en amont de la zone d'entrecroisement aurait un impact également à la hausse sur les accidents sauf lorsque combiné avec le DJMA sur la bretelle de sortie.

Type de bretelles

Hauer & Persaud (1996) quantifient l'impact de la configuration des bretelles sur les taux d'accidents dans la zone d'entrecroisement. Les configurations les plus dangereuses, selon eux, seraient les bretelles à gauche, les bretelles directes d'une trompette et les bretelles indirectes ou directes d'un échangeur en trèfle sans voie de service. En guise d'exemple, comparativement à une bretelle d'un échangeur en losange, la bretelle directe d'un échangeur en trèfle sans voie de service engendre un taux d'accident de plus de trente accidents par cent millions de véh-milles.

Modélisation

Foody & Wray (1975) ont développé un modèle pour prédire le nombre d'accidents dans une zone d'entrecroisement incluant la moitié de la longueur de la voie d'accélération et la moitié de la longueur de la voie de décélération d'un échangeur en trèfle. Ce modèle est présenté ci-dessous.

$$Y = 0{,}116565 + 0{,}0000056X_6X_1 - 0{,}0000167X_4X_1 + 0{,}001806X_1 \ (R^2 = 0{,}656)$$

où Y = Nombre d'accidents toutes gravités prédit par année;

X_1 = Débit entrant (de pointe, sens unique, DJM) (en véh/jour);

X_4 = DJM de pointe sur la bretelle de sortie (en véh/jour);

X_6 = DJM de pointe sur la bretelle d'entrée (en véh/jour);

R^2 = Coefficient de corrélation multiple.

Les variables de ce modèle ne sont pas expliquées clairement dans la référence. Une certaine confusion persiste notamment quant à l'utilisation du terme « de pointe » (ou *peak ADT* en anglais) ou au niveau du débit entrant de pointe en sens unique. Il est également difficile de saisir la différence entre les variables X_1 et X_6. L'hypothèse effectuée pour construire le Tableau 3-16 est que la variable X_1 serait en fait le débit sur l'autoroute en amont de la zone d'entrecroisement. Le lecteur est toutefois invité à consulter Foody & Wray (1975) pour interpréter correctement ce modèle.

Dans la littérature plus récente, un intérêt persiste pour cet élément particulier, mais la recherche en ce sens ne semble pas avoir encore été fructueuse puisque, selon Torbic & al. (2007b), le besoin demeure (voir Tableau 3-25).

3.5 Bretelle proprement dite (directe ou indirecte)

3.5.1 Entrée (à partir d'une rue ou route), bretelle indirecte

Il existe plusieurs variables pouvant influencer les accidents dans une bretelle d'entrée. La liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents autoroutiers pour cet élément géométrique est présentée au Tableau 3-17. Les zones du tableau qui n'indiquent pas le symbole « x » signifient qu'aucune information n'a été trouvée dans la littérature consultée. Ce tableau pourrait être parachevé dans une étape ultérieure à la présente recherche. Il présente malgré tout la liste exhaustive des variables possibles même si, en pratique, peu de celles-ci ont réellement été étudiées et encore moins intégrées dans des modèles. Les plus importantes demeurent la configuration de la bretelle, sa longueur, le milieu et le DJMA sur la bretelle.

Le détail de l'impact et une analyse de sensibilité des variables du Tableau 3-17 sont présentés dans la section *Modélisation* qui suit.

Tableau 3-17: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à une bretelle d'entrée d'autoroute

Liste des variables indépendantes traitées dans la littérature	Discussion	Analyse	Signifiance	Modèle(s)
Type de bretelle	x	x	x	x
Longueur de bretelle	x	x	x	x
Rayon ou degré de courbure de la bretelle				
Type de courbe (présence de spirale)				
Milieu urbain ou rural	x	x	x	x
DJMA dans la bretelle d'entrée	x	x	x	x
Proportion de véhicules lourds dans la bretelle				
Nombre de voies dans la bretelle				
Largeur des voies dans la bretelle				
Largeur des accotements dans la bretelle				
Type d'accotements (asphalté, bande rugueuse, etc.)				
Présence de délinéateurs dans la bretelle				
Dévers dans la bretelle				
Présence de pente				
Vitesse affichée				
Vitesse pratiquée				
Signalisation verticale				
Signalisation horizontale (marquage)				
Distance de visibilité				
Conditions lumineuses				
Type de revêtement de chaussée (asphalte ou béton)				
État de la chaussée				
Densité (v/c)				

Configuration des bretelles

La configuration des bretelles d'entrée joue un rôle non négligeable au niveau de la sécurité dans un échangeur. La Figure 3.29 présente les taux d'accidents associés à quelques types de bretelles couramment rencontrées sur le terrain (données et analyses datant des années 60).

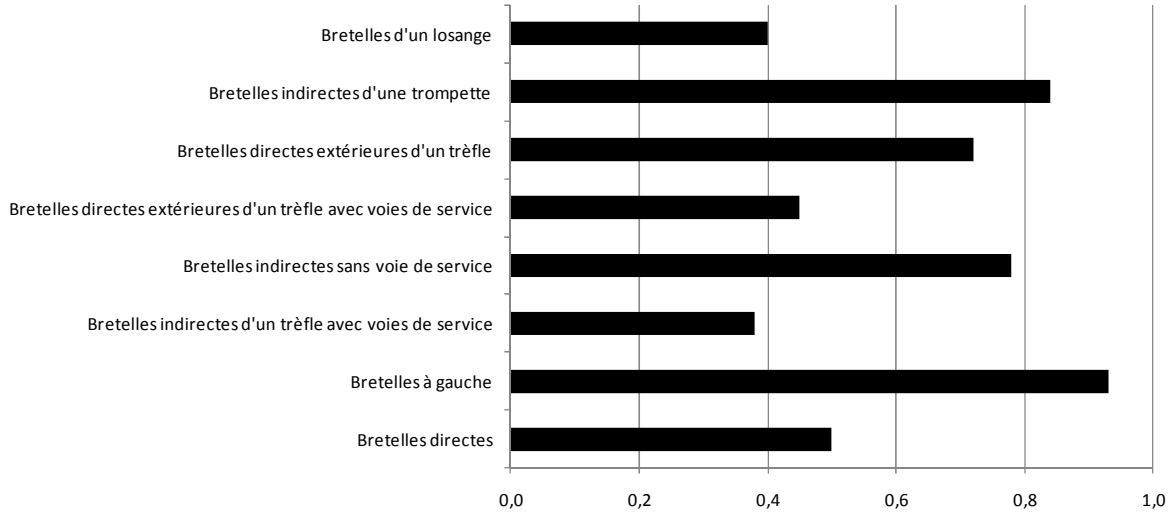


Figure 3.29: Taux d'accidents (nombre d'accidents par millions de véhicules) en fonction de différentes configurations de bretelles d'entrée, Leisch & al. (1982)

Cette figure suggère que la bretelle d'entrée à gauche serait la configuration la plus dangereuse, suivie de la bretelle indirecte d'une trompette et de la bretelle indirecte sans voie de service. Les types les moins à risque seraient la bretelle d'un trèfle avec voie de service, la bretelle d'un losange et la bretelle directe extérieure d'un trèfle avec voie de service.

Modélisation

Cirillo, Dietz & Beatty (1969) exposent quelques modèles pour différentes configurations de bretelles, mais étant donné que tous leurs modèles présentent des R^2 plus faibles que 0,50, ils n'ont pas été retenus dans la synthèse du présent document.

Torbic & al. (2007b) présentent, quant à eux, un modèle récent qui prédit le nombre d'accidents sur la bretelle d'entrée d'une autoroute. Ce modèle est présenté ci-dessous. À la suite de l'équation sont présentés les coefficients et paramètres reliés au modèle (voir Tableau 3-18).

$$N = e^{a} \times AADT_{Ramp}{}^{b} \times RL$$

Tableau 3-18: Coefficients et paramètres du modèle présenté par Torbic & al. (2007b) pour une bretelle d'entrée

Milieu	Configuration	Gravité	a	b	DJMA Max (véh/jour)
R ou U	LOS	TOT	-8,28	1,03	24 966
R ou U	BTP ou BTÉL	TOT	-2,11	0,43	20 403
R ou U	LOS	MB	-14,40	1,61	24 966
R ou U	BTP ou BTÉL	MB	-3,37	0,44	20 403

où N = Prédiction du nombre d'accidents par mille par année;

$AADT_{Ramp}$ = $DJMA_{Bretelle}$, DJMA sur la bretelle d'entrée (en véh/jour);

RL = Longueur de la bretelle (ramp length) (en milles);

R = Rural; U = Urbain;

TOT = Toutes gravités; MB = Accidents mortels et/ou avec blessé(s);

LOS = Bretelle en losange;

BTP = Bretelle en trèfle partiel;

BTÉL = Bretelle en trèfle à écoulement libre;

a = Coefficient d'interception logarithmique;

b = Coefficient associé au débit sur la bretelle;

DJMA Max = Limite maximale du DJMA pour que le modèle demeure valable.

La figure qui suit (Figure 3.30) présente une analyse de la sensibilité des paramètres de l'équation.

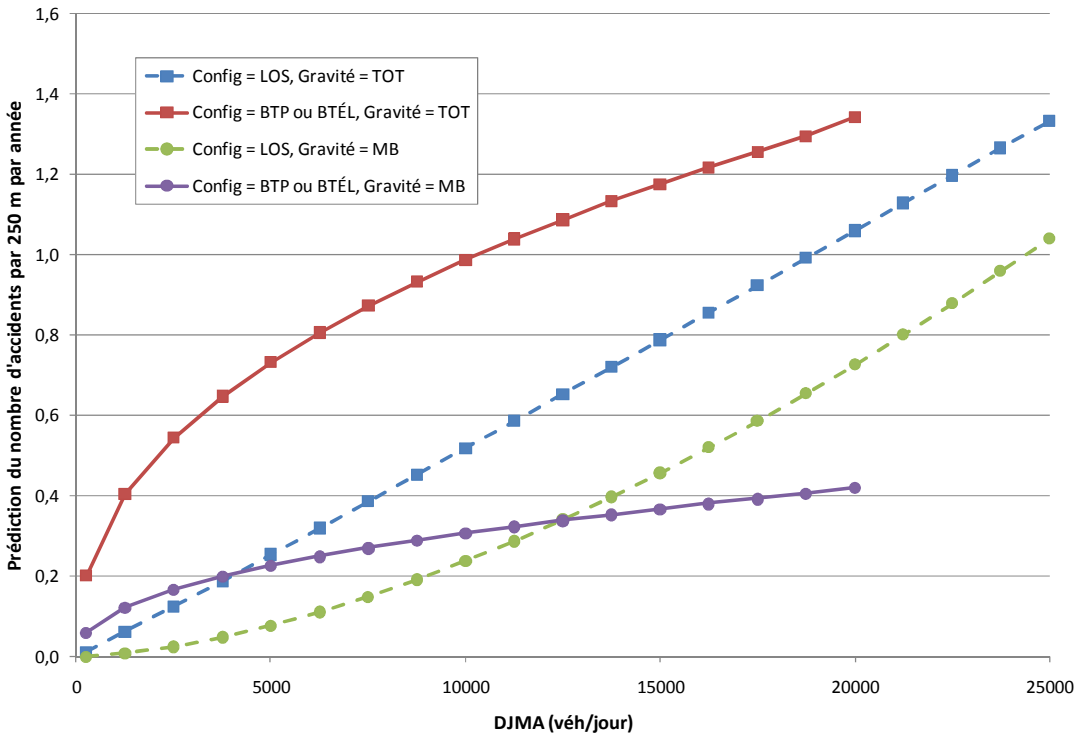


Figure 3.30: Prédiction du nombre d'accidents par année en milieu rural ou urbain sur une bretelle proprement dite d'entrée en fonction de sa configuration et de la gravité des accidents pour une longueur fixe de 250 m et un DJMA variable

De cette figure, il est possible de constater que la relation entre les accidents et le DJMA est considérablement différente selon la configuration de la bretelle. En effet, à des débits faibles, une légère augmentation du DJMA engendre une forte croissance des accidents mortels et/ou avec blessés dans le cas de la bretelle d'un échangeur en trèfle partiel ou en trèfle à écoulement libre. Cette tendance est encore plus forte dans le cas des accidents toutes gravités. À l'inverse, une grande augmentation du DJMA est nécessaire pour une légère croissance du nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés dans le cas d'une bretelle d'un échangeur en losange. Le taux d'augmentation des accidents toutes gravités pour une bretelle d'un échangeur en losange est, quant à lui, relativement linéaire. De par l'écart entre les courbes, il est finalement possible de dénoter un plus grand nombre d'accidents à dommage matériel seulement pour la configuration en losange que pour celle en trèfle partiel ou en trèfle à écoulement libre. Encore une fois, à des débits élevés, il faut prévoir une perte quant à la fiabilité d'un tel modèle. En effet, un débit de 25 000 véhicules par jour sur une bretelle (très souvent à une seule voie), par

exemple, impliquerait qu'elle soit à saturation pratiquement toute la journée. De telles conditions peuvent modifier le comportement accidentogène de la route (à cause notamment des vitesses pratiquées faibles).

3.5.2 Sortie (vers une rue ou route), bretelle indirecte

Il existe plusieurs variables pouvant influencer les accidents dans une bretelle de sortie. La liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents autoroutiers pour cet élément géométrique est présentée au Tableau 3-19. Les zones du tableau qui n'indiquent pas le symbole « x » signifient qu'aucune information n'a été trouvée dans la littérature consultée. Ce tableau pourrait être parachevé dans une étape ultérieure à la présente recherche. Il présente malgré tout la liste exhaustive des variables possibles même si, en pratique, peu de celles-ci ont réellement été étudiées et encore moins intégrées dans des modèles. Les plus importantes demeurent la configuration de la bretelle, sa longueur, le milieu et le DJMA sur la bretelle.

Le détail de l'impact et une analyse de sensibilité des variables du Tableau 3-19 sont présentés dans la section *Modélisation* qui suit.

Tableau 3-19: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à une bretelle de sortie d'autoroute

Liste des variables indépendantes traitées dans la littérature	Discussion	Analyse	Significance	Modèle(s)
Type de bretelle	x	x	x	x
Longueur de bretelle	x	x	x	x
Rayon ou degré de courbure de la bretelle				
Type de courbe (présence de spirale)				
Milieu urbain ou rural	x	x	x	x
DJMA dans la bretelle de sortie	x	x	x	x
Proportion de véhicules lourds dans la bretelle				
Nombre de voies dans la bretelle				
Largeur des voies dans la bretelle				
Largeur des accotements dans la bretelle				
Type d'accotements (asphalté, bande rugueuse, etc.)				
Présence de délinéateurs dans la bretelle				
Dévers dans la bretelle				
Présence de pente				
Vitesse affichée				
Vitesse pratiquée				
Signalisation verticale				
Signalisation horizontale (marquage)				
Distance de visibilité				
Conditions lumineuses				
Type de revêtement de chaussée (asphalte ou béton)				
État de la chaussée				
Densité (v/c)				

Configuration des bretelles

La configuration des bretelles de sortie, comme pour les bretelles d'entrée, joue un rôle qui n'est pas négligeable au niveau de la sécurité dans un échangeur. La Figure 3.31 présente les taux d'accidents associés à quelques types de bretelles de sortie couramment rencontrées sur le terrain. Ces données et analyses datent des années 60 et ont été reprises par Leisch & al. (1982).

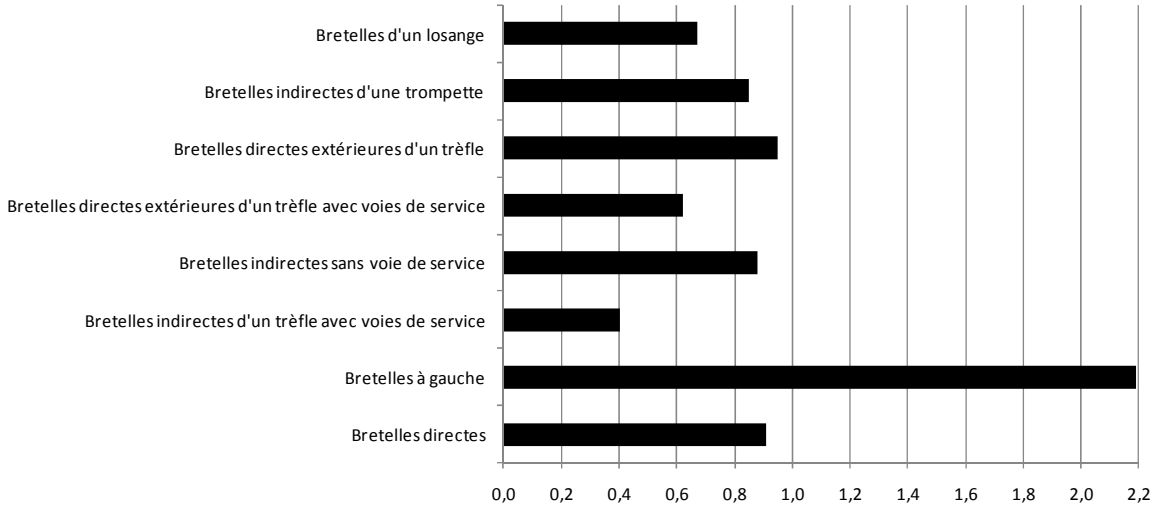


Figure 3.31: Taux d'accidents (nombre d'accidents par million de véhicules) en fonction de différentes configurations de bretelles de sortie, Leisch & al. (1982)

Comme pour la bretelle d'entrée, la bretelle de sortie à gauche correspond à la configuration engendrant le plus haut taux d'accidents. L'écart par rapport aux autres types est cependant encore plus marqué pour la bretelle de sortie que celle d'entrée (taux d'accidents qui s'élève à plus que le double de tous les autres types). La bretelle indirecte d'un échangeur en trèfle avec voie de service est, quant à elle, la moins à risque suivi de la bretelle indirecte extérieure d'un trèfle avec voie de service et de la bretelle d'un losange.

Modélisation

Cirillo, Dietz & Beatty (1969) exposent quelques modèles pour différentes configurations de bretelles, mais étant donné que tous leurs modèles présentent des R^2 plus faibles que 0,50, ils n'ont pas été retenus dans la synthèse du présent document.

Torbic & al. (2007b) présentent, quant à eux, un modèle récent qui prédit le nombre d'accidents sur la bretelle de sortie d'une autoroute. Ce modèle est présenté ci-dessous. À la suite de l'équation sont présentés les coefficients et paramètres reliés au modèle (voir Tableau 3-20).

$$N = e^{a} \times AADT_{Ramp}{}^{b} \times RL$$

Tableau 3-20: Coefficients et paramètres du modèle présenté par Torbic & al. (2007b) pour une bretelle de sortie

Milieu	Configuration	Gravité	a	b	DJMA Max (véh/jour)
R ou U	LOS	TOT	-3,17	0,45	22 566
R ou U	BTP ou BTÉL	TOT	-4,50	0,73	22 538
R ou U	LOS	MB	-6,88	0,78	22 566
R ou U	BTP ou BTÉL	MB	-3,63	0,53	22 538

où N = Prédiction du nombre d'accidents par mille par année;

$AADT_{Ramp}$ = $DJMA_{Bretelle}$, DJMA sur la bretelle de sortie (en véh/jour);

RL = Longueur de la bretelle (ramp length) (en milles);

R = Rural; U = Urbain;

TOT = Toutes gravités; MB = Accidents mortels et/ou avec blessé(s);

LOS = Bretelle en losange;

BTP = Bretelle en trèfle partiel;

BTÉL = Bretelle en trèfle à écoulement libre;

a = Coefficient d'interception logarithmique;

b = Coefficient associé au débit sur la bretelle;

DJMA Max = Limite maximale du DJMA pour que le modèle demeure valable.

La figure qui suit (Figure 3.32) présente une analyse de la sensibilité des paramètres de l'équation.

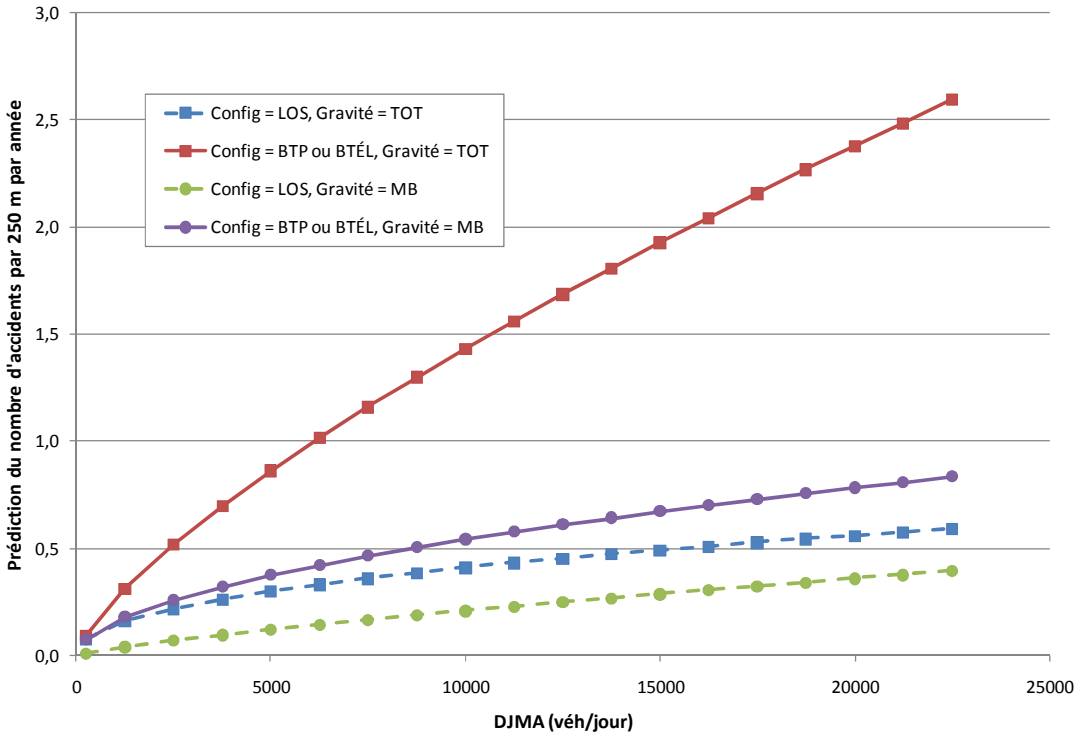


Figure 3.32: Prédiction du nombre d'accidents par année en milieu rural ou urbain sur une bretelle proprement dite de sortie en fonction de sa configuration et de la gravité des accidents pour une longueur fixe de 250 m et un DJMA variable

Contrairement aux bretelles d'entrée, la relation entre les accidents et le DJMA sur les bretelles de sortie est relativement semblable d'une configuration à l'autre (la forme des courbes sur la Figure 3.32 se ressemble). Le type de bretelle en trèfle partiel ou en trèfle à écoulement libre tend à engendrer plus d'accidents que pour une bretelle d'un échangeur en losange, peu importe le débit. Le nombre d'accidents à dommage matériel seulement est également plus important pour la bretelle d'un trèfle partiel ou trèfle à écoulement libre et à des débits élevés. En effet, le taux de croissance des accidents par rapport au DJMA est bien plus élevé pour cette configuration de bretelle et pour toutes gravités comparativement au taux relié aux accidents mortels et/ou avec blessés.

3.5.3 Autoroute à autoroute (ou artère/collectrice importante), bretelle directe

Il existe plusieurs variables pouvant influencer les accidents dans une bretelle d'autoroute à autoroute (ou artère/collectrice importante). La liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents autoroutiers pour cet élément géométrique est présentée au Tableau 3-21. Les zones du tableau qui n'indiquent pas le symbole « x » signifient qu'aucune information n'a été trouvée dans la littérature consultée. Ce tableau pourrait être parachevé dans une étape ultérieure à la présente recherche. Il présente malgré tout la liste exhaustive des variables possibles même si, en pratique, peu de celles-ci ont réellement été étudiées et encore moins intégrées dans des modèles. Les plus importantes demeurent la configuration de la bretelle, sa longueur, le milieu et le DJMA sur la bretelle.

Le détail de l'impact et une analyse de sensibilité des variables du Tableau 3-21 est présenté dans la section *Modélisation* qui suit.

Tableau 3-21: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à une bretelle d'autoroute à d'autoroute (ou artère/collectrice importante)

Liste des variables indépendantes traitées dans la littérature	Discussion	Analyse	Signifiance	Modèle(s)
Type de bretelle	x	x	x	x
Type de route principale				
Type de route secondaire				
Longueur de bretelle	x	x	x	x
Rayon ou degré de courbure de la bretelle				
Type de courbe (présence de spirale)				
DJMA dans la bretelle d'autoroute à autoroute	x	x	x	x
Milieu urbain ou rural	x	x	x	x
Proportion de véhicules lourds dans la bretelle				
Nombre de voies dans la bretelle				
Largeur des voies dans la bretelle				
Largeur des accotements dans la bretelle				
Type d'accotements (asphalté, bande rugueuse, etc.)				
Présence de délinéateurs dans la bretelle				
Dévers dans la bretelle				
Présence de pente				
Vitesse affichée				
Vitesse pratiquée				
Signalisation verticale				
Signalisation horizontale (marquage)				
Distance de visibilité				
Conditions lumineuses				
Type de revêtement de chaussée (asphalte ou béton)				
État de la chaussée				
Densité (v/c)				

Modélisation

Cirillo, Dietz & Beatty (1969) exposent quelques modèles pour différentes configurations de bretelles, mais étant donné que tous leurs modèles présentent des R^2 plus faibles que 0,50, ils n'ont pas été retenus dans la synthèse du présent document.

Torbic & al. (2007b) présentent, quant à eux, un modèle récent qui prédit le nombre d'accidents sur la bretelle directe qui relie deux autoroutes entre elles. Ce modèle est présenté ci-dessous. À la suite de l'équation sont présentés les coefficients et paramètres reliés au modèle (voir Tableau 3-22).

$$N = e^{a} \times AADT_{Ramp}{}^{b} \times RL$$

Tableau 3-22: Coefficients et paramètres du modèle présenté par Torbic & al. (2007b) pour une bretelle d'autoroute à autoroute

Milieu	Configuration	Gravité	a	b	DJMA Max (véh/jour)
R ou U	DIR	TOT	-1,80	0,45	37 474
R ou U	DIR	MB	-2,80	0,46	37 474

où N = Prédiction du nombre d'accidents par mille par année;

$AADT_{Ramp}$ = $DJMA_{Bretelle}$, DJMA sur la bretelle d'autoroute à autoroute (en véh/jour);

RL = Longueur de la bretelle (ramp length) (en milles);

R = Rural; U = Urbain;

TOT = Toutes gravités; MB = Accidents mortels et/ou avec blessé(s);

a = Coefficient d'interception logarithmique;

b = Coefficient associé au débit sur la bretelle;

DJMA Max = Limite maximale du DJMA pour que le modèle demeure valable.

La figure qui suit (Figure 3.33) présente une analyse de la sensibilité des paramètres de l'équation.

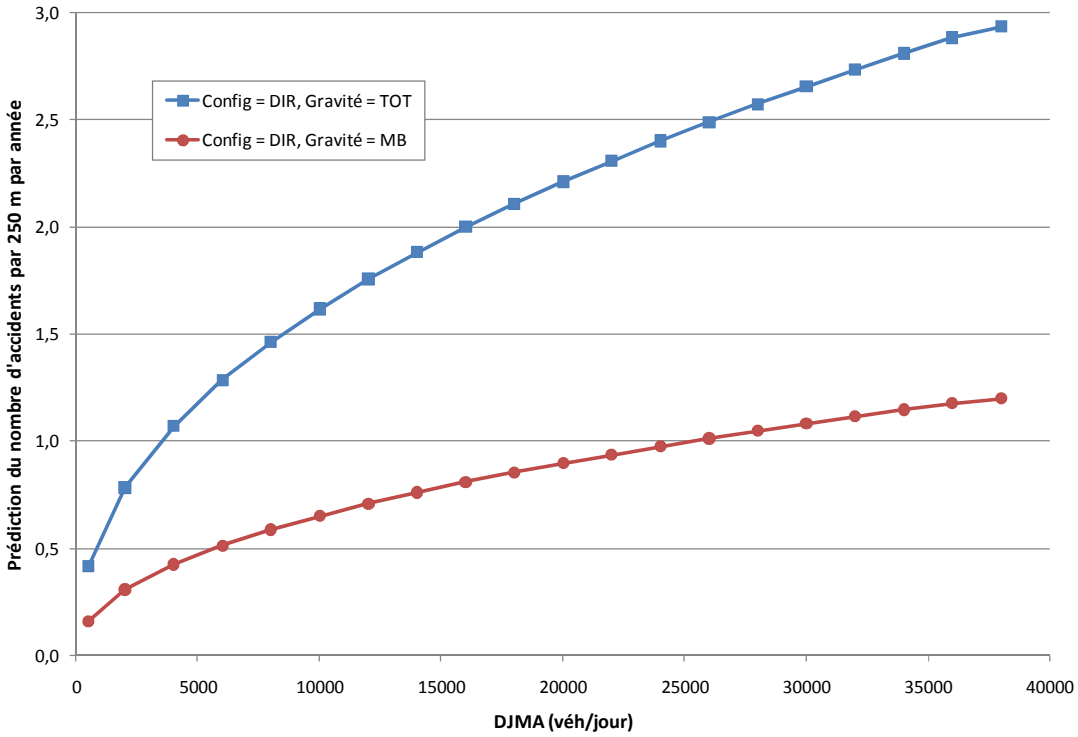


Figure 3.33: Prédiction du nombre d'accidents par année en milieu rural ou urbain sur une bretelle proprement dite d'autoroute à autoroute en fonction de sa configuration et de la gravité des accidents pour une longueur fixe de 250 m et un DJMA variable

Cette figure illustre la relation entre le nombre d'accidents prédit par le modèle, le DJMA, la configuration de la bretelle d'autoroute à autoroute et la gravité des accidents. De celle-ci, il est possible de remarquer une hausse de la proportion des accidents à dommage matériel seulement en augmentant le débit. Par ailleurs, les valeurs absolues du nombre d'accidents prédit selon le DJMA pour cette configuration sont comparables à celles d'une bretelle de sortie d'un échangeur en trèfle partiel ou en trèfle à écoulement libre (voir Figure 3.32). Il faut noter enfin que la limite du modèle est augmentée ici, considérant qu'il est plus probable de retrouver des bretelles à deux voies lorsqu'il s'agit d'une transition d'autoroute à autoroute.

3.6 Autres combinaisons d’éléments

3.6.1 Bretelle proprement dite et voie de changement de vitesse (voie d’accélération ou de décélération)

La liste suivante (voir Tableau 3-23) présente la série des paramètres potentiels et identifie les quelques-uns intégrés dans les modèles selon la littérature consultée. Les zones du tableau qui n’indiquent pas le symbole « x » signifient qu’aucune information n’a été trouvée dans la littérature consultée. Ce tableau pourrait être parachevé dans une étape ultérieure à la présente recherche.

Tableau 3-23: Liste des variables potentielles ayant un impact sur les accidents reliés à une bretelle d'autoroute combinée à sa voie de changement de vitesse

Liste des variables indépendantes traitées dans la littérature	Discussion	Analyse	Significance	Modèle(s)
Type de voie de changement de vitesse (en biseau ou en parallèle)				
Présence de voie de service				
DJMA dans la bretelle	x	x	x	x
DJMA sur l'autoroute	x	x	x	x
Milieu urbain ou rural	x	x	x	x
Proportion de véhicules lourds sur la bretelle				
Proportion de véhicules lourds sur l'autoroute				
Nombre de voies sur l'autoroute				
Largeur des voies sur l'autoroute				
Nombre de voies sur la bretelle/voie de changement de vitesse				
Largeur des accotements dans la bretelle				
Type d'accotements (asphalté, bande rugueuse, etc.)				
Largeur des voies sur la bretelle/voie de changement de vitesse				
Type de bande médiane sur l'autoroute				
Largeur de la bande médiane sur l'autoroute				
Présence de délinéateurs dans la bretelle				
Type de bretelle	x	x	x	x
Longueur de la bretelle	x	x	x	x
Longueur de la voie d'accélération	x	x	x	x
Alignement horizontal de la voie de changement de vitesse				
Alignement horizontal de la bretelle				
Alignement vertical de la voie de changement de vitesse				
Alignement vertical de la bretelle				
Dévers sur la voie de changement de vitesse				
Vitesse affichée dans la bretelle				
Vitesse pratiquée dans la bretelle				
Vitesse affichée sur l'autoroute				
Vitesse pratiquée sur l'autoroute				
Type de musoir				
Signalisation verticale				
Signalisation horizontale (marquage)				
Dispositif de contrôle pour l'accès à l'autoroute				
Côté de l'entrée (droit ou gauche de l'autoroute)				
Distance de visibilité				
Conditions lumineuses				
Angle de convergence				
Type de revêtement de chaussée (asphalte ou béton)				
État de la chaussée				
Densité (v/c) dans la bretelle				
Densité (v/c) sur l'autoroute				

Modélisation

Bauer & Harwood (1998) présentent deux modèles pour prédire le nombre d'accidents sur la bretelle proprement dite combinée à la voie de changement de vitesse (par voie de changement de vitesse, on entend voie d'accélération ou voie de décélération). Le premier permet de calculer le nombre total d'accidents. Ce modèle est repris intégralement par Bared, Girering & Warren (1999). Le second permet de calculer le nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés. Ces modèles sont décrits ci-dessous.

Nombre total d'accidents :

$$N_{TOT} = RT^{0,78} \times FAT^{0,13} \times e^{-7,27+0,45DIA+0,78PAR-0,02FF+0,69OC\times0,37RUR+0,37DECEL-2,59SCLL+1,62RL}$$

Nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés :

$$N_{FI} = RT^{0,87} \times FAT^{0,23} \times e^{-9,67-0,26RUR+0,48DECEL-4,42SCLL+2,85RL}$$

où N_{TOT} = Nombre d'accidents total prédit selon Bauer & Harwood (1998);

N_{FI} = Nombre d'accidents mortels et/ou avec blessés prédit selon Bauer & Harwood (1998);

RT = DJMA sur la bretelle (Ramp Traffic) véh/jour;

FAT = DJMA sur l'autoroute principale dans la direction analysée (Mainline Freeway Traffic) en véh/jour;

DIA = 1 si la bretelle est de type losange (Diamond), 0 dans le cas contraire;

PAR = 1 si la bretelle est une boucle de type trèfle partiel (Partial Cloverleaf Loop), 0 dans le cas contraire;

FF = 1 si la bretelle est une boucle directe à écoulement libre, 0 dans le cas contraire;

OC = 1 si la bretelle est de type direct extérieur, 0 dans le cas contraire;

RUR = 1 si le milieu est rural; 0 si le milieu est urbain;

DECEL = 1 s'il s'agit d'une sortie d'autoroute, 0 s'il s'agit d'une entrée d'autoroute;

SCLL = Longueur de la voie de changement de vitesse (Speed-Change Lane Length) en milles;

RL = Longueur de la bretelle (Ramp Length) en milles.

Ces modèles n'ont pas été étudiés plus en détail dans le cadre de la présente recherche, l'objectif étant plutôt axé sur les découpages plus spécifiques que les combinaisons d'éléments.

3.6.2 Autoroute dans son ensemble, éléments non spécifiés

Certaines références analysent le comportement accidentogène des autoroutes de façon globale et sans identifier d'élément géométrique spécifique. C'est le cas notamment de certaines sources portant sur les CRF ou AMF. Bahar, Masliah, Wolff & Park (2007), par exemple, quantifient l'impact de différentes interventions sur les autoroutes, mais sans spécifier clairement à quel élément géométrique de l'autoroute est associé le changement au niveau du nombre d'accidents prédit. Cette approche permet d'évaluer les grandes tendances et offre un regard plus général sur la dangerosité des autoroutes. La liste suivante (voir Tableau 3-24), construite en partie avec les variables présentées dans la littérature, présente la série de paramètres principaux pour une autoroute dans son ensemble. Les variables fondamentales (espace et temps) de cette approche sont examinées au Chapitre 4 pour les données d'accidents autoroutiers du Québec.

Tableau 3-24: Liste des variables ayant potentiellement un impact sur le nombre d'accidents sur une autoroute dans son ensemble

1.Type d'échangeur	19.Dévers
2.Présence de voies de service	20.Pente moy, max, min
3.Dimensions de l'échangeur	21.Longueur courbe verticale
4.DJMA sur tronçon autoroutier	22.Rayon de courbure moy, max, min
5.DJMA entrant ou sortant d'un échangeur	23.Longueur courbe horizontale
6.Milieu (urbain ou rural)	24.Type de courbe (présence de spirale)
7.Longueur du tronçon	25.Distance de visibilité moy, max, min
8.Type de surface (béton ou asphalte)	26.Vitesse pratiquée moy, max, min, 85e centile
9.Proportion de véhicules lourds (jour et nuit)	27.Vitesse affichée
10.Densité de commerces sur la route transversale	28.Présence de dispositifs d'éclairage de nuit
11.Nombre de voies	29.Intensité des dispositifs d'éclairage de nuit
12.Largeur des voies	30.Type de bretelle
13.Type d'accotements	31.Type de voie de changement de vitesse
14.Largeur des accotements	32.Type de musoir
15.Type de bande médiane sur l'autoroute	33.Angle de convergence
16.Largeur de la bande médiane	34.Côté de l'entrée ou de la sortie (gauche ou droit)
17.Type de route secondaire transversale	35.Signalisation verticale (panneaux)
18.Densité (v/c) moy, max, min	36.Signalisation horizontale (marquage)
	37.Dispositif de contrôle à l'extrémité de la bretelle

3.7 Résumé de la littérature consultée et état actuel de la recherche

En examinant de plus près la littérature traitant des relations entre la géométrie des autoroutes et les accidents, il est possible de constater qu'elle demeure limitée. En fait, la grande majorité des sources trouvées proviennent des États-Unis. Une première vague d'auteurs s'est intéressée au sujet dans les environs des années soixante-dix, mais leurs analyses, modèles et données de base étaient bien souvent limités par la technologie de l'époque. De plus, de nombreux changements sont survenus à travers le temps au niveau du comportement des conducteurs en réponse à l'augmentation du débit de circulation sur les autoroutes et face aux réglementations plus strictes. Il est donc difficile de transposer directement les conclusions de ces références au territoire québécois et à l'ère d'aujourd'hui. Quelques analyses demeurent toutefois pertinentes non pas quantitativement, mais pour leurs tendances générales. Ces études permettent également de voir l'évolution des accidents à travers le temps en fonction de divers paramètres reliés aux autoroutes. Les deux références principales retenues de cette vague sont *Analysis and Modeling of Relationships Between Accidents and the Geometric and Traffic Characteristics of the Interstate System* (Cirillo, Dietz, & Beatty, 1969) et *Synthesis of Safety Research Related to Traffic Control and Roadway Elements, Volume 1, Chapter 6 – Interchanges (Leisch, Neuman, Leisch, Hess, & Rosenbaum, 1982).*

Tout récemment est apparue une seconde vague de quelques auteurs démontrant un nouvel intérêt pour le sujet. Encore une fois basées sur des données états-uniennes, ces analyses ont été, pour la plupart, rassemblées dans l'objectif de concevoir un outil informatique utilisable par les gestionnaires et les concepteurs du réseau afin de mieux connaître et d'améliorer le niveau de sécurité des autoroutes et de leurs échangeurs. Cet outil, appelé ISAT (*Interchange Safety Analysis Tool*), permet de générer le nombre d'accidents à prévoir sur une autoroute ou un échangeur en fonction de la gravité, du type de collision et selon un découpage d'éléments géométriques précis. Il peut être calibré en fonction de l'historique des accidents d'un site en particulier. ISAT est toutefois encore en cours de développement et certains éléments et types d'échangeurs n'ont pas encore intégré son interface. Deux références principales sont retenues pour cette vague plus récente. La première expliquant le fondement d'ISAT et traitant de l'état actuel de la recherche sur la sécurité des autoroutes et de leurs échangeurs est *Safety Analysis of*

Interchanges (Torbic, Harwood, Gilmore, & Richard, 2007b). La deuxième traitant très spécifiquement des bretelles et voies de changement de vitesse est *Statistical Models of Accidents on Interchange Ramps and Speed-Change Lanes* (Bauer & Harwood, 1998). Pour mieux cerner les manquements actuels en recherche sur le sujet, Torbic & al. proposent une synthèse des besoins en recherche pour complémenter ISAT et évalue le temps de recherche nécessaire ainsi que le financement recommandé en dollars américains pour ces étapes (voir Tableau 3-25). Le lecteur est invité à consulter l'appendice A de *Safety Analysis of Interchanges* (Torbic, Harwood, Gilmore, & Richard, 2007b) pour plus de précisions concernant les éléments du Tableau 3-25.

Tableau 3-25: Besoins en recherche pour complémenter ISAT, adapté de Torbic & al. (2007b)

SUJETS DE RECHERCHE	Financement recommandé (milliers de US $)	Temps requis (mois)
Segments principaux d'autoroutes		
Développer des SPF plus performants pour certains types de segments principaux d'autoroutes	15	2
Développer une méthodologie pour tenir compte de l'espacement des échangeurs	25	4
Bretelles proprement dites		
Développer des SPF plus performants pour certaines configurations de bretelle	25	4
d'accélération	10	2
Développer des SPF pour des configurations additionnelles de bretelle	10	2
Déterminer l'impact de la longueur d'une voie de décélération sur la sécurité à la jonction entre une bretelle et une autoroute (et si nécessaire, développer des modèles pour l'élément géométrique "voie de décélération" tenant compte de sa longueur)	25	4
Déterminer la différence au niveau de la performance en sécurité entre une bretelle à gauche et à droite	20	4
Développer des SPF pour les zones d'entrecroisement	10	2
Développer des SPF pour les voies de service d'une autoroute	10 à 25	4
Intersection de bretelles avec la route transversale		
Développer des SPF plus performants pour les intersections de bretelles avec la route transversale à niveau	20	4
transversales	25	4
Route transversale		
Développer des SPF plus performants	20	4

Pour le Québec, les besoins en recherche sont plus fondamentaux. En effet, aucun modèle autoroutier n'a été développé spécifiquement pour son territoire. Essentiellement, une analyse globale des données sur le réseau autoroutier québécois pourrait être entreprise et comparée avec les résultats des références américaines. Les chapitres qui suivent proposent une première étape vers cet objectif en établissant une méthodologie d'analyse générale et d'analyse spécifique pour un élément géométrique.

Pour conclure ce chapitre, il faut noter qu'en guise de référence, il est possible de retrouver la bibliographie exhaustive reliée à la présente recherche à l'annexe 1.

CHAPITRE 4 CARACTÉRISATION DES ACCIDENTS AUTOROUTIERS DU QUÉBEC, MÉTHODOLOGIE ET EXPLORATION DES DONNÉES

4.1 Introduction à la caractérisation des accidents autoroutiers au Québec et méthodologie

Très peu d'études concernant les accidents autoroutiers ont été trouvées dans la littérature d'un point de vue global. Au Québec, la SAAQ présente annuellement le bilan des accidents (SAAQ, 2008a). Bien qu'il soit très riche en statistiques, l'analyse qui s'y trouve est limitée. Ce bilan sert plutôt à constater l'état de la situation et à suivre l'évolution des accidents à travers les années, ce qui n'est pas toujours directement utilisable pour les ingénieurs en sécurité routière qui tentent de comprendre concrètement le pourquoi des accidents. De plus, on n'y retrouve pas la différence entre les autoroutes et les routes. Pourtant, le comportement et les attentes des conducteurs sur les autoroutes sont de loin différents de ce qui se passe sur les routes. Des vitesses pratiquées et affichées plus élevées, une circulation généralement libre et continue, un nombre de conflits (véhicules-véhicules, véhicules-piétons ou cyclistes) inférieur et un design plus spacieux sont quelques exemples qui placent le réseau routier supérieur dans un domaine à part entière. Aucun modèle de prédiction d'accidents n'a d'ailleurs été trouvé s'appliquant simultanément aux routes et aux autoroutes de par leur dissemblance. Le présent chapitre vise à combler en partie cette absence en proposant une première analyse exploratoire des accidents autoroutiers au Québec. Il débute par une présentation des trois bases de données maîtresses : la source des analyses subséquentes. S'en suivent des explications concernant les différents traitements que doivent subir les données pour être en mesure de les analyser : jonction entre les différentes bases, filtration des données et élaboration de champs dérivés plus signifiants que ceux de base. Enfin, une analyse proprement dite est mise de l'avant incluant le calcul des indicateurs de sécurité routière ainsi qu'un regard spatial et temporel des données permettant de mettre en évidence certaines tendances quant aux accidents autoroutiers.

4.2 Présentation des données de base

4.2.1 Division des données

Pour étudier la dangerosité des autoroutes, il ne suffit pas d'utiliser directement les données d'accidents. En effet, il importe de connaître le contexte entourant un tel événement. Ce contexte comprend, dans un premier temps, l'information concernant le réseau ou l'environnement routier, c'est-à-dire l'autoroute proprement dite et ses propriétés. Il s'agit de la dimension « espace » du problème. En second lieu, le contexte inclut les renseignements qui caractérisent la circulation à l'endroit où survient l'accident. Considérant que la circulation peut varier à tout moment, il est possible d'associer cette catégorie à la dimension « temps » du problème. Les données de base étudiées dans le cadre de ce chapitre se catégorisent donc en trois groupes distincts :

- La base de données géographique routière (BDGR);
- La base de données des débits véhiculaires (BDDV);
- La base de données d'accidents autoroutiers (BDAA).

Ces bases de données sont décrites dans les sections qui suivent.

4.2.2 Base de données géographique routière

La première base de données (BDGR) est constituée à la source de deux fichiers tirés d'un outil appelé Base géographique routière (BGR). Cet outil correspond en fait à un programme de type SIG offert sur une plate-forme de serveur Web disponible sur l'Intranet du ministère des Transports (MTQ, 2002b). Ces données définissent l'ensemble du réseau routier « physique » du Québec. Elles sont segmentées en tronçons routiers formés par des séries de droites. Ces droites sont définies par une série de points référencés selon un système de coordonnées spatiales prédéfini. Le tableau qui suit (Tableau 4-1) présente un extrait du fichier qui décrit la localisation des points formant les droites qui, elles, forment les tronçons. Il définit tout d'abord le système de projection géographique, puis fixe la valeur des coordonnées de chaque point selon un découpage par droite et par tronçon. Dans le fichier, chaque début de tronçon est représenté par le terme « Pline » suivi d'un numéro d'identification unique, puis se termine par le terme descriptif « Pen () » attribuant des caractéristiques visuelles au tronçon (par exemple, une couleur distincte selon le type de route). Le code de ce fichier, lorsqu'ajouté dans un logiciel de SIG, crée donc des

éléments tronçons formés par des droites géométriques. Ce fichier est de type .mif (fichier d'échange du logiciel MapInfo) et se visualise avec Excel ou tout autre logiciel de traitement de texte comme Bloc-notes ou Wordpad.

Tableau 4-1: Extrait du fichier descriptif de la BDGR

```
Version 450
Charset "WindowsLatin1"
Delimiter ","
Index 2
CoordSys Earth Projection 3, 74, "m", -70, 44, 50, 46, 800000, 0 Bounds (-320882.991343, -161066.296703) (2096642.39505, 1488786.26594)
Columns 32
Data

Pline 3
353999.5167 176369.5421
353766.5059 176476.7924
353700.8641 176506.0682
   Pen (2,2,8388736)
Pline 2
353992.1674 176358.272
353693.2513 176495.4935
   Pen (2,2,8388736)
Pline 13
353700.8641 176506.0682
353663.4915 176522.8967
353515.6575 176581.5762
353258.0798 176680.1896
352709.0453 176890.1069
352675.7463 176902.5064
352634.4743 176916.3899
352598.2054 176925.7759
```

Tous les autres paramètres des éléments tronçons sont définis dans un second fichier de type .mid (autre fichier d'échange du logiciel MapInfo). Le Tableau 4-2 présente un extrait pour dix tronçons du fichier .mid lorsqu'il est extrait sous une forme tabulaire. Les champs sont définis à la suite du tableau. La signification de la majorité des champs provient du *Guide de la codification et du mesurage du réseau routier* (MTQ, 2002a). Les autres définitions tirent leur origine d'un examen manuel plus approfondi de la base de données. Il est à noter que chaque tronçon correspond à une ligne et que chaque paramètre correspond à une colonne du tableau. Ces données sont en réalité regroupées dans un seul et même tableau, mais ont été divisées en deux à des fins de présentation. Certains contenus de champs ont également été tronqués pour alléger le tableau. Pour préciser, à chaque ID (numéro d'identification unique) correspond en fait une seule ligne avec trente-deux paramètres qui lui sont associés.

Tableau 4-2: Extrait tabulaire du fichier paramétrique de la BDGR

ID	RTSS	Route	Troncon	Section	Code	Sequence	Sous_code	Cote_chaus	Nom	Longueur	Source_Mes	Cl_fonct	Auto_resp
1	0000501010000D	00005	01	010	0	0	0	D	AUTOROUTE DE LA GATINEAU	328	GPS	Autoroute	MTQ
2	0000501010000G	00005	01	010	0	0	0	G	AUTOROUTE DE LA GATINEAU	329	GPS	Autoroute	MTQ
3	0000501023000D	00005	01	023	0	0	0	D	AUTOROUTE DE LA GATINEAU	1436	GPS	Autoroute	MTQ
4	0000501023000G	00005	01	023	0	0	0	G	AUTOROUTE DE LA GATINEAU	1437	GPS	Autoroute	MTQ
5	000050102331A0	00005	01	023	3	1	A	0		422	GPS	Autoroute	MTQ
6	000050102331B0	00005	01	023	3	1	B	0		109	GPS	Autoroute	MTQ
7	000050102331C0	00005	01	023	3	1	C	0		626	GPS	Autoroute	MTQ
8	000050102331D0	00005	01	023	3	1	D	0		148	GPS	Autoroute	MTQ
9	000050102331E0	00005	01	023	3	1	E	0		735	GPS	Autoroute	MTQ
10	000050102331F0	00005	01	023	3	1	F	0		279	GPS	Autoroute	MTQ

ID	Type_Autor	DG	DT	CS	SC	Unite_resp	Loc_Debut	Loc_Fin
1	Gouvernement du Québe	58	89	07	00	Centre de services de Gatineau et coordin	Frontière Ontario/Québec (+/- centre du pont)	dernier joint au nord du pont sur la rivière des
2	Gouvernement du Québe	58	89	07	00	Centre de services de Gatineau et coordin	Frontière Ontario/Québec (+/- centre du pont)	Dernier joint au nord du pont sur la rivière des
3	Gouvernement du Québe	58	89	07	00	Centre de services de Gatineau et coordin	Dernier joint au nord du pont sur la rivière des C	C/L du viaduc de l'aut-50
4	Gouvernement du Québe	58	89	07	00	Centre de services de Gatineau et coordin	Dernier joint au nord du pont sur la rivière des C	C/L du viaduc sur l'aut-50
5	Gouvernement du Québe	58	89	07	00	Centre de services de Gatineau et coordin	Bout du musoir entre la bretelle 5-A et le boul F	Premier joint fixe du pont Hull/Ottawa (Mac.Do
6	Gouvernement du Québe	58	89	07	00	Centre de services de Gatineau et coordin	Début de l'élargissement à gauche sur le boul. F	Bout du musoir entre les bretelles 5-A et 5-B
7	Gouvernement du Québe	58	89	07	00	Centre de services de Gatineau et coordin	Dernier joint fixe du pont Ottawa/Hull (Mac.Dor	bout du musoir à droite entre les bretelles 5-C
8	Gouvernement du Québe	58	89	07	00	Centre de services de Gatineau et coordin	Début de l'élargissement dans la bretelle 5-G (la	Fin de l'élargissement, int. avec le boul. Sacré-(
9	Gouvernement du Québe	58	89	07	00	Centre de services de Gatineau et coordin	Joint Est du viaduc du boul. Fournier (viaduc sur	Fin de l'élargissement sur l'aut-5 Nord
10	Gouvernement du Québe	58	89	07	00	Centre de services de Gatineau et coordin	Bout du musoir entre la bretelle 5-F et le boul. F	Bout du musoir entre les bretelles 5-F et 5-E

Définition des champs

ID — Numéro d'identification unique du segment

RTSS — Code de sectionnement du réseau routier (« RouteTronçonSectionSous – route », où la sous-route correspond à la combinaison CodeSequenceSous_codeCote_Chaus, voir champs ci-dessous)

Route — Voie carrossable du domaine public reliant entre eux des pôles (centres d'intérêt) économiques ou politiques (numéro à 5 caractères)

Troncon — Partie de route délimitant une portion régionale du réseau routier (numéro à 2 caractères)

Section — Chaussée distincte de chaînage continue à l'intérieur d'une section (numéro à 2 caractères)

Code — Lettre ou chiffre permettant de différencier un type de sous-route spécifique (0 = route principale, 3 = carrefour ou bretelle, A = accès restreint MTQ, B = aire de contrôle, C = piste cyclable, D = débarcadère d'autobus, F = aire de vérification des freins, G = carrefour giratoire, H =

	halte routière ou parc routier, L = lit d'arrêt, M = sentier motoneige, P = poste de pesée, R = refuge, S = stationnement, T = tournebride, U = virage en U, V = voie de service, Z = route projetée)
Sequence	Numéro séquentiel ou lettre séquentielle attribuée pour différencier un regroupement de plusieurs sous-routes de même type dans une section
Sous_code	Lettre ou valeur zéro si non applicable pour différencier plusieurs sous-routes de même type faisant partie d'un même regroupement
Cote_chaus	Lettre (C, D, G) indiquant s'il s'agit d'une route à chaussées contiguës (C) ou, pour une route à chaussées séparées, s'il s'agit de la chaussée gauche (G) ou droite (D)
Nom	Description textuelle de l'élément routier, référence qui n'est pas nécessairement uniforme (exemples: Autoroute de la Gatineau, Autoroute 55, Halte routière, A-40 O entrée A-520, etc.)
Longueur	Longueur du segment routier (en mètres)
Source_Mes	Méthode utilisée pour calculer la longueur du segment routier (GPS ou odomètre)
Cl_fonct	Classification fonctionnelle (Autoroute, Nationale, Régionale, Collectrice, Local 1, 2 ou 3 et Accès ressources)
Auto_resp	Autorité responsable (MTQ, municipal, fédéral ou autres)
Type_Autor	Type d'autorité (Gouvernement du Québec, Gouvernement fédéral ou Municipalité)
DG	Direction générale (numéro à 2 caractères)
DT	Direction territoriale (numéro à 2 caractères)
CS	Centre de services (numéro à 2 caractères)
SC	Sous-centre de services (numéro à 2 caractères)
Unite_resp	Description textuelle de l'unité responsable (exemple: Centre de services de

	Gatineau et coordination territoriale de l'exploitation)
Loc_Debut	Description textuelle de la position du début du segment
Loc_Fin	Description textuelle de la position de la fin du segment

En résumé, la BDGR est composée d'informations relatives à la référence spatiale de segments routiers et d'informations reliés aux paramètres de ces mêmes segments. Tous ces renseignements peuvent être convertis en un lot de fichiers qui pouvant être lu par certains logiciels de SIG comme MapInfo. Dans le cas du présent projet, un lot de fichiers avec les extensions .dat, .id, .ind, .map et .tab ont été fournis directement par le Ministère, permettant une lecture de l'ensemble des informations de la BDGR sur le logiciel MapInfo. La Figure 4.1 illustre le résultat graphique de cette base de données. Sur cette figure, il est possible de remarquer une différence entre l'aspect visuel de certaines routes. Il s'agit d'une autre information qui se retrouve dans le fichier source caractérisant des ensembles de tronçons. Dans la présente figure, on divise le réseau selon sa classification fonctionnelle. Normalement, un code de couleurs (ici de teintes de gris) et d'épaisseur de lignes permet de distinguer les autoroutes, routes nationales, routes régionales, collectrices et routes municipales. À noter enfin que dans un système d'information géographique, il est possible de faire une requête sur un tronçon précis pour obtenir instantanément tous les paramètres (voir tableaux précédents) reliés à ce tronçon.

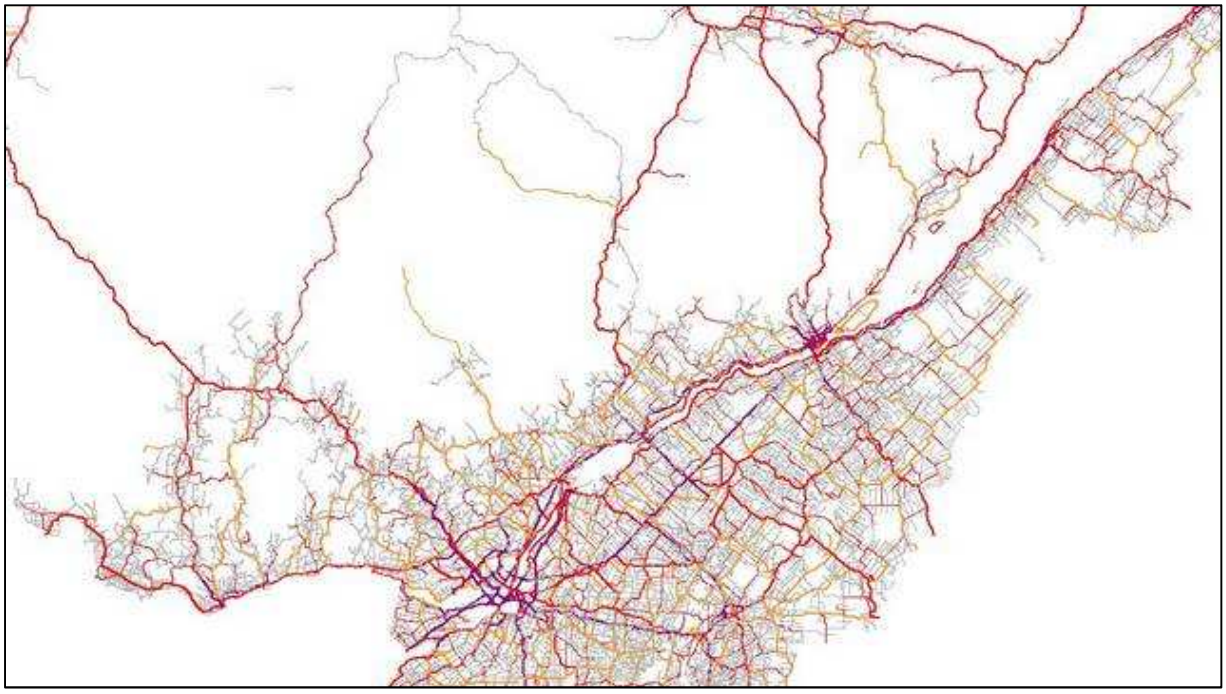


Figure 4.1: Exemple de projection de la BDGR dans MapInfo

Il est à noter finalement que la BDGR fournie et utilisée pour l'étude correspondait à la plus récente disponible au début de l'analyse (mise à jour en date du 1er décembre 2008). La BDGR 2008 a été préférée aux données plus anciennes, et ce, même si le projet traite d'accidents survenus entre 2000 et 2004, car en 2000, la table était plus pauvre en ce qui a trait à la qualité et la quantité de données cartographiées. De plus, les accidents tels que disponibles dans la BDAA (voir section 4.2.4), sont associés à la plus récente BDGR, ce qui signifie que si un tronçon a été déplacé, l'accident sera déplacé de façon à toujours être positionné sur la route plutôt que dans le vide. La BDGR 2000 est malgré tout considérée pour filtrer les accidents autoroutiers à l'étude (voir section 4.3.2) et pour l'estimation de l'étendue autoroutière filtrée (voir section 4.4.1).

4.2.3 Base de données des débits véhiculaires

La seconde base de données (BDDV), regroupe toutes les valeurs de débits compilées à travers le réseau du MTQ. L'information se retrouve dans une série de fichiers .xls fournie par le Ministère. À l'origine, ces données étaient séparées en un fichier par année, mais elles ont été par la suite regroupées dans une même base. Les années 2000 à 2004 ont été choisies dans le cadre de la présente étude pour être en mesure de relier les débits aux accidents (voir justification de la plage

temporelle à la fin de la description de la BDAA). Pour préciser un peu plus la nature de cette catégorie, il faut noter que le débit correspond en fait à un paramètre de tronçon routier. Cette base de données se distingue toutefois de la BDGR par sa fluctuation à travers le temps. En effet, le DJMA par exemple n'est pratiquement jamais le même d'année en année tandis que le réseau dans sa nature demeure presque identique, d'où l'existence d'une base de données propre pour les débits. La BDDV localise ses données à l'aide d'une codification route, tronçon, section et à partir d'un chaînage de début et de fin. Étant donné que l'on n'y spécifie pas le type de sous-route, on fera donc l'hypothèse que ces débits sont tous associés à des sections courantes d'autoroutes (code de sous-route 0).

Le Tableau 4-3 présente un échantillon de la base de données des débits pour dix segments. La définition des champs suit ce tableau.

Tableau 4-3: Extrait de la BDDV

Route	Tronçon	Section	Chain. deb.	Chain. fin	DJMA	DJME	DJMH	P Camions	24h	Annee camion	Municipalite	Annee
00005	01	010	0	328	65000	70000	58000				GATINEAU	2000
00005	01	023	0	182	65000	70000	58000				GATINEAU	2000
00005	01	023	183	1436	52000	62000	42000				GATINEAU	2000
00005	01	024	0	1237	75000	81000	67000	3,73	non	1998	GATINEAU	2000
00005	01	026	0	1600	37000	40000	33000	3,46	non	1998	GATINEAU	2000
00005	01	033	0	3484	20800	22500	18700	3,61	non	1998	GATINEAU	2000
00005	01	035	0	1304	13100	15700	10600	4,21	non	1998	GATINEAU	2000
00005	01	041	0	2597	13100	15700	10600	4,21	non	1998	CHELSEA	2000
00005	01	041	2598	4188	10300	12300	8300				CHELSEA	2000
00005	01	050	0	8273	8700	10400	7000	5,26	non	1998	CHELSEA	2000

Définition des champs

Route	Voie carrossable du domaine public reliant entre eux des pôles (centres d'intérêt) économiques ou politiques (numéro à 5 caractères)
Tronçon	Partie de route délimitant une portion régionale du réseau routier (numéro à 2 caractères)
Section	Chaussée distincte de chaînage continue à l'intérieur d'une section (numéro à 2 caractères)

Chain. deb.	Chaînage du début de la zone où les paramètres comme le DJMA et le pourcentage de camions ont été calculés (en mètres)
Chain. fin	Chaînage de la fin de la zone où les paramètres comme le DJMA et le pourcentage de camions ont été calculés (en mètres)
DJMA	Débit journalier moyen annuel
DJME	Débit journalier moyen estival
DJMH	Débit journalier moyen hivernal
P Camions	Pourcentage de camions
24h	Indique si le pourcentage de camions a été calculé à partir d'un comptage automatique 24h (Oui) ou à partir d'un comptage manuel 12h (Non)
Annee camion	Année où le comptage a été effectué pour calculer le pourcentage de camions
Municipalite	Description textuelle de la municipalité
Annee	Année de référence associée aux DJMA, DJME et DJMH

4.2.4 Base de données des accidents autoroutiers

La troisième et dernière base de données (BDAA) est tirée d'un autre outil de l'Intranet du ministère des Transports, celui-ci appelé Diagnostic de sécurité routière (DSR). Cet outil est en fait une plate-forme Web permettant au personnel du MTQ de consulter et extraire des données d'accidents (pour faire des études de sécurité) ou de localiser manuellement des accidents (à partir des rapports d'accidents) qui ne l'ont pas été dans le processus automatisé. La Figure 4.2 présente un exemple de recherche multicritère d'accidents dans le DSR (ici il s'agit d'une requête des accidents survenus sur l'autoroute 40 du 1er janvier 2000 au 15 février 2000 inclusivement). Elle est suivie d'un exemple des résultats obtenus suite à l'exécution de la requête (voir Figure 4.3).

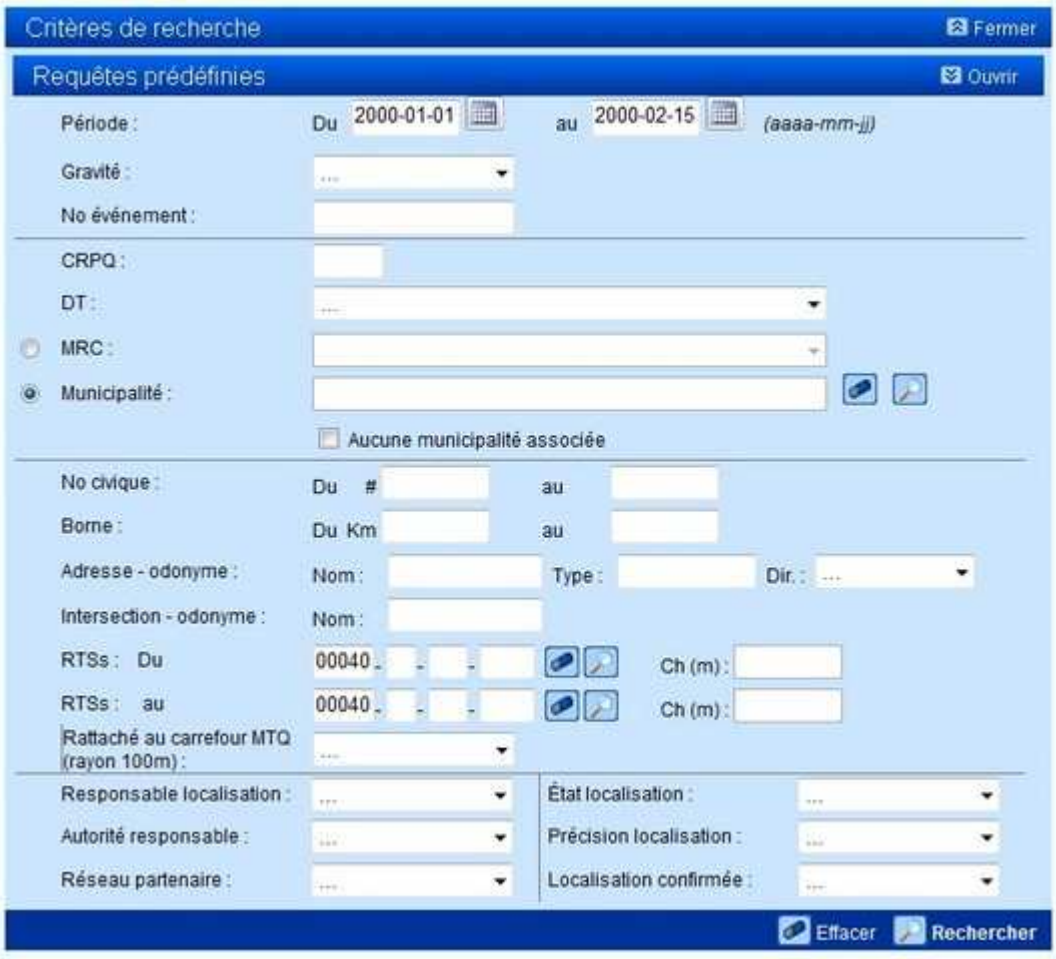


Figure 4.2: Fenêtre type d'une requête dans le DSR

Figure 4.3: Fenêtre type des résultats d'une requête dans le DSR

La fenêtre des résultats (Figure 4.3) présente la liste simplifiée de tous les accidents répondant aux critères prédéfinis dans la requête. Cette liste est répartie selon un affichage de 15 accidents par page. Il est possible de consulter les paramètres de chacun des accidents et d'afficher sa localisation (si l'accident est localisé) sur une carte, et ce, à partir des boutons d'action à droite de la fenêtre. Le bouton avec le symbole d'un crayon permet d'afficher les caractéristiques d'un accident et celui avec un œil le situe géographiquement. La fonction essentielle aux analyses plus poussées des données est « Produire un fichier SIAS ». Cette opération extrait les données d'accidents de la requête dans un fichier au format .txt incluant tous les paramètres associés (incluant la localisation géographique).

Un accès externe au DSR a été fourni dans le cadre du présent projet de recherche pour l'extraction des données d'accidents autoroutiers. Un désavantage de l'application est qu'il n'est pas possible de faire une requête de plus de 1000 accidents à la fois. Ne sachant pas à l'avance combien d'accidents sont obtenus par une requête précise, il est difficile, voir impossible,

d'importer réellement 1000 accidents par opération. En moyenne, il a été possible d'importer environ 550 accidents par requête, selon un procédé de prédictions intuitives. L'extraction des données a donc nécessité 212 requêtes (enregistrées dans 212 fichiers, soit un fichier par requête) pour obtenir les quelque 116 096 accidents (accidents autoroutiers au Québec extraits pour les années 2000 à 2004 inclusivement). De plus, chaque requête nécessite plusieurs minutes pour être exécutée, ce qui rend le processus relativement long et fastidieux. De ce fait, des erreurs peuvent survenir lors de la collecte de ces données, d'autant plus que le nom du fichier extrait par défaut est toujours le même et n'a aucune corrélation directe avec les caractéristiques de la requête. Certains bogues ont également été constatés lorsque deux opérations sont lancées simultanément dans le DSR. Une attention particulière a donc dû être mise de l'avant pour l'extraction et la révision des données importées. Ainsi, chaque fichier a fait l'objet d'une validation ponctuelle. La validation a été faite en ouvrant chacun des fichiers et en examinant le nombre d'accidents et la plage des dates couvertes de façon à ce que l'ensemble des fichiers couvre tous les mois et jours à partir du 1er janvier 2000 au 31 décembre 2004. Il est à noter que ces dates ont été choisies de façon à avoir une plage relativement récente et un peu plus étendue dans le temps que pour une étude de sécurité conventionnelle (plage temporelle habituellement de trois ans). Cinq années d'accidents permettent d'obtenir un plus gros échantillon de données considérant que les taux d'accidents sur autoroutes sont souvent assez faibles. Les années 2005 à 2009, même si plus récentes, n'ont pas été choisies suite à la recommandation d'un intervenant du MTQ, car elles n'ont pas nécessairement encore été traitées par toutes les DT. En effet, un travail de localisation manuelle des accidents est normalement effectué par le personnel du Ministère dans les un à trois ans suivant un accident, tout dépendant de la gravité ou si une étude est effectuée à proximité de l'accident. Utiliser des données antérieures permet donc d'avoir un échantillon de meilleure qualité au niveau de la localisation des accidents, caractéristique essentielle dans le cadre de la présente étude.

La BDAA englobe donc tous les accidents survenus sur les autoroutes du Québec entre le début de l'année 2000 à la fin de l'année 2004. Elle est le résultat des 212 extractions réunies dans un seul et même fichier de format .txt. Ce fichier peut être ouvert et sauvegardé dans Excel pour un examen plus approfondi, mais à condition d'avoir la version 2007 ou ultérieure (format .xlsx) étant donné le nombre de lignes requises pour lire les 116 096 données. Le tableau qui suit présente un échantillon de cette base de données pour dix accidents. La définition des champs

suit ce tableau. La signification de la majorité des champs provient du *Guide de rédaction du rapport d'accident de véhicules routiers* (SAAQ, 2006). Les autres définitions tirent leur origine directement d'informations fournies par le personnel du ministère des Transports du Québec.

Tableau 4-4: Extrait de la BDAA

ID	Évn	Rte	Tr	Section	Sous-rte	CH	Long (deg)	Lat (deg)	Dat loc	Aut resp	Carr MTQ	Précision	Nom munic	Code munic	CRPQ
1	401020003120006	00010	02	120	000G	145	-72,932506	45,363634	070726	MTQ	N	Manuelle certain	Ange-Gardien (55008), M	55008	40102
2	403150002090039	00010	02	120	000G	2144	-72,907616	45,359677	070726	MTQ	N	Manuelle estimée	Ange-Gardien (55008), M	55008	40315
3	400980002160002	00010	02	060	000D	2001	-73,034724	45,371261	070726	MTQ	N	Manuelle certain	Ange-Gardien (55008), M	55008	40098
4	401020004080002	00010	02	080	000D	657	-72,982095	45,37613	070726	MTQ	N	Manuelle estimée	Ange-Gardien (55008), M	55008	40102
5	401020004090004	00010	02	090	000G	609	-72,959817	45,373944	070726	MTQ	N	Manuelle imputée	Ange-Gardien (55008), M	55008	40102
6	403150005310004	00010	02	090	000D	607	-72,959856	45,373685	070726	MTQ	N	Auto certaine	Ange-Gardien (55008), M	55008	40315
7	403150005020008	00010	02	090	000D	607	-72,959856	45,373685	070726	MTQ	N	Auto certaine	Ange-Gardien (55008), M	55008	40315
8	403150001200008	00010	02	090	000D	607	-72,959856	45,373685	070726	MTQ	N	Auto certaine	Ange-Gardien (55008), M	55008	40315
9	400980005110005	00010	02	090	000D	607	-72,959856	45,373685	070726	MTQ	N	Auto certaine	Ange-Gardien (55008), M	55008	40098
10	403150003070004	00010	02	110	000D	417	-72,945017	45,365402	070726	MTQ	N	Manuelle estimée	Ange-Gardien (55008), M	55008	40315

ID	# civ	# km	Adresse	Intersection	Entite unique	Dist	NSEO	Vitesse autorisé	# microfilm	Date acc	Nb véh	Code éclair	GR	Heure acc	Type véh 1	Type véh 2
1			AUT 10	STIE 55		100	O	X	000770289	000312	1	1	4	1100	41	--
2			DIR O	KM 57 5		-----	X	100	000460612	000209	1	1	4	1647	41	--
3			KM 47			-----	X	X	000620806	000216	2	1	4	0840	41	41
4			KM 51 2			-----	X	X	001080344	000408	1	4	4	0512	42	--
5			KM 53	STIE KM 55 2000M		-----	X	100	001080057	000409	1	4	3	0308	42	--
6			KM 53			-----	X	X	001640973	000531	1	4	5	0425	41	--
7			KM 53			-----	X	100	001300532	000502	1	4	4	2150	41	--
8			KM 53			-----	X	X	000320604	000120	1	1	4	1250	41	--
9			KM 53 E			-----	X	X	001390227	000511	2	4	4	2015	41	41
10			KM 54 5	KM 55		500	O	100	000740606	000307	1	1	4	0926	41	--

ID	Genre acc	État surface	Temps	Code impact	Sens véh 1	Sens véh 2	Mvt véh 1	Mvt véh 2	Enviro	Catégorie rte	Localisation	État chaussée	Visibilité 1	Visibilité 2	Mvt piéton 1	Mvt piéton 2
1	19	3	2	88	7		11		X	X	X	X	X			
2	19	4	4	16	7		11		3	1	X	X	X			
3	11	4	8	03	3	3	11	11	X	X	X	X	X	X		
4	61	2	3	15	3		11		X	X	X	X	X			
5	61	3	8	88	7		11		5	1	23	1	20			
6	15	1	1	88	3		11		X	X	X	X	X			
7	15	1	1	88	3		11		X	X	X	X	X			
8	64	2	4	16	3		11		X	X	X	X	X			
9	11	1	1	08	3	3	11	24	X	X	X	X	X	X		
10	63	1	2	88	3		11		X	X	X	X	X			

ID	Délit fuite	Prov 1	Prov 2	Code postal 1	Code postal 2	Age cond 1	Age cond 2	Fact acc 1	Fact acc 2	Sign 1	Sign 2	Nb bl graves	Nb bl légers	Nb morts	Asp chaussée	Nat chaussée	Exp cond 1	Exp cond 2
1	N	QUE		H1W		29		15	29	X		0	0	0	X	X	5	
2	N	QUE		H2A		30		23	72	X		0	0	0	X	X	12	
3	X	QUE	QUE	J2K	J4K	44	48	23	72	X	X	0	0	0	X	X	12	12
4	N	QUE		H7W		44		12	23	X		0	0	0	X	X	12	
5	N	QUE		H1X		36		22	72	11		0	1	0	1	1	7	
6	N	QUE		J1A		34		73	71	X		0	0	0	X	X	12	
7	N	QUE		J1G		54		11	73	X		0	0	0	X	X	12	
8	N	QUE		H7V		70				X		0	0	0	X	X	12	
9	X	QUE	QUE	J0K	J1X	34	54	37	23	X	X	0	0	0	X	X	12	12
10	N	QUE		H1G		46		58	71	X		0	0	0	X	X	1	

Définition des champs

Évn — Numéro d'événement unique (nombre à 15 caractères)

Rte — Numéro de route où est survenu l'accident (nombre à 5 caractères)

Tr	Numéro de tronçon où est survenu l'accident (nombre à 2 caractères)
Section	Numéro de section où est survenu l'accident (nombre à 3 caractères)
Sous-rte	Code alphanumérique de la sous-route (code à 4 caractères, voir définition des champs de la BDGR)
CH	Chaînage où est survenu l'accident (en mètres)
Long (deg)	Longitude en degrés correspondant à la position géographique de l'accident
Lat (deg)	Latitude en degrés correspondant à la position géographique de l'accident
Dat loc	Date où l'accident a été localisé (AAMMJJ)
Aut resp	Autorité responsable du tronçon routier où est survenu l'accident (MTQ: ministère des Transports du Québec, Mun: Municipale, Féd: Fédérale, Pri: Privée ou Non: Non identifiée)
Carr MTQ	L'accident est-il rattaché à un carrefour du MTQ (Oui ou Non)
Précision	Description textuelle de la précision de la localisation de l'accident (Auto certaine, Auto estimée, Manuelle certaine, Manuelle imputée, Manuelle estimée, Non précisée)
Nom munic	Description textuelle de la municipalité, son numéro à 5 caractères entre parenthèses, la lettre décrivant le type de municipalité (P: Municipalité de paroisse, M: Municipalité, VL: Municipalité de village, CT: Municipalité de canton)
Code munic	Code de la municipalité (nombre à 5 caractères)
CRPQ	Centre de renseignements policiers du Québec (nombre à 5 caractères)
# civ	Numéro civique le plus près de l'accident (lorsque le policier l'indique comme point de repère dans le rapport d'accident)
# km	Borne kilométrique la plus près de l'accident (lorsque le policier l'indique comme point de repère dans le rapport d'accident)

Adresse	Description textuelle d'une adresse (variable et non uniforme) utilisée comme point de repère
Intersection	Description textuelle de l'intersection la plus près de l'accident (variable et non uniforme) utilisée comme point de repère
Entite unique	Description textuelle de l'entité où est survenu l'accident (exemples: pont, viaduc, bretelle, etc.)
Dist	Distance entre le point de repère et la position de l'accident (en mètres, ----- si ne s'applique pas)
NSEO	Indique si l'accident est survenu au nord (N) , au sud (S), à l'est (E) ou à l'ouest (O) du point de repère ou si le point cardinal est indéterminé (X)
Vitesse autorisée	Vitesse autorisée sur le tronçon où est survenu l'accident (en km/h, X si inconnue ou non inscrite dans le rapport d'accident)
# microfilm	Numéro unique à chaque feuille numérisée des rapports d'accidents (nombre à 9 caractères)
Date acc	Date de l'accident (AAMMJJ)
Nb véh	Nombre de véhicules impliqués dans l'accident
Code éclair	Code d'éclairement, codes 1 et 2 de jour / codes 3 et 4 de nuit (1: Clarté, 2: Demi-obscurité, 3: Chemin éclairé, 4: Chemin non éclairé)
GR	Code de gravité de l’accident (1: Mortel, 2: Grave, 3: Léger, 4: Matériel > 500$, 5: Matériel < ou = 500$, 9: Non précisé)
Heure acc	Heure où est survenu l'accident (HHMM dans un système 24h)
Type véh 1	Type du premier véhicule sur le rapport d'accident (41 : Automobile, 42: Camion léger [moins de 3000 kg], 43: Camion [3000 kg et plus], 48: Autobus, --: Ne s'applique pas)
Type véh 2	Type du deuxième véhicule, le cas échéant, sur le rapport d'accident (idem Type véh 1)

Genre acc	Genre d'accident (Collision d'un véhicule routier avec 11: Véhicule routier, 12: Piéton, 13: Train, 14: Non-motorisé, 15: Animal, 16: Obstacle temporaire; Collision avec un objet fixe tels que 17: Lampadaire/Poteau utilitaire, 18: Arbre, 19: Garde-fou/Glissière de sécurité, 20: Pilier (Pont/Tunnel), 21: Amortisseur d'impact, 29: Autre objet fixe; sans collision tels 61: Capotage, 62: Submersion, 63: Feu/Explosion, 64: Quitter la chaussée, 99: Autre sans collision)
État surface	État de la surface de roulement lors de l'accident (1: Sèche, 2: Mouillée, 3: Enneigée, 4: Glacée, 5: Boueuse, 6: Huileuse, 9: Autre)
Temps	Conditions atmosphériques présentes lors de l'accident (0: Verglas, 1: Clair, 2: Couvert, 3: Pluie/Bruine, 4: Neige/Grêle, 5: Brouillard/Brume, 6: Averse, 7: Vent fort, 8: Poudrerie/Tempête de neige, 9: Autre)
Code impact	Voir figure à la suite de la présente liste
Sens véh 1	Sens du véhicule 1 avant l'accident (1: Nord, 2: Nord-est, 3: Est, 4: Sud-est, 5: Sud, 6: Sud-Ouest, 7: Ouest, 8: Nord-Ouest, Case vide: Ne s'applique pas, X: Indéterminé)
Sens véh 2	Sens du véhicule 2 avant l'accident (Idem Sens véh 1)
Mvt véh 1	Mouvement du véhicule 1 avant l'accident (11: Circulait tout droit, 15: Ralentissait, 16: Arrêté dans circulation, 24: Dépassait par la gauche, 25: Dépassait par la droite, 26: Changeait de voie, 28: Effectuait un obstacle sur la chaussée, 29: En panne, 30: Mouvement inconnu, 99: Autre, Case vide: Ne s'applique pas, X/~: Indéterminé)
Mvt véh 2	Mouvement du véhicule 2 avant l'accident (Idem Mvt véh 1)
Enviro	Activité dominante du secteur où l'accident s'est produit (1: École, 2: Résidentiel, 3: Affaires/Commercial, 4: Industriel/Manufacturier, 5: Rural, 6: Forestier, 7: Récréatif/Parc/Camping, X: Indéterminé)

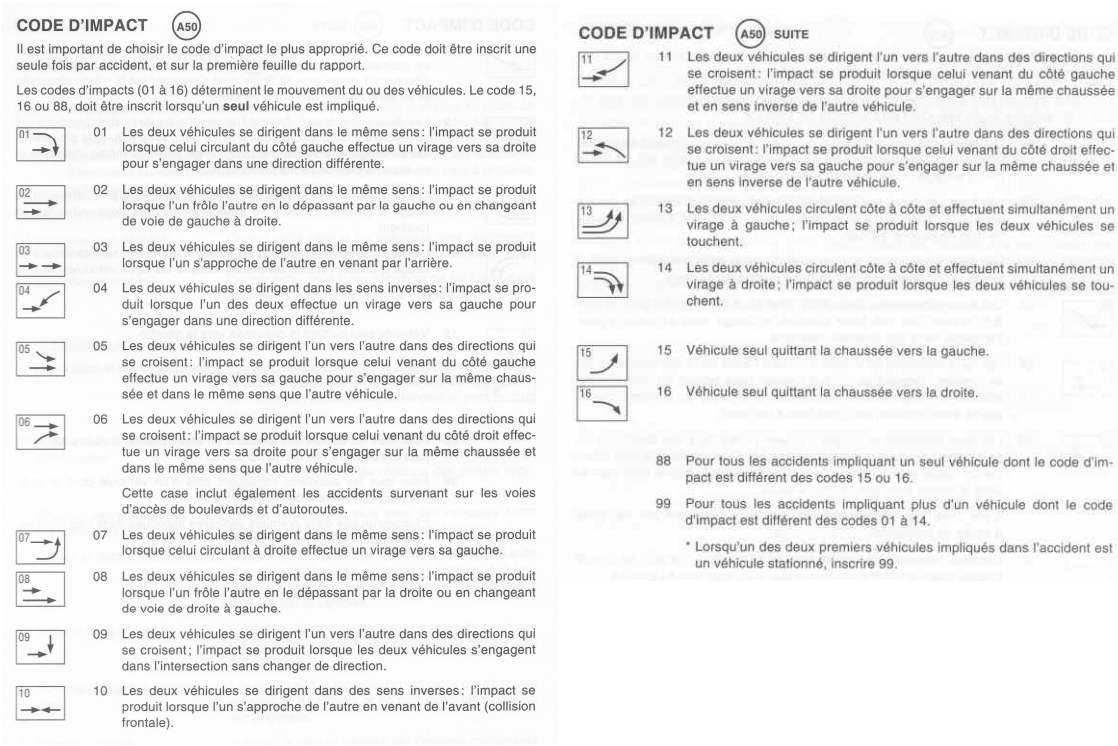
Catégorie rte	Catégorie de la route où est survenu l'accident (1: Route numérotée, 2: Rue, 3: Chemin, 4: Ruelle, 5: Chemin forestier/minier, 6: Terrain de stationnement, 9: Autre, X: Indéterminé)
Localisation	Code décrivant l'endroit exact de l'accident (21: Chaussée intersection, 22: Chaussée entre intersection, 23: Terre-plein central, 26: Passage à niveau, 27: Tunnel/Viaduc/Pont, 29: Accotement, 99: Autre, X: Indéterminé)
État chaussée	État de la chaussée sur les lieux de l'accident et dans son entourage immédiat (1: En bon état, 2: En construction, 3: En réparation, 4: Trou/ornière/cahot, 9: Autre, X: Indéterminé)
Visibilité 1	Conditions de visibilité du conducteur du véhicule 1 (11: Bonne; Réduite par 12: Arbre/haie/Clôture, 13: Bâtiment, 14: Remblai, 15: Véhicule, 16: Phares éblouissants, 17: Éblouissement autre que phares, 18: Saleté/verglas/neige sur voiture, 19: Vapeur/fumée/poussière, 20: Temps, 99: Autre, X: Indéterminée, Case vide: Ne s'applique pas)
Visibilité 2	Conditions de visibilité du conducteur du véhicule 2 (Idem Visibilité 1)
Mvt piéton 1	Action du piéton 1 si impliqué dans l'accident (14: Traversait sans signal, chaussée non marquée, 15: Traversait en diagonal, 16: Marchait en bordure dans le sens de la circulation, 17: Marchait en bordure dans le sens inverse de la circulation, 18: Faisait de l'auto-stop, 22: Poussait/travaillait sur un véhicule, 23: Travaillait sur la chaussée, 25: Hors de la chaussée, 99: Autre, Case vide: Ne s'applique pas)
Mvt piéton 2	Action du piéton 2 si impliqué dans l'accident (Idem Mvt piéton 1)
Délit fuite	Indique si l'accident implique un délit de fuite (O) ou non (N) ou si indéterminé (X)
Prov 1	Abréviation de la province de résident du conducteur du véhicule 1 (Exemples: QUE pour Québec, ONT pour Ontario, NJ pour New Jersey, etc. ou les trois premières lettres du pays s'il ne s'agit ni du Canada, ni des États-Unis, Case vide: Ne s'applique pas)

Prov 2	Abréviation de la province de résident du conducteur du véhicule 2 (Idem Prov 1)
Code postal 1	Trois premiers caractères du code postal de résidence du propriétaire du véhicule 1 (Case vide: Ne s'applique pas, ---: Indéterminé)
Code postal 2	Trois premiers caractères du code postal de résidence du propriétaire du véhicule 2 (Idem Code postal 1)
Age cond 1	Âge du conducteur 1 (Case vide: Ne s'applique pas)
Age cond 2	Âge du conducteur 2 (Idem Age cond 1)
Fact acc 1	Premier facteur ayant contribué à l'accident selon le policier qui complète le rapport d'accident (Voir Figure 4.5 à la suite de la présente liste, information fournie directement par le MTQ)
Fact acc 2	Second facteur ayant contribué à l'accident selon le policier qui complète le rapport d'accident (Idem Fact acc2)
Sign 1	Genre de signalisation existant dans l'entourage immédiat du véhicule 1 avant l'accident (11: Aucune, 12: Feu de circulation, 13: Feu jaune clignotant, 19: Signal "Cédez", 20: Policier/Brigadier/Signaleur, 21: Passage à niveau, 22: Signalisation d'obstacle, 99: Autre, Case vide: Ne s'applique pas, X: Indéterminée)
Sign 2	Genre de signalisation existant dans l'entourage immédiat du véhicule 2 avant l'accident (Idem Sign 1)
Nb bl graves	Nombre de personnes blessées gravement lors de l'accident
Nb bl légers	Nombre de personnes blessées légèrement lors de l'accident
Nb morts	Nombre de personnes décédées suite à l'accident
Asp chaussée	Aspect de la chaussée sur les lieux de l'accident et dans son entourage immédiat selon le champ de vision d'un conducteur assis au volant de son véhicule (1: Plane/Droite, 2: Plane/Courbe, 3:En pente/Droite, 4:En pente/Courbe, X: Indéterminée)

Nat chaussée — Nature du matériau revêtant la surface de roulement de la chaussée (1: Asphalte, 2: Béton, 3: Gravier, 4: Terre, 9: Autre, X: Indéterminée)

Exp cond 1 — Nombre d'années d'expérience de conduite du conducteur 1 (Case vide: Ne s'applique pas, X: Indéterminé)

Exp cond 2 — Nombre d'années d'expérience de conduite du conducteur 2 (Idem Exp cond 1)



CODE D'IMPACT (A50)

Il est important de choisir le code d'impact le plus approprié. Ce code doit être inscrit une seule fois par accident, et sur la première feuille du rapport.

Les codes d'impacts (01 à 16) déterminent le mouvement du ou des véhicules. Le code 15, 16 ou 88, doit être inscrit lorsqu'un **seul** véhicule est impliqué.

01 Les deux véhicules se dirigent dans le même sens: l'impact se produit lorsque celui circulant du côté gauche effectue un virage vers sa droite pour s'engager dans une direction différente.

02 Les deux véhicules se dirigent dans le même sens: l'impact se produit lorsque l'un frôle l'autre en le dépassant par la gauche ou en changeant de voie de gauche à droite.

03 Les deux véhicules se dirigent dans le même sens: l'impact se produit lorsque l'un s'approche de l'autre en venant par l'arrière.

04 Les deux véhicules se dirigent dans les sens inverses: l'impact se produit lorsque l'un des deux effectue un virage vers sa gauche pour s'engager dans une direction différente.

05 Les deux véhicules se dirigent l'un vers l'autre dans des directions qui se croisent: l'impact se produit lorsque celui venant du côté gauche effectue un virage vers sa gauche pour s'engager sur la même chaussée et dans le même sens que l'autre véhicule.

06 Les deux véhicules se dirigent l'un vers l'autre dans des directions qui se croisent: l'impact se produit lorsque celui venant du côté droit effectue un virage vers sa droite pour s'engager sur la même chaussée et dans le même sens que l'autre véhicule.

Cette case inclut également les accidents survenant sur les voies d'accès de boulevards et d'autoroutes.

07 Les deux véhicules se dirigent dans le même sens: l'impact se produit lorsque celui circulant à droite effectue un virage vers sa gauche.

08 Les deux véhicules se dirigent dans le même sens: l'impact se produit lorsque l'un frôle l'autre en le dépassant par la droite ou en changeant de voie de droite à gauche.

09 Les deux véhicules se dirigent l'un vers l'autre dans des directions qui se croisent; l'impact se produit lorsque les deux véhicules s'engagent dans l'intersection sans changer de direction.

10 Les deux véhicules se dirigent dans des sens inverses: l'impact se produit lorsque l'un s'approche de l'autre en venant de l'avant (collision frontale).

CODE D'IMPACT (A50) SUITE

11 Les deux véhicules se dirigent l'un vers l'autre dans des directions qui se croisent: l'impact se produit lorsque celui venant du côté gauche effectue un virage vers sa droite pour s'engager sur la même chaussée et en sens inverse de l'autre véhicule.

12 Les deux véhicules se dirigent l'un vers l'autre dans des directions qui se croisent: l'impact se produit lorsque celui venant du côté droit effectue un virage vers sa gauche pour s'engager sur la même chaussée et en sens inverse de l'autre véhicule.

13 Les deux véhicules circulent côte à côte et effectuent simultanément un virage à gauche; l'impact se produit lorsque les deux véhicules se touchent.

14 Les deux véhicules circulent côte à côte et effectuent simultanément un virage à droite; l'impact se produit lorsque les deux véhicules se touchent.

15 Véhicule seul quittant la chaussée vers la gauche.

16 Véhicule seul quittant la chaussée vers la droite.

88 Pour tous les accidents impliquant un seul véhicule dont le code d'impact est différent des codes 15 ou 16.

99 Pour tous les accidents impliquant plus d'un véhicule dont le code d'impact est différent des codes 01 à 14.

* Lorsqu'un des deux premiers véhicules impliqués dans l'accident est un véhicule stationné, inscrire 99.

Figure 4.4: Signification des codes d'impact, SAAQ (2006)

État d'un ou des usagers de la route :
11 - Rien à signaler
12 - Facultés affaiblies/alcool
13 - Facultés affaiblies/médicaments, drogues
14 - Fatigue, sommeil ou malaise soudain
15 - Inattention ou distraction
16 - Défaut physique
17 - Visibilité obstruée, éblouissement
Comportement d'un ou des usagers de la route :
21 - Rien à signaler
22 - Excédait la vitesse permise
23 - Conduite/vitesse imprudente
24 - Lenter indue
25 - Non-respect d'un arrêt obligatoire
26 - A passé sur un feu rouge
27 - Arrêtait/tournait/dépassait sans signaler
28 - Virait endroit interdit
29 - Suivait de trop près
30 - Conduisait du mauvais côté de la voie
31 - Circulait contrairement au sens unique
32 - Reculait illégalement
33 - N'a pas cédé le passage
34 - Stationné incorrectement ou dans un endroit dangereux
35 - Omis d'allumer ses phares ou d'en diminuer l'intensité
36 - Dépassement interdit (ligne continue)
37 - Dépassement dangereux
38 - A dépassé/croisé un autobus avec feux clignotant
39 - Négligence du piéton
40 - Négligence du cycliste

Le ou les véhicules :
51 - Aucun défaut apparent
52 - Freins défectueux
53 - Crevaison
54- Direction défectueuse
55 - Phares ou feux défectueux
56 - Chargement non conforme
57 - Attache de remorque défectueuse
58 - Autres défauts mécaniques
L'infrastructure :
61 - Rien à signaler
62 - Mauvais état de la chaussée
63 - Tracé de la route inadéquat
64 - Signalisation inadéquate
65 - Éclairage insuffisant
Autres facteurs :
71 - Rien à signaler
72 - Conditions météorologiques
73 - Animaux sur la route
74 - Obstacles temporaires sur la route
75 - Autres

Figure 4.5: Signification des codes de facteurs d’accidents

4.3 Traitement des données

4.3.1 Croisement des données

La présente section décrit la première étape de traitement des données, c'est-à-dire les méthodes de couplage des bases de données : une transition nécessaire à la caractérisation des accidents et des éléments géométriques autoroutiers. L’objectif est d’associer la dimension spatiale (BDGR) et la dimension temporelle (BDDV) à la BDAA tel qu’illustré à la figure qui suit.

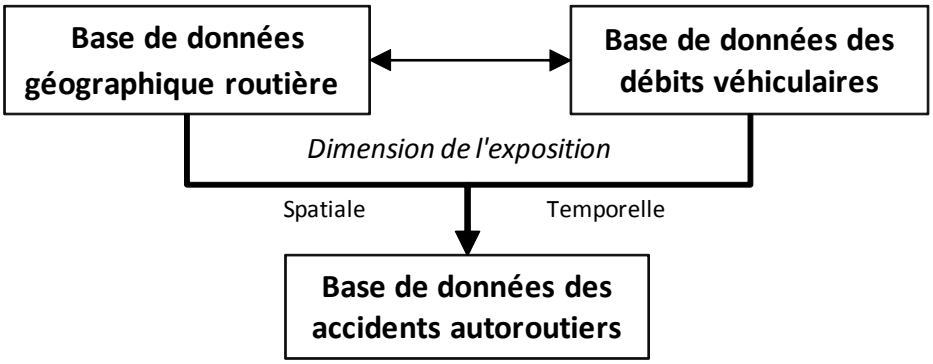


Figure 4.6: Représentation schématique de l'interrelation entre la BDGR, la BDDV et la BDAA

Jonction BDGR-BDAA

L'analyse des accidents, lorsqu'ils ne sont pas localisés, est relativement limitée. Il suffit d'imaginer un accident qui se produit quelque part sur une route dans le monde, on ne sait trop où, pour réaliser qu'il peut être rapidement mis de côté par l'analyste en sécurité routière, impuissant devant une telle donnée. Les caractéristiques autres que la localisation reliées aux accidents peuvent apporter plusieurs statistiques globales, mais sans la répartition de ceux-ci dans l'espace, il est difficile de cibler des interventions concrètes. D'où l'intérêt de savoir où il s'est produit. Dans le cadre du présent projet de recherche, il est crucial de corréler localisation et accidents.

Un procédé automatique de localisation des accidents se fait lors de la numérisation des rapports d'accidents. Ce système utilise une série d'algorithmes qui, en fait, recherche un lieu précis à partir des références textuelles ou numériques inscrites sur le rapport d'accident permettant, en fin de compte, d'imputer des coordonnées X et Y à l'événement. Plusieurs erreurs peuvent se glisser dans le cheminement et bloquer la localisation automatique. Que ce soit par le policier (faute d'orthographe, description vague ou contradictoire du lieu de l'accident, omission de remplir certaines sections reliées à la localisation de l'accident) ou lors de la retranscription des informations du rapport d'accident pour numérisation (où une personne externe saisit les données manuellement dans une banque informatique), le résultat demeure que plusieurs accidents ne sont toujours pas localisés. Face à ce constat, les différentes directions territoriales (DT) du MTQ sont appelées à effectuer un travail de localisation manuel supplémentaire pour parfaire la base de données. Ce travail consiste à examiner chacun des rapports d'accidents originaux et à interpréter

une localisation à partir des informations qui s'y trouvent. Le résultat de toutes ces manipulations est qu'une jonction est effectuée entre l'événement « accident » et sa position géographique sur le réseau routier selon un code de précision variable qui permet d'identifier la méthode de localisation utilisée. Il est à noter que plusieurs accidents demeurent encore une fois non localisables, et ce, malgré tous les efforts mis de l'avant. Il faut donc composer avec ces données imparfaites, ce qui demeure une contrainte majeure non seulement pour le présent projet, mais pour toutes les études de sécurité routière.

Pour ce qui est du localisé, une paire de coordonnées X,Y (longitude, latitude : référence géographique absolue) ainsi qu'un code RTSC (route, tronçon, section, chaînage : référence géographique selon le système routier du MTQ) sont associés à chaque accident. À l'aide d'un logiciel de type SIG, il devient alors possible de géocoder la BDAA (données d'accidents) en la superposant à la BDGR (réseau routier proprement dit cartographié). Cette jonction sur une même plateforme permet une visualisation de la distribution spatiale des accidents. Pour passer du fichier regroupant l'ensemble des données d'accidents (dans le cas présent sur une plateforme Excel) aux fichiers SIG (dans le cas présent sur une plateforme MapInfo), quelques étapes sont requises. Tout d'abord, il faut noter que MapInfo ne prend pas en charge les fichiers de format .xlsx, il peut ouvrir les fichiers .xls, mais ce format ne supporte pas 116 096 lignes. Une reconversion vers le format .txt est donc requise. Mais avant, il faut s'assurer que les colonnes « Longitude » et « Latitude » soient de type « Standard », sinon les valeurs pourraient être reconnues comme du texte, ce qui compromettrait ultérieurement la création de points. L'étape suivante est donc d'ouvrir le fichier .txt de la BDAA dans MapInfo directement, après quoi une copie de la table est faite pour obtenir un accès d'écriture sur les données. En fermant la table originale et en ouvrant la copie créée, il devient alors possible de créer les points correspondants à chacun des accidents de façon à les visualiser sur une carte. Pour ce faire, l'outil « Create Points » dans l'onglet « Table » est utilisé. Il faut alors sélectionner les colonnes « Longitude » et « Latitude » de la table et indiquer le système de projection approprié, c'est-à-dire le système « Longitude-Latitude » absolu. Il est possible également de modifier l'allure des points créés de façon à ce qu'ils se distinguent sur la représentation graphique (cette option peut être modifiée par la suite). En ouvrant la base de données du réseau, les accidents peuvent désormais se situer dans un cadre géographique de référence. Les figures qui suivent (Figure 4.7 et Figure 4.8),

produites à l'aide du logiciel MapInfo, affichent la BDGR (filtrée pour les autoroutes uniquement) et la fusion BDGR-BDAA.

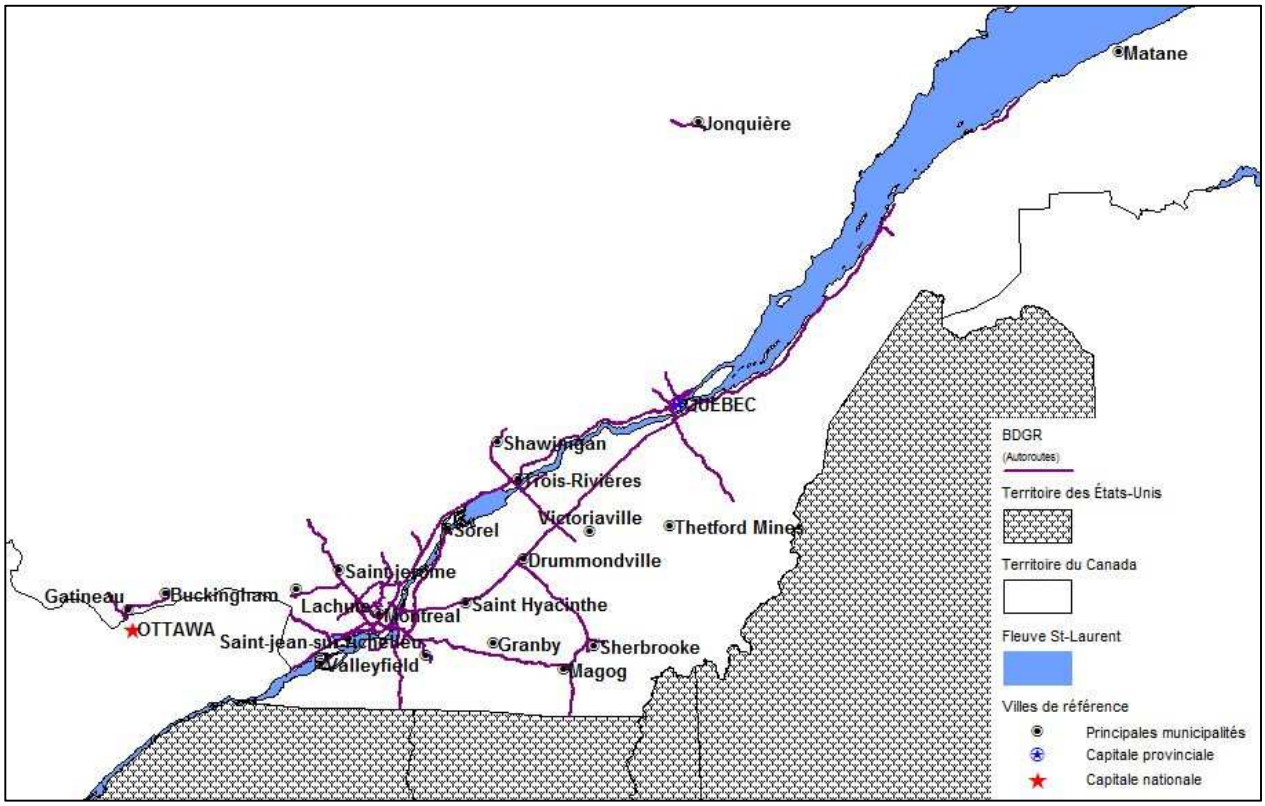


Figure 4.7: Visualisation de la BDGR pour les autoroutes seulement et avant fusion avec la BDAA

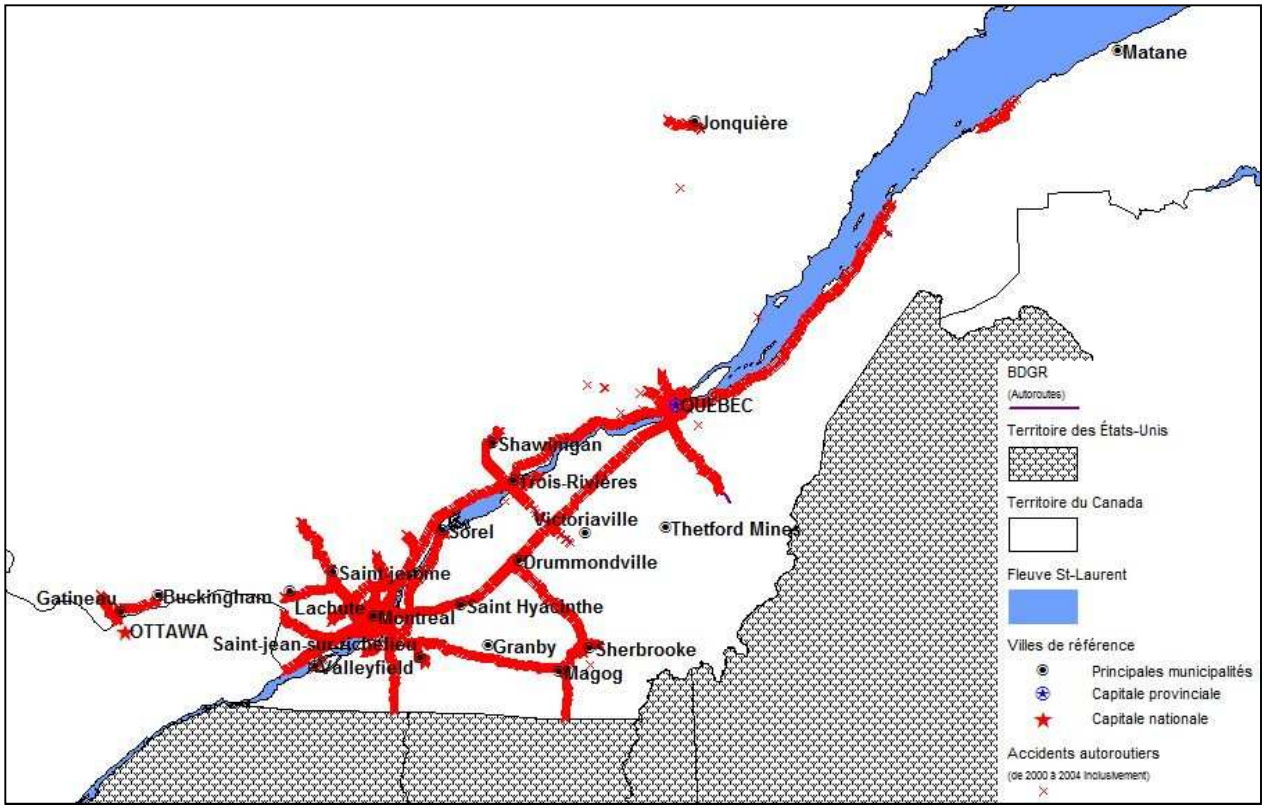


Figure 4.8: Visualisation de la fusion BDGR-BDAA pour les autoroutes du Québec

En comparant les deux figures, il est possible de voir que les accidents sont répartis à travers l'ensemble du réseau autoroutier. En effet, rares sont les zones où l'on ne distingue pas d'accident à cette échelle. Il faut noter toutefois que la BDGR utilisée est plus récente (mise à jour en 2008) que la BDAA (2000 à 2004 inclusivement), ce qui fait en sorte que quelques tronçons autoroutiers semblent ne présenter aucun accident. En réalité, ces segments, depuis 2005, ont été prolongés et c'est pourquoi il n'existe pas de données d'accidents à ces endroits dans la BDAA. L'extrémité sud de l'autoroute 73 (au nord-est de Thetford Mines) est un exemple visible sur la Figure 4.8. D'autre part, en examinant soigneusement la représentation graphique, il est possible de constater qu'une dizaine d'accidents apparaissent dans le cadre géographique à des coordonnées incorrectes. Il s'agit des points représentés par des « X » qui se retrouvent à l'extérieur des limites des autoroutes. Il est difficile d'expliquer l'origine de ces erreurs puisque l'étape d'attribution des coordonnées X-Y à chacun des accidents est faite par le personnel du Ministère à l'aide d'un outil MapInfo développé à l'interne et cet outil n'a pas pu être utilisé dans

le cadre du présent projet. Il est probable qu'il s'agisse d'un bogue mineur survenant lors de la jonction. Par ailleurs, considérant que 107 888 points (correspondant aux accidents auxquelles est associée une paire de coordonnées X-Y non nulle) apparaissent au total sur la figure, ces erreurs représentent donc moins d'un millième de pour cent de l'ensemble des valeurs, ce qui est plutôt négligeable. En réalité, lorsque l'extérieur du cadre géographique est examiné, il est possible de constater que 8208 autres points ne sont pas localisés correctement. Toutefois, pour ceux-ci, il s'agit d'un tout autre problème, c'est-à-dire que les accidents ne sont tout simplement pas localisés et la coordonnée 0-0 est attribuée à ces points. Avec une population de 116 096 accidents (total des accidents localisés ou non), ces données correspondent à une proportion de 7,07 %, ce qui signifie que près de 93 % des accidents sont localisés en un point X-Y. Le choix de la plage temporelle (années 2000 à 2004) explique cette haute performance du positionnement puisque pratiquement tout le travail de localisation manuel a déjà été effectué dans les directions territoriales du Ministère pour ces dates.

Dans un autre ordre d'idées, le lecteur qui connaît l'état actuel et les changements qui sont survenus depuis l'an 2000 sur certaines autoroutes comme la 55, par exemple, pourrait déjà remarquer que certains tronçons d'autoroutes pourraient porter à confusion dans les analyses. En effet, même si certains segments étaient numérotés comme des autoroutes entre 2000 et 2004, ils ne présentaient pas toujours de séparation physique entre leurs voies en sens contraire. Sur la Figure 4.8, des accidents sont affichés sur ces tronçons puisque, dans un premier temps, tous les accidents associés aux autoroutes ont été considérés. Par contre, la distinction entre autoroutes à voies séparées et non séparées est considérée à la section 4.3.2 et dans les analyses ultérieures.

Jonction BDDV-BDAA

De même, un accident est plutôt insignifiant lorsque les caractéristiques du tronçon routier où il survient sont inconnues. Par exemple, sur une autoroute en milieu urbain où le débit est de 100000 véhicules par jour et où le pourcentage de véhicules lourds est élevé, il est facilement imaginable qu'il y ait statistiquement plus de probabilités que se produise un accident que sur une autoroute en milieu rural à 1000 véhicules par jour interdite au camionnage. Les données de la BDDV doivent donc également être associées à celles de la BDAA de façon à établir le contexte en ce qui a trait à la circulation. Cette jonction peut se faire à l'aide d'Excel. Chaque entité de la BDDV est localisée par un numéro de route, de tronçon et de section (RTS) et par un chaînage

(C) de début et de fin. De leur côté, les accidents dans la BDAA sont associés à un RTSC précis. Par contre, la base de données des accidents spécifie une information supplémentaire qui n'est pas disponible dans celle des débits véhiculaires : il s'agit du type de sous-route. L'hypothèse posée précédemment (voir section 4.2.3) que la BDDV ne fait référence qu'au code de sous-route 0 (section courante) fait en sorte qu'il devient possible de procéder à la jonction des paramètres. Il suffit que, pour chaque accident en section courante, une recherche entre les chaînages de début et de fin soit effectuée à l'aide d'un code d'association. Ce code inclut nécessairement le RTS, mais aussi l'année de mesure des caractéristiques de la circulation (pour le code dans le BDDV) et l'année où s'est produit l'accident (pour le code dans la BDAA). Par la suite, dans Excel, à l'aide de la fonction INDEX (renvoie la valeur d'une cellule dans une plage de données) et d'une multiplication vectorielle dans la fonction EQUIV (renvoie la position d'une cellule dans une plage de données), il est possible de faire la jonction des caractéristiques de la circulation directement en ajoutant de nouvelles colonnes à la table des accidents. La Figure 4.9 illustre le cheminement pour attribuer un paramètre de la BDDV (ici le DJMA) à chacun des accidents de la BDAA dans Excel. Elle présente également la formule simplifiée qui permet cette fusion.

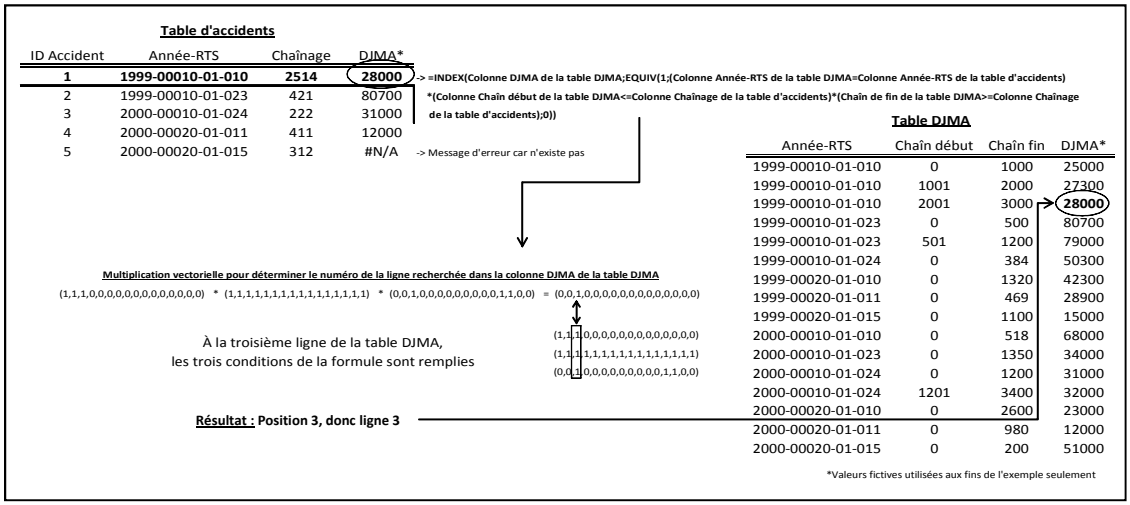


Figure 4.9: Description du procédé de jonction de la BDDV à la BDAA

4.3.2 Filtration des données

Préalablement à l'étape de caractérisation des accidents autoroutiers, il est primordial de s'assurer que les données recueillies puissent réellement être associées aux autoroutes proprement dites. Pour effectuer cette évaluation, une BDGR de l'an 2000 est utilisée. En cartographiant cette base de données à l'aide d'un système d'information géographique tel que MapInfo (logiciel utilisé dans le cadre du présent rapport), il est possible de voir l'état du réseau routier à l'année du début de la plage temporelle d'accidents choisie (plage de 2000 à 2004, donc année de référence : 2000). En ajoutant les points correspondants aux accidents en une couche supplémentaire à cette carte et en effectuant un examen visuel du réseau, les données peuvent alors être manuellement filtrées. Il suffit de sélectionner et de supprimer les points indésirables avec les outils de base du logiciel. Les cas ci-dessous font l'objet d'une révision.

- Les autoroutes qui ont subi des changements entre les années 2000 et 2008 tels qu'un prolongement ou une rectification majeure du tracé :
    - A20 (de la sortie 614 à Rimouski à la route 298 Nord);
    - A25 (entre l'A40 et Henri-Bourassa Est à Montréal);
    - A70 (de la sortie 42 à l'extrémité ouest à Jonquière);
    - A73 (de la sortie 72 à l'extrémité sud en Beauce);
- Les autoroutes qui n'avaient pas de séparation physique entre leurs voies en sens opposé à l'année 2000 :
    - A19 (extrémité nord à Laval près du boulevard Dagenais Est);
    - A20 (Rimouski);
    - A25 (entre les sorties 41 et 46 au sud de Saint-Esprit près de Mascouche);
    - A30 (entre la 55 et la jonction de la route 132 tout juste à l'ouest de Bécancour près de Trois-Rivières);
    - A50 (entre les sorties 260 à Lachute et 285 à Mirabel, extrémité ouest à Lachute, extrémité nord-est à Buckingham);

  - A55 (Entre Windsor et l'A20 à Drummondville, Pont Laviolette à Trois-Rivières, entre St-Grégoire et l'A20, Grand-Mère);
  - A73 (extrémité nord entre Notre-Dame-des-Laurentides et Stoneham, extrémité sud entre Ste-Marie et la sortie 72 en Beauce);
  - A410 (extrémité sud-est près du boulevard de l'Université à Sherbrooke);
  - A530 (Salaberry-de-Valleyfield, anciennement numérotée A30);
  - A540 (au nord de l'A40 à Québec);
  - A573 (de l'avenue Industrielle à Bélair à l'extrémité nord à Val-Saint-Michel près de Québec);
  - A610 (de la sortie 150 à l'extrémité est à Sherbrooke, anciennement numérotée A10);
  - A720 (extrémité est près de Papineau à Montréal);
  - A955 (au sud de l'A20 au Centre-du-Québec, excepté 1 km tout juste au sud de l'échangeur);
- Les artères urbaines où des accidents y sont classés comme étant autoroutiers :
  - A19 (avenue Papineau à partir de tout juste au sud de Crémazie Est / A40 jusqu'à Henri-Bourassa Est à Montréal);
  - A31 (rues Dollard et du Père-Wilfrid-Corbeil à Joliette);
  - A440 (boulevard Charest entre St-Sacrement et du Pont à Québec);

Un exemple pour chaque type de cas est présenté aux figures qui suivent (Figure 4.10, Figure 4.11 et Figure 4.12).

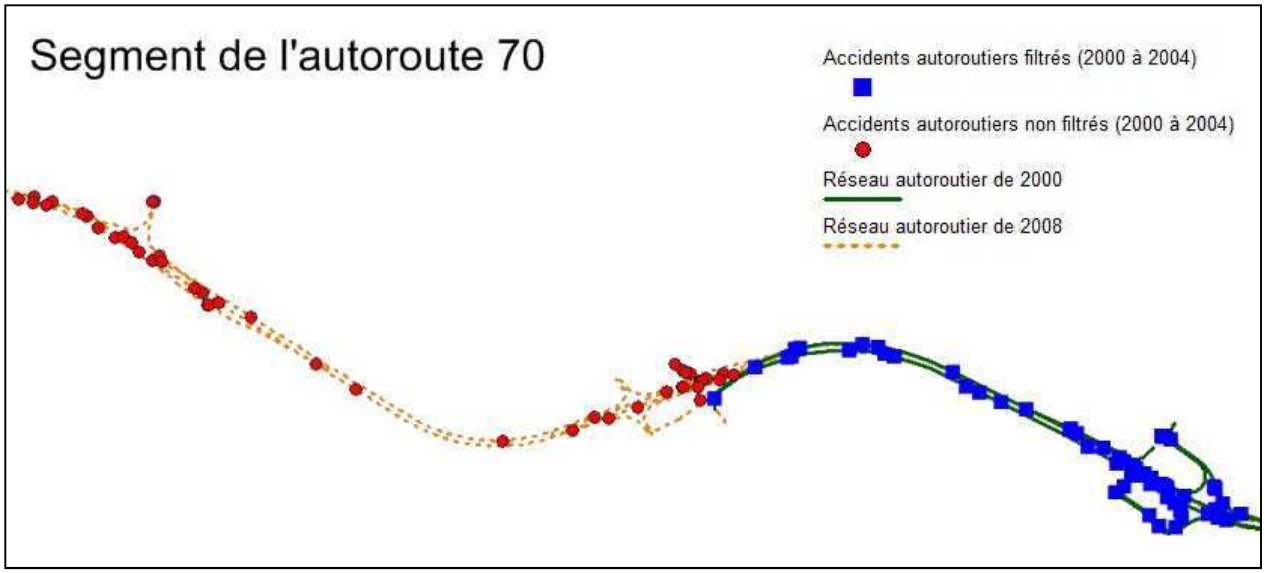


Figure 4.10: Filtration des données pour un prolongement d'autoroute (exemple de l'A70 à Jonquière)

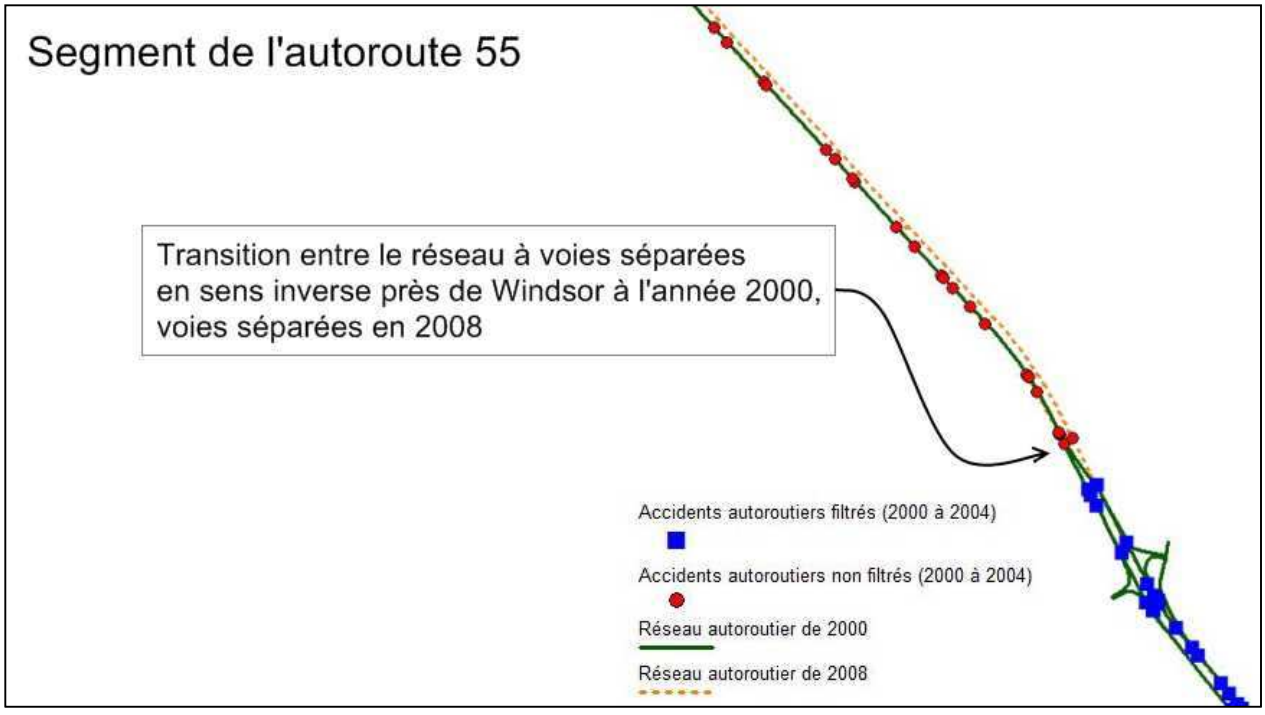


Figure 4.11: Filtration des données pour une autoroute qui n'avait pas de séparation physique entre ses voies en sens opposé à l'année 2000 (exemple de l'A55 à Windsor)

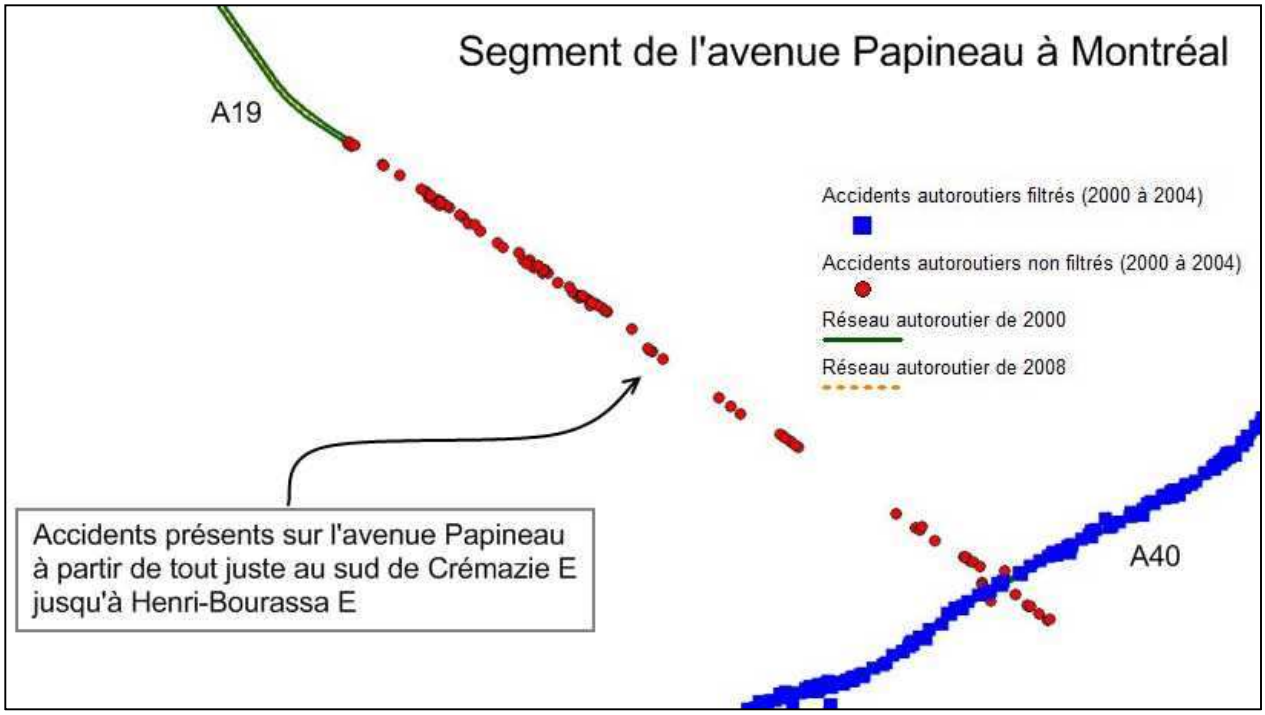


Figure 4.12: Filtration des données pour une artère urbaine où les accidents y sont classés comme étant autoroutiers (exemple de l'avenue Papineau à Montréal)

Des 116 096 données de base, quelques 112 319 sont finalement conservées. Cette filtration retranche donc 3,25 % du total initial d'accidents. Le résultat de ce processus d'affinement est une nouvelle BDAA, celle-ci rectifiée et correspondant à la population réelle des accidents autoroutiers à l'étude. Il est à noter que les accidents sur les voies numérotées comme des routes, mais s'apparentant à des autoroutes (chaussées séparées), n'ont pas été considérés dans les analyses.

4.3.3 Élaboration de champs dérivés

Avant de passer à l'étape de caractérisation des accidents autoroutiers, la BDAA, telle que décrite à la section 4.2.4, doit être enrichie afin de combler les lacunes d'utilisation de ses champs initiaux et pour étendre les possibilités d'analyse et d'interprétation des données. En effet, des transformations doivent être effectuées et de nouveaux champs doivent être créés pour parfaire la BDAA. Il peut s'agir, tout d'abord, de renseignements extraits directement d'un champ de base. Par exemple, à partir de la variable « Date accident », il est possible d'extraire l'information

quant à l'année, le mois et le jour de la semaine où est survenu l'accident. Dans ce cas, trois nouveaux champs apparaissent dans la BDAA. Il est possible aussi qu'une classification soit faite à partir d'un champ de base. Par exemple, à partir des données reliées à l'« Heure accident », il est possible de former des sous-groupes et ainsi déterminer si l'accident est survenu dans une plage temporelle prédéfinie (plages de 3h comme 0-3, 4-7, 8-11, etc. ou plages de 6h comme 0-5, 6-11, 12-17, etc.). Pour ce même cas, en établissant des périodes de pointe et hors pointe, les accidents peuvent être interprétés d'une autre façon. Par ailleurs, tel que mentionné à la section 4.3.1, de nouveaux champs de la BDAA sont élaborés également à partir d'une recherche dans la BDDV. Ainsi, le DJMA d'un certain tronçon peut, à titre d'exemple, être associé à un accident à l'aide d'un code d'association entre les deux bases de données. Finalement, l'obtention d'un nouveau champ peut se faire simplement à l'aide d'une opération mathématique comme pour le calcul du taux d'accidents ponctuel ou de l'indice de gravité d'un accident. Les différents types de champs créés s'inspirent d'indicateurs utilisés dans le bilan des accidents de la SAAQ (2008a) et présentés par Barber (2006). La liste qui suit présente en détail tous les champs dérivés et ajoutés à la BDAA ainsi que la définition et la provenance de chacun d'entre eux.

Définition des champs dérivés

Code	Premier caractère provenant de la décomposition du code de la sous-route : lettre ou chiffre permettant de différencier un type de sous-route spécifique (0 = route principale, 3 = carrefours et bretelles, V = voie de service, U = virage en "U")
Sequence	Deuxième caractère provenant de la décomposition du code de la sous-route : numéro séquentiel ou lettre séquentielle attribuée pour différencier un regroupement de plusieurs sous-routes de même type dans une section
Sous_code	Troisième caractère provenant de la décomposition du code de la sous-route : lettre ou valeur zéro si non applicable pour différencier plusieurs sous-routes de même type faisant partie d'un même regroupement

Cote_chaus	Quatrième caractère provenant de la décomposition du code de la sous-route : lettre (C, D, G) indiquant s'il s'agit d'une route à chaussées contiguës (C) ou, pour une route à chaussées séparées, s'il s'agit de la chaussée gauche (G) ou droite (D)
Date_acc_form	Date de l'accident formatée de façon à ce qu'Excel reconnaisse la valeur comme étant une date et non plus une série de caractères en format texte, obtenue de la transformation du champ Date acc (AA-MM-JJ)
Annee	Année de l'accident, tirée du champ Date accform et obtenue à l'aide de la fonction ANNEE() d'Excel (AAAA)
Mois	Mois de l'accident sous forme numérique, tirée du champ Date acc form et obtenue à l'aide de la fonction MOIS()
Jour	Jour de l'accident sous forme numérique, tirée du champ Date acc form et obtenue à l'aide de la fonction JOUR()
Mois_txt	Mois de l'accident sous forme textuelle, tirée du champ Mois et d'une fonction conditionnelle multiple d'Excel
Saison	Saison de l'accident sous forme textuelle, tirée des champs Mois et Jour et d'une fonction conditionnelle multiple d'Excel (changements de saison basés sur les dates de l'an 2002, simplification au jour près, c'est-à-dire que le passage d'une saison à l'autre se fait à minuit la date du changement)
Jour_sem	Jour de semaine de l'accident sous la forme d'une valeur numérique, tirée du champ Date acc form et obtenue à l'aide de la fonction JOURSEM() d'Excel (nombre variant de 1: dimanche à 7: samedi)
Jour_sem_txt	Jour de semaine de l'accident sous forme textuelle, tirée du champ Jour sem et obtenue à l'aide d'une fonction conditionnelle multiple d'Excel

Heure_form1	Étape intermédiaire de formatage de l'heure de l'accident, obtenue de la transformation du champ Heure accident (HH:MM)
Heure_form2	Heure de l'accident formatée de façon à ce qu'Excel reconnaisse la valeur comme étant une heure et non plus une série de caractères en format texte, tirée du champ Heure form1 et obtenue à l'aide de la fonction TEMPSVAL() d'Excel
Heure_arr	Heure de l'accident sans les minutes (arrondi à la baisse) en valeur numérique, tirée du champ Heure form2 et obtenue à l'aide de la fonction HEURE() d'Excel (nombre variant de 0 à 23)
Classe_heure1	Identificateur textuel classifiant l'accident comme étant survenu en période de pointe (matin/soir) ou en période hors pointe (pointe du matin posée de 6h00 à 8h00 et pointe du soir posée de 16h00 à 18h00, les 18 autres heures forment la période hors pointe), tiré du champ Heure arr et obtenu à l'aide d'une fonction conditionnelle multiple d'Excel
Classe_heure2	Classification de l'heure où est survenu l'accident selon un système comprenant 6 groupes de 4h chacun (0-3, 4-7, 8-11, 12-15, 16-19, 20-23), tirée du champ Heure arr et obtenue à l'aide d'une fonction conditionnelle multiple d'Excel
Classe_heure3	Classification de l'heure où est survenu l'accident selon un système comprenant 4 groupes de 6h chacun (0-5, 6-11, 12-17, 18-23), tirée du champ Heure arr et obtenue à l'aide d'une fonction conditionnelle multiple d'Excel
Code_asso	Code d'association comprenant l'année, le numéro de route, de tronçon et de section où est survenu l'accident utilisé pour effectuer la jonction BDDV-BDAA (Annee acc-Rte-Tr-Section)

Code_asso2002	Code d'association comprenant l'année médiane (2002) de la plage d'étude (2000 à 2004), le numéro de route, de tronçon et de section où est survenu l'accident utilisé pour effectuer la jonction BDDV-BDAA pour les caractéristiques de 2002 (2002-Rte-Tr-Section)
DJMA	Débit journalier moyen annuel associé à l'accident, extrait de la BDDV à l'aide du champ Code asso, de la fonction INDEX() et d'une multiplication vectorielle dans la fonction EQUIV() d'Excel
DJME	Débit journalier moyen estival l'année de l'accident, extrait de la BDDV à l'aide du champ Code asso, de la fonction INDEX() et d'une multiplication vectorielle dans la fonction EQUIV() d'Excel
DJMH	Débit journalier moyen hivernal l'année de l'accident, extrait de la BDDV à l'aide du champ Code asso, de la fonction INDEX() et d'une multiplication vectorielle dans la fonction EQUIV() d'Excel
DJMS	Débit journalier moyen correspondant à la saison et l'année de l'accident, obtenu à l'aide d'une fonction conditionnelle multiple d'Excel, il s'agit du choix entre le DJMA, le DJME ou le DJMH, selon ce qu'indique le champ Saison (DJMA est associé au printemps et à l'automne, DJME à l'été et DJMH à l'hiver)
P_Camions	Pourcentage de camions, extrait de la BDDV à l'aide du champ Code asso, de la fonction INDEX() et d'une multiplication vectorielle dans la fonction EQUIV() d'Excel
24h	Indique si le champ P camions a été calculé à partir d'un comptage automatique 24h (Oui) ou à partir d'un comptage manuel 12h (Non), extrait de la BDDV à l'aide du champ Code asso, de la fonction INDEX() et d'une multiplication vectorielle dans la fonction EQUIV() d'Excel

Annee_camion	Année où le comptage a été effectué pour calculer le pourcentage de camions, extrait de la BDDV à l'aide du champ Code asso, de la fonction INDEX() et d'une multiplication vectorielle dans la fonction EQUIV() d'Excel
DJMA2002	Débit journalier moyen annuel en 2002 là où est survenu l'accident (peu importe sa date), extrait de la BDDV à l'aide du champ Code asso, de la fonction INDEX() et d'une multiplication vectorielle dans la fonction EQUIV() d'Excel
DJME2002	Débit journalier moyen estival en 2002 là où est survenu l'accident (peu importe sa date), extrait de la BDDV à l'aide du champ Code asso, de la fonction INDEX() et d'une multiplication vectorielle dans la fonction EQUIV() d'Excel
DJMH2002	Débit journalier moyen hivernal en 2002 là où est survenu l'accident (peu importe sa date), extrait de la BDDV à l'aide du champ Code asso, de la fonction INDEX() et d'une multiplication vectorielle dans la fonction EQUIV() d'Excel
DJMS2002	Débit journalier moyen correspondant à la saison de l'accident, mais en 2002, là où est survenu l'accident (peu importe sa date), obtenu à l'aide d'une fonction conditionnelle multiple d'Excel, il s'agit du choix entre le DJMA2002, le DJME2002 ou le DJMH2002, selon ce qu'indique le champ Saison (DJMA2002 est associé au printemps et à l'automne, DJME2002 à l'été et DJMH2002 à l'hiver)
Ig	Indice de gravité, obtenu à partir du champ GR (indice de 9,5 si gravité BG ou M, indice de 3,5 si gravité BL et indice de 1 si DMS, à noter que le Ig est dicté par la blessure la plus grave de l'accident)

Ta	Taux d'accidents, obtenu par l'opération mathématique suivante : (Nb d'acc/année * 1 000 000) / (DJMA ou DJMS en véh/jour * 365 jours/année) / (Longueur routière en km), l'unité usuelle du Ta est donc |acc/Mvéh-km|
Tm	Taux moyen d'accidents, obtenu par l'opération mathématique suivante : (Nb d'acc * 1 000 000) / [Σ(DJMA * L) * P * 365], l'unité usuelle du Tm est donc |acc/Mvéh-km|

Les différentes variantes du taux d'accidents :

TD	Préfixe utilisé pour désigner un taux pondéré par le débit, pour les accidents il est obtenu par l'opération mathématique suivante : (Nb d'acc/année * 1 000 000) / (DJMA ou DJMS en véh/jour * 365 jours/année), l'unité usuelle du TDa est donc |acc/Mvéh|
TL	Préfixe utilisé pour désigner un taux pondéré par la longueur, pour les accidents il est obtenu par l'opération mathématique suivante : (Nb d'acc) / (Longueur routière en km), l'unité usuelle du TLa est donc |acc/km|
veha	Infixe ou suffixe utilisé pour désigner qu'il s'agit d'un taux de véhicules impliqués dans un accident
persa	Infixe ou suffixe utilisé pour désigner qu'il s'agit d'un taux de personnes ayant subi des blessures dans un accident
DMS	Infixe ou suffixe utilisé pour désigner que le taux s'applique aux accidents à dommage matériel seulement
BL	Infixe ou suffixe utilisé pour désigner que le taux s'applique aux accidents à blessés légers (au moins un blessé léger impliqué dans l'accident, mais pas de blessé grave ni de mortalité); lorsqu'il s'agit d'un taux de personnes ayant subi des blessures dans un accident, on fait référence au nombre de blessés légers

BG	Infixe ou suffixe utilisé pour désigner que le taux s'applique aux accidents à blessés graves (au moins un blessé grave impliqué dans l'accident, mais pas de mortalité); lorsqu'il s'agit d'un taux de personnes ayant subi des blessures dans un accident, on fait référence au nombre de blessés graves
M	Infixe ou suffixe utilisé pour désigner que le taux s'applique aux accidents mortels (au moins une mortalité impliquée dans l'accident); lorsqu'il s'agit d'un taux de personnes ayant subi des blessures dans un accident, on fait référence au nombre de personnes décédées
BLBGM	Infixe ou suffixe utilisé pour désigner que le taux s'applique aux accidents à blessés légers, blessés graves et mortels (il s'agit de tous les accidents sauf ceux avec dommage matériel seulement); lorsqu'il s'agit d'un taux de personnes ayant subi des blessures dans un accident, on fait référence au nombre total de blessés légers, graves ou personnes décédées (il peut donc y avoir plus d'une personne accidentée par accident)
2002	Le suffixe 2002 est utilisé lorsque le calcul du taux se base sur le DJMS2002, c'est-à-dire le débit de l'année médiane de l'étude
p	Le suffixe p est utilisé pour désigner que le taux est pondéré par l'indice de gravité, obtenu par la multiplication du taux par Ig

4.4 Analyse descriptive des accidents autoroutiers

4.4.1 Estimation de la longueur du réseau routier et autoroutier

Pour quantifier l'étendue routière et pour faciliter la comparaison éventuelle de la dangerosité entre le réseau routier global et le réseau autoroutier filtré (voir section 4.3.2), on suggère dans un premier temps une estimation de la longueur du réseau. En fait, l'objectif ici est d'approximer le

nombre de kilomètres carrossables sur une route ou une autoroute selon différentes approches. Il existe effectivement différentes façons d'exprimer et d'interpréter une distance routière. Les longueurs itinéraire, réelle et pondérée sont les trois principaux indicateurs classiques (MTQ, 2002c). On propose toutefois un indicateur supplémentaire que l'on appellera longueur directionnelle de façon à considérer d'une autre perspective l'exposition au risque. Les lignes ci-dessous définissent ces quatre types de mesure.

Longueur réelle

La longueur réelle correspond tout d'abord à la somme des segments de la BDGR telle qu'elle est cartographiée. Plus spécifiquement, les routes à chaussées contiguës étant représentées par un segment simple, une distance unique sera calculée entre deux points sans considération de la direction ou du nombre de voies. À l'opposé, lorsqu'il s'agit d'une autoroute ou route à chaussées séparées (représenté par deux segments parallèles), on additionnera la longueur de la chaussée gauche à celle de la chaussée droite pour obtenir la distance entre deux points. En clair, on totalise la distance d'un « aller-retour » sur les routes à chaussées séparées et d'un « aller simple » sur celles à chaussées contiguës. Il s'agit en fait des longueurs brutes tirées directement de la BDGR.

Longueur itinéraire

Le qualificatif itinéraire, quant à lui, fait référence à la distance en « aller simple » d'un point à un autre sur le réseau sans considérer le nombre de voies ou le fait que la route comporte des chaussées séparées ou contiguës. Le calcul de la longueur d'un segment d'autoroute, par exemple, n'utilisera qu'un seul de ses deux côtés (ou directions) et négligera sa voie de service, le cas échéant, puisqu'il s'agit en quelque sorte d'un dédoublement du même parcours.

Longueur pondérée

La longueur pondérée se calcule de la même façon que la longueur réelle excepté qu'elle tient compte du nombre de voies. Plus spécifiquement, elle renvoie un équivalent routes à deux voies sur l'ensemble du réseau. Elle est obtenue par la somme des longueurs de chaque segment multipliées par leur nombre de voies respectif et divisée par deux. Cet indicateur implique que le nombre de voies doit être connu en tout point dans la BDGR, ce qui n'est actuellement pas le cas. Pour obtenir un ordre de grandeur, il est nécessaire de faire certaines hypothèses et simplifications avec cette approche. On pose donc ici les associations suivantes :

- Route ou autoroute à chaussées contiguës : 1,1 voie par direction;
- Route ou autoroute à chaussées séparées : 2,1 voies par direction;
- Bretelle : 1,05 voie;
- Voie de service : 1,5 voie;
- Autres (voir définition du champ *Code* dans la section 4.2.2) : 1,05 voie.

Ces majorations de 5, 10 et 50 % sont appliquées de façon à tenir compte des différences principalement en milieu urbain où la circulation élevée pousse les concepteurs à fournir plus de voies aux utilisateurs du réseau. Il serait recommandé de bonifier la BDGR en ajoutant un champ déterminant le nombre de voies pour chacun des segments pour une évaluation plus précise de l'indicateur longueur pondérée.

Longueur directionnelle

La longueur directionnelle, quant à elle, totalise les longueurs pour chaque direction des routes ou autoroutes, peu importe leur nombre de voies. Le fait d'être à chaussées contiguës ou séparées modifie le calcul. Une route bidirectionnelle d'un kilomètre, par exemple, correspond en fait à un kilomètre de route carrossable par direction, ce qui donne longueur directionnelle de deux kilomètres au total. Des valeurs obtenues de MapInfo, il faut donc multiplier par deux la longueur des segments linéaires bidirectionnels. Les segments à chaussées séparées, quant à eux, n'ont pas à être multipliés puisqu'ils sont déjà divisés en tronçons à sens uniques. Donc, dans le cas des autoroutes à chaussées séparées, la longueur directionnelle équivaut à la longueur réelle.

Autre indicateur possible pour quantifier l'étendue routière

Pour parfaire l'analyse, une longueur tenant compte de la largeur des voies et éventuellement des accotements pourrait aussi être élaborée. Par contre, dans le cas présent, il s'agit d'une information qui est inconnue à l'échelle de l'ensemble du réseau. De plus, le fait que la BDGR ne caractérise pas le milieu (urbain ou rural) de chacun de ses éléments rend cet indicateur difficilement estimable.

Pour obtenir, donc, les quatre indicateurs retenus, la couche de la BDGR dans MapInfo peut être indirectement interrogée par la fonction « Calculate Statistics » du menu « Query ». Au préalable, cette couche doit être divisée de façon à distinguer les routes et autoroutes selon leur type, soient

les routes/autoroutes à chaussées contiguës, les routes/autoroutes à chaussées séparées, les bretelles d'autoroutes, les voies de service et les autres types de tronçons (voir définition des champs *Code* et *Cote_chaus* de la BDGR, section 4.2.2). Cette distinction peut également se faire en exportant la BDGR dans Excel et en créant un tableau croisé dynamique. Certaines considérations doivent cependant être mises de l'avant pour l'extraction brute des longueurs. Tout d'abord, il faut noter qu'en plus de la version 2000, la version 2008 de la BDGR est également utilisée pour le calcul de l'étendue du réseau dans son ensemble puisqu'elle est plus complète au niveau de la codification des tronçons. Cette plus récente base de données comprenait initialement une partie du réseau local, ce qui n'est pas le cas de l'ancienne. La proportion du réseau local codifié est toutefois inconnue et nombreuses sont les rues qui demeurent impossibles à considérer. On ne peut donc pas calculer l'étendue totale du réseau routier de la province du Québec. On peut, par contre, connaître la longueur de l'ensemble du réseau routier de classe fonctionnelle autre que locale et c'est pourquoi ce critère correspond au filtre premier des calculs d'étendue routière.

Les différentes longueurs extraites de la base de données géographique routière selon le code de sous-route sont présentées à la Figure 4.13. Elles comprennent les segments de toutes les différentes classes fonctionnelles sauf le local. Ces longueurs correspondent aux valeurs de base d'où il est possible de dériver les longueurs réelle, itinéraire, pondérée et directionnelle.

Code de sous-route	Longueur (km) BDGR 2000	Longueur (km) BDGR 2008	Proportion 2000 (%)
000C	23 510,013	23 986,960	98,0%
000D ou 000G	4 603,170	4 987,962	92,3%
3---	1 619,995	1 849,133	87,6%
A---	-	0,802	0,0%
B---	0,825	5,193	15,9%
D---	1,629	6,016	27,1%
F---	-	1,703	0,0%
G---	-	1,109	0,0%
H---	33,455	60,041	55,7%
L---	0,236	2,284	10,3%
M---	-	434,065	0,0%
P---	13,164	27,870	47,2%
R---	1,220	3,538	34,5%
S---	-	4,995	0,0%
T---	-	1,127	0,0%
U---	3,836	67,269	5,7%
V---	133,297	162,202	82,2%
Total	**29 920,840**	**31 602,269**	94,7%

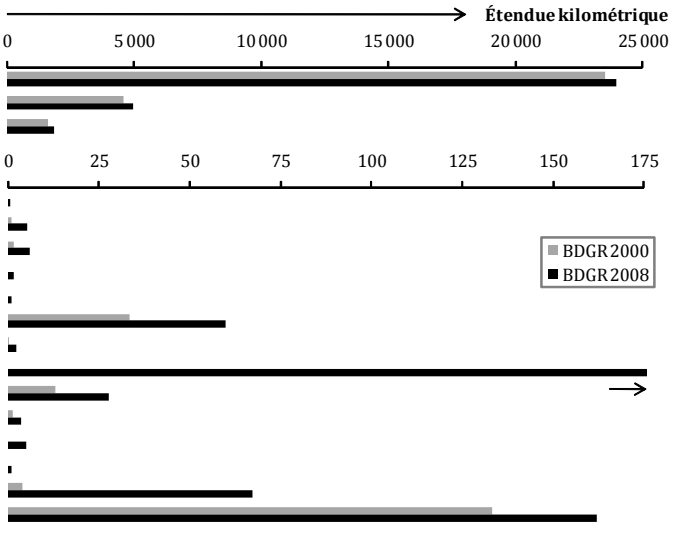


Figure 4.13: Étendue kilométrique de la BDGR 2000 et 2008 en fonction du code de sous-route

Sur cette figure, il est possible de remarquer que les codes de sous-route autres que 000C, 000D et 000G se présentent dans une faible proportion. On constate également une légère augmentation de l'étendue routière entre 2000 et 2008. En effet, entre ces années, le réseau principal subit une expansion d'environ 3,07 %, tandis que pour le réseau dans son ensemble, cette valeur s'élève à 5,62 %. En épurant les codes de sous-routes indésirés dans le cadre de la présente étude, c'est-à-dire les tronçons non standards tels qu'une halte routière, un poste de pesée de camions, une aire de vérification des freins, etc., cette augmentation se chiffre à 3,75 %. Ce pourcentage s'applique plus spécifiquement aux routes principales à chaussées contiguës (000C) ou séparées (000D et 000G), aux bretelles ou carrefours (3---) et aux voies de service (V---). La justification de mettre dans une classe à part les autres codes de sous-route se base sur le fait que certains types de tronçons n'étaient tout simplement pas encore ou que très peu codifiés à l'époque. En examinant la Figure 4.13 de plus près, on constate, par exemple, que les virages en « U » (code U---) ont subi une augmentation de près de 95%. Ce genre de cas ne correspond donc pas nécessairement à une expansion du réseau, mais plutôt à une codification de segments qui n'étaient auparavant pas ou peu codifiés.

En faisant l'hypothèse d'un pourcentage d'expansion constant au cours des années 2000 à 2008, il est possible d'estimer l'étendue du réseau épuré à la période médiane de l'étude des accidents (fin juin 2002). La méthode de calcul proposée ici est similaire à l'estimation classique de l'évolution d'un DJMA à travers les années. Il faut d'abord déterminer le taux de croissance annuel de chacune des sous-routes avec la formule suivante :

$$F = P(1+i)^N \Longrightarrow i = \sqrt[N]{\left(\frac{F}{P}\right)} - 1.$$

Pour le code 000C, par exemple, et connaissant F : l'étendue du réseau en 2008 (23 986,960 km), P : l'étendue du réseau en 2000 (23 510,013 km), et N : le nombre d'années total d'expansion (du 1er janvier 2000 au 31 décembre 2008, donc neuf ans), il est possible de calculer le pourcentage d'augmentation annuel de la longueur i qui est égal à 0,2234 %. Il suffit ensuite, à partir de la valeur de 2000, d'accroître l'étendue à l'aide du facteur d'expansion de 1,002234 par année jusqu'à la fin juin 2002 en considérant qu'à ce moment, 50% de l'expansion annuelle est

achevée. Ainsi, à la mi-2002, la longueur des routes principales à chaussées contiguës pour le réseau épuré est estimée à 23 641,554 km. Le même principe est effectué pour chacune des catégories et le résumé de ces calculs est présenté au Tableau 4-5.

Tableau 4-5: Estimation de la longueur du réseau routier à la fin du mois de juin 2002

Code de	Longueur (km)		Augmentation	Facteur	Estimation de la longueur (km)				
sous-route	BDGR 2000	BDGR 2008	annuelle (%)	d'expansion	En 2001	En 2002	En 2003	(2003-2002)/2	Mi-2002
000C	23 510,013	23 986,960	0,2234	1,002234	23 562,535	23 615,175	23 667,932	26,379	23 641,554
000D ou 000G	4 603,170	4 987,962	0,8960	1,008960	4 644,415	4 686,030	4 728,017	20,994	4 707,024
3---	1 619,995	1 849,133	1,4808	1,014808	1 643,984	1 668,328	1 693,032	12,352	1 680,680
V---	133,297	162,202	2,2046	1,022046	136,236	139,239	142,309	1,535	140,774
Autres	54,365	616,012	30,9607	1,309607	71,197	93,240	122,108	14,434	107,674
Sous-total	*29 920,840*	*31 602,269*	-	-	*30 058,367*	*30 202,011*	*30 353,398*	*75,693*	*30 277,705*
Total épuré	**29 866,475**	**30 986,257**	**-**	**-**	**29 987,170**	**30 108,772**	**30 231,290**	**61,259**	**30 170,031**

Pour ce qui est du réseau autoroutier filtré, on utilise la version 2000 de la BDGR, sans expansion, de façon à établir la longueur exacte du réseau relié à la plage d'accidents à l'étude et, donc, pour être cohérent avec la BDAA.

D'autre part, pour calculer les quatre indicateurs définis précédemment, il faut également tenir compte de l'aspect cartographique de la BDGR. D'une part, on note qu'une route contiguë, étant dessinée comme un segment simple, fournit une longueur bidirectionnelle. Pour ce qui est des autoroutes et des routes à chaussées séparées, elles sont représentées par deux segments parallèles (un par direction), ce qui veut dire une addition de longueurs unidirectionnelles.

Les tableaux et la figure qui suivent présentent le résultat du calcul des indicateurs d'étendue routière tels que définis précédemment dans cette section. Le Tableau 4-6 fournit les longueurs pour le réseau global estimé en 2002 tandis que le Tableau 4-7 affiche les résultats pour le réseau autoroutier filtré. La Figure 4.14, quant à elle, illustre la part d'occupation du réseau autoroutier à l'étude par rapport au réseau routier global de toutes classes fonctionnelles sauf locale. Il est à noter que ces résultats sont repris plus loin dans ce chapitre dans l'objectif de caractériser les accidents selon l'étendue du réseau.

Tableau 4-6: Longueur du réseau routier global à la fin juin 2002 selon les différents types de longueurs

RÉSEAU GLOBAL ESTIMÉ POUR MI-2002	**Longueurs dérivées (km)**			
Type de segment	**Réelle**	**Itinéraire**	**Pondérée**	**Directionnelle**
Routes/autoroutes à chaussées contiguës	23 641,554	23 641,554	26 005,709	47 283,107
Routes/autoroutes à chaussées séparées	4 707,024	2 353,512	4 942,375	4 707,024
Bretelles	1 680,680	1 680,680	882,357	1 680,680
Voies de service	140,774	-	105,581	140,774
Autres	107,674	-	56,529	107,674
Sous-total	*30 277,705*	*27 675,745*	*31 992,550*	*53 919,258*
Total excluant le type « Autres »	**30 170,031**	**27 675,745**	**31 936,021**	**53 811,585**

Tableau 4-7: Longueur du réseau autoroutier à la fin juin 2002 selon les différents types de longueurs et proportion par rapport au réseau global

RÉSEAU AUTOROUTIER FILTRÉ	**Longueurs dérivées (km)**			
Type de segment	**Réelle**	**Itinéraire**	**Pondérée**	**Directionnelle**
Autoroutes à chaussées séparées	3 465,006	1 732,503	3 638,256	3 465,006
Bretelles	1 469,343	1 469,343	771,405	1 469,343
Voies de service	130,904	-	98,178	130,904
Total réseau autoroutier filtré	**5 065,253**	**3 201,846**	**4 507,839**	**5 065,253**
Proportion par rapport au réseau global	**16,8%**	**11,6%**	**14,1%**	**9,4%**

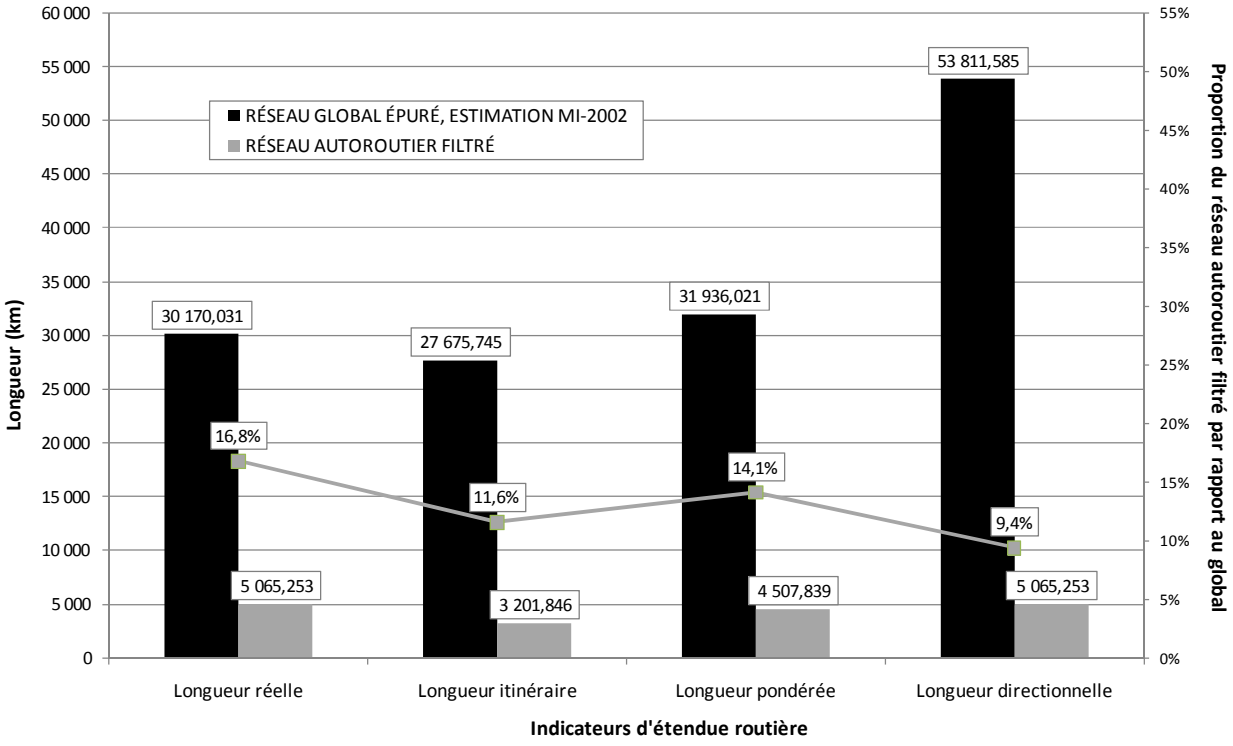


Figure 4.14: Différence entre les différents indicateurs d'étendue routière et proportion du réseau autoroutier filtré par rapport au réseau routier dans son ensemble

L'examen de ces résultats permet de mettre en évidence certains constats. Premièrement, on évalue à 5 065 le nombre de kilomètres réels d'autoroutes au Québec. À titre comparatif, d'après les données statistiques des différentes régions du Québec sur le site Web officiel du MTQ (dernière mise à jour en 2007), on estime à 5 103 kilomètres la longueur réelle du réseau autoroutier, ce qui est très comparable à l'étendue estimée dans le cadre du présent rapport (moins d'un pour cent d'écart). Dans un autre ordre d'idées, le choix d'un indicateur plutôt qu'un autre implique une grande fluctuation au niveau du calcul de l'étendue routière. Pour le réseau global, par exemple, on dénote une hausse de 94,4 % en passant de la longueur itinéraire à directionnelle. Pour le réseau autoroutier filtré, cette valeur s'élève à un maximum de 58,2 % en passant de la longueur itinéraire à réelle ou directionnelle. En second lieu, il est possible de remarquer que l'étendue du réseau autoroutier filtré se situe environ entre le onzième et le sixième de l'ensemble du réseau routier (excluant le local), selon la façon dont elle est exprimée. La part maximale est associée à la longueur réelle tandis que la part minimale l'est à la

directionnelle. Il ne s'agit pas nécessairement de parts très importantes lorsqu'évaluées quantitativement, mais il n'en demeure pas moins que cet échantillon transporte souvent plus de voyageurs à l'heure que partout ailleurs, proportionnellement à sa longueur. Le nombre relativement élevé d'accidents, en valeur absolue, sur les autoroutes est justement expliqué par cette tendance, plutôt que par une grande étendue routière. Il faut noter, finalement, que la proportion que représente l'étendue du réseau autoroutier par rapport au réseau global ne suit pas nécessairement la tendance des valeurs absolues de chacune des catégories. Par exemple, lorsque l'on compare la longueur pondérée et la longueur directionnelle, on constate une forte décroissance de la proportion (-4,7 %) même si, en absolues, les longueurs du réseau autoroutier filtré et du réseau global augmentent.

En résumé, les discussions traitant de distances routières nécessitent toujours une certaine prudence. Notamment, lors de l'évaluation d'un taux d'accidents pondéré par la longueur d'un tronçon routier, il est important de spécifier le type d'indicateur d'étendue routière choisi et d'expliquer les conséquences de ce choix dans l'interprétation des résultats.

4.4.2 Calcul des indicateurs de base de sécurité routière

Cette section présente les principaux indicateurs statistiques caractérisant les accidents autoroutiers selon un découpage par type de sous-route. Il est possible d'exprimer la dangerosité d'une autoroute de différentes façons. S'inspirant de la segmentation de la SAAQ (2008b), on propose ici un examen des données selon trois avenues : les accidents proprement dits, les véhicules impliqués dans un accident et les personnes ayant subi des blessures dans un accident. Pour chacune de ces approches, l'objectif fixé ici est d'obtenir premièrement l'envergure du nombre (d'accidents, de véhicules impliqués dans un accident et de personnes ayant subi des blessures dans un accident), puis de quantifier les taux pondérés par le débit et / ou par la longueur du réseau (telle que calculée à la section 4.4.1). Ces valeurs sont obtenues par une manipulation de la BDAA et de la BDDV, plus spécifiquement à l'aide de filtres, de sommes, de proportions et de tableaux croisés dynamiques dans Excel. En outre, certaines hypothèses doivent être préalablement posées, car certaines données ne présentent pas suffisamment d'information pour être traitées directement. Ces hypothèses sont présentées ci-dessous.

- Tous les accidents, véhicules impliqués dans un accident ou personnes ayant subi des blessures dans un accident reliés à un code de sous-route inconnu (code « Vide ») sont répartis selon la proportion respective des autres codes.
- Tous les accidents, véhicules impliqués dans un accident ou personnes ayant subi des blessures dans un accident ne peuvent pas être reliés à un débit, car cette dernière information n'est pas recueillie en tout point sur le réseau. Ainsi, une proportion des données lors du calcul des taux ne peut pas être directement considérée. Le calcul des taux moyens fait donc l'hypothèse que les endroits où les compteurs automatiques du MTQ sont positionnés sont représentatifs de l'ensemble de la catégorie de route examinée. S'il advenait, par exemple, que ces compteurs soient installés aux endroits où il survient plus d'accidents par rapport au débit que la moyenne, cela pourrait fausser les calculs.

Premièrement, les Tableau 4-8, Tableau 4-11 et Tableau 4-14 présentent respectivement le nombre d'accidents autoroutiers, de véhicules impliqués dans un accident et de personnes ayant subi des blessures dans un accident selon la gravité et le type de sous-route. Ils montrent également le détail de la méthode utilisée pour répartir les accidents non localisés.

Par la suite, les Tableau 4-9, Tableau 4-12 et Tableau 4-15 fournissent respectivement les taux d'accidents autoroutiers, de véhicules impliqués dans un accident et de personnes ayant subi des blessures dans un accident pondérés par la longueur du réseau et selon la gravité des accidents. Tous les codes de sous-route sont examinés ici, car la longueur du réseau a été préalablement calculée selon ces différents cas (voir section 4.4.1). Puisqu'il s'agit de taux relativement faibles, on présente les résultats par dix kilomètres plutôt que par kilomètre. Lorsqu'un taux n'est pondéré que par la longueur, le caractère temporel (qui n'est présent que dans le débit) doit être ajouté à la façon d'exprimer ce taux. En ce sens, une division des sommes par cinq permet d'obtenir un nombre annuel d'accidents, de véhicules ou de personnes par longueur d'autoroute.

Les Tableau 4-10, Tableau 4-13 et Tableau 4-16 quant à eux, rapportent le calcul des taux moyens pondérés par le débit et la longueur respectivement pour le nombre d'accidents autoroutiers, de véhicules impliqués dans un accident et de personnes ayant subi des blessures dans un accident. La démarche menant à l'obtention de taux moyens implique quelques étapes de

manipulation de données et de calcul. Tout d'abord, le taux moyen d'accidents est calculé à partir de l'équation classique telle que présentée par Nicoll (2004) et Barber (2006) :

$$T_m = \frac{\sum N_i \times 10^6}{365 \times P \times \sum (Q_i \times L_i)}$$

où T_m = Taux moyen d'accidents (en accidents/Mvéh-km);

N_i = Nombre total d'accidents sur le tronçon i durant la période P à l'étude;

P = Période à l'étude (en années);

Q_i = DJMA sur le tronçon i;

L_i = Longueur du tronçon i (en km).

La même formule peut être utilisée pour calculer les taux moyens de véhicules et de personnes en substituant le N dans l'équation précédente par le nombre de véhicules et de personnes. La somme des accidents, véhicules ou personnes est obtenue par une simple filtration des données de la BDAA dans Excel. Au préalable, la jonction des débits pour chaque accident a dû être effectuée selon la méthode décrite à la section 4.3.1. Il suffit alors d'isoler les accidents survenus aux endroits où l'on connaît le débit (retrait de tous les accidents qui ne peuvent être associés à un DJMA). La somme des produits du DJMA par la longueur de chaque tronçon est, quant à elle, prise directement de la BDDV. Puisque les débits varient d'une année à l'autre, plutôt que d'utiliser l'équation précédente telle quelle, le P est retiré de l'équation et la période de cinq ans se retrouve comprise complètement dans la somme des Q_i x L_i. Ainsi, la longueur de chaque tronçon est calculée à cinq reprises, ce qui revient exactement au même que de multiplier le dénominateur par P.

Par ailleurs, il faut noter également que les taux moyens d'accidents, de véhicules ou de personnes pondérés simultanément par le débit et la longueur ne peuvent être calculés que pour la section courante (code 0). En effet, puisque la BDDV ne fournit des débits qu'à partir d'une route, d'un tronçon, d'une section et d'un chaînage de début et de fin, sans connaître le code de sous-route, on suppose que tous les comptages sont effectués en section courante (hypothèse posée à la section 4.2.3). Il est donc impossible de calculer un taux pondéré par le débit pour tous

les autres codes que 0. Ainsi, lorsque ces taux sont présentés, il faut être conscient qu'il s'agit de valeurs ne s'appliquant qu'aux sections courantes d'autoroutes.

Le code 0 présente en surplus des taux pondérés par le débit et la longueur, ce qui correspond à l'indicateur usuel dans le domaine de la sécurité routière.

Il faut souligner finalement que l'indice de gravité utilisé pour le calcul des taux pondérés, dans tous les cas, a été calculé à partir de l'ensemble des accidents autoroutiers entre 2000 et 2004, selon le type de sous-route en présence. Ainsi, même si les taux moyens sont fondés sur un échantillon des données d'accidents (seulement ceux reliés à un DJMA), il a été choisi d'y associer le véritable indice de gravité représentatif de l'ensemble de la population des données d'accidents et non pas celui de l'échantillon. Une légère différence a été constatée entre ces derniers (1,551 pour l'échantillon et 1,546 pour l'ensemble des accidents survenus sur les sous-routes de code 0) signifiant que les accidents sont en moyenne légèrement moins graves globalement que pour les accidents survenus dans les zones où l'on connaît le DJMA.

Les résultats finaux sont donc présentés pour chacune des trois approches dans les lignes qui suivent. Pour la signification des indicateurs de taux, se référer à la définition des champs dérivés de la BDAA (section 4.3.3). Une discussion des résultats est proposée à la suite des tableaux de chacune des approches.

Approche considérant les accidents proprement dits

Tableau 4-8: Nombre total d'accidents autoroutiers entre 2000 et 2004 en fonction du code de sous-route et de la gravité de l'accident après répartition des accidents non localisés (code Vide)

Code de sous-route	Nombre d'accidents selon la gravité					Proportion par rapport au total excluant le code Vide				Estimation du nombre d'accidents après répartition des codes Vide				
	DMS	BL	BG	M	Sous-total	DMS	BL	BG	M	DMS	BL	BG	M	Total
0	72302	14208	1206	269	87985	84.61%	83.38%	87.08%	88.20%	78062	15227	1287	278	94854
3	11791	2405	155	29	14380	13.80%	14.11%	11.19%	9.51%	12730	2577	165	30	15503
V	1287	422	23	6	1738	1.51%	2.48%	1.66%	1.97%	1390	452	25	6	1873
0, 3 et V	**85380**	**17035**	**1384**	**304**	**104103**	**-**	**-**	**-**	**-**	**92182**	**18257**	**1477**	**314**	**112229**
Vide	6808	1222	93	10	8133	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Autres	75	6	1	1	83	0.09%	0.04%	0.07%	0.33%	81	6	1	1	90
Tous	**92263**	**18263**	**1478**	**315**	**112319**	**-**	**-**	**-**	**-**	**92263**	**18263**	**1478**	**315**	**112319**

Tableau 4-9: Taux annuel d'accidents autoroutiers par rapport à la longueur selon le code de sous-route et la gravité de l'accident

Code de sous-route : 0

Gravité des accidents		Dommage matériel seulement	Blessés légers	Blessés graves	Mortels	BL+BG+M	Accidents toutes gravités	
Nombre total d'accidents après répartition du code Vide, selon la gravité et pour une période de cinq ans		78062	15227	1287	278	16792	94854	où Ig=1.546
Indicateur de taux d'accidents		**TLaDMS**	**TLaBL**	**TLaBG**	**TLaM**	**TLaBLBGM**	**TLa**	**TLap**
Taux d'accidents selon le type de longueur (en acc/10 km/année)	**Réelle**	45.057	8.789	0.743	0.160	9.692	54.750	84.654
	Itinéraire	90.115	17.578	1.486	0.321	19.384	109.499	169.308
	Pondérée	42.912	8.370	0.707	0.153	9.231	52.142	80.623
	Directionnelle	45.057	8.789	0.743	0.160	9.692	54.750	84.654

Code de sous-route : 3

Gravité des accidents		Dommage matériel seulement	Blessés légers	Blessés graves	Mortels	BL+BG+M	Accidents toutes gravités	
Nombre total d'accidents après répartition du code Vide, selon la gravité et pour une période de cinq ans		12730	2577	165	30	2773	15503	où Ig=1.527
Indicateur de taux d'accidents		**TLaDMS**	**TLaBL**	**TLaBG**	**TLaM**	**TLaBLBGM**	**TLa**	**TLap**
Taux d'accidents selon le type de longueur (en acc/10 km/année)	**Réelle**	17.328	3.508	0.225	0.041	3.774	21.102	32.220
	Itinéraire	17.328	3.508	0.225	0.041	3.774	21.102	32.220
	Pondérée	33.006	6.683	0.429	0.078	7.189	40.195	61.372
	Directionnelle	17.328	3.508	0.225	0.041	3.774	21.102	32.220

Code de sous-route : V

Gravité des accidents		Dommage matériel seulement	Blessés légers	Blessés graves	Mortels	BL+BG+M	Accidents toutes gravités	
Nombre total d'accidents après répartition du code Vide, selon la gravité et pour une période de cinq ans		1390	452	25	6	483	1873	où Ig=1.749
Indicateur de taux d'accidents		**TLaDMS**	**TLaBL**	**TLaBG**	**TLaM**	**TLaBLBGM**	**TLa**	**TLap**
Taux d'accidents selon le type de longueur (en acc/10 km/année)	**Réelle**	21.230	6.910	0.3750	0.09468	7.379	28.609	50.033
	Itinéraire	-	-	-	-	-	-	-
	Pondérée	28.306	9.213	0.5000	0.12623	9.839	38.146	66.711
	Directionnelle	21.230	6.910	0.3750	0.09468	7.379	28.609	50.033

Tableau 4-10: Taux moyen d'accidents en section courante d'autoroute par rapport au DJMA et à la longueur selon la gravité de l'accident

Gravité des accidents			Dommage matériel seulement	Blessés légers	Blessés graves	Mortels	BL+BG+M	Accidents toutes gravités	
Nombre d'accidents associés à un DJMA, selon la gravité et pour une période de cinq ans			50666	9825	893	209	10927	61593	où Ig=1.546
Type de longueur	**$\Sigma(Q_i \times L_i)$**	**Indicateur de taux d'accidents**	**TmaDMS**	**TmaBL**	**TmaBG**	**TmaM**	**TmaBLBGM**	**Tma**	**Tmap**
Itinéraire / réelle / directionnelle	242756222	**Taux moyen d'accidents (en acc/Mvéh-10km)**	5.718	1.109	0.101	0.024	1.233	6.951	10.745
Pondérée	254894033		5.446	1.056	0.096	0.022	1.174	6.620	10.234

Au total entre le début de l'année 2000 et la fin de l'année 2004, selon le Tableau 4-8, on évalue à 112 319 le nombre total d'accidents autoroutiers, ce qui donne une moyenne de 22 464 accidents par année. La grande majorité de ces accidents sont survenus en section courante avec une part de 84,5 % par rapport au total. Les bretelles et les voies services obtiennent quant à eux des parts respectives de 13,8 % et de 1,7 %, tandis que les autres types de sous-routes représentent une part négligeable. Ces proportions sont comparables aux pourcentages de distribution des longueurs pondérées pour chacun des types de sous-route (80,7 %, 17,1 % et 2,2 %, respectivement pour les sections courantes, les bretelles et les voies de service, voir valeurs absolues au Tableau 4-7). Par ailleurs, en moyenne, 82,1 % des accidents sont associés à des DMS, 16,3 % à des blessures légères, 1,3 % à des blessures graves et 0,3 % à des décès.

Lorsque la dimension « distance » est ajoutée au calcul des indicateurs, il devient possible d'évaluer un peu plus le caractère accidentogène des types de sous-routes. La constatation principale au regard du Tableau 4-9 est que la section courante (code de sous-route 0) correspond à l'élément autoroutier présentant le plus d'accidents par kilomètre, et ce, peu importe la gravité ou l'indicateur de longueur utilisé. Annuellement, on y compte environ onze accidents toutes gravités par kilomètre itinéraire (bidirectionnel) dont neuf sont des DMS. L'unique exception à cette règle est lorsque l'on examine le taux d'accidents par rapport à la longueur pondérée qui, pour les voies de service, est légèrement supérieur au taux des sections courantes. Par contre, le peu de données pour les voies de service et le faible écart ne permet pas de conclure à une dangerosité plus élevée des voies de service par rapport à la longueur. D'autre part, lorsque le code de sous-route 0 est examiné de plus près, le taux relié à la longueur itinéraire surpassent toutes les autres valeurs, ce qui n'est pas le cas des codes 3 et V. Cette tendance s'explique par le fait qu'une longueur itinéraire implique une plus grande exposition au risque sur les autoroutes, car elle inclut les deux directions.

Le principe d'exposition au risque se mesure également par la présence de véhicules sur la route. Selon le Tableau 4-10, le taux moyen d'accidents s'élève à presque sept accidents par millions de véhicules pour dix kilomètres (pour la plage 2000 à 2004). À titre de comparaison, selon le résultat extrait du CDSR (Comptoir de données en sécurité routière du MTQ) fourni par la Direction de la sécurité en transport du Ministère, ce taux s'élèverait à 6,4. La légère différence peut s'expliquer premièrement par la filtration des données qui n'est peut-être pas exactement la même. Une autre hypothèse d'explication serait la méthode de calcul qui diffère par le fait que le

Ministère utilise le DJMA 2002 dans le calcul du facteur d'exposition plutôt que le DJMA de chacune des années de la plage d'étude. Par ailleurs, il faut noter que les longueurs réelle, itinéraire et directionnelle donnent exactement les mêmes résultats pour une section courante d'autoroute. Classiquement, la longueur itinéraire et le DJMA bidirectionnel sont utilisés pour calculer un taux moyen d'accidents. Lorsque l'on désire exprimer ce taux par rapport à la longueur réelle ou directionnelle (longueurs qui s'équivalent pour une section courante d'autoroute), il faudrait diviser le DJMA par deux. Toutefois, puisque la longueur considérée pour ces cas est deux fois plus grande que pour la longueur itinéraire, le résultat des calculs est identique. Le taux moyen par rapport à la longueur pondérée est, quant à lui, légèrement inférieur au taux moyen classique, car le dénominateur de l'équation est augmenté. En effet, la longueur pondérée est quelque peu plus grande que la longueur réelle, car elle rapporte l'étendue routière sur une équivalence à deux voies par direction, ce qui est un minimum dans le cadre du réseau autoroutier considéré dans la présente étude (la moyenne considérée étant de 2,1 voies par direction, voir hypothèses de la section 4.4.1). En parallèle, les taux moyens par rapport à la gravité de l'accident ressemblent aux proportions constatées pour le nombre d'accidents par kilomètre de route. Ainsi, pour un million de véhicules en circulation, on retrouve quelques 5,4 accidents à dommage matériel seulement et 1,1 accident à blessés légers par dix kilomètres pondérés. Ces valeurs, pour mille kilomètres, sont de 9,6 et de 2,2, respectivement pour les accidents qui impliquent des blessés graves et des décès.

Approche considérant les véhicules impliqués dans un accident

Tableau 4-11: Nombre total de véhicules impliqués dans un accident entre 2000 et 2004 en fonction du code de sous-route et de la gravité de l'accident après répartition des véhicules impliqués dans des accidents non localisés (code Vide)

Code de sous-route	Nombre de véhicules impliqués dans un accident selon la gravité de l'accident					Proportion par rapport au total excluant le code Vide				Estimation du nombre de véhicules impliqués dans un accident après répartition du code Vide				
	DMS	BL	BG	M	Sous-total	DMS	BL	BG	M	DMS	BL	BG	M	Total
0	123710	26031	2062	544	152347	84.46%	83.82%	87.93%	90.67%	133682	27885	2197	559	164322
3	20460	4236	244	46	24986	13.97%	13.64%	10.41%	7.67%	22109	4538	260	47	26954
V	2166	783	38	8	2995	1.48%	2.52%	1.62%	1.33%	2341	839	40	8	3228
0, 3 et V	**146336**	**31050**	**2344**	**598**	**180328**	**-**	**-**	**-**	**-**	**158132**	**33262**	**2497**	**614**	**194504**
Vide	11806	2212	153	16	14187	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Autres	128	7	1	2	138	0.09%	0.02%	0.04%	0.33%	138	7	1	2	149
Tous	**158270**	**33269**	**2498**	**616**	**194653**	**-**	**-**	**-**	**-**	**158270**	**33269**	**2498**	**616**	**194653**

Tableau 4-12: Taux annuel de véhicules impliqués dans un accident par rapport à la longueur selon le code de sous-route et la gravité de l'accident

Code de sous-route : 0

Gravité des accidents		Dommage matériel seulement	Blessés légers	Blessés graves	Mortels	BL+BG+M	Accidents toutes gravités
Nombre total de véhicules après répartition du code Vide, selon la gravité et pour une période de cinq ans		133682	27885	2197	559	30640	164322
Indicateur de taux de véhicules		**TLvehaDMS**	**TLvehaBL**	**TLvehaBG**	**TLvehaM**	**TLvehaBLBGM**	**TLveha**
Taux de véhicules impliqués dans un accident selon le type de longueur (en véha/10 km/année)	Réelle	77.161	16.095	1.268	0.322	17.685	94.847
	Itinéraire	154.322	32.190	2.536	0.645	35.371	189.693
	Pondérée	73.487	15.329	1.207	0.307	16.843	90.330
	Directionnelle	77.161	16.095	1.268	0.322	17.685	94.847

Code de sous-route : 3

Gravité des accidents		Dommage matériel seulement	Blessés légers	Blessés graves	Mortels	BL+BG+M	Accidents toutes gravités
Nombre total de véhicules après répartition du code Vide, selon la gravité et pour une période de cinq ans		22109	4538	260	47	4845	26954
Indicateur de taux de véhicules		**TLvehaDMS**	**TLvehaBL**	**TLvehaBG**	**TLvehaM**	**TLvehaBLBGM**	**TLveha**
Taux de véhicules impliqués dans un accident selon le type de longueur (en véha/10 km/année)	Réelle	30.094	6.177	0.354	0.0643	6.595	36.689
	Itinéraire	30.094	6.177	0.354	0.0643	6.595	36.689
	Pondérée	57.322	11.765	0.674	0.1224	12.561	69.883
	Directionnelle	30.094	6.177	0.354	0.0643	6.595	36.689

Code de sous-route : V

Gravité des accidents		Dommage matériel seulement	Blessés légers	Blessés graves	Mortels	BL+BG+M	Accidents toutes gravités
Nombre total de véhicules après répartition du code Vide, selon la gravité et pour une période de cinq ans		2341	839	40	8	887	3228
Indicateur de taux de véhicules		**TLvehaDMS**	**TLvehaBL**	**TLvehaBG**	**TLvehaM**	**TLvehaBLBGM**	**TLveha**
Taux de véhicules impliqués dans un accident selon le type de longueur (en véha/10 km/année)	Réelle	35.760	12.815	0.6185	0.12549	13.559	49.319
	Itinéraire	-	-	-	-	-	-
	Pondérée	47.681	17.087	0.8246	0.16732	18.079	65.759
	Directionnelle	35.760	12.815	0.6185	0.12549	13.559	49.319

Tableau 4-13: Taux moyen de véhicules impliqués dans un accident en section courante d'autoroute par rapport au DJMA et à la longueur selon la gravité de l'accident

Gravité des accidents			Dommage matériel seulement	Blessés légers	Blessés graves	Mortels	BL+BG+M	Accidents toutes gravités
Nombre de véhicules impliqués dans les accidents associés à un DJMA, selon la gravité et pour une période de cinq ans			84557	17467	1503	420	19390	103947
Type de longueur	**$\Sigma(Q_i \times L_i)$**	**Indicateur de taux de véhicules**	**TmvehaDMS**	**TmvehaBL**	**TmvehaBG**	**TmvehaM**	**TmvehaBLBGM**	**Tmveha**
Itinéraire / réelle / directionnelle	242756222	Taux moyen de véhicules impliqués dans un accident	9.543	1.971	0.170	0.047	2.188	11.731
Pondérée	254894033	(en veha/Mvéh-10km)	9.089	1.877	0.162	0.045	2.084	11.173

Avec la seconde approche et selon le Tableau 4-11, on compte un total de 194 653 véhicules impliqués dans des accidents autoroutiers survenus entre le début de l'année 2000 et la fin de l'année 2004. Ce nombre implique une moyenne de 38 931 véhicules impliqués par année et de 1,73 véhicule par accident. La grande majorité des véhicules sont impliqués dans un accident en section courante avec une part, cette fois-ci de 84,4 % par rapport au total, ce qui est quasi-identique à la part des accidents en section courante discutée dans l'approche « accident ». Les autres types de sous-routes suivent également les mêmes tendances, ce qui veut dire que le taux de véhicules par accident est le même d'un type de sous-route à l'autre. La dispersion des véhicules par rapport à la gravité de l'accident dans lequel ils sont impliqués suit sensiblement le même principe. Quantitativement, la proportion la plus élevée observée correspond aux accidents mortels avec un taux de 1,96 véhicule par accident globalement (pour tous les types de sous-route). Pour la section courante, cette valeur s'élève même à 2,01 véhicules par accident.

Les mêmes constatations peuvent être retrouvées aux Tableau 4-12 et Tableau 4-13. En fait, connaissant la relation entre le nombre d'accidents et le nombre de véhicules impliqués dans un accident autoroutier, il est possible de déduire les tendances des taux de véhicules par unité de longueur et par unité de débit. Toutefois, les tableaux permettent de quantifier l'envergure de ces taux et fournissent à l'analyste un portrait précis de la situation en ce qui a trait à l'approche « véhicules ». En bref, il est possible d'évaluer à près de 19 véhicules impliqués dans un accident par kilomètre itinéraire. Lorsqu'exprimée par rapport au débit, cette valeur est évaluée à quelques 12 véhicules par million de véhicules pour dix kilomètres.

Approche considérant les personnes ayant subi des blessures dans un accident

Tableau 4-14: Nombre total de personnes ayant subi des blessures dans un accident entre 2000 et 2004 en fonction du code de sous-route et de la gravité des blessures après répartition des personnes impliquées dans les accidents non localisés (code Vide)

Code de sous-route	Nombre de personnes ayant subi des blessures dans un accident autoroutier				Proportion par rapport au total excluant le code Vide			Estimation du nombre personnes ayant subi des blessures dans un accident après répartition du code Vide			
	BL	BG	M	Sous-total	BL	BG	M	BL	BG	M	Total
0	19947	1590	301	21838	83.96%	87.46%	88.27%	21354	1683	310	23347
3	3239	199	32	3470	13.63%	10.95%	9.38%	3467	211	33	3711
V	564	28	7	599	2.37%	1.54%	2.05%	604	30	7	641
0, 3 et V	**23750**	**1817**	**340**	**25907**	**-**	**-**	**-**	**25425**	**1923**	**350**	**27698**
Vide	1676	106	10	1792	-	-	-	-	-	-	-
Autres	9	1	1	11	0.04%	0.06%	0.29%	10	1	1	12
Tous	**25435**	**1924**	**351**	**27710**	**-**	**-**	**-**	**25435**	**1924**	**351**	**27710**

Tableau 4-15: Taux annuel de personnes ayant subi des blessures dans un accident par rapport à la longueur selon le code de sous-route et la gravité des blessures

Code de sous-route : 0

Gravité des accidents		Blessés légers	Blessés graves	Mortels	BL+BG+M
Nombre total de personnes après répartition du code Vide, selon la gravité et pour une période de cinq ans		21354	1683	310	23347
Indicateur de taux de personnes		**TLpersaBL**	**TLpersaBG**	**TLpersaM**	**TLpersaBLBGM**
Taux de personnes ayant subi des blessures dans un accident selon le type de longueur (en persa/10 km/année)	Réelle	12.326	0.971	0.179	13.476
	Itinéraire	24.651	1.943	0.358	26.951
	Pondérée	11.739	0.925	0.170	12.834
	Directionnelle	12.326	0.971	0.179	13.476

Code de sous-route : 3

Gravité des accidents		Blessés légers	Blessés graves	Mortels	BL+BG+M
Nombre total de personnes après répartition du code Vide, selon la gravité et pour une période de cinq ans		3467	211	33	3711
Indicateur de taux de personnes		**TLpersaBL**	**TLpersaBG**	**TLpersaM**	**TLpersaBLBGM**
Taux de personnes ayant subi des blessures dans un accident selon le type de longueur (en persa/10 km/année)	Réelle	4.720	0.287	0.045	5.051
	Itinéraire	4.720	0.287	0.045	5.051
	Pondérée	8.990	0.546	0.085	9.621
	Directionnelle	4.720	0.287	0.045	5.051

Code de sous-route : V

Gravité des accidents		Blessés légers	Blessés graves	Mortels	BL+BG+M
Nombre total de personnes après répartition du code Vide, selon la gravité et pour une période de cinq ans		604	30	7	641
Indicateur de taux de personnes		**TLpersaBL**	**TLpersaBG**	**TLpersaM**	**TLpersaBLBGM**
Taux de personnes ayant subi des blessures dans un accident selon le type de longueur (en persa/10 km/année)	Réelle	9.225	0.453	0.110	9.788
	Itinéraire	-	-	-	-
	Pondérée	12.300	0.604	0.147	13.050
	Directionnelle	9.225	0.453	0.110	9.788

Tableau 4-16: Taux moyen de personnes ayant subi des blessures dans un accident en section courante d'autoroute par rapport au DJMA et à la longueur selon la gravité des blessures

Gravité des accidents			Blessés légers	Blessés graves	Mortels	BL+BG+M
Nombre de personnes accidentés dans les accidents associés à un DJMA, selon la gravité et pour une période de cinq ans			13863	1190	233	15286
Type de longueur	**$\Sigma(Q_i \times L_i)$**	**Indicateur de taux de personnes**	**TmpersaBL**	**TmpersaBG**	**TmpersaM**	**TmpersaBLBGM**
Itinéraire / réelle / directionnelle	242756222	Taux moyen de personnes ayant subi des blessures dans un accident (en persa/Mvéh-10km)	1.565	0.134	0.026	1.725
Pondérée	254894033		1.490	0.128	0.025	1.643

Avec la troisième approche et selon le Tableau 4-14, on compte qu'un total de 27 710 personnes ont subi des blessures (légères, graves ou décès) dans un accident autoroutier survenu entre le début de l'année 2000 et la fin de l'année 2004. Ce nombre implique une moyenne de 5542 personnes blessées par année, de 0,14 personne blessée par véhicule impliqué dans un accident et de 0,25 personne blessée par accident proprement dit. Lorsqu'on exclut les accidents à dommage matériel seulement, ces dernières valeurs passent à 0,76 et à 1,38 personne blessée par rapport aux véhicules impliqués et aux accidents, respectivement. La répartition des personnes par rapport aux types de sous-routes suit la même tendance que pour les deux premières approches. La dispersion des personnes par rapport à la gravité de leurs blessures ne peut pas se comparer directement avec les approches précédentes, puisque les données disponibles n'incluent pas le nombre de personnes n'ayant subi aucune blessure dans un accident. Par contre, en comparant le nombre de personnes blessées avec le nombre d'accidents avec blessés ou de véhicules impliqués dans un accident avec blessés, il est possible de cibler quelques points de discussion. Toujours en excluant les DMS, la proportion la plus faible observée, en termes de gravité, correspond aux accidents mortels avec un taux de 0,57 décès par véhicule impliqué dans un accident mortel et de 1,11 décès par accident mortel (pour tous les types de sous-route).

Encore une fois, les mêmes constatations peuvent être retrouvées aux Tableau 4-15 et Tableau 4-16. En fait, connaissant la relation entre le nombre d'accidents et le nombre de personnes ayant subi une blessure dans un accident autoroutier, il est possible de déduire les tendances des taux de personnes blessées par unité de longueur et par unité de débit. Toutefois, les tableaux permettent de quantifier l'envergure de ces taux et fournissent à l'analyste un portrait précis de la situation en ce qui a trait à l'approche « personne ». En bref, il est possible d'évaluer à près de 27 personnes blessées dans un accident par dix kilomètres itinéraires. Lorsqu'exprimée par rapport au débit, cette valeur est évaluée à un peu moins de deux personnes blessées par million de véhicules pour dix kilomètres.

4.4.3 Distribution spatiale

Cinq approches sont utilisées pour les analyses spatiales : l'analyse de la distribution des accidents proprement dits, du taux d'accidents annuel par kilomètre, du taux ponctuel d'accidents par million de véhicules, du taux moyen d'accidents (par rapport au débit et à la longueur) et de l'indice de gravité. Ces indicateurs sont typiquement utilisés pour évaluer la dangerosité d'une

route, sauf pour ce qui est du taux ponctuel d'accidents par million de véhicules. Ce dernier correspond en fait à une pondération de chacun des accidents par le débit qui lui est associé et est utilisé afin de considérer l'impact de l'envergure de la circulation dans les résultats. Le DJMS est principalement utilisé pour ce calcul au lieu de l'indicateur classique qu'est le DJMA, car les données de la BDDV combinées à celles de la BDAA permettent cette précision supplémentaire. En effet, connaissant la date exacte de chacun des accidents, il devient profitable de leur associer un débit journalier basé sur la saison de l'accident plutôt que d'utiliser une moyenne annuelle plus grossière. Cette précision n'est pas possible pour le calcul du taux moyen d'accidents, car il implique un regroupement de données d'accidents. Pour cette raison, le DJMS est donc priorisé pour tous les calculs subséquents faisant intervenir le taux ponctuel d'accidents par million de véhicules. Le DJMA est conservé toutefois pour le calcul du taux moyen d'accidents (T_m).

Certains éléments doivent toutefois être discutés avant la présentation des résultats. Tout d'abord, l'outil de filtration d'Excel est utilisé pour sélectionner uniquement les autoroutes à chaussées séparées (codes de sous-route 000D et 000G), les bretelles (code de sous-route 3---) et les voies de service (code de sous-route V---). Les autres types de sous-route (débarcadère d'autobus, halte routière, poste de pesée, virage en U) ne représentent que très peu de valeurs par rapport au total et on considère qu'il s'agit de cas d'exception qui ne suivent pas les grandes tendances des accidents autoroutiers. De plus, ces tronçons n'étant pas entièrement codifiés dans la BDGR au début de la plage d'étude (année 2000), il se peut qu'ils démontrent une variation non représentative à travers l'espace et les années, étant plutôt reliée à une amélioration de la BDGR plutôt qu'à un changement en ce qui concerne ces accidents. Dans le cas de l'analyse spatiale, il est essentiel également de retirer tous les accidents qui ne sont pas localisés, car ceux-ci se retrouveraient tous en un point unique fictif et viendraient fausser les résultats de dispersion. Ainsi, sur un total de 112 319 données, on calcule à 104 119 accidents le nombre faisant l'objet de l'analyse spatiale. De ce nombre, environ 60 % peut être utilisé pour le calcul des taux faisant intervenir le débit, le reste des données ne pouvant être reliées à un débit de la BDDV.

Distribution du nombre brut d'accidents

La Figure 4.15 présente tout d'abord un exemple de regroupement du nombre d'accidents en fonction d'un découpage des autoroutes en cellules de 1,9 km par 1,9 km. Cette représentation permet de cibler les « points noirs » (AIPCR, 2003) du réseau autoroutier.

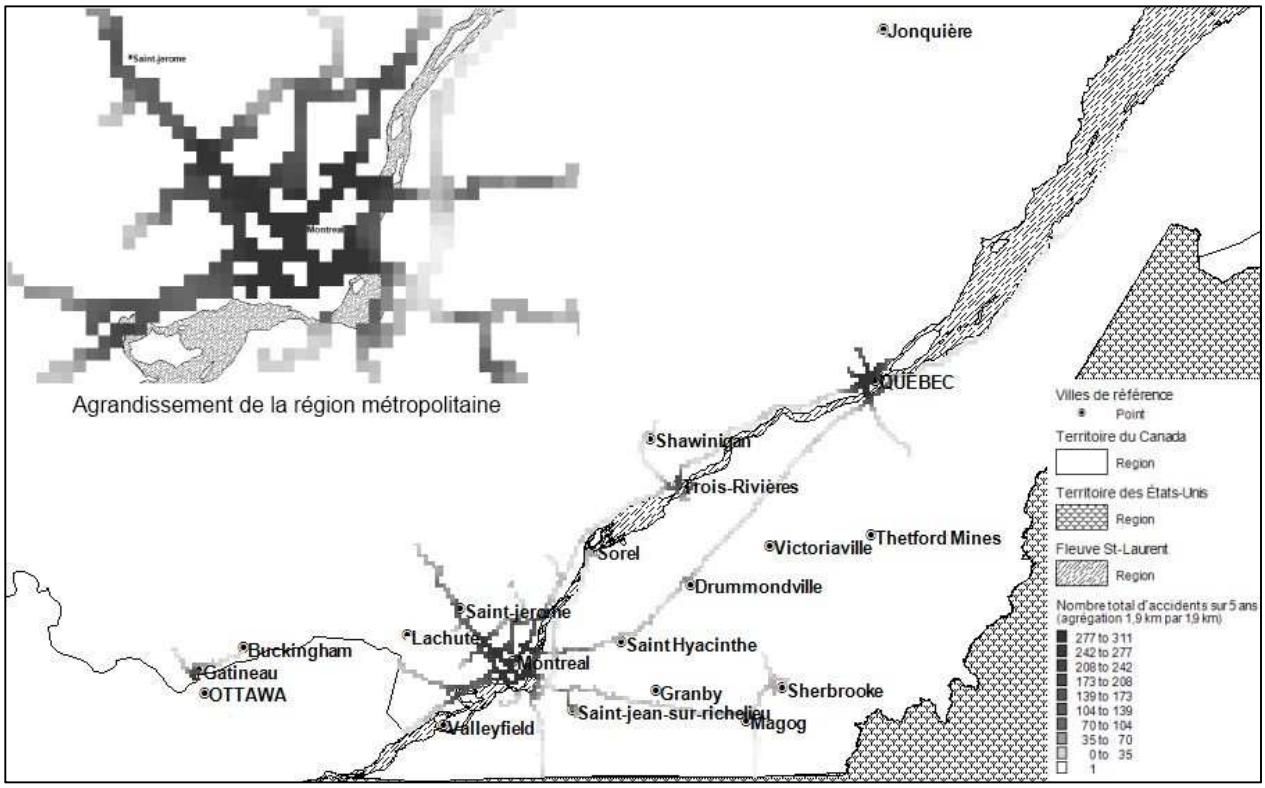


Figure 4.15: Distribution du nombre total d'accidents pour une grille formée de cellules de 1,9 km par 1,9 km pour les données d'accidents des années 2000 à 2004 (inclusivement)

De cette figure, il est possible de constater une concentration des accidents dans les milieux les plus urbanisés, principalement dans les régions de Montréal, Québec, Gatineau et Trois-Rivières. Les concentrations se retrouvent principalement aux échangeurs, car une cellule peut alors englober les accidents de plus d'une autoroute à la fois. Il faut noter que plusieurs tests ont été effectués pour l'analyse par cellule. Le choix de la précision du découpage (1,9 par 1,9 km) a été fait de manière à optimiser la représentation graphique du réseau autoroutier dans son ensemble et à distinguer les zones urbaines des zones rurales. Il a été choisi de limiter la présentation à ce découpage, mais des cellules plus fines auraient pu être utilisées pour visualiser les tendances dans les grandes régions urbaines comme Montréal et Québec.

La Figure 4.16 présente, quant à elle, la fréquence d'accidents par autoroute. Cette représentation permet de visualiser sur quelles autoroutes se concentre le plus grand nombre brut d'accidents.

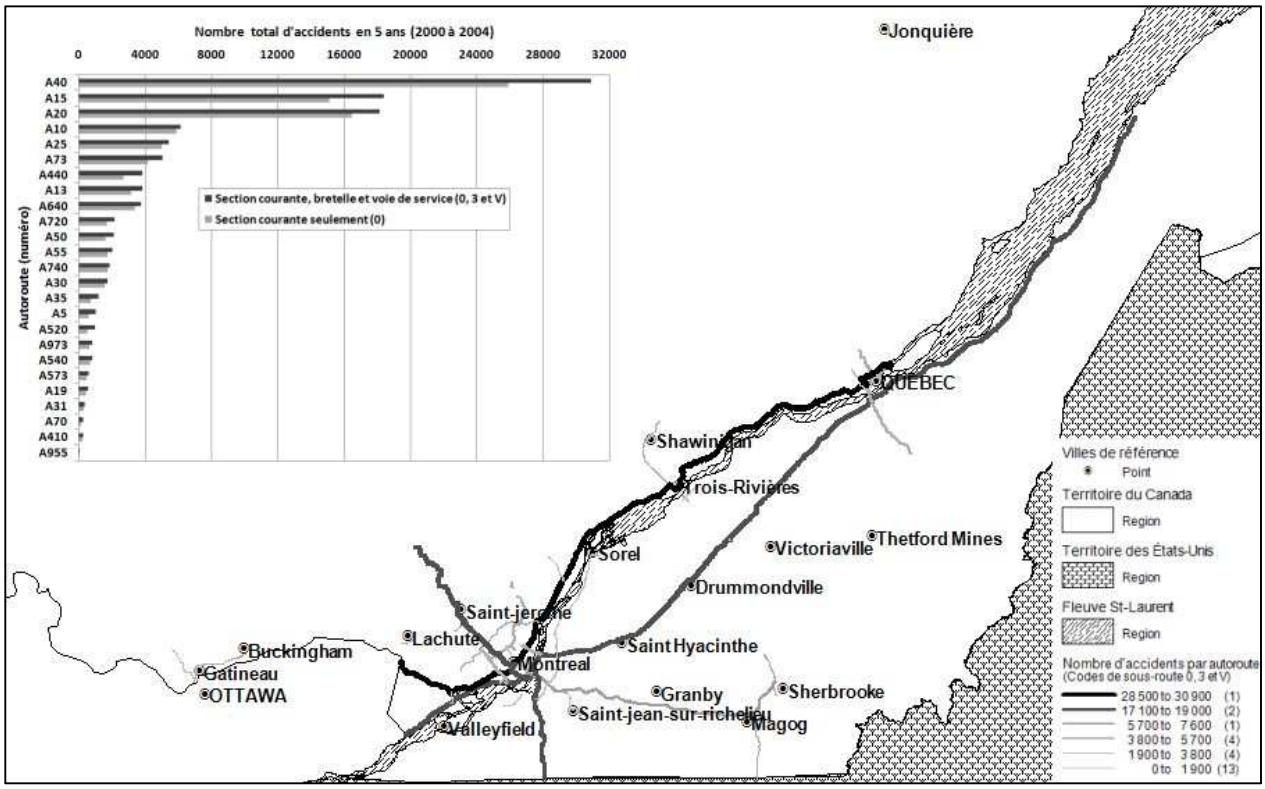


Figure 4.16: Nombre total d'accidents par autoroute selon les données d'accidents des années 2000 à 2004 (inclusivement)

Au regard de cette figure, l'autoroute 40 correspond à celle étant la plus accidentogène qui soit au Québec. À elle seule, elle englobe plus de 30 000 accidents en cinq ans de données, ce qui correspond à environ 25 % de l'ensemble des accidents autoroutiers. Elle est suivie par les autoroutes 15, 20 présentant chacune quelques 18 000 accidents. Ce résultat n'est pas surprenant, puisqu'il s'agit en fait des autoroutes les plus longues, donc avec la plus grande exposition. Ce qui ne passe pas inaperçu, par contre, est que l'autoroute 40 est plus courte que l'autoroute 20 et que la différence en ce qui a trait à la fréquence d'accidents est considérable entre les deux (l'autoroute 40 dépasse largement l'autoroute 20). Il est à noter que les tendances des autoroutes en section courante seulement et des autoroutes incluant les bretelles et voies de service sont très semblables. Ainsi, il a été choisi de ne présenter que les résultats des autoroutes incluant les trois codes de sous-route (0, 3 et V respectivement pour les sections courantes, les bretelles et les voies

de service) sur les figures de distribution spatiale. Le graphique à barres vient toutefois présenter les petites distinctions à faire entre la section courante et l'ensemble (barres de couleur grise).

Distribution du taux d'accidents par kilomètre

Pour tenir compte de l'exposition en termes de longueur, la Figure 4.17 qui suit présente les résultats de la somme des accidents par autoroute divisée par sa longueur totale.

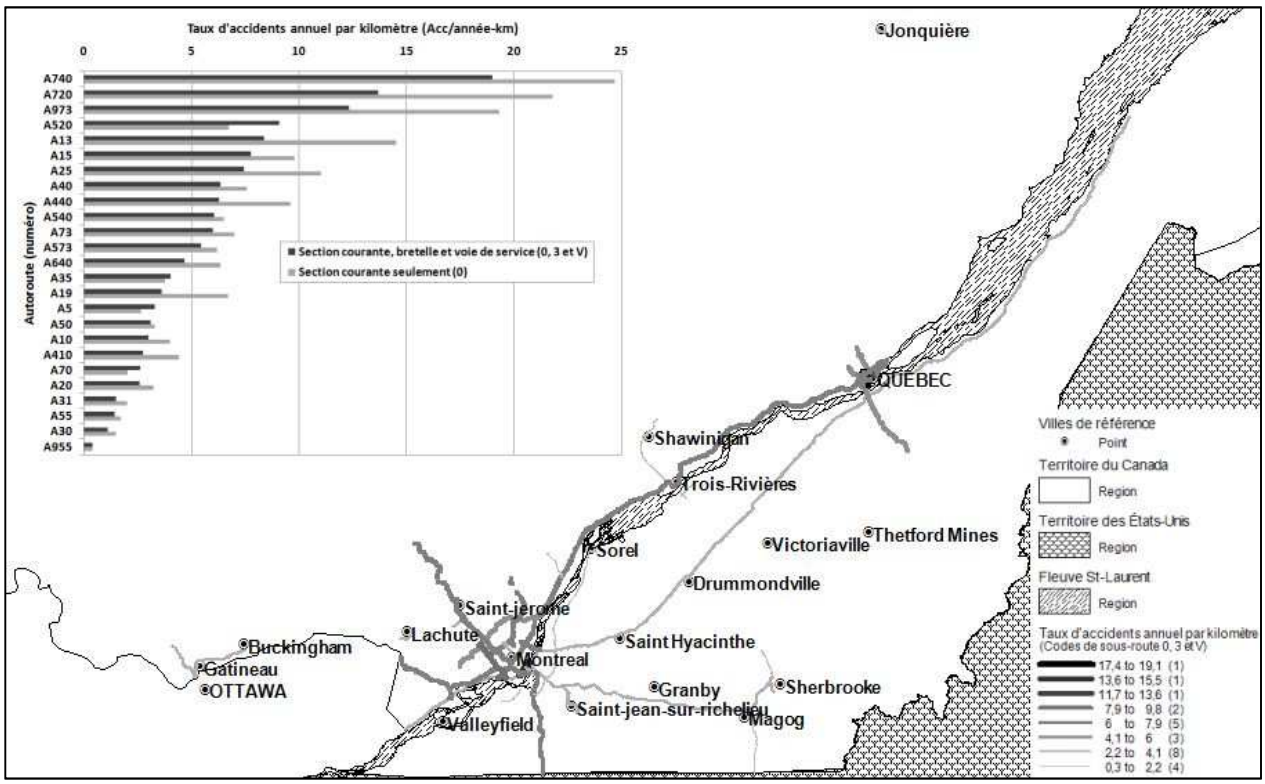


Figure 4.17: Taux d'accidents annuel par kilomètre par autoroute selon les données d'accidents des années 2000 à 2004 (inclusivement)

De cette figure, il est possible de constater que l'autoroute 40 chute au huitième rang au classement des autoroutes où surviennent le plus d'accidents par kilomètre. Il est à souligner également que l'autoroute 20 tombe parmi les autoroutes les moins dangereuses du réseau. Les trois pires autoroutes sont, en ordre respectif : l'autoroute 740, 720, 973. Ces trois dernières partagent toutes une caractéristique commune : une de leurs extrémités se transforme en

boulevard en milieu urbain. Cette constatation implique une concentration probable d'accidents dans une telle transition.

Distribution de la somme des taux ponctuels d'accidents par million de véhicules

Pour considérer simultanément l'impact de la longueur et du débit véhiculaire (exposition) de la façon la plus désagrégée possible, on propose ici une sommation des accidents ponctuels divisés par le débit associé, le cas échéant. Ainsi, le code de sous-route examiné ici est le 0 uniquement, c'est-à-dire la section courante d'autoroute, car les données de débit disponibles ne s'appliquent à ces segments. Quantitativement, cette valeur n'a pas de signification, mais en examinant le réseau sur cette même base de comparaison, il est possible de visualiser les « points noirs » de manière un peu plus complète en ce qui a trait à l'exposition que par les taux pondérés par la longueur seulement.

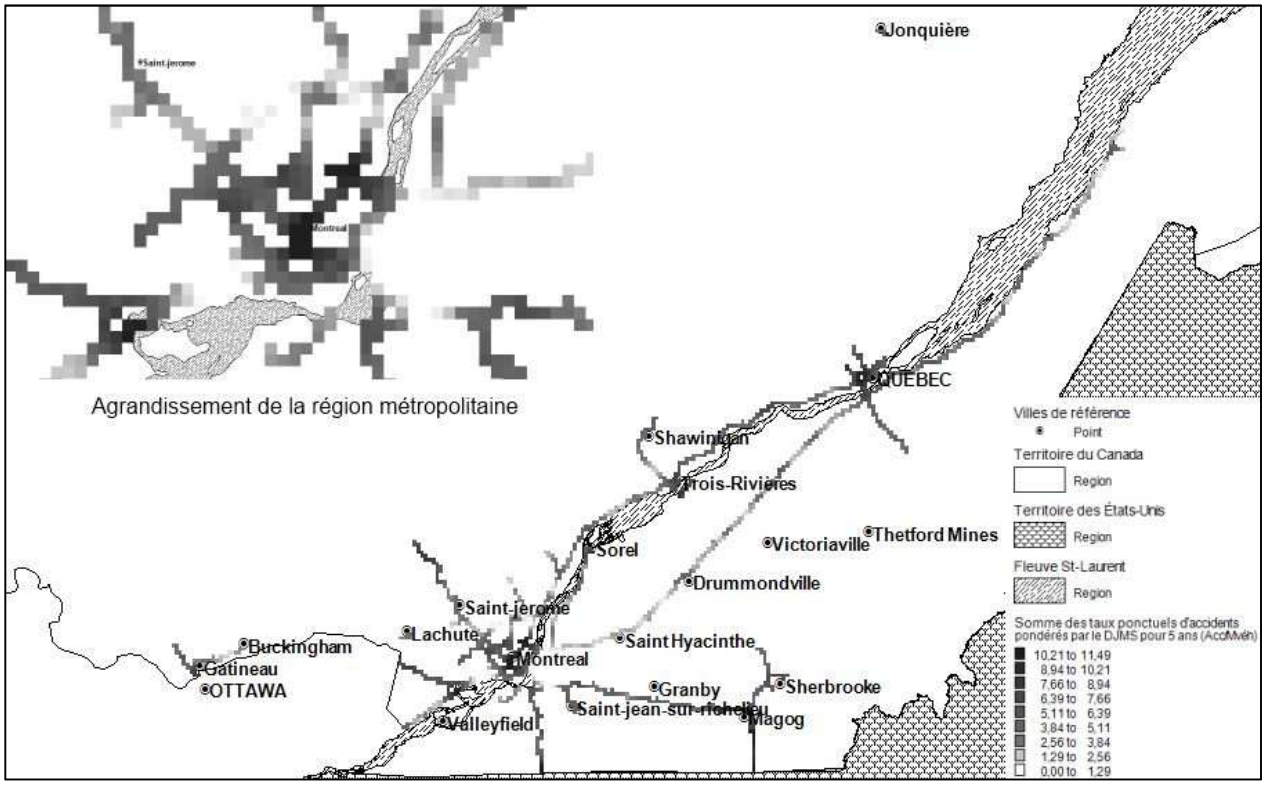


Figure 4.18: Distribution des sommes de taux ponctuels d'accidents par million de véhicules pour une grille formée de cellules de 1,9 km par 1,9 km et pour les données d'accidents des années 2000 à 2004 (inclusivement)

Cette figure permet de mettre en évidence de nouvelles zones où le niveau de dangerosité est plus élevé que la moyenne. La constatation principale de cette figure est la mise en évidence du milieu urbain par rapport au milieu rural. En effet, pratiquement toutes les villes de références à proximité d'une autoroute démontrent une teinte plus foncée, signe que les taux d'accidents y sont plus élevés par rapport à la longueur et au débit. Bref, le milieu (urbain ou rural) correspond à une variable d'importance pour évaluer un taux d'accidents.

Distribution des taux moyens d'accidents

La Figure 4.19 présente le taux moyen d'accidents pour chacune des autoroutes. Le calcul de ce taux moyen est fait à partir de l'équation classique, ce qui implique que les résultats présentés ont leur valeur quantitative réelle.

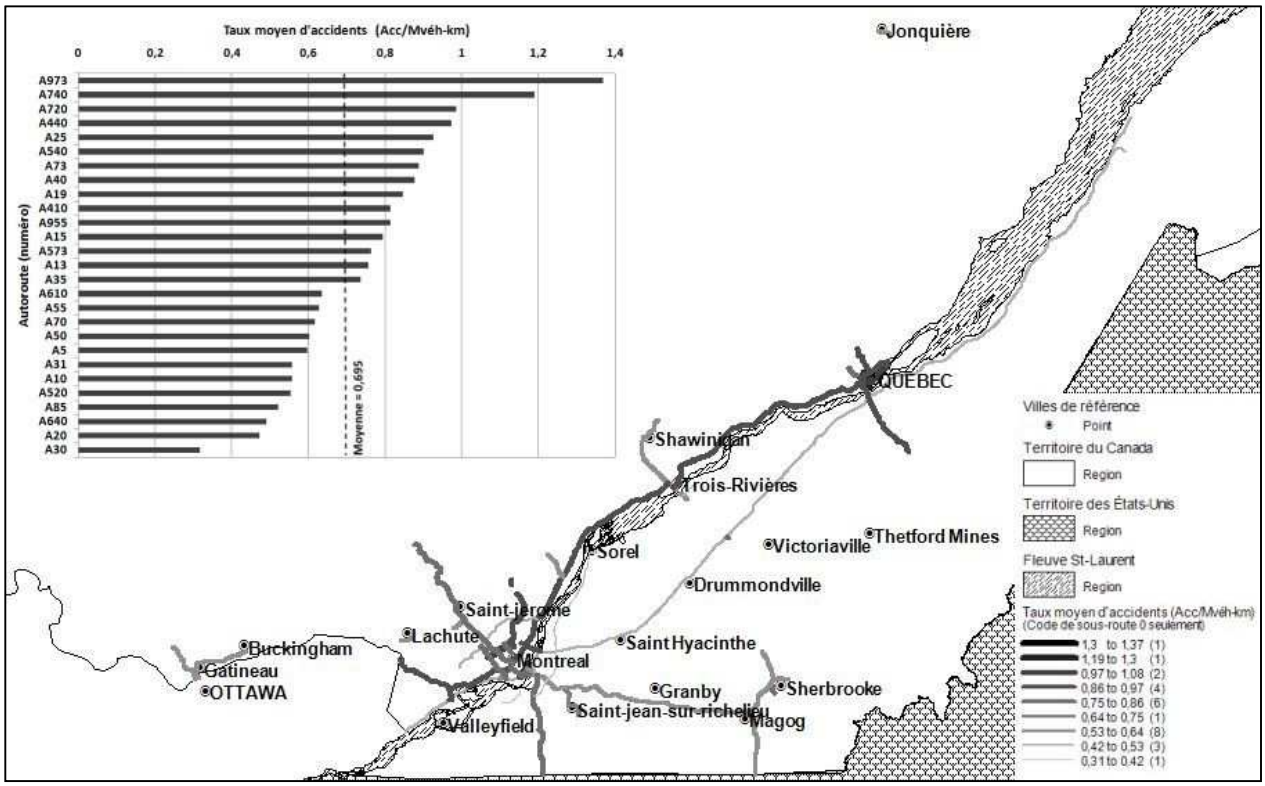


Figure 4.19: Taux moyen d'accidents par autoroute selon les données d'accidents des années 2000 à 2004 (inclusivement)

La figure précédente permet de dresser la liste réelle des autoroutes selon leur dangerosité globale, c'est-à-dire en fonction de l'exposition offerte sur chacune des autoroutes. Les résultats sont similaires à ceux discutés à la suite de la Figure 4.17. Parmi les autoroutes principales (numérotation à un ou deux chiffres), on retrouve dans les plus dangereuses les autoroutes 25, 73, 40 et 19. Parmi les moins dangereuses, on note les autoroutes 30, 20, 85 et 10.

Distribution de l'indice de gravité

Qu'en est-il maintenant de la gravité des accidents d'un point de vue spatial? Les deux prochaines figures tentent de répondre à cette question en illustrant la distribution de l'indice de gravité, tout d'abord de manière désagrégée, puis pour un regroupement par autoroute.

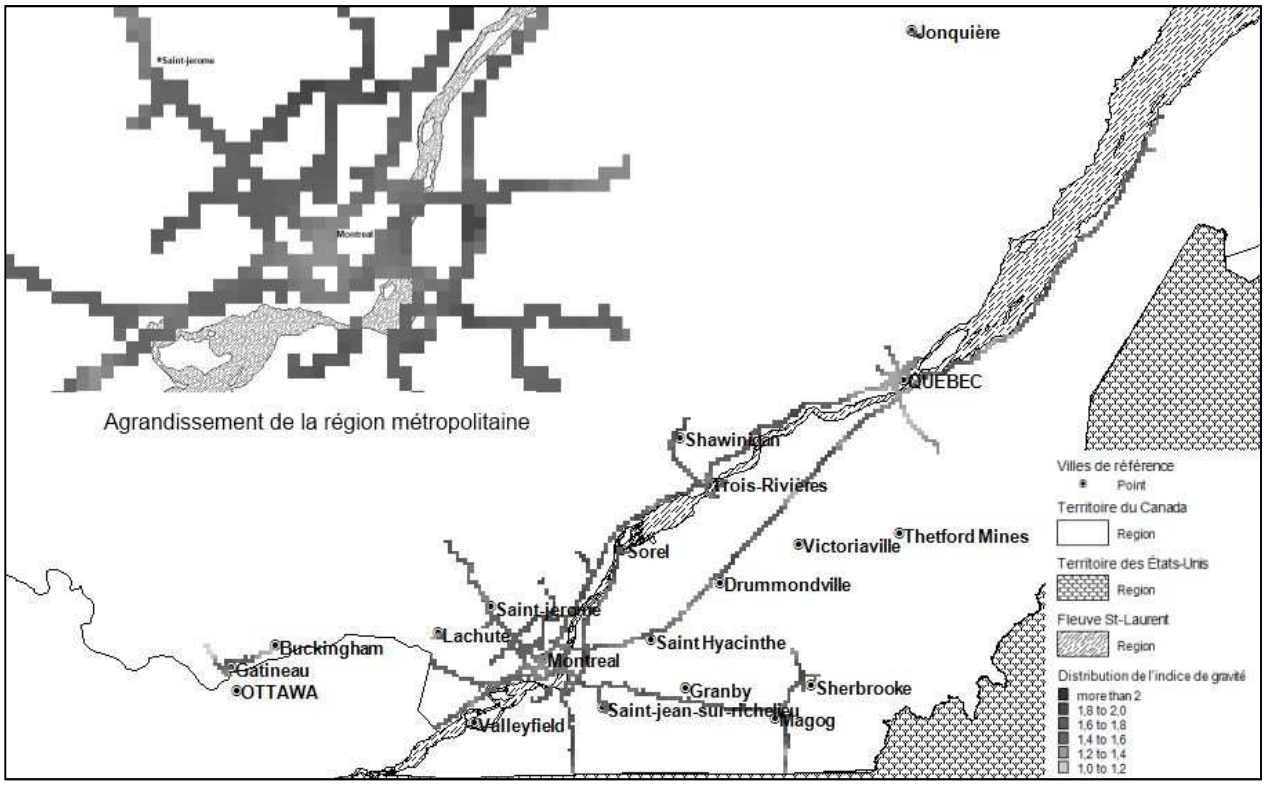


Figure 4.20: Distribution des indices de gravité pour une grille formée de cellules de 1,9 km par 1,9 km pour les données d'accidents des années 2000 à 2004 (inclusivement)

La Figure 4.20 illustre, dans un premier temps, de légères variations en ce qui a trait à la gravité des accidents sur le réseau. En effet, les « points noirs » sont plutôt rares, voire même absents de la carte. La région métropolitaine de Montréal ne présente pas particulièrement d'indices de gravité supérieurs au reste du réseau. La région de Québec, par contre dénote clairement de faibles indices de gravité. Il s'agit de la seule exception perceptible.

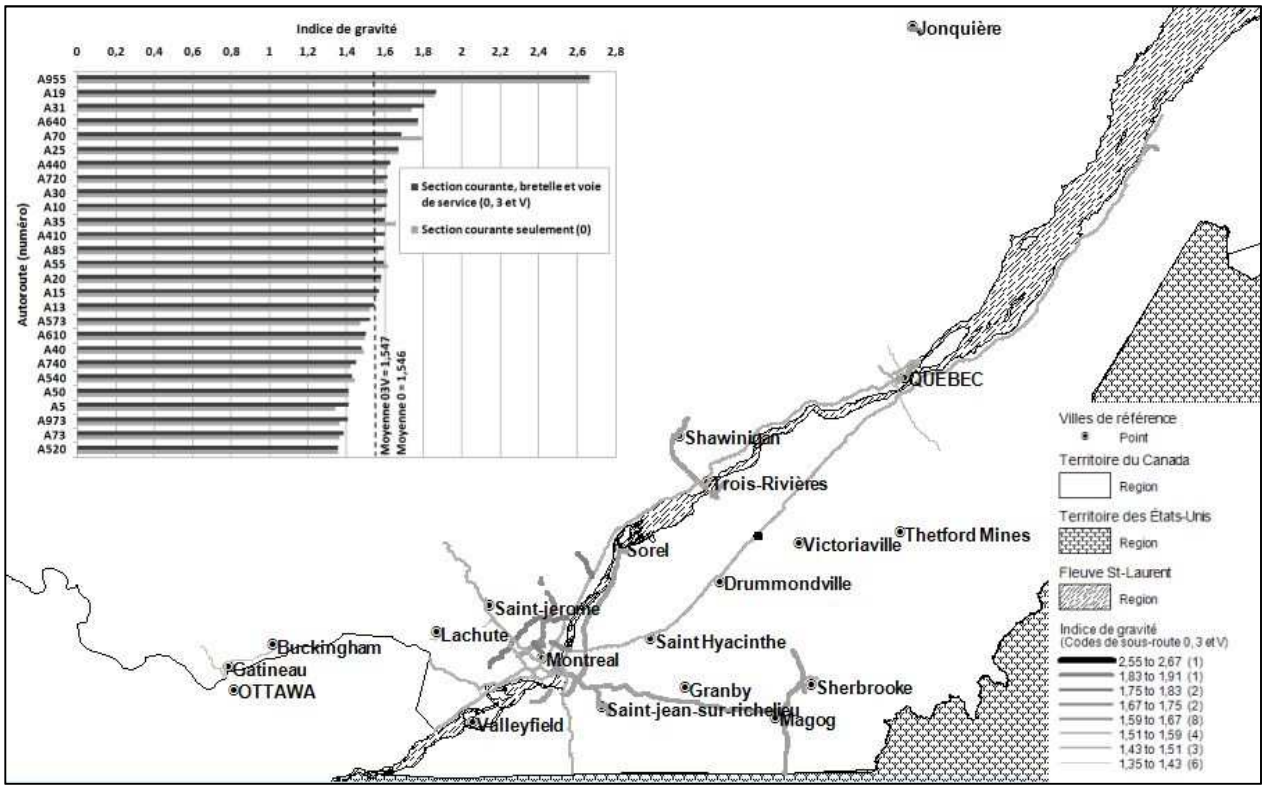


Figure 4.21: Indice de gravité par autoroute selon les
données d'accidents des années 2000 à 2004 (inclusivement)

La Figure 4.21 montre, quant à elle, que toutes les autoroutes présentent un indice de gravité très similaire, en moyenne. Un seul cas d'exception est visible sur le graphique à barres : l'autoroute 955. Le peu de données par rapport à l'exposition et au nombre d'accidents sur cette autoroute ne permet toutefois pas de conclure à une explication face à cette divergence. En effet, il n'existe qu'un court tronçon d'un kilomètre (tout juste au sud de l'autoroute 20) qui correspond à une

autoroute au sens propre du terme (voies séparées) et qui a été considéré dans les analyses. Le reste a été préalablement retiré des données de base dans l'étape de filtration (voir section 4.3.2).

4.4.4 Distribution temporelle

Cette section présente la distribution des accidents et taux d'accidents autoroutiers dans le temps. De nombreuses variantes sont possibles pour analyser cette dimension. Le présent rapport se limite à une segmentation des résultats selon le code de sous-route et la gravité. Pour cette division, on propose, plus spécifiquement, l'étude de sept références temporelles distinctes : l'heure, la période de la journée (jour et nuit), le jour de la semaine, le mois, la saison, l'année et la date exacte de l'accident.

Comme pour l'analyse spatiale, il faut ici effectuer l'élimination de données parmi l'ensemble initial. Ainsi, on retient encore une fois (et pour les mêmes raisons énoncées précédemment) les accidents survenus seulement en section courante, sur les bretelles et sur les voies de service d'autoroutes, ce qui implique que 83 accidents sont retirés des 112 319 données précédentes, pour un total restant de 112 236 accidents restants. Il faut noter qu'en parallèle, certaines autres données sont, pour certaines analyses, retirées, mais par obligation, car leur référence temporelle est inconnue. C'est le cas de 1215 accidents dont on ne connaît pas l'heure où ils sont survenus. Ils ne peuvent donc pas être représentés dans les résultats graphiques de la distribution des données par rapport à l'heure de l'accident (données retirées uniquement pour l'analyse horaire).

Il faut noter ensuite que les figures des distributions présentées plus loin dans cette section proposent généralement deux axes pour accentuer la variation temporelle de certaines catégories. Lorsque la gravité de l'accident est examinée, par exemple, on sait que le nombre d'accidents mortels sera très faible par rapport aux accidents à dommage matériel seulement, ce qui implique qu'une analyse à un seul axe rendrait difficilement perceptibles les variations des accidents mortels. Le même principe s'applique pour le code de sous-route, c'est-à-dire que les accidents en section courante (code 0) représentent une proportion beaucoup plus grande que tous les autres types et sont donc présentés à l'aide d'un axe distinct.

Dans un autre ordre d'idées, il faut encore une fois différencier les trois approches utilisées dans le regard temporel sur les accidents autoroutiers : l'analyse du nombre d'accidents proprement dits, l'analyse du taux moyen d'accidents (pondéré par le débit et la longueur) et l'analyse du

taux ponctuel d'accidents par rapport au débit (trois mêmes approches utilisées pour l'analyse spatiale, voir section 4.4.3). La première est pratique pour obtenir un ordre de grandeur absolu de l'étendue des accidents à travers le temps. La seconde apporte les dimensions circulation et longueur autoroutières à ces valeurs. Par contre, celle-ci est bien souvent limitée par son processus de calcul impliquant la BDGR. La troisième approche peut alors venir combler ces partiellement ces limitations. Lorsqu'une variable telle que l'heure est scrutée, le taux n'apporte toutefois pas de précision supplémentaire puisque le débit utilisé (DJMS) correspond à une valeur journalière équivalente d'heures en heures et qui ne varie qu'au changement de la saison. Une donnée intéressante pour ce type d'analyse serait le débit horaire, mais elle n'est pas disponible dans le cadre de la présente étude. L'approche taux peut être signifiante lorsque l'on étudie les variations selon la saison, l'année où la date exacte de l'accident. À l'aide de l'approche nombre, on pourrait constater, par exemple, une faible quantité d'accidents en saison morte, mais avec l'approche taux, il se pourrait qu'on puisse expliquer cette tendance par un faible débit saisonnier. Dans un tel cas, les taux d'accidents durant la saison morte ne seraient pas plus bas que durant les autres saisons.

Finalement, on rappelle que la base de données utilisée dans les analyses qui suivent comprend cinq années complètes d'accidents. Il faut donc être conscient que le nombre et le taux d'accidents illustrés dans les figures correspondent à une sommation sur cinq ans et non pas à des valeurs annuelles.

Distribution horaire

La Figure 4.22 présente tout d'abord la distribution des accidents autoroutiers selon l'heure et le code de sous-route.

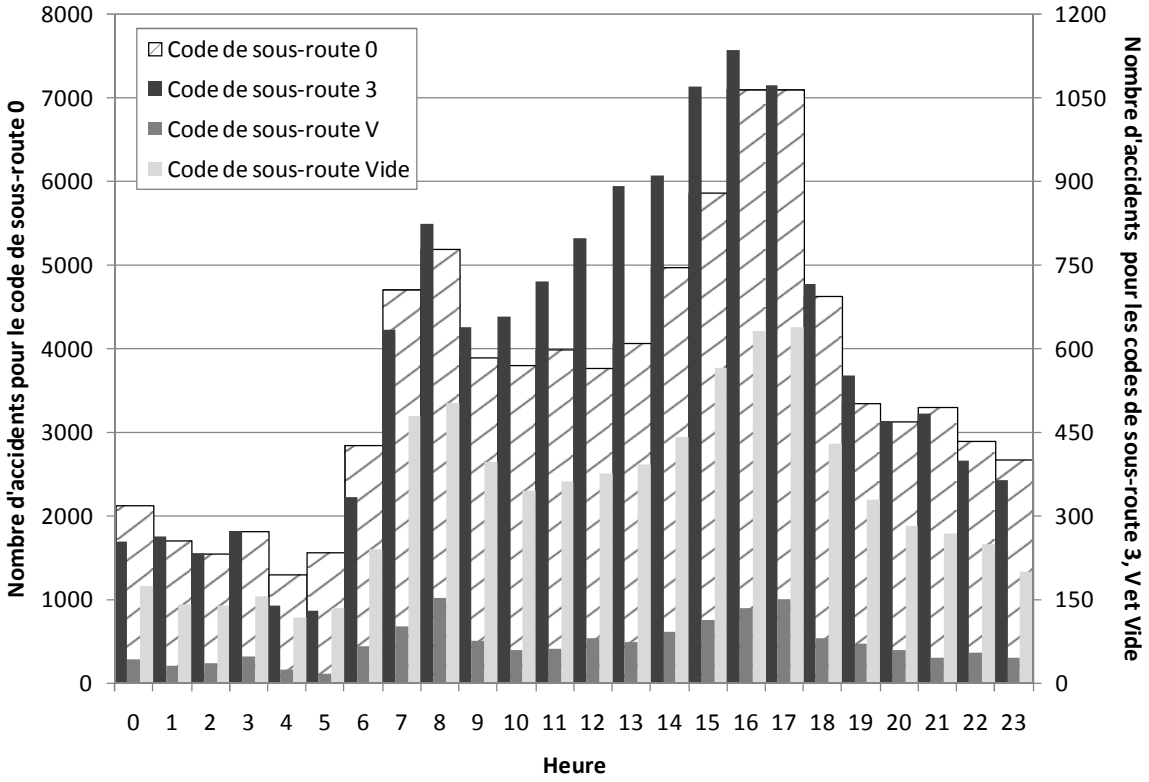


Figure 4.22: Distribution des accidents autoroutiers selon l'heure et le code de sous-route

Tous les types de sous-route suivent presque exactement la même tendance. On remarque que globalement, cet histogramme se rapproche de la courbe classique de la variation des débits au courant d'une journée. Effectivement, comme pour les débits, une énorme variation quant au nombre d'accidents se constate d'une heure à l'autre au courant d'une journée. La forme suit typiquement l'aspect de la lettre grecque µ. Deux pointes sont plus spécifiquement observables : l'une vers les 7e et 8e heures et l'autre aux 16e et 17e heures, la seconde étant de plus grande importance. Pour les sections courantes d'autoroutes (code 0), la différence entre les deux pointes s'élève à 1921 accidents en cinq ans, soit quelque 384 accidents de plus par année pour la pointe du soir comparativement à celle du matin. Dans le cas des bretelles (code 3), les pointes sont un peu plus étroites en se précisant aux 8e et 16e heures. D'autre part, un creux fait son apparition vers la 19e heure pour, en moyenne, descendre jusqu'au lendemain matin à la fin de la 4e heure. La seule distinction entre les différentes catégories de sous-route est qu'au milieu de la journée, et plus précisément de 10h à 16h, les accidents tendent à augmenter de façon exponentielle pour

la section courante et les accidents non localisés (code Vide) tandis que cette hausse est plutôt linéaire pour les bretelles et les voies de services (code V).

Le même genre d'analyse s'applique en fonction de la gravité des accidents (voir Figure 4.23 et Figure 4.24).

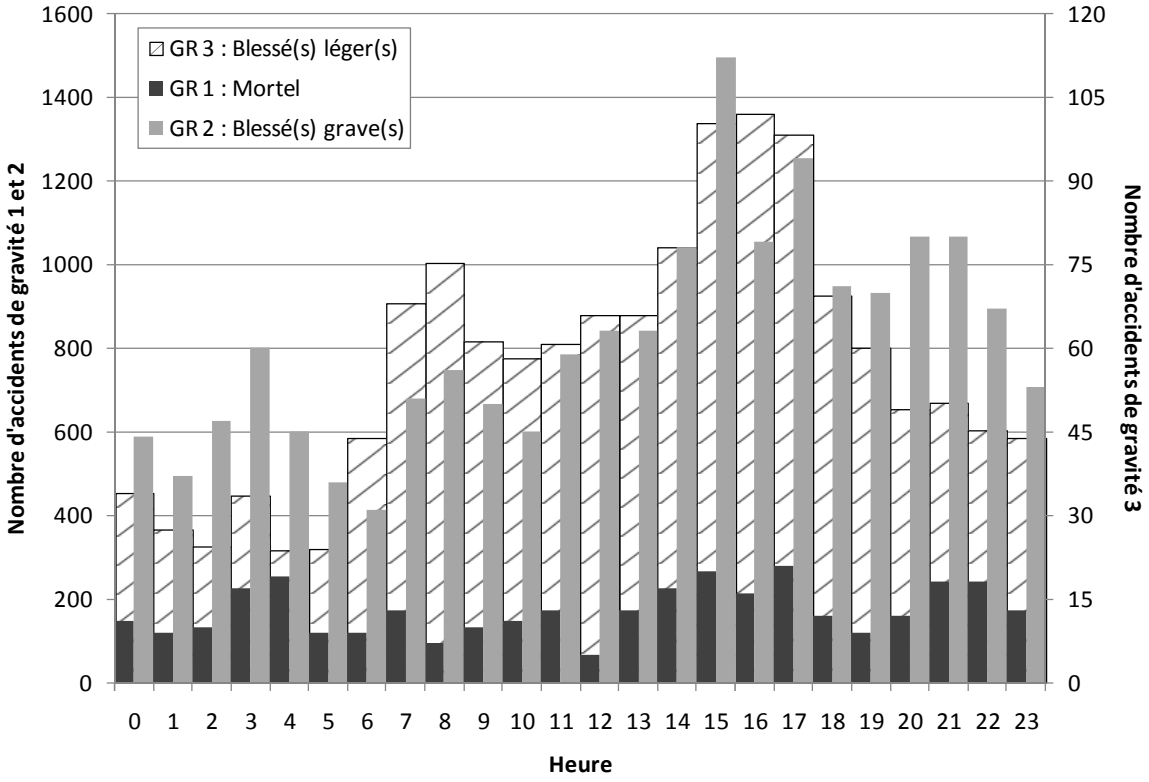


Figure 4.23: Distribution des accidents autoroutiers selon l'heure et la gravité (GR 1, GR 2 et GR 3)

Le code de gravité d'un accident semble avoir un plus grand impact sur l'étendue horaire des accidents que le type de sous-route. Effectivement, lors des pointes d'accidents du matin et du soir, on remarque de brusques baisses au niveau du nombre d'accidents mortels. À la 16e heure, le nombre d'accidents impliquant des blessés graves subit également une chute. L'hypothèse la plus probable expliquant ce phénomène est l'influence de la congestion qui ralentit la circulation et, du même coup, la gravité des accidents. Par ailleurs, en examinant la forme de la variation des accidents mortels et des accidents avec blessés graves, il est possible de constater une influence

de l'absence de la clarté du jour bien plus prononcée que pour les accidents avec blessés légers. En effet, on peut même observer une pointe nocturne aux 3e et 4e heures, respectivement pour les accidents à blessés graves et les accidents mortels. Dans le cas des mortels, cette pointe se compare à celle du soir tandis que pour les blessés graves, elle dépasse même celle du matin.

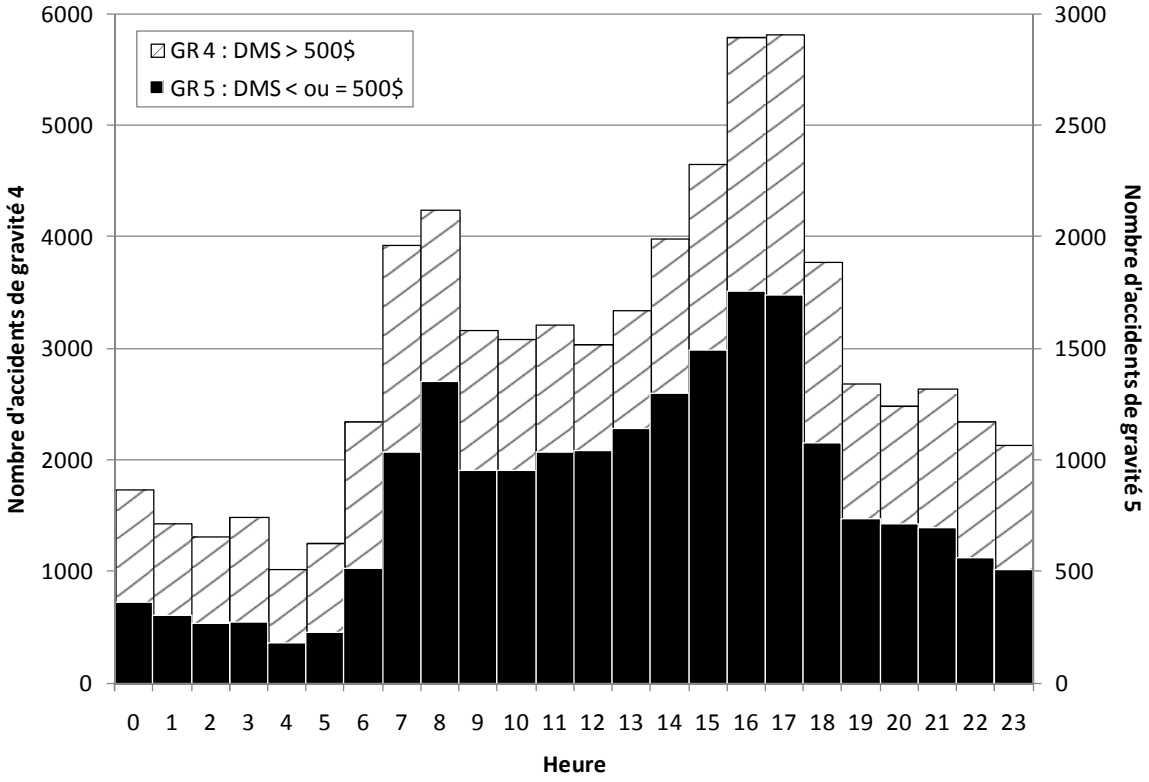


Figure 4.24: Distribution des accidents autoroutiers selon l'heure et la gravité (GR 4 et GR 5)

Les accidents à dommage matériel seulement suivent la tendance classique en μ et leur étendue est pratiquement superposable à celle des accidents à blessés légers.

Pour vérifier si la fluctuation horaire des accidents, comme pour le débit, varie selon le jour de la semaine, un graphique supplémentaire est construit (voir Figure 4.25).

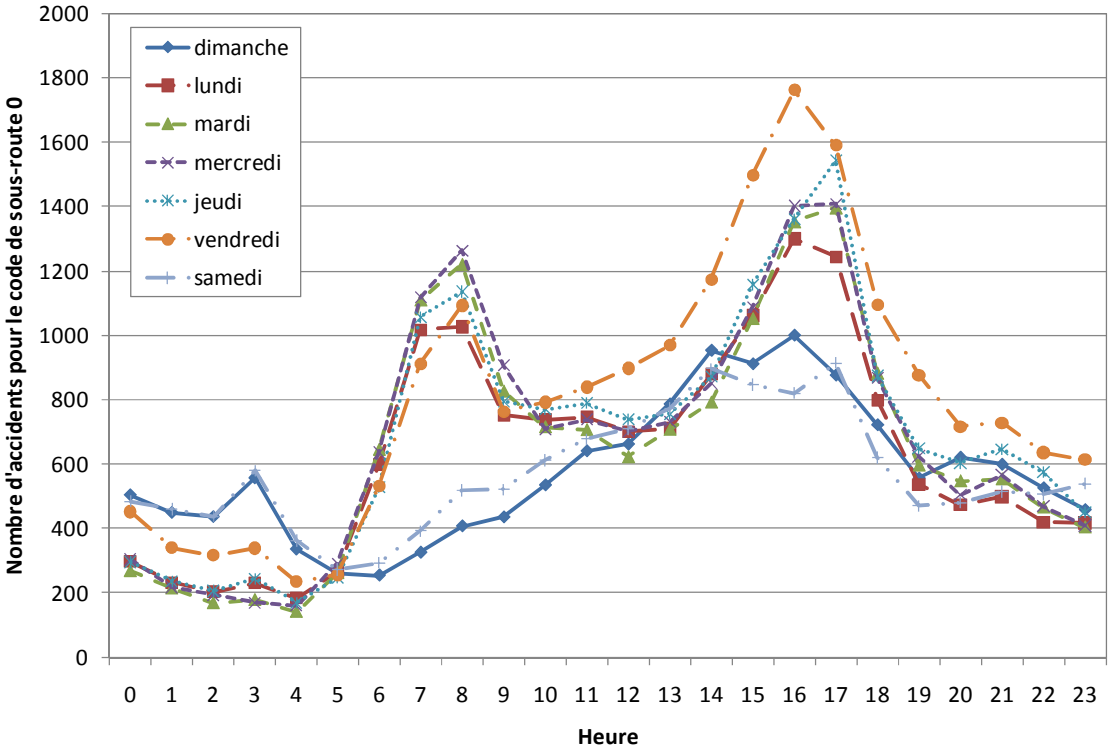


Figure 4.25: Distribution des accidents selon l'heure et le jour de la semaine

Sur cette figure, on constate que le caractère accidentogène de fin de semaine est très différent de celui en semaine. En effet, le samedi et le dimanche, la pointe du soir est considérablement diminuée et celle du matin est complètement disparue. Une légère pointe s'accentue également à 3h le matin. De plus, de minuit à 5h du matin, les jours de fin de semaine priment sur les autres en ce qui a trait au plus grand nombre d'accidents. Par ailleurs, le vendredi s'avère la journée qui engendre globalement le plus d'accidents. Entre 10h et 23h, le nombre d'accidents le vendredi est plus élevé que pour toute autre journée. Entre 5h et 9h, ce même vendredi implique toutefois moins d'accidents que les autres jours sauf pour ceux de fin de semaine. Une constatation plutôt particulière est que pour la pointe typique du soir, les jours qui présentent le plus d'accidents sont, en ordre décroissant : le vendredi, jeudi, mercredi, mardi, lundi, dimanche et samedi, ce qui correspond, curieusement, à une suite temporelle de jours sans aucune discontinuité. La pointe du matin, quant à elle, ne présente pas cette singularité. Le jour le plus accidentogène à cette pointe correspond au mercredi. Encore une fois, il serait intéressant d'utiliser des débits horaires (non

disponibles dans le cadre de la présente étude) pour voir l'influence de la circulation, qui semble fortement présente, sur la variation du nombre d'accidents.

Distribution jour-nuit

Pour distinguer le jour de la nuit, le code d'éclairement est utilisé. On rappelle que les codes 1 (clarté) et 2 (demi-obscurité) correspondent au jour tandis que les codes 3 (chemins éclairés) et 4 (chemins non éclairés) s'associent à la nuit. L'analyse est encore une fois effectuée selon le code de sous-route (Figure 4.26) et la gravité des accidents (Figure 4.27).

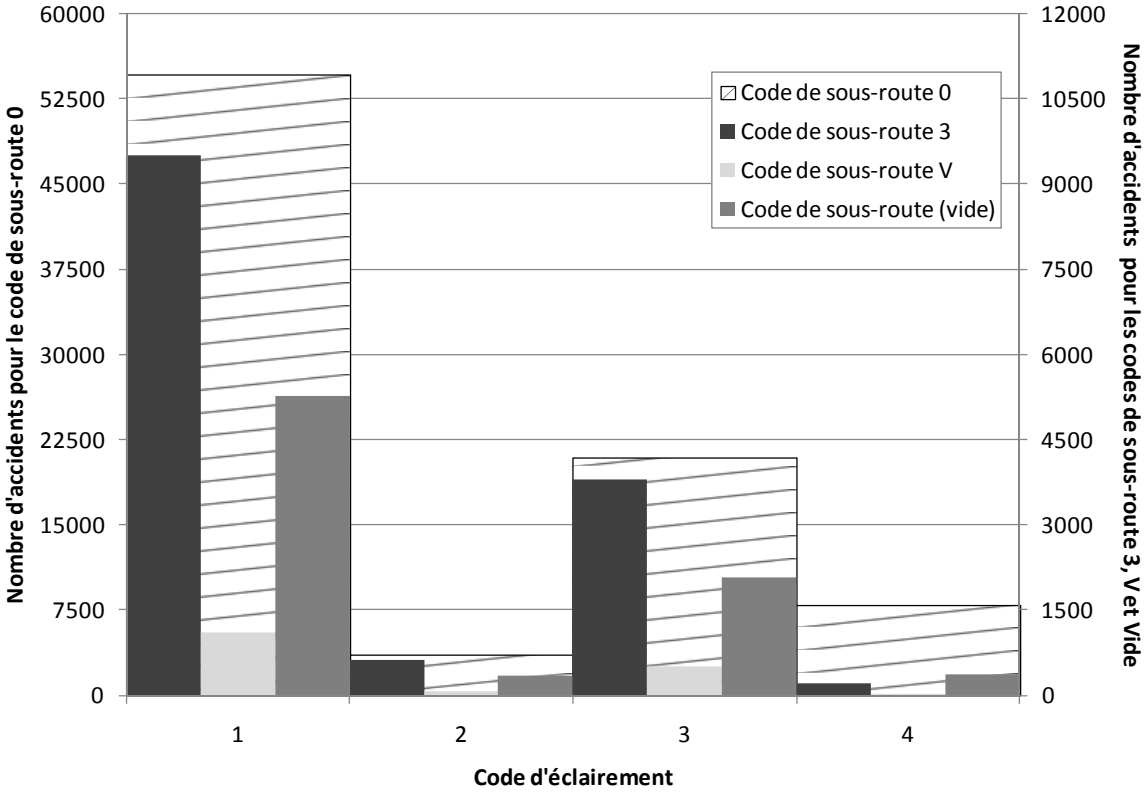


Figure 4.26: Distribution des accidents autoroutiers selon le code d'éclairement et le code de sous-route

Une première constatation est que le nombre d'accidents en fonction du code d'éclairement semble suivre l'exposition au risque. Par exemple, la situation par temps clair de jour étant la plus fréquente et regroupant le plus grand nombre d'heures et de véhicules en circulation, il est normal

d'y retrouver le plus grand nombre d'accidents. D'un autre côté, en comparant les codes de sous-route, l'unique distinction perceptible est reliée aux bretelles. En effet, cette catégorie est la seule à présenter un nombre d'accidents plus faible pour le code 4 que le code 2. Encore une fois, l'exposition au risque s'avère l'hypothèse la plus probable. En effet, la très grande majorité des bretelles d'autoroutes au Québec sont obligatoirement éclairées (code 3), ce qui raréfie les possibilités d'accidents dans une bretelle non éclairée.

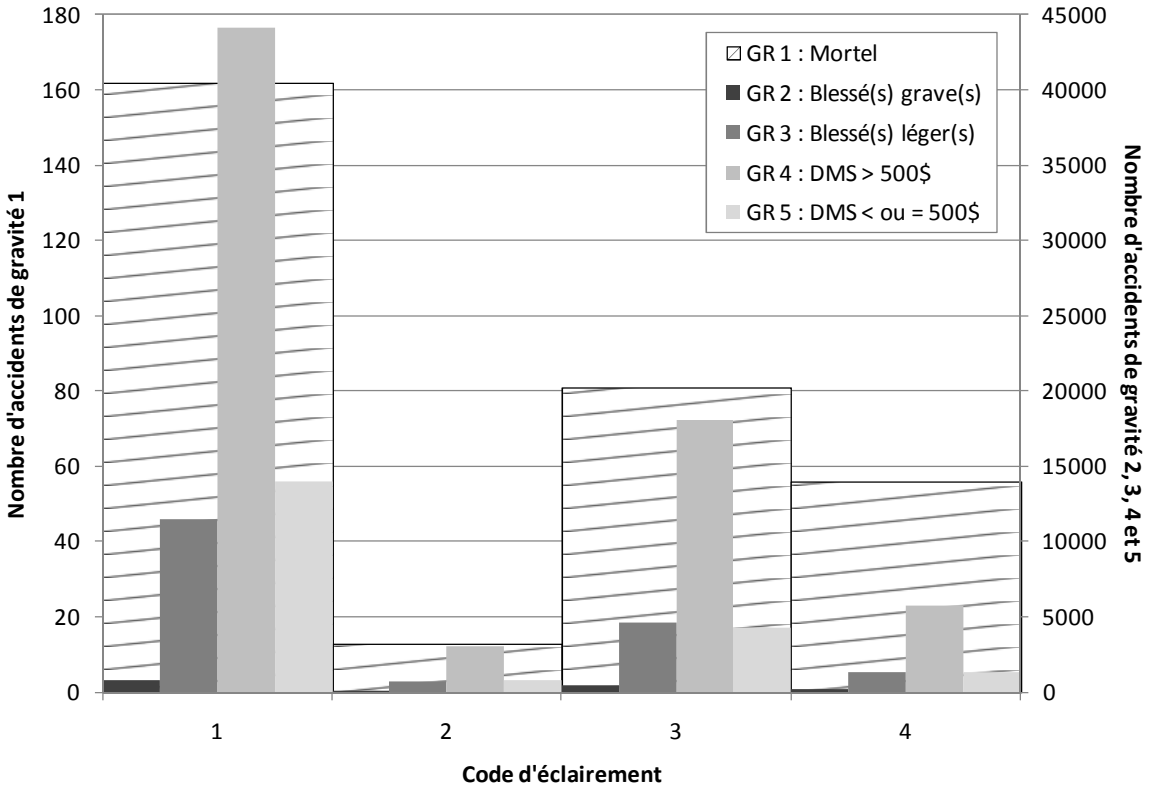


Figure 4.27: Distribution des accidents autoroutiers selon le code d'éclairement et la gravité

Le code d'éclairement présente un impact significatif sur la gravité des accidents. Notamment, sur la figure précédente, la portion que représentent les accidents mortels (GR 1) par rapport à l'histogramme des accidents à dommage matériel seulement de plus de cinq cents dollars (GR 4) s'élève de plus en plus en passant du code 1 vers le code 4. Quantitativement, lorsque l'on calcule la proportion que représentent les accidents mortels par rapport au total, on s'aperçoit qu'elle est 2,83 fois plus élevée en passant de la situation claire de jour à un chemin non éclairé de nuit.

Cette proportion augmente également pour le nombre d'accidents à blessés graves (1,50 fois plus élevée), diminue pour le nombre d'accidents à dommage matériel seulement de moins de cinq cents dollars et est plutôt stable pour les accidents à blessés légers et à dommage matériel seulement de plus de cinq cents dollars. D'autre part, une autre constatation peut être mise de l'avant, même si elle est moins évidente sur le graphique : la proportion des accidents à blessés graves est considérablement réduite en condition de demi-obscurité. En fait, elle ne représente que 49,9 % de la proportion en code d'éclairement 4 par rapport au total d'accidents et 74,8 % de la proportion en code 1 par rapport au total d'accidents. La situation en demi-obscurité de jour semble donc être favorable en ce qui a trait aux accidents à blessés graves. En résumé, l'éclairage naturel de jour semble être, dans tous les cas, bénéfique pour diminuer considérablement la proportion des accidents mortels et à blessés graves. Le même constat est valable lorsqu'on passe du code 4 au code 3, c'est-à-dire qu'on pourrait s'attendre à un gain en terme de proportion d'accidents mortels et à blessés graves par rapport au total en éclairant l'autoroute la nuit. En chiffres, la nuit, en passant d'une zone éclairée à non éclairée, les proportions par rapport au total sont de 2,19 et 1,12 fois plus élevés pour les accidents mortels et à blessés graves, respectivement.

Distribution selon le jour de la semaine

Pour compléter ce qui a déjà fait l'objet d'un premier regard à la Figure 4.25, les trois figures qui suivent présentent une distribution des accidents selon le jour de la semaine, le code de sous-route et la gravité des accidents.

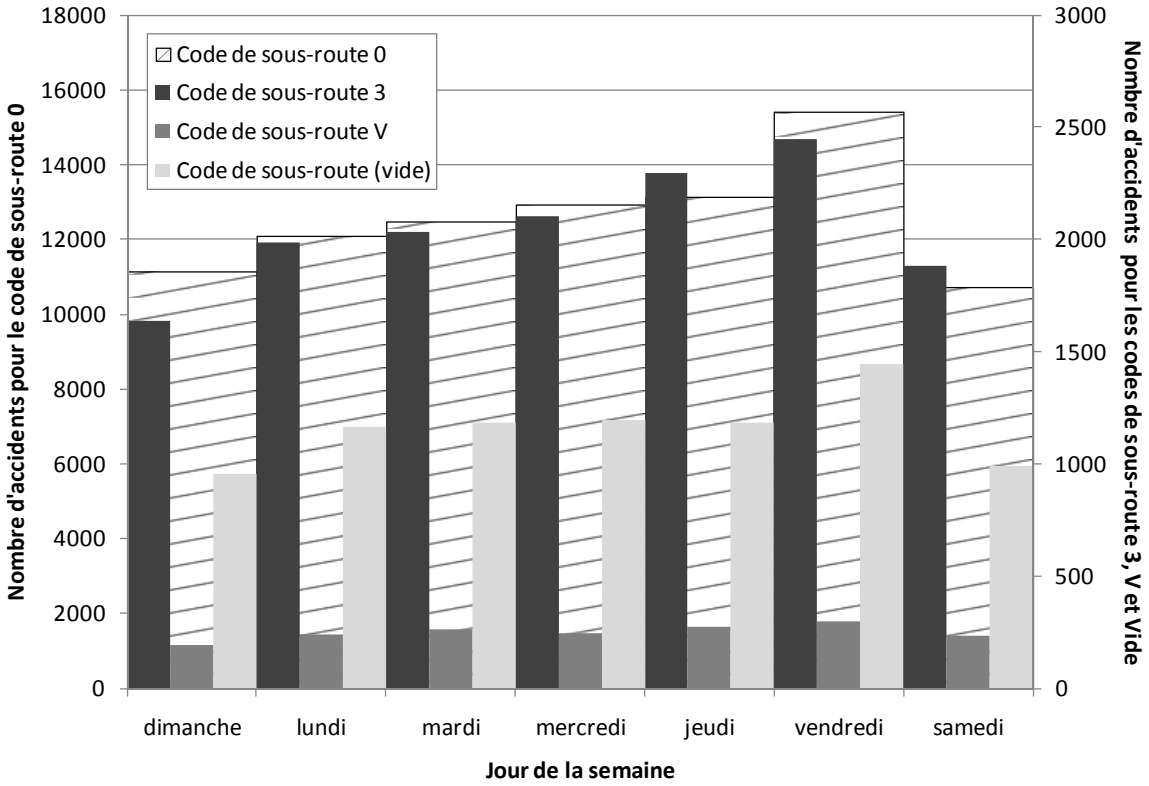


Figure 4.28: Distribution des accidents autoroutiers selon le jour de la semaine et le code de sous-route

Comme le montre la figure précédente, pour tous les codes de sous-route, le vendredi correspond à la journée la plus accidentogène. Ce constat a d'ailleurs déjà été observé à la Figure 4.25. En ce qui a trait aux différences d'une sous-route à l'autre, on peut noter que la proportion d'accidents sur les bretelles par rapport au total augmente un peu plus le jeudi que pour les accidents en section courante d'autoroute. Le contraire se pose le dimanche. Pour ce qui est des accidents qui surviennent dans une voie de service et des accidents non localisés, sauf les vendredi, samedi et dimanche, le nombre d'accidents est plutôt stable comparativement aux codes 0 et 3 qui présentent une légère et constante croissance du lundi au jeudi.

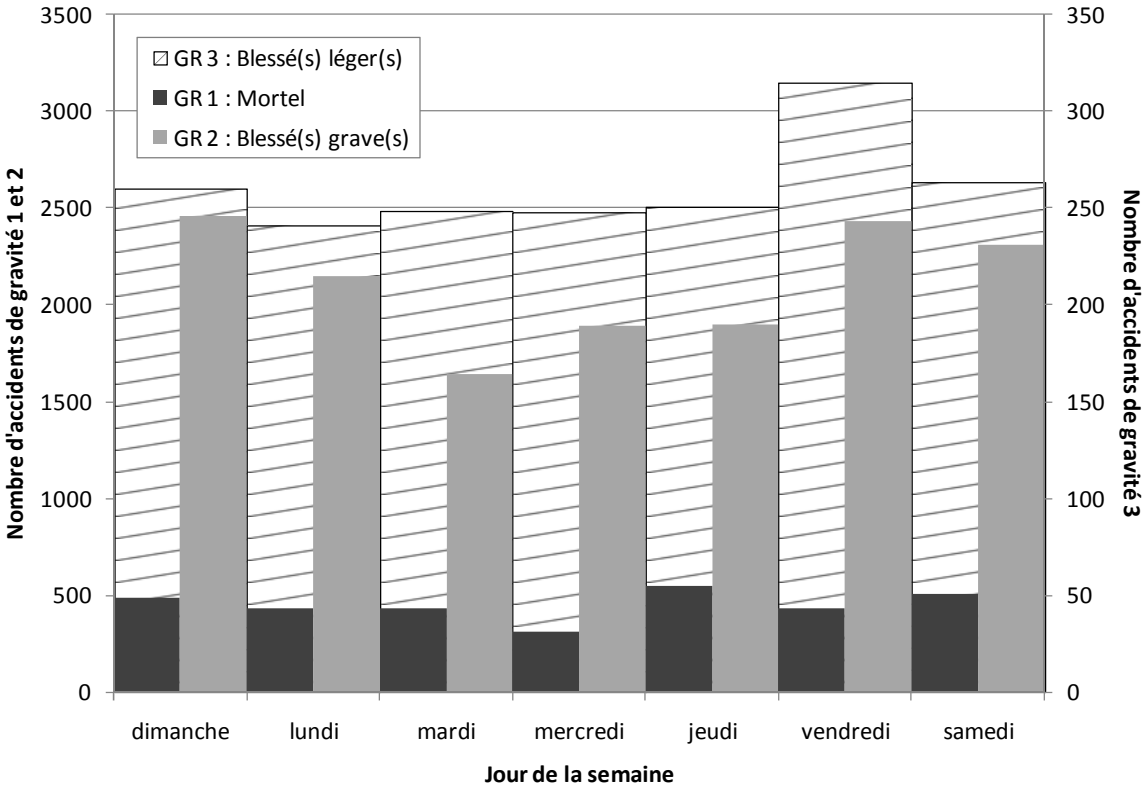


Figure 4.29: Distribution des accidents autoroutiers selon le jour de la semaine et la gravité (GR1, GR2 et GR3)

Chacune des catégories de gravité présente une allure quelque peu différente à l'examen de la figure précédente. Premièrement, les accidents à blessés légers semblent plutôt stables d'un jour à l'autre, sauf le vendredi, où ils augmentent radicalement d'environ cinq mille. Il s'agit de la seule catégorie qui démontre une pointe aussi distincte. La quantité d'accidents à blessés graves, quant à elle, est beaucoup plus variable, non pas en valeur absolue, mais par rapport à elle-même (l'axe secondaire accentue les variations des accidents mortels et à blessés graves). Les valeurs maximales s'observent surtout le dimanche et le vendredi. Pour ce qui est des accidents mortels, c'est le jeudi qui l'emporte avec un maximum de 55 accidents pour cinq ans. Le mercredi est par ailleurs la journée la moins meurtrière avec un nombre de 31.

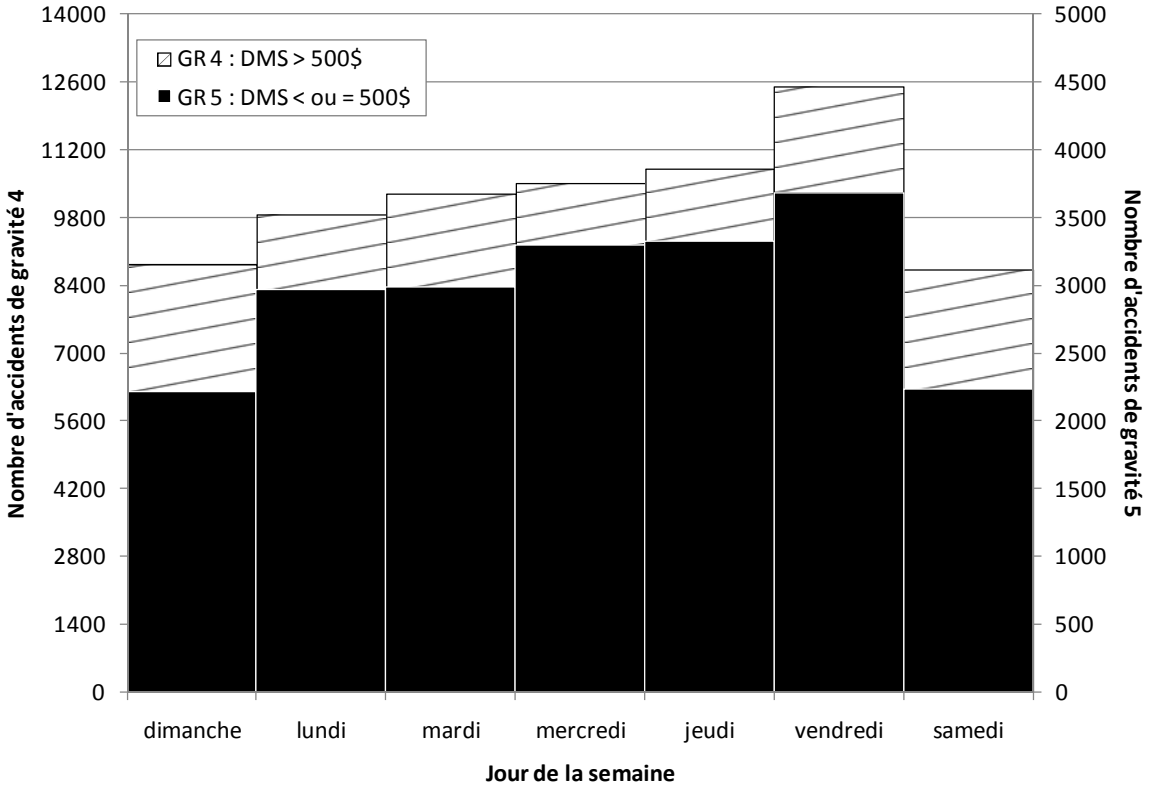


Figure 4.30: Distribution des accidents autoroutiers selon le jour de la semaine et la gravité (GR4 et GR5)

Les accidents à dommage matériel seulement démontrent une évolution différente des catégories précédentes. Peu importe le coût engendré par les dommages, la tendance est à la hausse du lundi au jeudi, pour ensuite présenter une pointe franche le vendredi, comme pour les accidents à blessés légers. La fin de semaine, leur nombre est plutôt stable et minimal.

Distribution mensuelle

En poursuivant l'ascension temporelle de la plus courte référence à la plus grande, on propose ici une analyse mensuelle des accidents en fonction du type de sous-route (Figure 4.31) et de la gravité (Figure 4.32 et Figure 4.33).

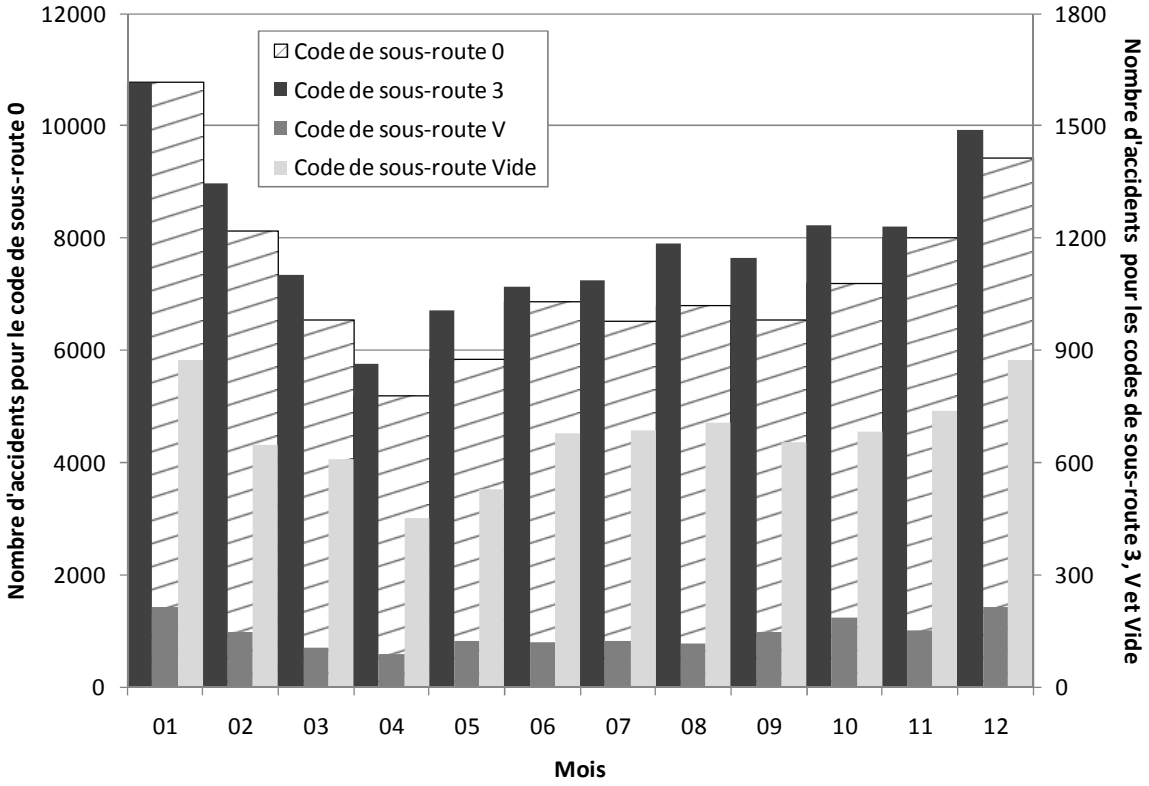


Figure 4.31: Distribution des accidents autoroutiers selon le mois et le code de sous-route

Comme on peut le voir sur la figure, pour toutes les catégories de sous-route, l'évolution des accidents à travers les mois est sensiblement la même. En janvier, un maximum d'accidents autoroutiers est atteint (sauf pour les codes V et Vide où les mois de décembre et janvier s'équivalent), puis une forte baisse suit jusqu'en avril. Du mois d'avril au mois de juin, on assiste à une petite remontée suivie d'un plateau s'étendant jusqu'en septembre. Finalement, une montée d'allure plutôt exponentielle se constate entre septembre et janvier. À titre quantitatif pour les sections courantes d'autoroutes, le maximum en janvier atteint les 10 801 accidents, tandis que trois mois plus tard, cette valeur ne s'élève qu'à 5196, soit moins que la moitié de la pointe.

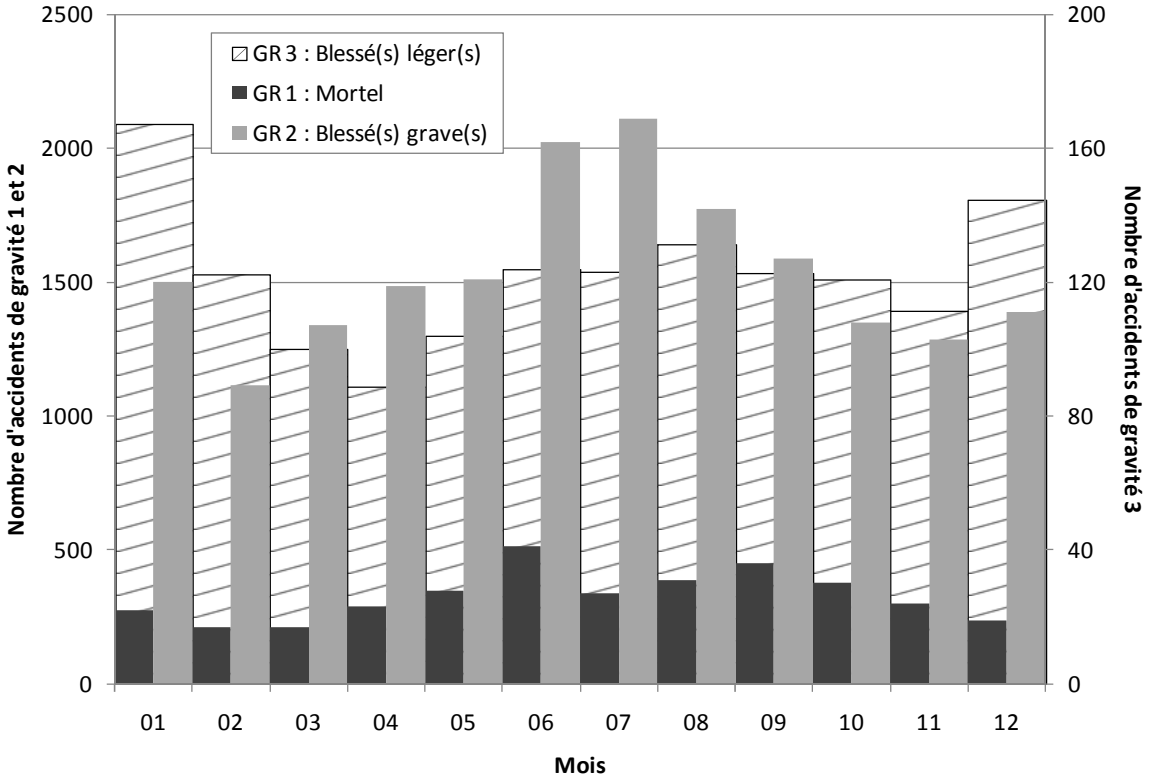


Figure 4.32: Distribution des accidents autoroutiers selon le mois et la gravité (GR1, GR2 et GR3)

La Figure 4.32 présente une forme légèrement différente de celle de la Figure 4.31. En l'observant de plus près, il est possible de remarquer qu'un changement se manifeste au niveau de la distribution mensuelle des accidents plus graves. En effet, en se penchant sur les codes de gravité 1 (accidents mortels) et 2 (accidents à blessés graves), on peut constate qu'une nouvelle pointe se crée aux mois de juin et juillet, respectivement pour les codes 1 et 2. La pointe de janvier se voit, quant à elle, presque disparaître. D'autre part, pour les accidents mortels uniquement, un autre sommet peut être perçu en septembre. Encore une fois, en passant du mois minimum au maximum, le nombre d'accidents se multiplie presque par deux.

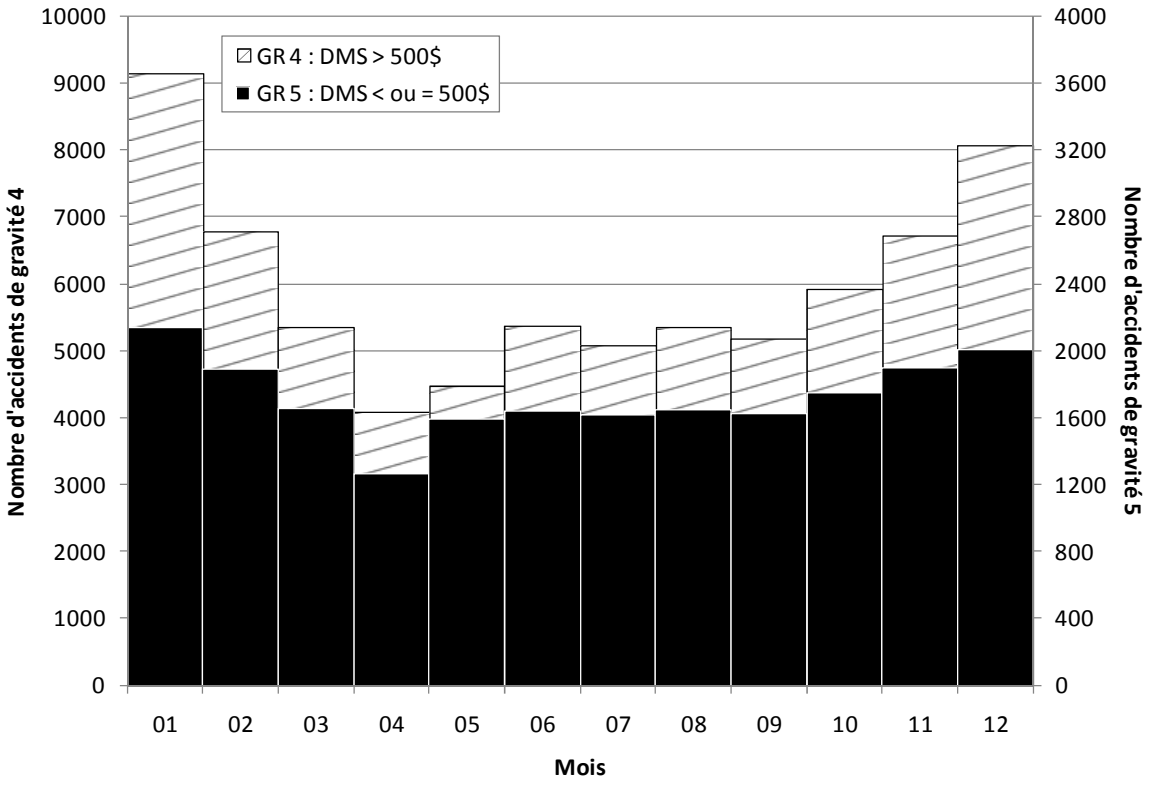


Figure 4.33: Distribution des accidents autoroutiers selon le mois et la gravité (GR4 et GR5)

L'allure de l'évolution des accidents avec dommage matériel seulement s'apparente beaucoup plus à la Figure 4.31 qu'à la Figure 4.32. La raison est fort simple : le nombre d'accidents à dommage matériel seulement sur les autoroutes représente une proportion prépondérante au sein du total. On retrouve donc ici le creux d'avril et le sommet de janvier, comme discuté pour l'évolution mensuelle des accidents en fonction du code de sous-route. Par ailleurs, le coût engendré par les accidents à dommage matériel seulement n'influence pas vraiment la forme de la distribution. Effectivement, les deux catégories s'emboîtent presque parfaitement sur la Figure 4.33. La seule petite différence est que lorsque les coûts sont égaux ou inférieurs à 500 $, la distribution est un peu plus « polie ».

Distribution saisonnière

La distribution saisonnière correspond à une agrégation de quatre ensembles de trois mois chacun. Ces mois ne débutent toutefois pas le 1er comme pour l'analyse précédente. Tel qu'indiqué dans la définition des champs dérivés à la section 4.3.3, on rappelle que les

changements de saison se réfèrent aux dates de l'an 2002. Cette approche permet un regard un peu plus global sur l'impact des grandes périodes de l'année présentant un climat relativement uniforme. La Figure 4.34 qui suit présente la répartition des accidents à travers les saisons selon le code de sous-route tandis que les Figure 4.35 et Figure 4.36 la présente en fonction de la gravité des accidents. La Figure 4.37, quant à elle, considère une dimension supplémentaire dans la caractérisation de la distribution : il s'agit de l'impact de l'envergure de la circulation. Elle distingue plus précisément le taux d'accidents pondéré par le DJMS du nombre d'accidents proprement dit. Ces valeurs correspondent à des sommations sur les cinq années de données. Étant donné que les débits ne sont pas connus en tout point sur le réseau, les taux présentés n'ont pas de signification quantitative tangible. Par contre, leur tendance peut être comparée au nombre d'accidents selon les saisons. Enfin, lorsque des taux pondérés par le débit sont présentés, il faut noter qu'ils ne s'appliquent qu'à la section courante des autoroutes (code de sous-route 0), car les débits ne sont pas connus sur les autres codes de sous-route.

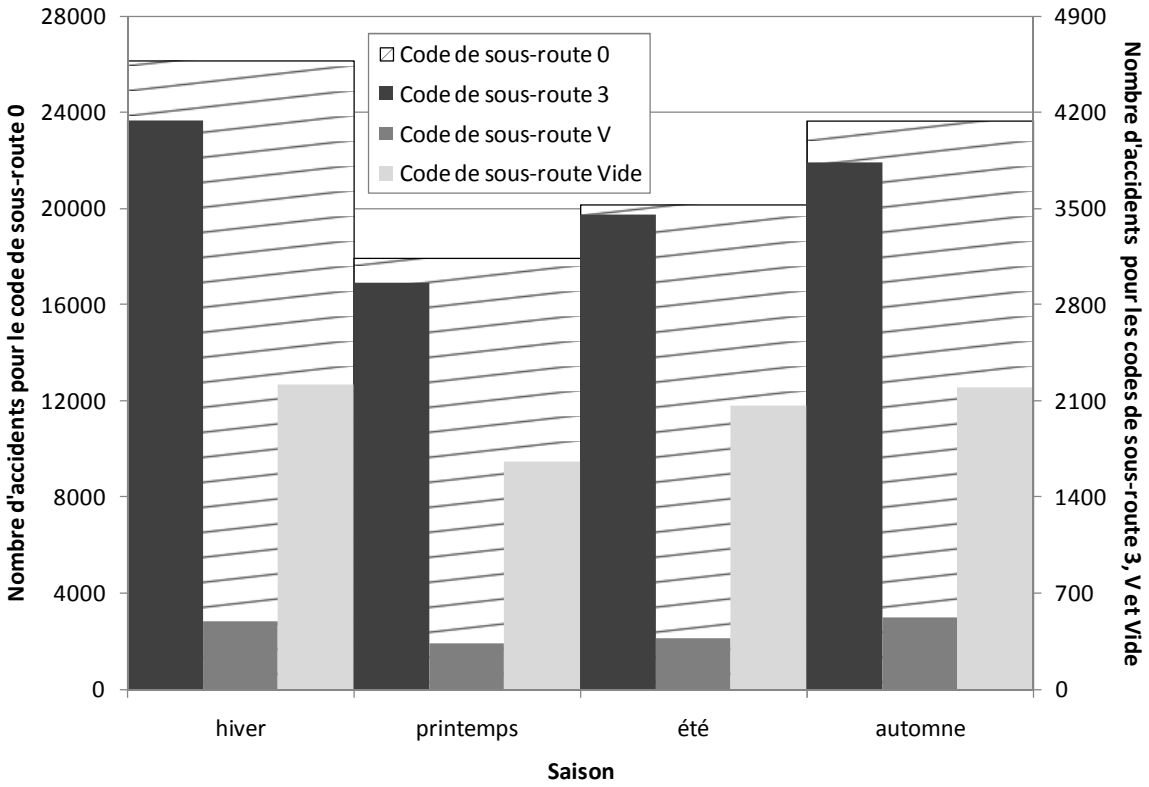


Figure 4.34: Distribution des accidents autoroutiers selon la saison et le code de sous-route

La répartition des accidents en fonction des saisons est relativement similaire d'un code de sous-route à l'autre. Dans tous les cas, le printemps est la saison la moins accidentogène tandis que de l'autre côté, l'hiver est celle qui est le plus propice aux accidents, mais pas énormément plus que l'automne. Quantitativement, pour les sections principales, l'hiver engendre environ 11 % plus d'accidents que l'automne, soit 2515 accidents supplémentaires en cinq ans. On note aussi que les codes de sous-route V et Vide ne fluctuent pas autant que les codes 0 et 3 d'une saison à l'autre.

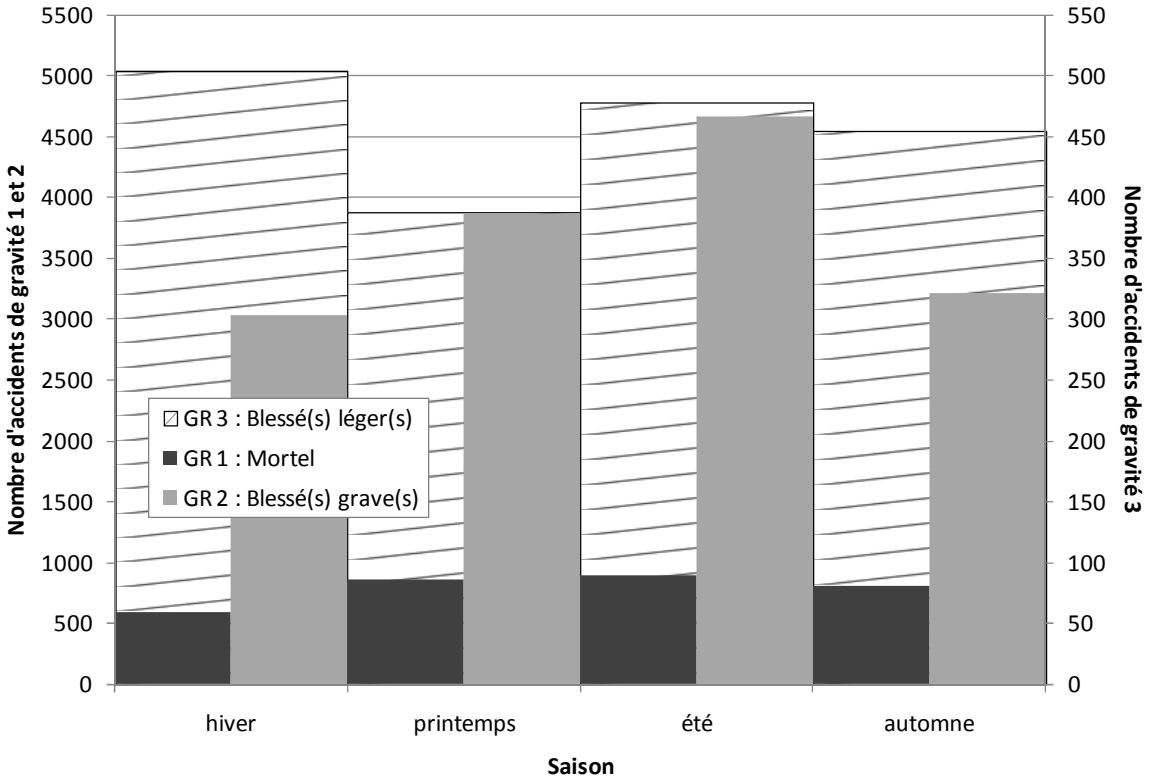


Figure 4.35: Distribution des accidents autoroutiers selon la saison et la gravité (GR1, GR2 et GR3)

Lorsqu'examinés selon le code de gravité, on se rend compte que les accidents ne suivent pas tout à fait la même tendance qu'à la Figure 4.34. Bien entendu, il faut rappeler que les accidents à dommage matériel représentent une large majorité du total d'accidents et viennent donc influencer la tendance générale de l'analyse selon les différents types de sous-route. Dans le cas

présent, on constate que l'hiver devient la saison la moins propice aux accidents mortels et à blessés graves. Au niveau des accidents à blessés graves, l'été et le printemps (les deux saisons démontrant le moins d'accidents précédemment) deviennent tout à coup les saisons les plus accidentogènes. Pour ce qui est des accidents à blessés légers, c'est toujours l'hiver qui l'emporte avec un peu plus de 1000 accidents par année. Par contre, contrairement à la tendance d'histogramme en fonction du code de sous-route, l'été ici implique plus d'accidents à blessés légers que l'automne.

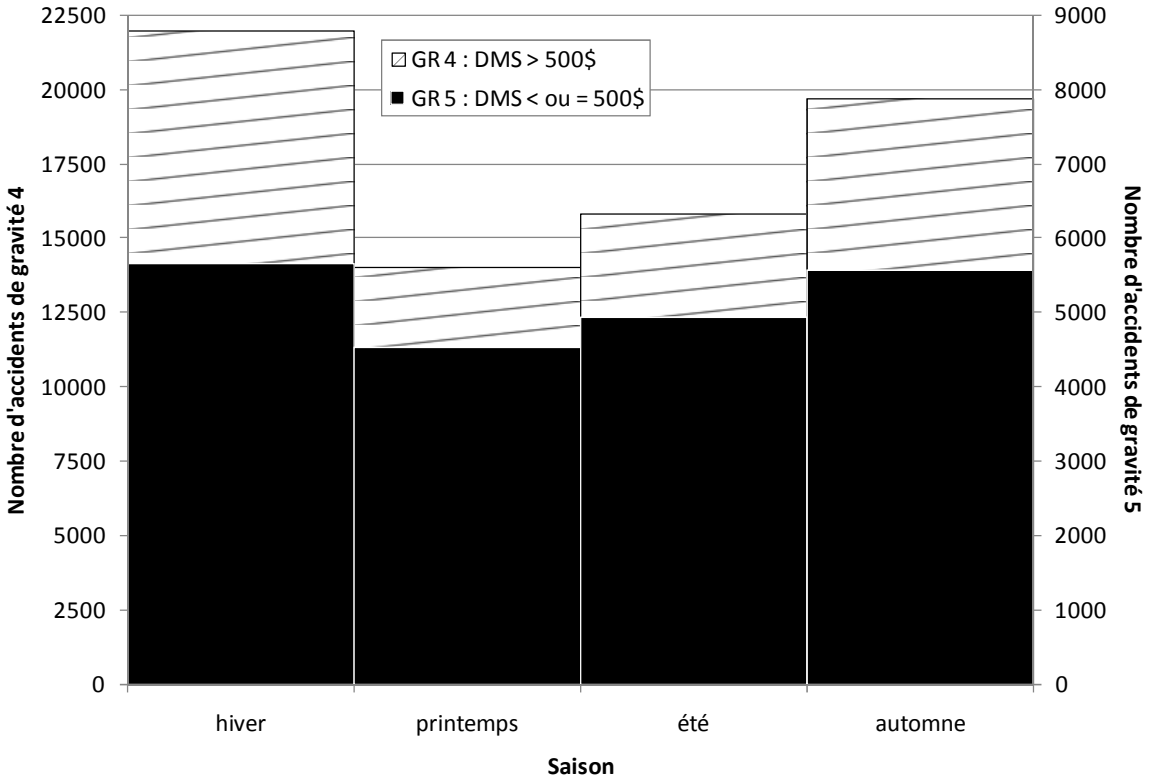


Figure 4.36: Distribution des accidents autoroutiers selon la saison et la gravité (GR4 et GR5)

Les accidents à dommage matériel seulement suivent la tendance de l'analyse saisonnière en fonction du code de sous-route. La seule distinction entre ceux avec dommages de plus de 500 $ par rapport à ceux de 500 $ ou moins est que pour la deuxième catégorie, les fluctuations d'une saison à l'autre sont moins grandes que pour la première, autant en valeurs absolues qu'en relatives.

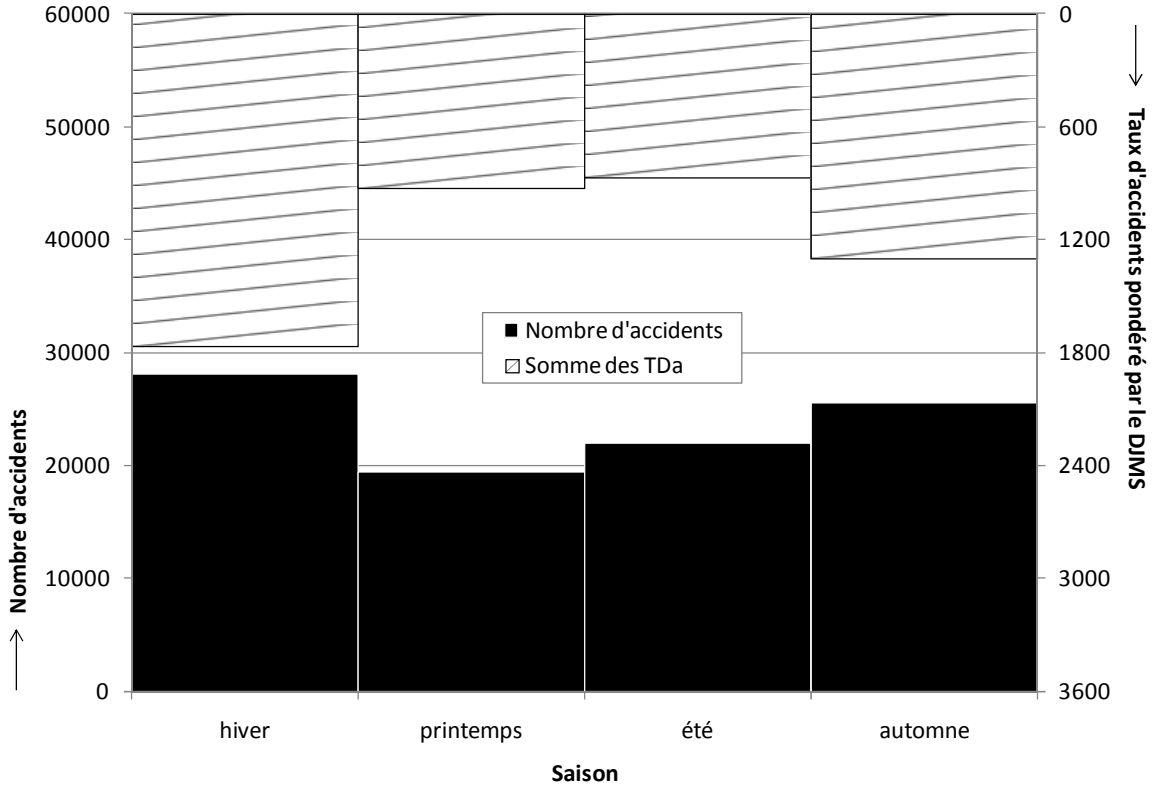


Figure 4.37: Distribution du nombre et du taux d'accidents pondéré par le DJMS en section courante d'autoroute selon la saison pour le code de sous-route 0

L'examen des taux d'accidents pondérés par le DJMS permet de mettre en évidence de nouvelles tendances. En effet, en comparant le nombre d'accidents aux taux d'accidents par rapport à la circulation, il est possible de remarquer que le printemps suggère, pour les taux, une dangerosité plus grande que l'été. On note également pour les taux que la pointe d'hiver est quelque peu accentuée en comparaison avec les autres saisons. Ainsi, d'un extrême à l'autre pour les taux, l'écart relatif est un peu plus grand que pour le nombre d'accidents proprement dit.

Distribution annuelle

On propose ici une présentation de l'évolution des accidents autoroutiers à travers les années. Dans un premier temps, l'impact du type de sous-route sur cette distribution est examiné. Cette analyse est présentée à la Figure 4.38.

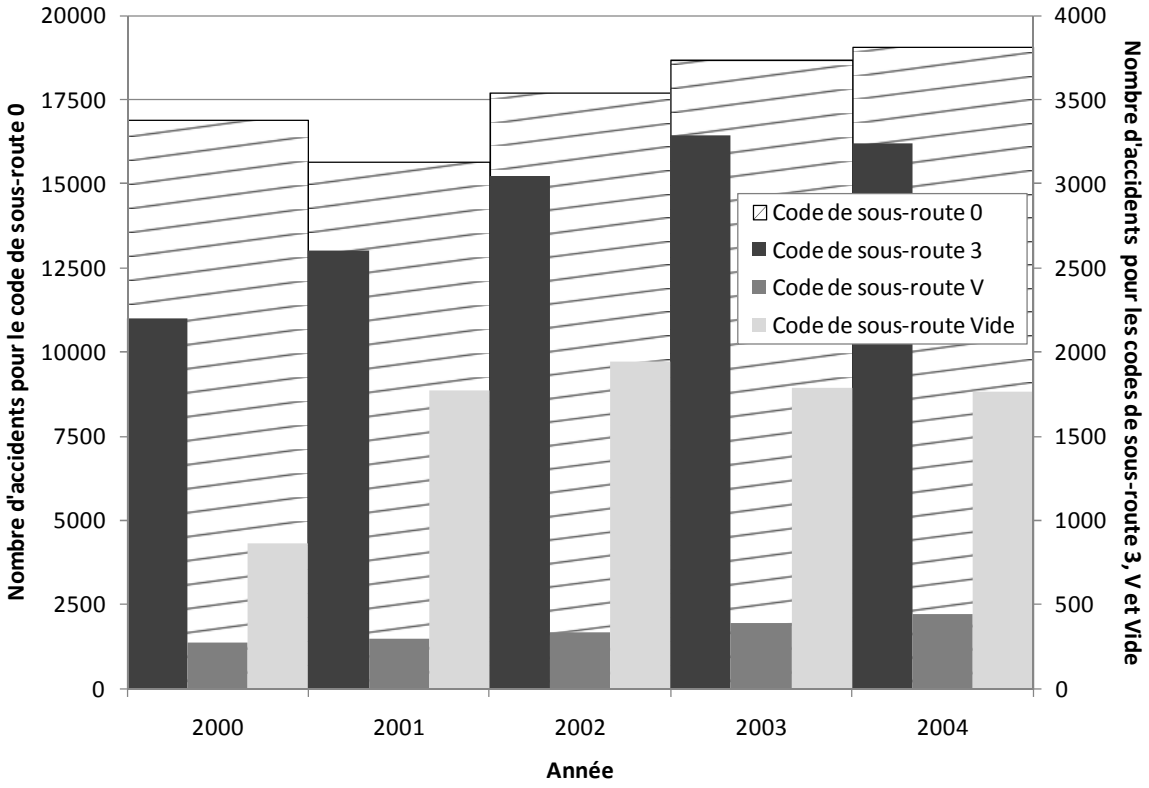


Figure 4.38: Distribution des accidents autoroutiers selon l'année et le code de sous-route

Ce graphique démontre une légère augmentation du nombre d'accidents en 2004 par rapport à la situation de l'an 2000 et ce, peu importe le code de sous-route examiné. La section courante d'autoroute a connu sa valeur minimale en 2001, pour par la suite remonter jusqu'en 2004. Chaque année, le taux variation s'est toutefois estompé, ce qui démontre la convergence vers une certaine stabilité au niveau du nombre d'accidents. Par contre, sachant que le trafic a augmenté durant ces années (voir section 2.3), il n'y a pas nécessairement lieu d'interpréter ces augmentations comme une augmentation de la dangerosité des autoroutes.

En second lieu, on propose une distribution annuelle des taux d'accidents en fonction de la circulation et de la gravité des accidents. Pour cette analyse, il est possible de comparer la dangerosité des autoroutes par rapport aux tendances globales présentées à la section 2.2. Pour ce faire, on rapporte ces distributions générales, mais en misant sur les années 2000 à 2004 (voir Figure 4.39). Ces valeurs sont exprimées par 10 000 véhicules en circulation sur les routes du Québec. D'autre part, des taux quelque peu différents ont été considérés pour les données des autoroutes. En effet, ne sachant pas si le DJMS est calculé rigoureusement aux mêmes endroits

d'année en année, on suggère, en plus des taux basés sur le DJMS de l'année de l'accident, l'ajout de taux d'accidents basés sur le débit de l'année médiane (DJMS2002). Cette procédure a le désavantage d'engendrer une certaine perte de précision, mais elle assure du même coup une référence temporelle uniforme d'un accident à l'autre. De plus, il devient possible de constater s'il existe une grande différence entre l'utilisation du DJMS et du DJMS2002. La Figure 4.40 illustre l'évolution des taux d'accidents autoroutiers pondérés par le débit (DJMS et DJMS2002) à travers les années 2000 à 2004. Ces valeurs sont exprimées par 10 000 véhicules de façon à pouvoir les comparer aux tendances globales.

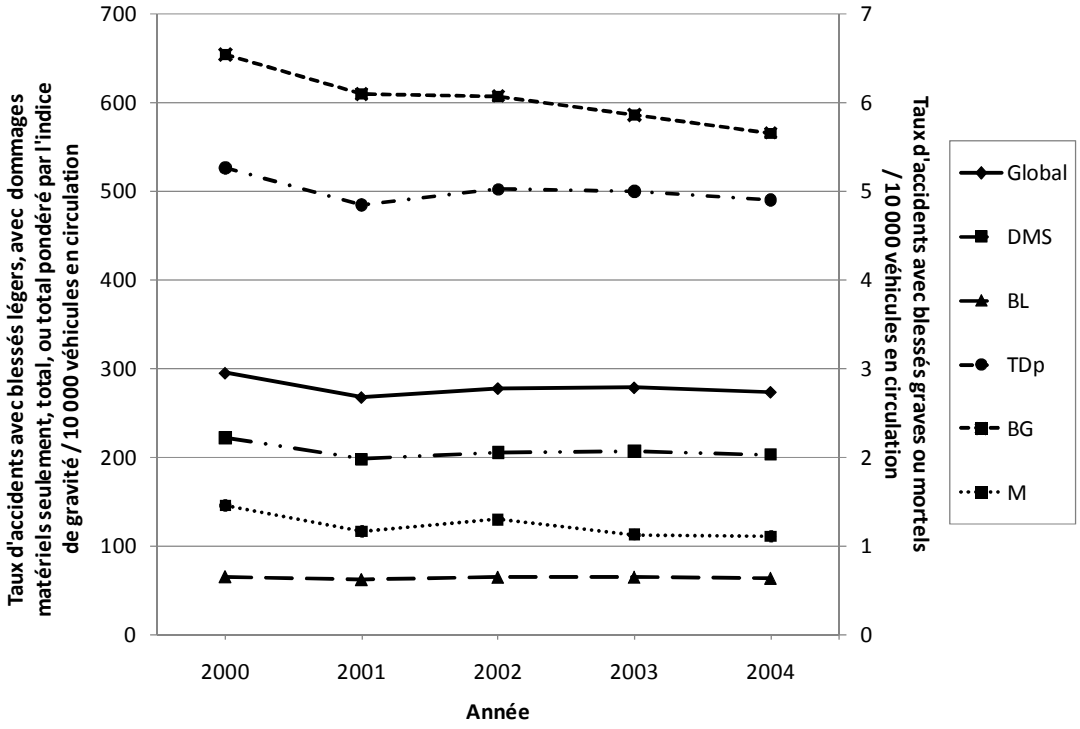


Figure 4.39: Distribution des taux d'accidents pondérés par le nombre de véhicules en circulation en fonction de la gravité des accidents, tendances générales sur les routes du Québec

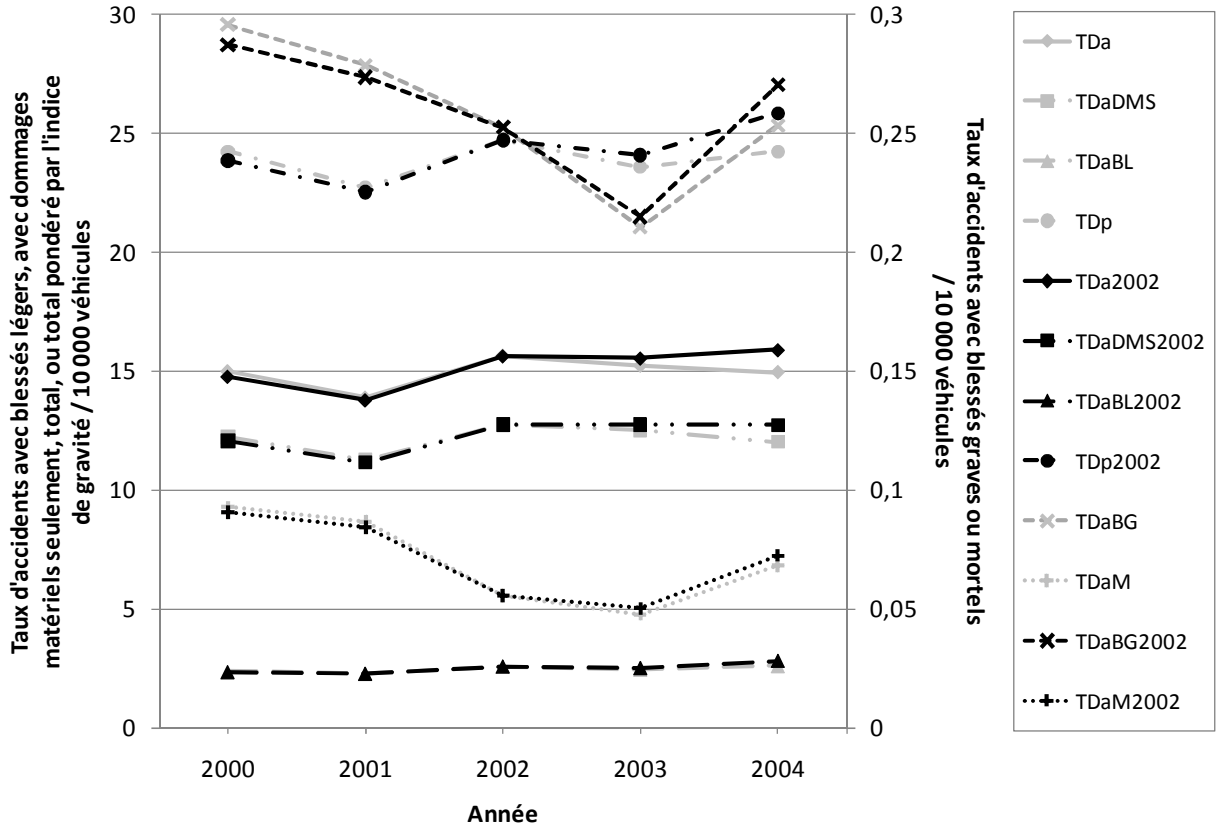


Figure 4.40: Distribution des taux d'accidents pondérés par le DJMS et le DJMS2002 en fonction de la gravité des accidents autoroutiers pour le code de sous-route 0

La Figure 4.39 illustre tout d'abord que le nombre d'accidents par rapport aux véhicules en circulation est globalement stable depuis l'an 2000. Le seul indicateur qui présente une diminution notable est le taux d'accidents à dommage matériel seulement.

La Figure 4.40 montre ensuite que les tendances sont similaires pour les taux d'accidents pondérés par le DJMS. Malgré des fluctuations un peu plus importantes au fil des ans, le taux de 2004 revient à une valeur près de celle de l'an 2000, et ce, pour toutes les gravités d'accidents. Par ailleurs, cette figure indique qu'il y aurait eu un léger creux en 2003, signe d'une diminution momentanée des accidents pour cette année, excepté pour les DMS et les accidents mortels. Ce creux n'est pas présent à la Figure 4.39, ce qui voudrait dire que pour un même bassin véhiculaire, les conducteurs auraient été moins actifs durant l'année 2003, ou tout simplement plus prudents (plus d'opérations de contrôle policier, campagnes de sensibilisation, etc.). Il est à noter que les droites pour le DJMS et le DJMS2002 se superposent à des valeurs assez

rapprochées pour considérer le choix de l'une ou l'autre des variables sans faire dévier exagérément les résultats.

Distribution selon la date exacte des accidents

Pour terminer ce regard temporel des accidents, on propose une visualisation désagrégée des accidents selon la date exacte de ceux-ci. La Figure 4.41 illustre dans un premier temps le nombre et le taux d'accidents pondéré par le DJMS. La Figure 4.42, quant à elle, présente le même concept, mais pour les accidents mortels.

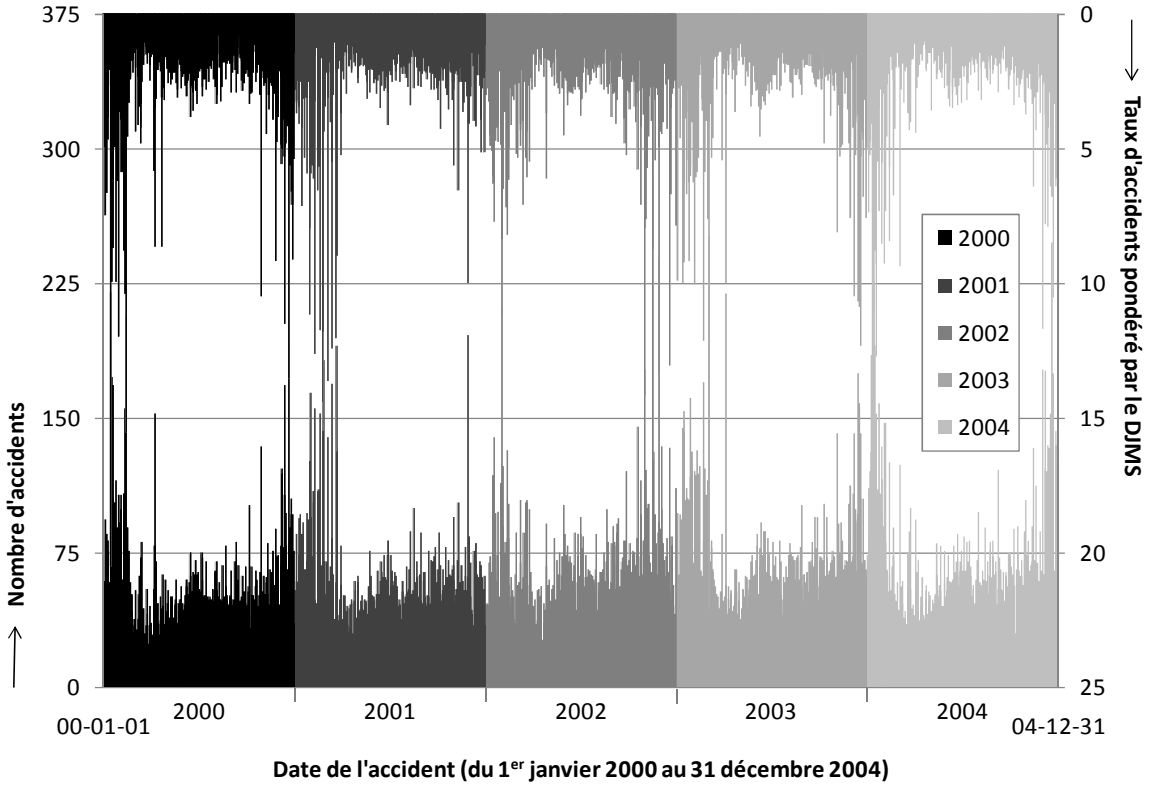


Figure 4.41: Distribution des accidents autoroutiers selon leur date

D'après la Figure 4.41, les pointes maximales d'accidents semblent être récurrentes d'année en année, tant pour le nombre d'accidents que pour le taux pondéré par le DJMS. En effet, en regardant la forme de la distribution du graphique pour les différentes teintes de gris (différentes années), on constate une symétrie presque parfaite entre l'année 2000 et l'année 2004. Ce phénomène implique qu'il existe des dates reconnues comme étant plus accidentogènes telles que

les fins de semaine de trois jours où les gens sont appelés à parcourir des distances plus grandes pour retourner dans leur région natale, donc ils augmentent leur facteur d'exposition au risque.

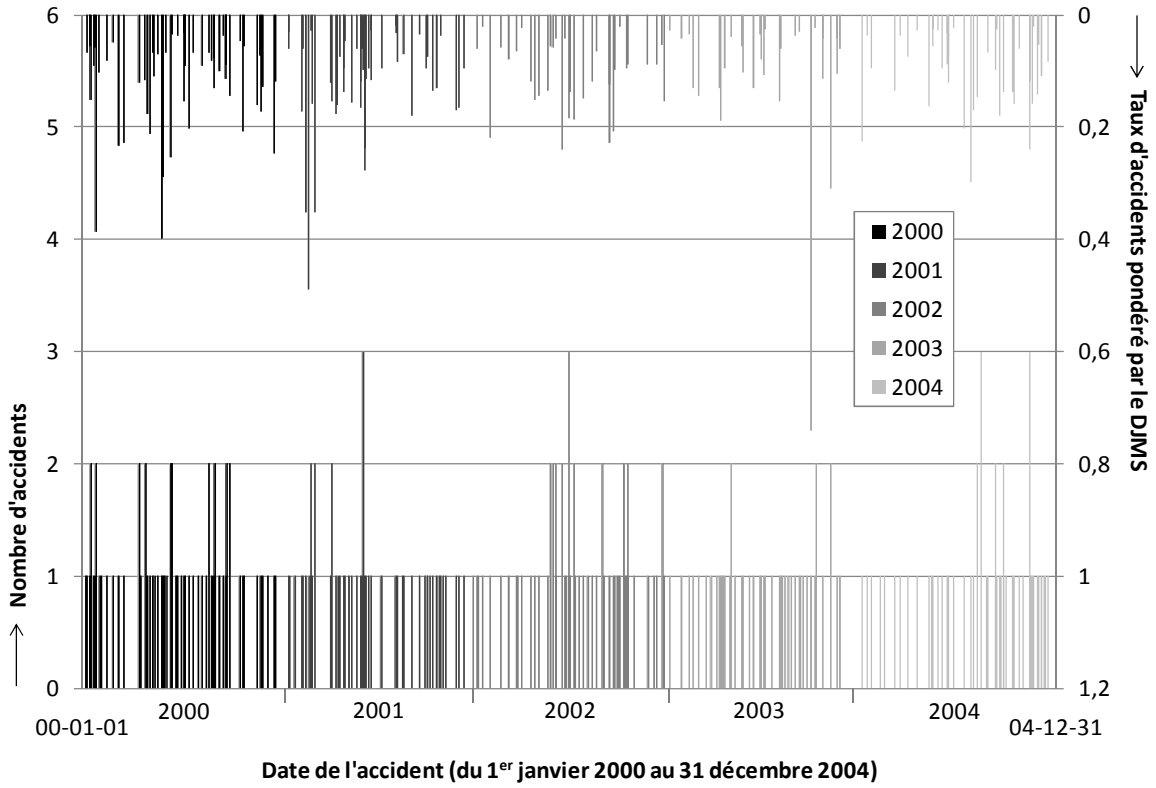


Figure 4.42: Distribution des accidents mortels selon leur date

La Figure 4.42 démontre que la constance d'une année à l'autre au niveau des accidents mortels est moins évidente que pour la fréquence d'accidents toutes gravités. Le fait qu'il s'agisse d'événements plus rares explique en partie la situation. Il semble toutefois y avoir malgré tout une certaine tendance en fin d'année où l'on observe un peu plus de décès.

Avec Excel, il est possible de repérer les dates présentant un nombre anormalement élevé d'accidents à l'aide d'une mise en forme conditionnelle. Le tableau qui suit présente un exemple de recherche des dates où sont survenus plus de 150 accidents ou un taux pondéré par le DJMS plus grand que 10 accidents durant la même journée (case noire). Une case grise indique que le taux pondéré par le DJMS est supérieur à 5, mais plus petit que 10 (ce qui indique une problématique, mais de moins grande importance).

Tableau 4-17: Exemple de recherche des dates à nombre ou taux élevé d'accidents

Analyse selon le nb d'accidents et les années

Date	Nb d'acc								
00-01-01	64	01-01-01	48	02-01-01	46	03-01-01	33	04-01-01	23
00-01-02	51	01-01-02	54	02-01-02	46	03-01-02	21	04-01-02	74
00-01-03	59	01-01-03	54	02-01-03	43	03-01-03	53	04-01-03	111
00-01-04	93	01-01-04	59	02-01-04	47	03-01-04	97	04-01-04	35
00-01-05	45	01-01-05	85	02-01-05	39	03-01-05	21	04-01-05	84
00-01-06	53	01-01-06	39	02-01-06	27	03-01-06	63	04-01-06	97
00-01-07	85	01-01-07	28	02-01-07	46	03-01-07	62	04-01-07	120
00-01-08	37	01-01-08	58	02-01-08	38	03-01-08	96	04-01-08	185
00-01-09	44	01-01-09	74	02-01-09	69	03-01-09	58	04-01-09	131
00-01-10	82	01-01-10	94	02-01-10	61	03-01-10	93	04-01-10	67
00-01-11	76	01-01-11	83	02-01-11	73	03-01-11	52	04-01-11	345
00-01-12	50	01-01-12	96	02-01-12	64	03-01-12	37	04-01-12	111
00-01-13	58	01-01-13	54	02-01-13	53	03-01-13	144	04-01-13	180
00-01-14	43	01-01-14	33	02-01-14	57	03-01-14	114	04-01-14	224
00-01-15	41	01-01-15	85	02-01-15	118	03-01-15	139	04-01-15	263
00-01-16	220	01-01-16	85	02-01-16	117	03-01-16	142	04-01-16	190
00-01-17	173	01-01-17	65	02-01-17	139	03-01-17	154	04-01-17	90
00-01-18	159	01-01-18	92	02-01-18	65	03-01-18	104	04-01-18	152
00-01-19	168	01-01-19	66	02-01-19	65	03-01-19	72	04-01-19	129
00-01-20	78	01-01-20	40	02-01-20	38	03-01-20	111	04-01-20	127
00-01-21	105	01-01-21	41	02-01-21	97	03-01-21	93	04-01-21	88
00-01-22	103	01-01-22	66	02-01-22	59	03-01-22	106	04-01-22	110
00-01-23	82	01-01-23	61	02-01-23	37	03-01-23	94	04-01-23	158
00-01-24	72	01-01-24	70	02-01-24	74	03-01-24	105	04-01-24	104
00-01-25	78	01-01-25	97	02-01-25	98	03-01-25	76	04-01-25	84
00-01-26	115	01-01-26	93	02-01-26	58	03-01-26	85	04-01-26	108
00-01-27	69	01-01-27	54	02-01-27	50	03-01-27	104	04-01-27	108
00-01-28	89	01-01-28	30	02-01-28	39	03-01-28	161	04-01-28	116
00-01-29	75	01-01-29	39	02-01-29	33	03-01-29	117	04-01-29	134
00-01-30	75	01-01-30	126	02-01-30	51	03-01-30	120	04-01-30	97
00-01-31	107	01-01-31	164	02-01-31	114	03-01-31	131	04-01-31	64
00-02-01	39	01-02-01	71	02-02-01	211	03-02-01	68	04-02-01	90
00-02-02	92	01-02-02	95	02-02-02	68	03-02-02	69	04-02-02	67
00-02-03	107	01-02-03	73	02-02-03	123	03-02-03	57	04-02-03	82
00-02-04	99	01-02-04	62	02-02-04	90	03-02-04	120	04-02-04	147

Analyse selon le taux d'accidents et les années

Date	Somme de iTDa								
00-01-01	4	01-01-01	2.88	02-01-01	2.12	03-01-01	2.6	04-01-01	1.39
00-01-02	4.9	01-01-02	2.8	02-01-02	3.01	03-01-02	0.86	04-01-02	5.03
00-01-03	4	01-01-03	2.27	02-01-03	1.93	03-01-03	2.44	04-01-03	7.4
00-01-04	7.5	01-01-04	3.69	02-01-04	2.02	03-01-04	9.92	04-01-04	1.54
00-01-05	3.3	01-01-05	3.27	02-01-05	2.75	03-01-05	0.96	04-01-05	4.34
00-01-06	3.7	01-01-06	3.2	02-01-06	1.53	03-01-06	2.77	04-01-06	4.74
00-01-07	6.6	01-01-07	1.24	02-01-07	3.23	03-01-07	2.02	04-01-07	5.25
00-01-08	1.3	01-01-08	2.49	02-01-08	0.72	03-01-08	4.58	04-01-08	4.06
00-01-09	3.2	01-01-09	4.09	02-01-09	3.27	03-01-09	1.64	04-01-09	3.48
00-01-10	3.8	01-01-10	3.46	02-01-10	4.52	03-01-10	2.65	04-01-10	1.94
00-01-11	4.7	01-01-11	3.04	02-01-11	4.88	03-01-11	2.33	04-01-11	22.4
00-01-12	1.8	01-01-12	2.54	02-01-12	5.07	03-01-12	2.25	04-01-12	7.43
00-01-13	2.1	01-01-13	1.4	02-01-13	4.45	03-01-13	10	04-01-13	10.9
00-01-14	1	01-01-14	2.01	02-01-14	2.61	03-01-14	3.35	04-01-14	5.31
00-01-15	2.6	01-01-15	4.24	02-01-15	6.32	03-01-15	3.23	04-01-15	6.13
00-01-16	21	01-01-16	7.15	02-01-16	6.03	03-01-16	6.25	04-01-16	8.8
00-01-17	9.9	01-01-17	3.17	02-01-17	7.7	03-01-17	9.24	04-01-17	6.53
00-01-18	5.8	01-01-18	2.83	02-01-18	3.77	03-01-18	3.9	04-01-18	12.7
00-01-19	6.2	01-01-19	5.32	02-01-19	2.15	03-01-19	2.2	04-01-19	9.26
00-01-20	3.6	01-01-20	1.68	02-01-20	2.36	03-01-20	6.69	04-01-20	8.31
00-01-21	8.7	01-01-21	2.49	02-01-21	4.72	03-01-21	2.62	04-01-21	2.48
00-01-22	5	01-01-22	2.6	02-01-22	2.59	03-01-22	5.44	04-01-22	5.46
00-01-23	3.2	01-01-23	3.1	02-01-23	0.94	03-01-23	2.65	04-01-23	7.31
00-01-24	4.4	01-01-24	3.12	02-01-24	4.22	03-01-24	2.8	04-01-24	3.49
00-01-25	3.1	01-01-25	5.9	02-01-25	4.73	03-01-25	6.27	04-01-25	2.98
00-01-26	9.9	01-01-26	2.64	02-01-26	4.05	03-01-26	9.19	04-01-26	2.41
00-01-27	3.4	01-01-27	1.38	02-01-27	2.13	03-01-27	4.59	04-01-27	2.79
00-01-28	6.2	01-01-28	2.52	02-01-28	1.77	03-01-28	5.67	04-01-28	4.86
00-01-29	2.9	01-01-29	0.96	02-01-29	1.77	03-01-29	6.03	04-01-29	8.54
00-01-30	2.2	01-01-30	7.96	02-01-30	1.72	03-01-30	3.34	04-01-30	5.53
00-01-31	12	01-01-31	11.1	02-01-31	4.85	03-01-31	4.04	04-01-31	2.69
00-02-01	3.3	01-02-01	5.15	02-02-01	11.2	03-02-01	2.67	04-02-01	2.95
00-02-02	3.6	01-02-02	5.91	02-02-02	3.37	03-02-02	6.25	04-02-02	1.9
00-02-03	3.6	01-02-03	3.94	02-02-03	8.34	03-02-03	2.21	04-02-03	2.65
00-02-04	3.9	01-02-04	3.6	02-02-04	6.5	03-02-04	10	04-02-04	9.27

CHAPITRE 5 ANALYSE DES ACCIDENTS DANS LES COURBES EN SECTION COURANTE D'AUTOROUTE

5.1 Introduction à l'analyse des accidents dans les courbes en section courante d'autoroutes

Dresser un portrait spatial ou temporel des accidents sur les autoroutes, comme il a été présenté au Chapitre 4, permet à l'analyste de se faire une bonne idée des tendances générales. Par contre, lorsque vient le temps de cerner des problèmes concrets de sécurité sur le réseau, un examen plus approfondi se doit d'être mis de l'avant. Pour répondre à ce besoin, le présent chapitre propose une première étape d'analyse des accidents autoroutiers selon un découpage par élément géométrique précis. Le principe d'analyse ici vise non plus seulement à traiter un seul site accidentogène comme le veut l'étude de sécurité classique, mais plutôt à analyser un type d'élément géométrique à la fois pour un ensemble de sites (qu'ils soient accidentogènes ou non) ayant une caractéristique commune. L'élément examiné ici correspond plus spécifiquement à la courbe en section courante d'une autoroute. D'autre part, l'objectif complémentaire de ce chapitre est d'élaborer une première ébauche d'approche transposable pour tout autre élément autoroutier, notamment pour les différentes parties d'un échangeur.

Le chapitre débute par une description de l'échantillon choisi, est suivi de la méthodologie de traitement, puis par une analyse plus approfondie de l'échantillon et des corrélations pouvant exister entre les accidents autoroutiers et les courbes en section courante.

5.2 Échantillon et méthodologie de traitement des données

5.2.1 Choix de l'échantillon

Dans un premier temps, il est essentiel de connaître les caractéristiques des courbes. Or, les paramètres de base comme le rayon et la longueur de la courbe sont inconnus de prime abord. Pour obtenir ces informations, une reconstitution du tracé de l'autoroute doit être faite, ce qui représente une tâche d'envergure. Pour cette raison, mais tout en conservant un échantillon représentatif, il a été décidé de circonscrire l'étude à deux autoroutes : l'autoroute 20 et l'autoroute 40. Il s'agit des deux plus longues autoroutes du Québec. En fait, sur les 3706 km de

section courante d'autoroute au Québec, L'A20 et l'A40 font à elles seules quelque 1703 km, soit 46 % de la longueur totale. Ces valeurs sont calculées à l'aide de l'outil « Calculate Statistics » de MapInfo en faisant la somme de tous les segments appropriés dans la BDGR 2008, il s'agit donc de longueurs de type réel.

5.2.2 Résumé des étapes précédent l'analyse

Pour être en mesure d'analyser les accidents sur les courbes en section courante des autoroutes 20 et 40, il faut, tout d'abord, obtenir les données manquantes quant à la géométrie, en faire une nouvelle base de données, puis joindre géographiquement cette base aux accidents. Tel que mentionné dans l'introduction du présent chapitre, des paramètres de base doivent être obtenus avant tout. Le rayon et la longueur des courbes sont les deux éléments essentiels à connaître. Pour recueillir ces informations, une reconstitution du tracé des autoroutes doit être effectuée. À cette étape, d'autres paramètres peuvent être extraits pour bonifier l'extrant comme le sens de la courbe et la longueur de la tangente précédente. Les segments droits du tracé en section courante sont également reconstitués de façon à apporter une base de comparaison à l'analyse. Deux nouvelles bases de données sont ainsi construites. L'entité de ces bases de données est en fait un élément « ligne » ou « arc » géoréférencé. Des éléments « surfaces » sont ensuite obtenus à partir de ces éléments linéaires de façon à délimiter des zones qui englobent les entités « points » correspondant aux accidents. Cette transformation se fait par l'utilisation de l'outil « buffer » de MapInfo qui étend la ligne ou l'arc sur un certain rayon en tous points le long de l'élément. Le résultat de ce procédé est une série de cercles allongés. La jonction entre les accidents et ces cercles allongés se fait alors géographiquement par une recherche des accidents dans des surfaces ayant les mêmes propriétés que les courbes et les tronçons droits reconstitués au préalable.

5.2.3 Reconstitution des éléments géométriques en section courante des autoroutes 20 et 40

Bien qu'une seule soit retenue, trois approches ont été examinées dans un premier temps pour reconstituer la géométrie de la section courante des autoroutes 20 et 40 :

- La base de données Courbe-pente du MTQ;

- L’outil Excel de reconstitution du tracé développé par d’anciens étudiants de l’école Polytechnique;
- La création manuelle de segments à partir du logiciel AutoCAD et de la BDGR.

La description de ces trois approches est présentée ci-dessous. Il à noter qu’aucune des trois approches ne permet la distinction d’une courbe spiralée. Tous font l’hypothèse d’une courbe à rayon simple. Lorsqu’une courbe est composée de deux rayons, l’étude divise le segment en deux courbes distinctes.

Base de données Courbe-pente

La base de données Courbe-pente du MTQ correspond en fait à un fichier de format .xls regroupant les caractéristiques de toutes les courbes et pentes sur le réseau. Il est issu d’une ancienne technique du Ministère faisant intervenir un véhicule équipé d’instruments mécaniques mesurant les déviations horizontales et circulant sur les routes du Québec pour en faire l’inventaire complet. La technique permet le positionnement de chacune des courbes à l’aide d’un code RTS et de chaînages de début et de fin. Des chaînages, il est possible d’extraire la longueur de la courbe. La courbure, quant à elle, y est définie à l’aide des azimuts de début et de fin de courbe, desquelles l’angle de déflexion peut être obtenu par la différence entre les deux. De plus, connaissant la longueur de courbe et l’angle de déflexion, le rayon y est calculé selon l’équation $R = L / \alpha$ où R est le rayon de courbure, L est la longueur de la courbe (longueur de l’arc) et α est l’angle de déflexion en radians. Bien que la nature des champs de ce fichier soit pertinente, sa fiabilité y est aujourd’hui parfois remise en question. En effet, à la suite de discussions avec des intervenants du Ministère, il semblerait que les valeurs ne soient pas toujours valables. Une vérification a malgré tout été effectuée étant donnée la richesse, de prime abord, de cette base de données. Cette dernière a premièrement dû être cartographiée. Pour ce faire, l’outil MapInfo « GeoRTS » développé au MTQ est utilisé. Il permet de reconnaître la codification RTS et les chaînages, puis de créer des éléments dans un environnement spatial. Il est à noter que cet outil n’étant pas disponible à l’externe, cette étape a dû être réalisée aux bureaux du Ministère. Bref, en superposant ces éléments à la BDGR, il a été possible de confirmer les doutes attribués à ce fichier. En effet, bien que certaines courbes coïncident avec le réseau, d’autres ne couvrent pas complètement les courbes, se retrouvent sur des tronçons droits ou ne sont tout simplement pas codifiées. Un des problèmes identifiés par rapport à l’utilisation de ces données est relié au fait

que les codes RTS ont changé sur le réseau à travers les années. Il est difficile d'utiliser d'anciennes données réseau codifiées par le RTS car l'outil « GeoRTS » utilise la plus récente BDGR pour reconstituer les courbes et il existe de nombreuses différences entre la codification RTS d'hier et d'aujourd'hui. Ainsi, un accident survenu sur l'ancienne section 10, tronçon 20 de l'autoroute 10 pourrait se retrouver aujourd'hui à un autre endroit si cette section a été modifiée depuis. Finalement, puisque la proportion de courbes acceptables obtenue selon cette méthode était faible, il a été choisi de se tourner vers d'autres alternatives.

Outil Excel de reconstitution du tracé

Un outil développé sur une plateforme Excel a également été considéré pour reconstituer les courbes en section courante des autoroutes 20 et 40. Il a été développé par d'anciens étudiants de l'école Polytechnique de Montréal. L'objet de cet outil est de recalculer un tracé parfait suivant l'équation d'une courbe. L'intrant du logiciel est en fait une série de points correspondants au réseau proprement dit, typiquement une trace GPS avec des points à intervalles réguliers. L'extrant, quant à lui, comprend également une série de points, mais celle-ci théoriquement ajustée et d'où sont extraits le rayon de courbure et les longueurs des courbes et tronçons droits du tracé. Plus spécifiquement, le programme examine la déviation des points d'un tracé. Lorsque la direction du tracé change selon un certain niveau de sensibilité posé, le programme fixe le début de la courbe et tente d'implanter l'équation d'une courbe sur les points qui suivent. Il tente également de réduire les écarts entre le tracé réel et reconstitué. La fin de la courbe est positionnée selon le même principe, mais inversée. D'autre part, puisque la trace GPS de la région de Québec était disponible (fournie par la DT de Québec), un premier test avec l'outil Excel a donc été effectué sur une courbe de l'autoroute 740. Ce test s'effectue en quelques étapes. La première est de cartographier la trace GPS sur MapInfo dans un système de coordonnées MTM zone 7 NAD83. Il est important de s'assurer que la table soit composée de coordonnées dans ce système pour pouvoir calculer un rayon et une longueur de courbe réelle en mètres. La seconde étape est de sélectionner une série de points dans une direction seulement sur la courbe à l'étude. Vaut mieux alors choisir un peu plus de points avant et après la courbe plutôt que de tenter la circonscrire de façon à s'assurer de couvrir l'élément dans son ensemble (l'outil déterminera par lui-même l'endroit exact du début et de la fin de la courbe et divisera la courbe des tronçons droits dans la série de points résultante). Il faut ensuite exporter la sélection en fichier de format .txt et l'ouvrir à l'aide du logiciel de reconstitution. En plus de fournir le rayon,

l'exécution du programme engendre alors une nouvelle série de points, espacés d'une distance appelée « pas » choisie par l'utilisateur (par exemple ici dix mètres). En sélectionnant les points reliés à la courbe seulement, en les important dans MapInfo et en les cartographiant, il devient alors possible de superposer le tracé reconstitué à la trace GPS et de les comparer. Les résultats sont suffisamment fidèles à la réalité, c'est-à-dire que l'écart entre le tracé réel et reconstitué ne semble pas s'élever au-dessus de cinq mètres. Par la suite, des zones tampons (« buffers ») doivent être formées autour de la nouvelle trace pour pouvoir englober les accidents associés à cette courbe. Un rayon de cinq mètres est choisi ici de façon à couvrir le plus possible le tracé sans toutefois interférer avec l'autre direction. Il faut ensuite attribuer la valeur du rayon et de la longueur de la courbe (calculés dans Excel) manuellement à la table de l'objet courbe formé de la série de zones tampons. Ainsi, en ajoutant la couche des accidents dans MapInfo, il devient possible d'ajouter les champs rayon et longueur de courbe aux accidents se retrouvant dans la surface couverte par l'élément courbe. Il est également possible, en agrégeant les accidents de la courbe, d'effectuer des opérations mathématiques sur les champs de la table des accidents pour les associer ensuite à la table de l'élément courbe (exemples : calcul du taux d'accident pondéré par la longueur de l'élément, somme des accidents toutes gravités, sommes des accidents mortels, indice de gravité, etc.). Cette jonction entre les éléments géométriques et les accidents est reprise plus loin dans ce rapport (voir section 5.2.5). La Figure 5.1 illustre le processus de transformation à l'aide de l'outil Excel à partir des données entrantes jusqu'aux données sortantes et présente un graphique qui superpose les tracés réel et calculé dans la courbe. La Figure 5.2 présente, quant à elle, l'interface MapInfo avec les différentes couches du processus de reconstitution de la courbe et la jonction des zones tampons avec les accidents.

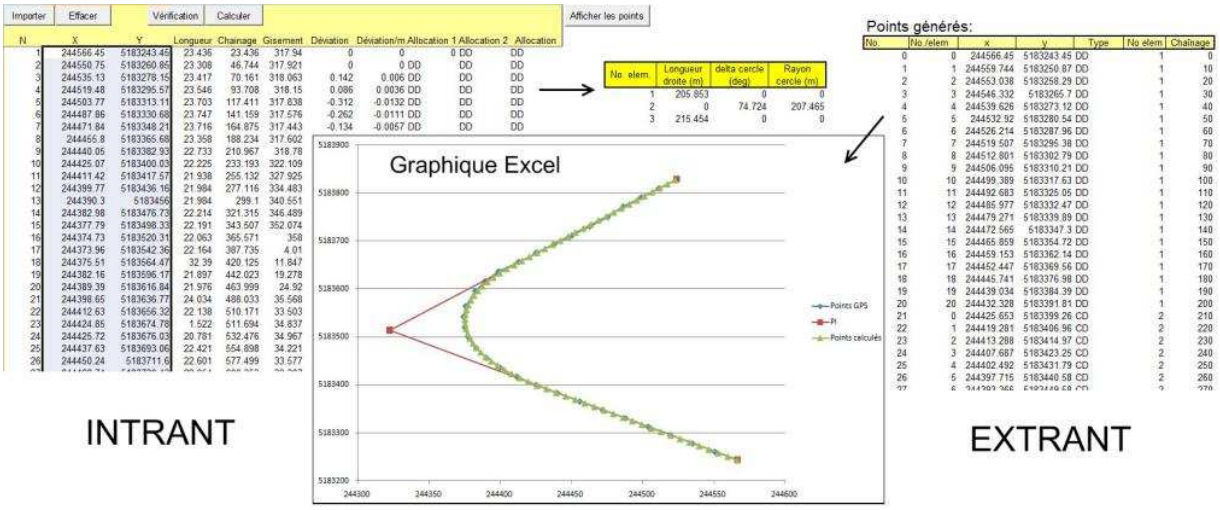


Figure 5.1: Processus de reconstitution du tracé à l'aide de l'outil Excel développé par des étudiants de l'école Polytechnique, exemple pour une courbe en section courante de l'autoroute 740 à Québec

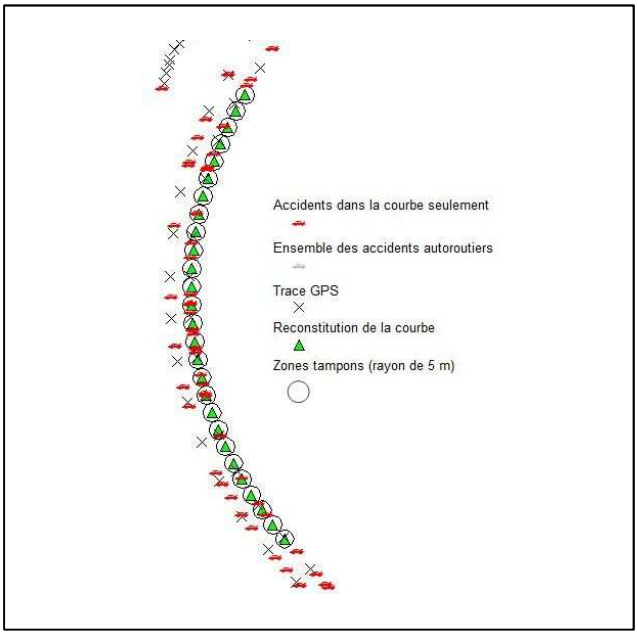


Figure 5.2: Représentation de l'interface MapInfo avec les différentes couches du processus de reconstitution de la courbe et la jonction des zones tampons avec les accidents

Bien que les premiers résultats de cette méthode soient prometteurs, d'autres tests ont été effectués ailleurs sur le réseau pour vérifier sa fiabilité à plus grande échelle. Pour ce faire, les autoroutes 20 et 40 de la BDGR ont été décomposées en quatre séries de points espacés de cinq mètres chacun (une série par direction et donc deux par autoroute). Le choix de l'espacement des points s'appuie sur un compromis entre la précision du tracé et la lourdeur engendré par un nombre élevé de points par autoroute. Quantitativement, avec un espacement de cinq mètres, l'autoroute 20 se décompose en 124 881 points en direction est et en 124 961 points en direction ouest tandis que l'autoroute 40 se divise en 69 141 points en direction est et en 69 221 points en direction ouest. Il est à noter qu'en multipliant ces valeurs par cinq, on obtient rapidement un estimé de la longueur des tracés de base, soit environ 624,4 km vers l'est et 624,8 km vers l'ouest pour l'autoroute 20 et 345,7 km vers l'est et 346,1 km vers l'ouest pour l'autoroute 40. Ces longueurs ne correspondent toutefois pas aux longueurs réelles des autoroutes, car elles incluent des segments fictifs qui ont comme fonction d'éliminer les discontinuités sur chacun des tracés. Par exemple, sur l'A20, un segment fictif est ajouté entre Rivière-du-Loup et Rimouski, zone où il existe une discontinuité autoroutière. D'autre part, pour transformer la BDGR en séries de points, il faut noter que GeoRTS est utilisé. Encore une fois, cet outil MapInfo n'étant pas disponible à l'externe, la décomposition a donc été effectuée à l'interne aux bureaux du MTQ. Une fois les autoroutes 20 et 40 remodelées, il s'agit ensuite, à partir de MapInfo, d'exporter en quatre fichiers au format .dxf les quatre séries de points dans le système de coordonnées MTM zone 7 NAD83. Les séries sont ensuite importées dans l'outil de reconstitution Excel pour être traitées. Des tests ont été faits avec les séries, parfois dans leur ensemble et parfois fragmentées pour simplifier l'exécution, mais de nombreux problèmes reliés à l'utilisation de l'outil Excel ont finalement été constatés lorsqu'utilisé à plus grande échelle. Premièrement, le calcul de la nouvelle trace est complètement impossible pour la majorité des séries examinées. En fait, lors de l'exécution du programme pour ces cas, un bogue majeur survient qui empêche l'obtention de l'extrant. De plus, la sensibilité est telle qu'il est difficile d'exécuter l'outil sur un segment autoroutier englobant plusieurs courbes à la fois : les tests démontrent que le tracé reconstitué finit par diverger complètement du tracé réel après quelques courbes. Finalement, le fait de devoir entrer manuellement toutes les caractéristiques des courbes (rayon, longueur, angle de déflexion) et de former de toutes pièces la table des courbes rend très fastidieux le travail de reconstitution. Cette alternative a finalement été abandonnée dans le cadre de la présente étude.

Son potentiel demeure toutefois fort intéressant et probablement que certains ajustements du logiciel pourraient conduire à un gain de temps appréciable pour la reconstitution d'un tracé. Il serait alors profitable d'y ajouter une fonction automatique de création de table pour les éléments courbes et tronçons droits.

Reconstitution manuelle à partir du logiciel AutoCAD et de la BDGR

Le décalquage manuel du tracé à partir d'AutoCAD et de la BDGR correspond finalement à la technique retenue pour reconstituer le tracé des autoroutes 20 et 40. Bien qu'elle soit quelque peu fastidieuse, elle a l'avantage de former directement des éléments géométriques linéaires (polylignes et arcs) plutôt que des séries de points comme pour la méthode précédente, ce qui rend le résultat plus facilement traitable et transférable à d'autres utilisations cartographiques. La base de données associée à ces éléments est également plus facile à obtenir puisque les propriétés des courbes et tronçons droits sont enregistrées dans AutoCAD au fur et à mesure de l'avancement du procédé.

La première phase de cette reconstitution est d'extraire la BDGR dans un format reconnu par AutoCAD. Pour ce faire, les quatre séries de points en coordonnées du système MTM zone 7 NAD83 créées avec l'approche *Outil Excel de reconstitution du tracé* sont récupérées. À partir de MapInfo, elles sont ensuite exportées en quatre fichiers au format .dxf. Ces fichiers, une fois ouverts dans AutoCAD, deviennent la base du décalquage subséquent. Pour décalquer sur une base de polylignes plutôt que de points, il suffit d'extraire directement la BDGR en .dxf dans MapInfo. Cet arrière-plan est tout aussi efficace qu'un fond en points. Il est à noter, par contre, que les polylignes de base de la BDGR ne sont pas séparées par élément géométrique, il n'est donc pas plus rapide de les utiliser. La seconde phase de la reconstitution est de recréer les deux types d'éléments géométriques qui se retrouvent sur le tracé, soient les courbes et les tronçons droits (tangentes). Ce processus est principalement visuel et ne fait intervenir aucun algorithme particulier. La méthode utilisée correspond à tracer manuellement des lignes droites qui, graphiquement, passent par le plus grand nombre de points. Lorsque les points divergent, une certaine zone est temporairement mise de côté jusqu'à ce qu'une autre droite soit détectée. Ces segments sont utilisés à titre de tangentes pour ensuite être en mesure de dessiner une courbe entre les deux à partir de la fonction « TanTanRadius » d'AutoCAD. Par tâtonnements, un rayon est choisi de façon à superposer le plus possible l'arc créé et le tracé de fond. Au fur et à mesure,

ou à la fin du processus, chaque type d'élément doit être déplacé sur une couche propre de façon à distinguer les courbes, les tangentes et les points de base. Il s'agit donc de suivre le circuit autoroutier en décalquant les éléments géométriques un à un jusqu'à l'obtention d'un fichier de format .dxf formés de trois couches. La Figure 5.3 qui suit illustre les étapes menant à l'obtention des éléments géométriques (ici deux tronçons droits et une courbe) le long d'un tracé autoroutier dans une direction. Ce procédé est celui qui est utilisé pour reconstituer complètement les sections courantes des autoroutes 20 et 40.

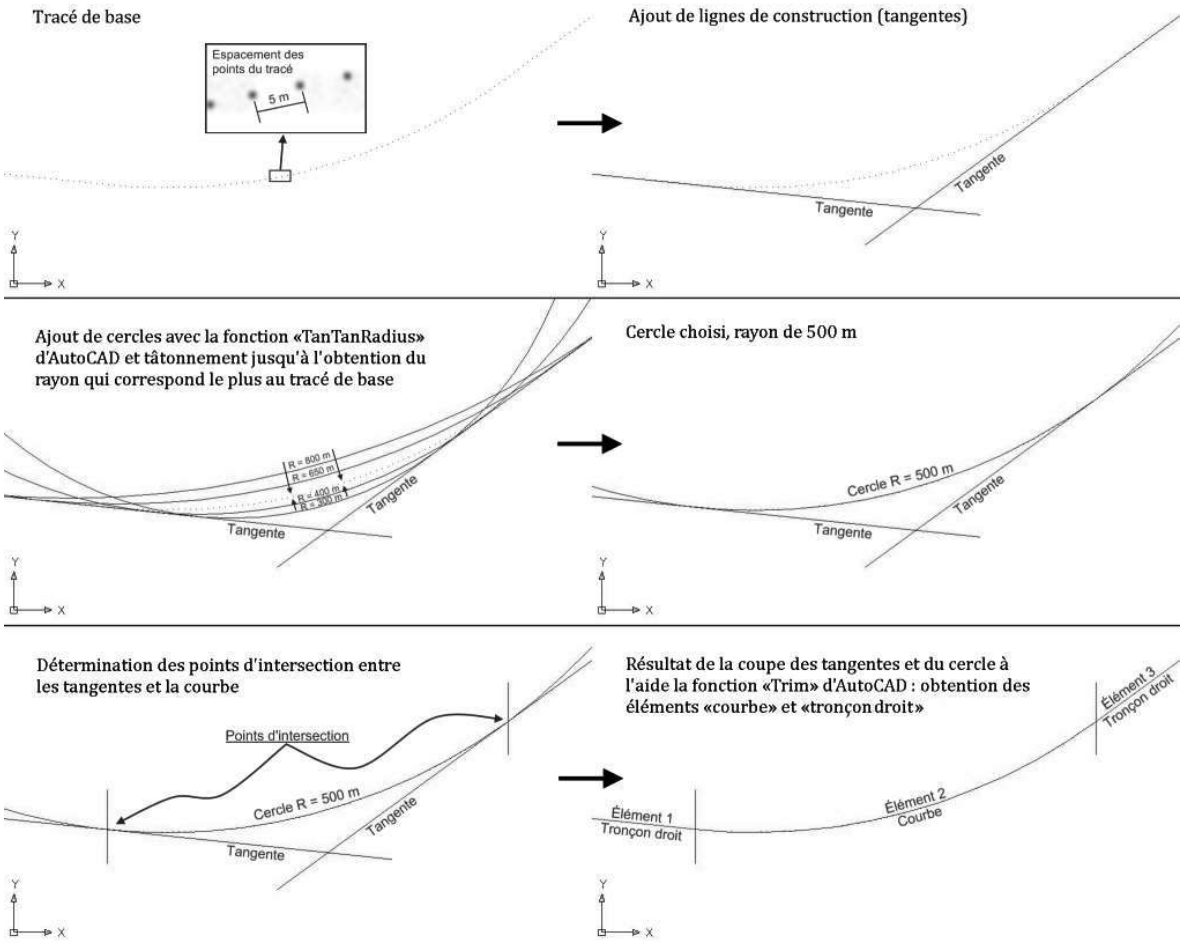


Figure 5.3: Étapes du procédé de reconstitution des éléments géométriques dans AutoCAD

5.2.4 Création de nouvelles bases de données

La segmentation du tracé en courbes et tronçons droits permet l'obtention de deux nouvelles bases de données :

- La base de données « Tronçons droits » (BDTD);
- La base de données « Courbes » (BDC).

Pour constituer la BDTD, il suffit d'utiliser la fonction « Import » du menu « Table » de MapInfo et de sélection la couche des tronçons droits dans le fichier .dxf de reconstitution des éléments géométriques. Si les segments ont été créés en ordre chronologique d'ouest en est dans AutoCAD, une clé d'identification unique (champ « ID ») est attribuée automatiquement par MapInfo d'une manière cohérente le long du tracé (1, 2, 3, etc. jusqu'au dernier élément le plus à l'est du tracé). Dans le cas contraire, un ajustement manuel peut être effectué en renommant la clé d'identification des tronçons. À cette étape-ci, la table de base est formée d'une colonne seulement, soit la clé d'identification unique. Elle peut être enrichie d'une autre colonne rapportant la longueur de chacun des segments. Pour ce faire, on fait appel dans un premier temps à la fonction « Maintenance », « Table Structure » du menu « Table » de MapInfo. Il faut alors associer un nom à la nouvelle colonne, par exemple « LongTan ». En choisissant le type de variable « Float », la longueur est éventuellement exprimée par la valeur la plus précise possible. En second lieu, il suffit d'entrer l'expression « CartesianObjectLen(obj, "m") » dans la case « Value » de la fonction « Update Column » du menu « Table » pour que la colonne « LongTan » soit mise à jour.

Pour constituer la BDC, la technique est quelque peu différente. Pour une raison inconnue, l'importation directe de la couche des courbes du fichier .dxf dans MapInfo engendre une transformation d'une très grande proportion des arcs en polylignes, ce qui mène à une perte de précision géométrique. Pour contourner ce problème, le logiciel FME (Feature Manipulation Engine) de la compagnie Safe Software est utilisé. Ce programme permet la conversion d'un fichier .dxf d'AutoCAD vers un fichier .tab de MapInfo. Contrairement à lorsqu'elles sont importées directement, les courbes demeurent ainsi dans leur forme originale, c'est-à-dire en arc. Par la suite, dans MapInfo, il est possible de créer de nouvelles colonnes rapportant les propriétés géométriques des courbes comme pour la BDTD. Par contre, parmi ces propriétés, la seule information qui peut être extraite dans MapInfo est la longueur de la courbe. Les autres

informations reliées à la courbe comme le rayon et l'angle de déflexion doivent être obtenues autrement. Pour ce faire, on a recours à la fonction « Data Extraction » du menu « Tools » d'AutoCAD. Lors du processus d'extraction, il est nécessaire de sélectionner les propriétés des éléments géométriques à inclure dans la base de données désirée. Pour les courbes, ces propriétés sont : la longueur du segment, le rayon, les angles de début et de fin et l'angle de déflexion total (dérivé des précédents, mais utile à des fins d'interprétation). Il est possible également d'extraire les coordonnées centrales des courbes qui peuvent être profitables dans le cas où des simplifications graphiques sont prévues dans l'analyse. L'extrant de cette démarche peut être de format .xls, .csv, .mdb ou .txt. L'un ou l'autre des formats .xls ou .txt peut être choisi puisqu'ils sont tous deux reconnus par MapInfo. Pour faire le lien entre cette table et celle qui a été créée par FME, on utilise encore une fois la fonction « Update Column » de MapInfo. Cette fonction permet d'ajouter les champs du fichier extrait d'AutoCAD à la table cartographiée par FME. Pour l'exécuter, il faut utiliser un champ commun entre les deux tables. La longueur du tronçon, valeur qui est unique d'un segment à l'autre (car un nombre très grand de décimales peuvent être gardées), est le champ parfait pour répondre à cette fonction. On doit toutefois s'assurer que les deux champs soient exprimés par une valeur comprenant le même nombre de décimales. Il est possible également d'utiliser la clé d'identification unique pour faire la jonction, mais pour ce cas, une assignation manuelle doit être préalablement effectuée à la table FME. En effet, la conversion par ce logiciel ne produit pas de clé d'identification unique comme lorsque l'on importe un fichier .dxf directement dans MapInfo. Deux autres champs sont finalement ajoutés pour compléter la table des courbes. Tout d'abord, pour tenir compte de la proximité entre deux courbes subséquentes, on extrait la longueur du tronçon droit qui précède la courbe. Pour ce faire, il suffit de copier la colonne « LongTan » de la table des tronçons droits et de l'ajouter à la table des courbes en décalant d'une ligne les quelques exceptions (comme lorsque deux courbes se succèdent sans tronçon droit entre les deux). L'autre champ qui est joint à la BDC correspond au sens de la courbe. Une dérivation des angles de début et de fin a été préalablement considérée pour extraire cette donnée. En examinant de plus près la façon dont sont exprimés ces angles, on s'aperçoit que l'angle de déflexion doit également être considéré pour dériver le sens de la courbe. Par exemple, lorsqu'un angle passe de 50° à 300°, la courbe pourrait tout autant tourner dans le sens horaire (angle de déflexion de 110°) qu'antihoraire (angle de déflexion de 250°). Ainsi, avec une expression faisant intervenir ces trois champs, il est possible d'extraire le sens de

la courbe. Par contre, pour que ce calcul fonctionne, il faut que toutes les courbes dans AutoCAD aient été créées d'ouest en est, c'est-à-dire que le début et la fin du segment doivent toujours être cohérents le long du tracé dans une même direction. Dans le présent cas, cette manipulation n'a toutefois pas été faite. Le sens de virage a donc enfin été rapporté manuellement dans MapInfo en examinant chacune des courbes une à une.

Cette démarche de constitution des tables est effectuée séparément pour chaque direction des autoroutes 20 et 40, ce qui implique que la BDTD et la BDC sont toutes deux divisées en quatre (A20-Est, A20-Ouest, A40-Est et A40-Ouest). Un exemple des résultats obtenus (tables et représentations graphiques) dans MapInfo pour l'autoroute 20 Est est présenté à la Figure 5.4 pour la BDTD et à la Figure 5.5 pour la BDC. Il est à noter que les longueurs et rayons y sont exprimés en mètres tandis que les angles sont en degrés.

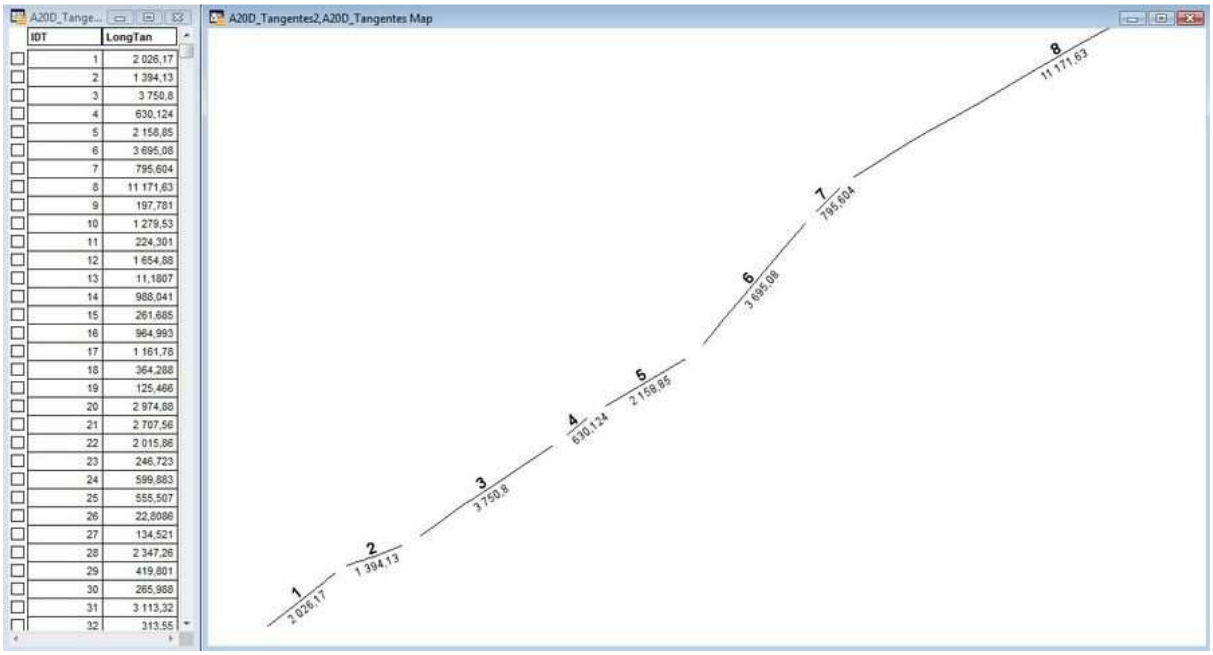


Figure 5.4: Fragment de la BDTD obtenue pour l'autoroute 20 Est

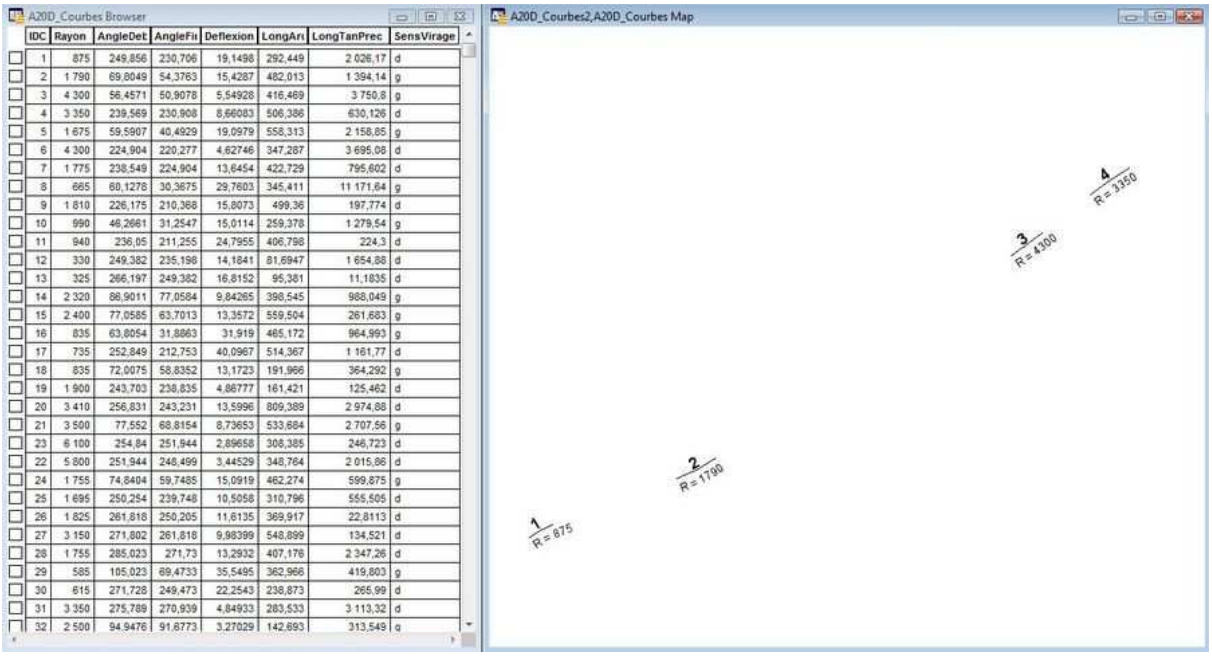


Figure 5.5: Fragment de la BDC obtenue pour l'autoroute 20 Est

5.2.5 Jonction spatiale des données géométriques et des données d'accidents

Pour analyser les accidents survenus dans les courbes et tronçons droits d'autoroutes, deux stratégies sont possibles. D'une part, on peut ajouter les propriétés reliées aux courbes et aux tronçons droits à la table d'accidents. Dans ce cas, l'entité examinée correspond à l'accident proprement dit. D'autre part, il est possible de synthétiser les propriétés des accidents dans la table des courbes et des tronçons droits. L'entité considérée est alors l'élément géométrique. Les deux approches présentent leurs avantages et leurs inconvénients. Les lignes qui suivent expliquent les procédures utilisées pour effectuer ces jonctions tout en caractérisant chacune des méthodes.

Entité : accident

La technique la plus rapide pour obtenir des données prêtes à être analysées est de fusionner les informations qui se retrouvent dans la BDC et la BDTC vers la BDAA. Ce rattachement se fait de manière spatiale. Il faut, dans un premier temps, créer des surfaces englobant les accidents. Comme expliqué dans la section 5.2.3 pour l'outil Excel de reconstitution du tracé, il s'agit de

générer des zones tampons à partir des éléments géométriques. En utilisant le même rayon de cinq mètres que précédemment, on transforme les éléments linéaires (courbes et tronçons droits) en une infinité de cercles le long des ces éléments. Ainsi, tous les accidents se retrouvant dans un rayon de cinq mètres partout autour de l'élément géométrique pourront être associés à ce dernier. Cette méthode fait l'hypothèse que les accidents qui ont lieu cinq mètres avant ou après l'élément lui sont reliés, ce qui fait en sorte que certains accidents peuvent être associés à une courbe et à un tronçon droit simultanément. Cette zone d'interférence ne pose pas nécessairement de problème pour l'analyse, mais il demeure important de noter cette considération pour interpréter adéquatement les résultats. Parallèlement à l'étape de création des zones tampons, on se doit d'ajouter des colonnes à la BDAA pour qu'elle puisse recevoir les propriétés des éléments géométriques, ce qui se fait avec la fonction « Maintenance » du menu « Table » de MapInfo. Avec les zones tampons, il est désormais possible d'effectuer la jonction spatiale à l'aide la fonction « Update Column » du même menu. Par exemple, en utilisant la table des accidents pour l'autoroute 20 Est comme extrant (« Table to Update ») et la table de ses éléments géométriques reconstitués comme intrant (« Get Value From Table »), il est possible de recueillir une à une les colonnes de la BDC (voir Figure 5.6 pour la jonction du champ du rayon). Il en est de même pour la BDTC, il suffit de changer l'intrant pour les tronçons droits reliés à l'autoroute en question. Par ce procédé, tous les champs illustrés aux figures de la section 5.2.4 (Figure 5.4 et Figure 5.5) sont alors ajoutés à la BDAA.

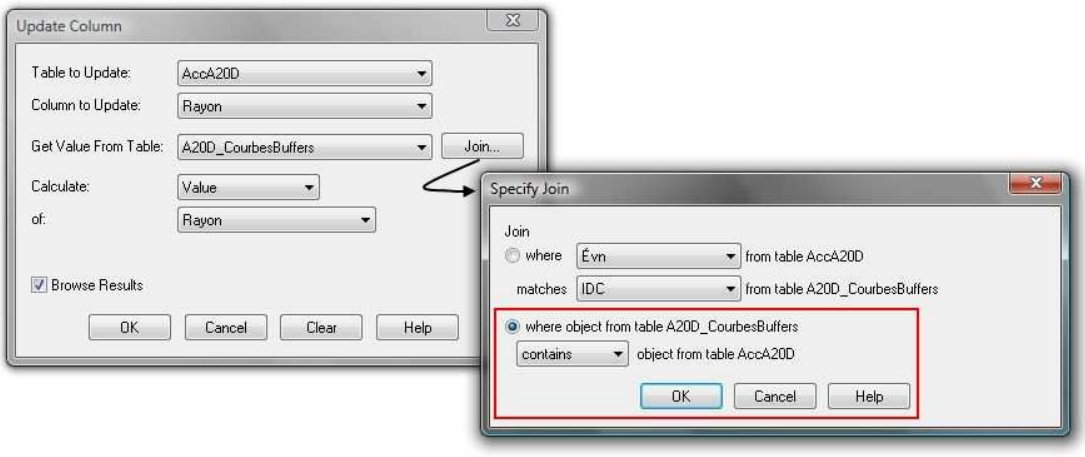


Figure 5.6: Exemple de jonction du champ « Rayon » de la BDC vers la BDAA pour l'autoroute 20 Est

Le principal avantage d'utiliser l'entité accident pour l'analyse est que l'on conserve l'intégralité de la BDAA, ce qui n'est pas le cas en utilisant l'entité élément géométrique où l'on doit agréger les propriétés de tous les accidents qui surviennent sur un segment autoroutier. Par contre, le grand défaut de cette méthode est que l'on ne considère aucunement les zones où il n'y a pas d'accident. Il est donc impossible de calculer de taux moyens pondérés à la fois par le débit et la longueur. D'un autre côté, il faut noter que, tel qu'illustré à la Figure 4.8, les accidents de la BDAA sont répartis presque partout sur le réseau (rares sont les zones où il n'y pas d'accident), ce qui fait en sorte qu'il n'y a pas nécessairement une grande perte d'information.

Entité : élément géométrique

Le principe est le même pour joindre les accidents à la table des éléments géométriques (BDC et BDTC). Par contre, contrairement au cas précédent, on ne peut recueillir directement les champs de la BDAA, car un segment autoroutier contient habituellement plusieurs accidents et chaque accident possède des caractéristiques qui lui sont propres. Ce qui est possible toutefois est l'agrégation de l'ensemble des accidents reliés à chacun des éléments géométriques. Ces rassemblements se font à partir d'une opération mathématique. D'innombrables possibilités s'offrent alors à l'analyste. Parmi celles-ci, on propose ici d'effectuer la moyenne des DJMA de l'année 2002 reliées aux accidents sur chacune des courbes en section courante (voir Figure 5.7, exemple pour l'autoroute 20 Est). Cette étape est essentielle pour le calcul des taux moyens d'accidents (étape ultérieure pour l'analyse, voir section 5.3). Idéalement, cette fusion devrait être faite à partir de la BDDV. Toutefois, dans le cas présent, la forme des données de base ne permettait pas une telle jonction. De plus, le fait qu'un élément géométrique puisse englober plus d'un segment autoroutier, donc plusieurs DJMA différents, ajoute un degré de complexité important à la procédure de calcul des taux moyens. Pour ces raisons, il a donc été choisi de procéder à partir de la BDAA. Après un examen des résultats de cette procédure à petite échelle, on considère qu'il s'agit d'une hypothèse de travail n'engendrant pas d'écart considérable dans les résultats. Pour les calculs de taux moyens, on note toutefois qu'il faut retirer les éléments où il était possible d'y retrouver des accidents n'ayant pas de DJMA associé (ce qui implique qu'une partie de l'élément présentait un DJMA inconnu), car ceux-ci derniers fausseraient les résultats. L'objectif est d'éliminer la possibilité d'effectuer une moyenne avec des DJMA de 0 (inconnu).

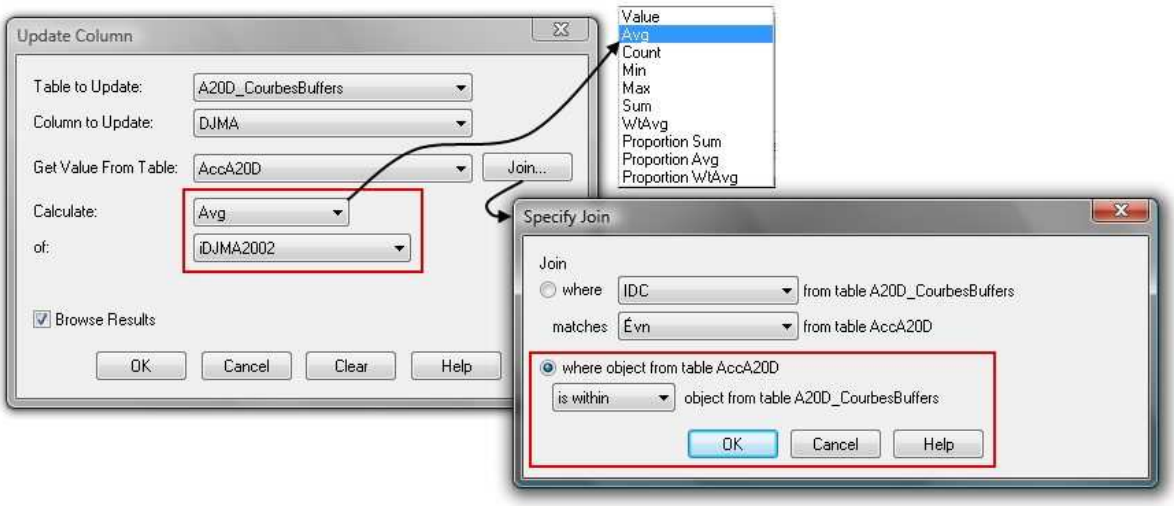


Figure 5.7 : Exemple de jonction des informations de la BDAA vers la BDC, moyenne des DJMA de l'an 2002 sur chacune des courbes de l'autoroute 20 Est

Toute autre opération comme le compte du nombre brut d'accidents, le nombre de morts ou d'accidents mortels, la moyenne de l'indice de gravité, etc. peut aussi être exécutée. Il est à noter ici que l'élaboration de champs dérivés (voir section 4.3.3) est une étape essentielle et préalable à cette jonction.

L'inconvénient premier de cette approche, comme mentionné pour l'entité accident, est la perte des informations ponctuelles reliées aux accidents. Par exemple, il n'est plus possible d'examiner certaines variables comme l'heure ou le jour où est survenu l'accident. Également, comme il a été mentionné précédemment, puisque la BDDV est reliée à la BDAA et non pas à la BDC ou la BDTC, il se peut qu'un débit soit connu sur une partie seulement de l'élément géométrique (exemple : 5 accidents sur 9 au total ont un DJMA associé sur une courbe), ce qui crée une certaine confusion dans l'interprétation du taux d'accidents d'un élément. Un traitement supplémentaire des données doit alors être mis de l'avant : l'élimination des éléments reliés à au moins un accident sans DJMA. En revanche, le calcul en tant que tel du taux moyen d'accidents pondéré par la longueur de l'élément et le débit demeure possible, ce qui n'est pas le cas de l'analyse selon l'entité accident : il suffit d'additionner le nombre total d'accidents par type d'éléments et de le diviser par la somme du produit entre les DJMA et les longueurs des éléments

(champ de base de la BDC et de la BDTD). De plus, l'utilisation de l'entité élément géométrique permet de considérer les zones où il y a moins d'accidents, ce qui peut être parfois aussi très révélateur. Par exemple, une longue courbe avec un très grand rayon qui n'engendre que très peu d'accidents est une information qui ne doit pas être perdue, car il pourrait s'agir d'un cas exemplaire dans l'objectif de diminuer les accidents.

L'analyse des données suivant l'étape de jonction est présentée à la prochaine section.

5.3 Analyse et résultats

5.3.1 Caractérisation des éléments géométriques reconstitués

Avant de tracer les graphiques du nombre ou taux d'accidents en fonction des paramètres des éléments géométriques, il est essentiel de mettre en évidence la répartition des données. Le fait d'avoir plus de valeurs dans certaines classes plutôt que d'autres fait en sorte que les relations devraient être plus précises à ces endroits. Par exemple, si l'échantillon ne comprend qu'une seule courbe dont le rayon se situe dans la plage de 5000 à 5250 mètres, il sera plutôt difficile de tenter de modéliser les accidents en fonction du rayon à cette plage. Une simple perturbation externe (n'étant pas reliée au rayon) dans cette courbe pourrait bouleverser complètement les tendances. De l'autre côté, lorsque plusieurs données sont disponibles pour une certaine classe, les chances de constater une irrégularité dans le nombre d'accidents par rapport au rayon sont plus grandes, ce qui peut provoquer l'apparition d'un plus grand écart type.

Les lignes qui suivent présentent donc une caractérisation des éléments géométriques. La Figure 5.8, Figure 5.9 et Figure 5.10 illustrent tout d'abord la répartition du nombre de courbes dans l'échantillon selon une segmentation respective par classes de rayons de 250 mètres, de longueurs d'arcs de 25 mètres et d'angles de déflexion d'un degré. La Figure 5.11, quant à elle, montre la répartition du nombre de tronçons droits en fonction de la longueur de ces éléments, par classes de 250 mètres. Il est à noter que la valeur sur l'axe des abscisses de ces graphiques correspond à la valeur maximale de la classe considérée. Par exemple, lors d'une segmentation en classes de rayon de 250 mètres, la colonne d'un histogramme associée à la valeur 1500 sur l'axe des x signifie que la plage de rayons examinée comprend les valeurs plus grandes que 1250, mais plus petites ou égales à 1500 mètres. Cette méthode de présentation des classes s'applique également aux figures subséquentes.

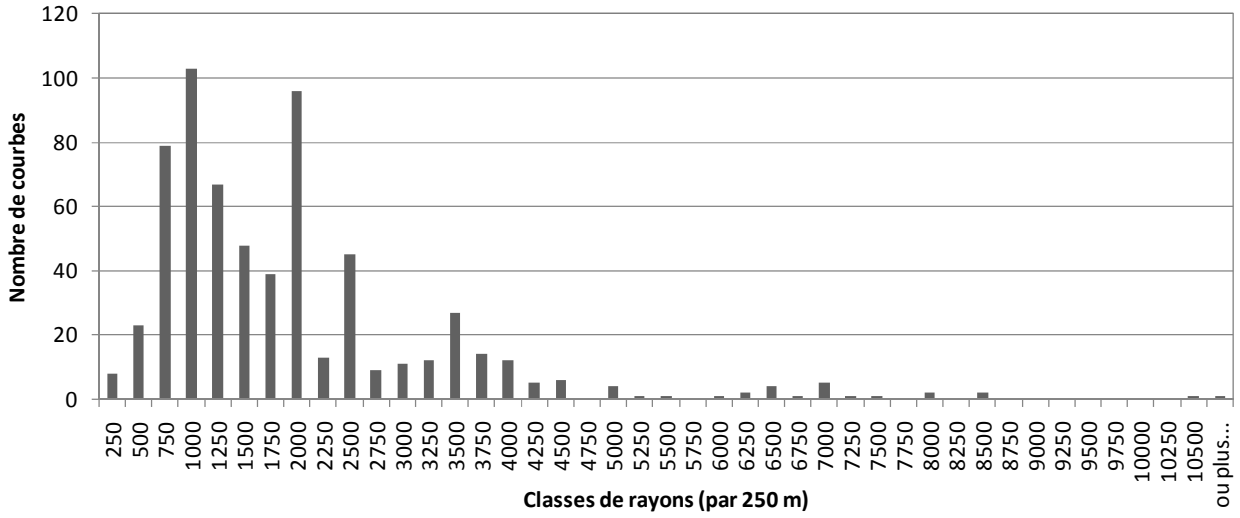


Figure 5.8: Distribution des rayons des courbes en section courante des autoroutes 20 et 40

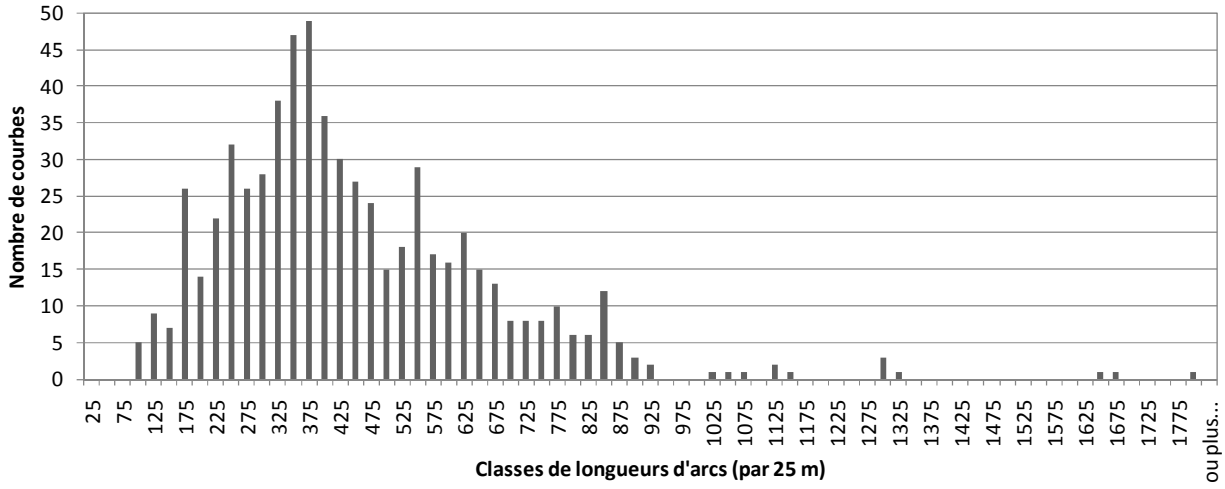


Figure 5.9: Distribution des longueurs des courbes en section courante des autoroutes 20 et 40

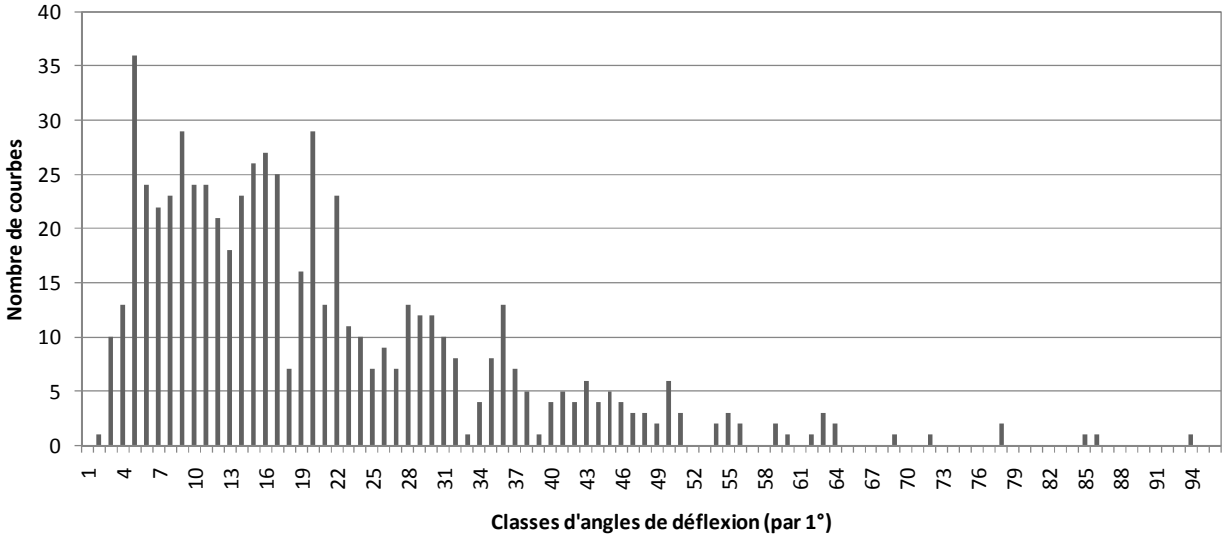


Figure 5.10: Distribution des angles de déflexion des courbes en section courante des autoroutes 20 et 40

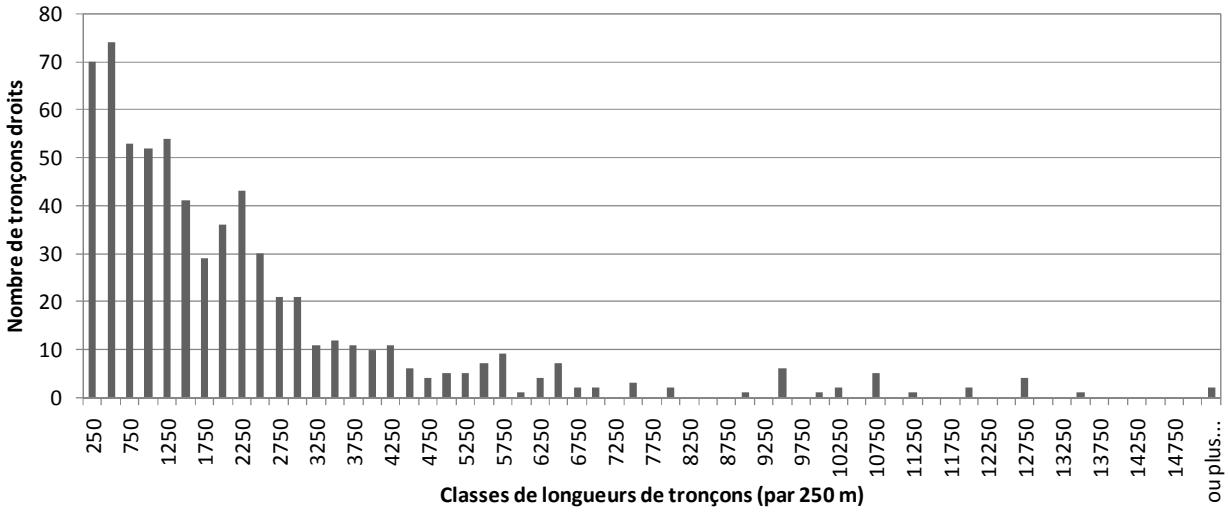


Figure 5.11: Distribution des longueurs de tronçons droits en section courante des autoroutes 20 et 40

De la Figure 5.8, on constate qu'une grande majorité des courbes reconstituées sur les autoroutes 20 et 40 possèdent un rayon entre 500 et 2000 mètres. Deux pointes se distinguent pour les

classes de 750 à 1000 mètres et de 1750 à 2000 mètres, avec respectivement de 103 et 96 courbes sur un échantillon de 644 éléments.

La répartition des longueurs d'arcs (Figure 5.9) se distingue des rayons par le fait qu'elle présente une pointe unique relativement centrée. Cette pointe est associée à deux classes de longueurs, soit les plages de 325 à 350 mètres et de 350 à 375 mètres avec un total de 96 courbes. L'aspect de l'histogramme est similaire à la forme d'une distribution normale, mais diffère par son asymétrie (plus de données à droite de la pointe qu'à gauche).

La distribution des angles de déflexion (Figure 5.10), quant à elle, suit pratiquement la même forme que la distribution des rayons. Le nombre maximal de courbes enregistré est associé à la classe de déflexions plus grandes que 4 et plus petites ou égales à 5°.

Finalement, la Figure 5.11 illustre une distribution décroissante du nombre de tronçons droits en augmentant leur longueur. Ainsi, l'échantillon des tronçons droits présente une plus grande quantité de petits éléments en valeurs absolues. Par contre, même si les tronçons plus longs sont moins nombreux, ils correspondent à des valeurs importantes en termes d'exposition et peuvent être encore plus représentatifs des tendances.

5.3.2 Analyse selon l'approche de l'entité « accident »

Cette section porte sur l'analyse désagrégée des accidents. Ce type d'analyse avait été retenu à la base de manière à conserver l'intégralité des caractéristiques des accidents ponctuels. L'idée était d'effectuer, pour chacun des éléments géométriques, la sommation de chacun des taux ponctuels d'accidents (1/DJMS) puis de diviser le résultat par la longueur de l'élément. L'unité ainsi obtenue correspondait à l'unité usuelle du taux d'accidents. Par contre, il ne s'agit pas de l'équation usuelle du *Ta*, le facteur d'exposition étant dénaturé. Bien que ces valeurs absolues n'aient pas de signifiance particulière, il était attendu que leurs tendances puissent malgré tout être examinées.

Plusieurs tentatives de recherche de corrélations ont été effectuées à partir des données désagrégées d'accidents, mais aucune tendance n'a pu être relevée à partir de cette méthode. Cette alternative a donc été abandonnée, car en plus de ne pas permettre le calcul classique du taux d'accidents (par Mvéh-km), elle faisait abstraction des tronçons où l'on ne retrouve pas d'accident.

5.3.3 Analyse selon l'approche de l'entité « élément géométrique »

La présente section suggère une première étape d'analyse des éléments géométriques reconstitués à la section 5.2.3. Elle débute par un examen comparatif du taux moyen d'accidents en courbe par rapport à celui dans les tronçons droits, puis par une analyse de corrélation entre les différentes variables constituant la BDC et la BDTD. Par la suite, l'impact du facteur d'exposition et du rayon de courbure sur le nombre et le taux d'accidents, respectivement, est examiné.

Considérations préliminaires

L'avantage principal de cette analyse par rapport celle de la section 5.3.2 est la possibilité de calculer le taux d'accidents classique (par Mvéh-km). En effet, cette approche permet de corréler le facteur d'exposition (débit multiplié par la longueur du segment) au nombre d'accidents, ce qui correspond à la variable la plus explicative pour l'estimation du nombre d'accidents. Puisque la segmentation des tronçons droits et des courbes a préalablement été effectuée pour chacune des directions de l'autoroute, il faut mentionner une légère transformation par rapport à la méthode usuelle du calcul du taux d'accident : le DJMA en section courante (qui est à la base bidirectionnel) est divisé par deux. De cette manière, les facteurs d'exposition considérés sont associés à une direction seulement et non plus à une agrégation bidirectionnelle. Cette approche n'affecte pas l'expression du taux d'accidents, ni son envergure, car le nombre d'accidents attendu dans une seule direction est environ la moitié du nombre pour un tronçon bidirectionnel. Donc, étant donné que la longueur demeure la même (longueur bidirectionnelle normalement et longueur unidirectionnelle dans le cas présent), la division par deux du nombre d'accidents est simplifiée par la division par deux du DJMA dans l'équation du *Ta*.

Par ailleurs, il faut noter qu'un examen des tronçons droits est proposé dans cette section afin d'établir une base de référence pour mesurer le niveau de sécurité des courbes en section courante. Considérant qu'un tronçon droit correspond en fait à une courbe d'un rayon infini, il est légitime de prévoir que les taux d'accidents en fonction du rayon d'une courbe tendront vers le taux moyen des tronçons droits au fur et à mesure que le rayon augmentera.

Comparaison du taux moyen d'accidents en courbe et dans les tronçons droits

Le tableau qui suit présente les résultats du calcul des taux moyens et des indices de gravité de l'échantillon (autoroute 20 et 40).

Tableau 5-1: Tableau comparatif du taux moyen d'accidents pour les courbes et tronçons droits en section courante des autoroutes 20 et 40

Élément géométrique	Autoroute	Σ(QxL) *(Mvéh-km/jour)*	ΣNbAcc (Acc)	Tm *(Acc/Mvéh-km)*	Ig (Sans unité)
Courbes	A20	1235123	1322	0.586	1.704
	A40	2080411	3845	1.013	1.590
	Global	*3315534*	*5167*	0.854	*1.650*
Tronçons droits	A20	8460815	7366	0.477	1.628
	A40	6905798	11393	0.904	1.645
	Global	*15366614*	*18759*	*0.669*	*1.636*
Moyenne pour le réseau autoroutier dans son ensemble				**0.695**	**1.546**

Il est possible de remarquer, à partir du Tableau 5-1, que la dangerosité d'une courbe est supérieure au tronçon droit en ce qui a trait au nombre d'accidents par rapport au facteur d'exposition, quelque soit l'autoroute examinée (20 ou 40). Par ailleurs, l'indice de gravité est globalement plutôt stable lorsqu'il est comparé entre la courbe et le tronçon droit. Contrairement aux attentes, l'indice de gravité pour l'autoroute 40 diminue lorsque l'on passe du tronçon droit à la courbe. La moyenne des accidents sur l'autoroute 40 dans un segment rectiligne serait donc plus importante qu'en courbe en ce qui a trait à la gravité. Finalement, en comparant les deux autoroutes de l'échantillon au réseau autoroutier dans son ensemble, on constate que l'autoroute 20 se situe en dessous et que l'autoroute 40 s'élève au-dessus du taux moyen d'accident de référence. Ce résultat va dans le sens attendu, puisque l'autoroute 40 comprend une partie importante de sa longueur à Montréal (autoroute Métropolitaine), à Trois-Rivières et à Québec, en zone très urbanisée avec des dimensions géométriques réduites par rapport à une autoroute en milieu rural. À l'opposé, l'autoroute 20, en plus d'être très étendue vers l'est de la province où la densité de population est moins élevée, présente un tracé en très grande majorité rural. Même lorsque cette autoroute franchit des municipalités de moyenne envergure comme Longueuil, St-Hyacinthe ou Drummondville, elle conserve des dimensions confortables. L'unique zone où l'on circule à dimensions réduites se situe à Montréal entre l'Aéroport Pierre-Elliott-Trudeau et l'échangeur Turcot (conditions un peu plus comparables à celles sur l'autoroute Métropolitaine).

Analyse des corrélations

En prenant les bases de données des courbes et des tronçons droits (BDC et BDTD) telles quelles et en effectuant une analyse des corrélations avec l'utilitaire d'analyse d'Excel, il est possible de dresser un premier portrait des variables ayant un impact potentiel sur le nombre ou le taux d'accidents. Les deux tableaux qui suivent (Tableau 5-2 et Tableau 5-3) présentent les résultats de cette procédure, dans un premier temps pour la BDC, puis pour la BDTD. Il est à noter que dans une deuxième étape d'analyse, pour dresser un portrait plus précis des variables, un logiciel statistique pourrait être utilisé pour mesurer plus précisément la contribution de chaque variable significative.

Tableau 5-2: Analyse des corrélations entre les variables associées à l'élément courbe

	Rayon	Deflexion	LongArc	LongTanPrec	SensVirage (G=1;D=2)	Cote_Chaus (G=1;D=2)	DJMA	NbAcc	Ig	Σ(QxL)	Ta
Rayon	1.000										
Deflexion	-0.537	1.000									
LongArc	0.280	0.380	1.000								
LongTanPrec	0.044	-0.019	0.059	1.000							
SensVirage(g=1;d=2)	-0.005	-0.053	-0.086	-0.004	1.000						
Cote_Chaus(G=1;D=2)	0.040	-0.015	0.015	-0.038	0.031	1.000					
DJMA	-0.163	-0.084	-0.335	-0.106	0.028	-0.008	1.000				
NbAcc	-0.086	0.074	-0.068	-0.077	0.009	0.018	**0.482**	1.000			
Ig	0.001	-0.003	-0.035	0.014	0.034	0.082	-0.082	-0.058	1.000		
Σ(QxL)	-0.017	0.205	0.235	-0.043	-0.046	-0.009	0.719	**0.355**	-0.079	1.000	
Ta	-0.079	0.000	**-0.177**	-0.054	0.041	0.085	**0.292**	**0.859**	-0.037	0.071	1.000

Tableau 5-3: Analyse des corrélations entre les variables associées à l'élément tronçon droit

	LongTan	*Cote_Chaus(G=1;D=2)*	*DJMA*	*NbAcc*	*Ig*	*Σ(QxL)*	*Ta*
LongTan	1.000						
Cote_Chaus(G=1;D=2)	0.008	1.000					
DJMA	-0.170	0.016	1.000				
NbAcc	**0.284**	**0.132**	**0.517**	1.000			
Ig	0.022	-0.056	-0.098	-0.089	1.000		
Σ(QxL)	0.756	0.038	0.342	**0.665**	-0.048	1.000	
Ta	**-0.108**	**0.124**	**0.156**	**0.133**	-0.063	-0.053	1.000

Du Tableau 5-2, il est possible de remarquer que très peu de variables tendent clairement à expliquer les accidents. Les valeurs en gras du tableau présentent les variables légèrement plus élevées que les autres. Pour le calcul du *Ta*, il s'agit de la longueur de l'arc, du DJMA et du nombre d'accidents. Ces résultats sont prévisibles puisque le calcul du *Ta* est justement effectué à partir de ces variables. Pour le nombre d'accidents (NbAcc), il s'agit plutôt de la sommation des débits par les longueurs et du DJMA (donc de l'exposition), ce qui va dans le sens de la littérature. Étonnamment, le rayon de courbure ne se distingue pas des autres variables.

Dans le cas du Tableau 5-3, les constations sont les mêmes. L'unique distinction perceptible se rapporte au côté de la chaussée qui pourrait peut-être être appelé à jouer un rôle explicatif mineur. Cette observation signifierait que la dangerosité d'un côté de la chaussée serait plus élevée que l'autre pour les tronçons droits des autoroutes 20 et 40.

Impact du facteur d'exposition sur le nombre d'accidents

Comme il a été constaté dans l'analyse précédente, le facteur d'exposition (DJMA x longueur) correspond à la principale variable explicative du nombre d'accidents sur l'autoroute. Pour confirmer cette tendance, les deux graphiques de la Figure 5.12 qui suit présentent la distribution du nombre d'accidents par élément géométrique en fonction du facteur d'exposition. Le nombre d'accidents considéré correspond au total sur cinq ans et le DJMA correspond au débit unidirectionnel associé à l'élément géométrique (DJMA bidirectionnel divisé par deux).

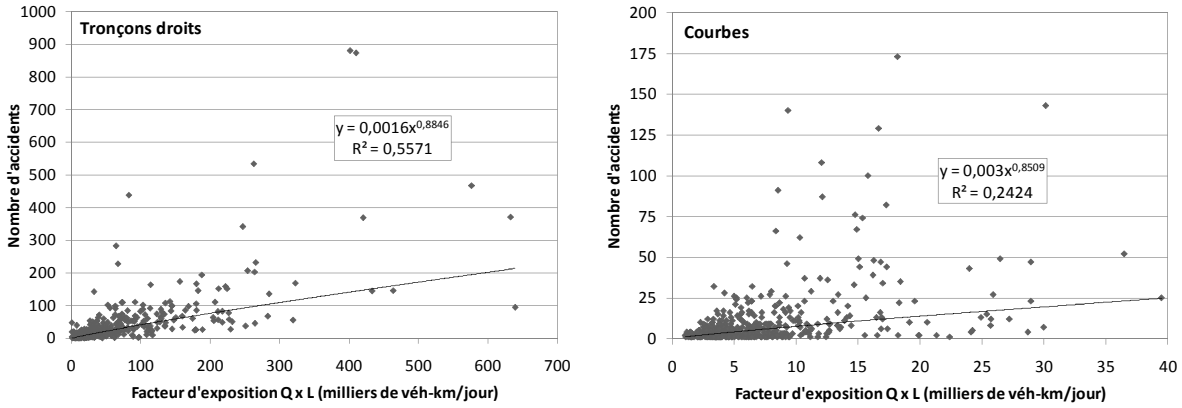


Figure 5.12: Nombre d'accidents en fonction du facteur d'exposition sur les tronçons droits et courbes en section courante

Ces graphiques montrent que le facteur d'exposition influence effectivement le nombre d'accidents en section courante sur les autoroutes, mais pas nécessairement avec autant qu'attendu. Pour les tronçons droits, les écarts par rapport à la courbe de régression proposée sont relativement plus petits que pour les courbes. Cette différence est le signe qu'une courbe n'a pas la même dangerosité qu'un tronçon droit et que les variables autres que le facteur d'exposition peuvent venir créer une dispersion plus importante pour l'élément courbe. Dans un autre ordre d'idées, il faut noter que ces graphiques sont construits à partir de faibles valeurs de facteurs d'exposition et d'accidents, ce qui implique une plus grande variabilité en termes d'accidents d'un élément à l'autre. Pour réduire cette variabilité, on propose une agrégation d'éléments ayant une propriété commune par classes. Dans le cas des tronçons droits, la segmentation est effectuée par classes de longueurs de 500 mètres et pour les courbes, celle-ci se fait par classes de rayons de 250 m. Le résultat de ce processus est présenté à la Figure 5.13.

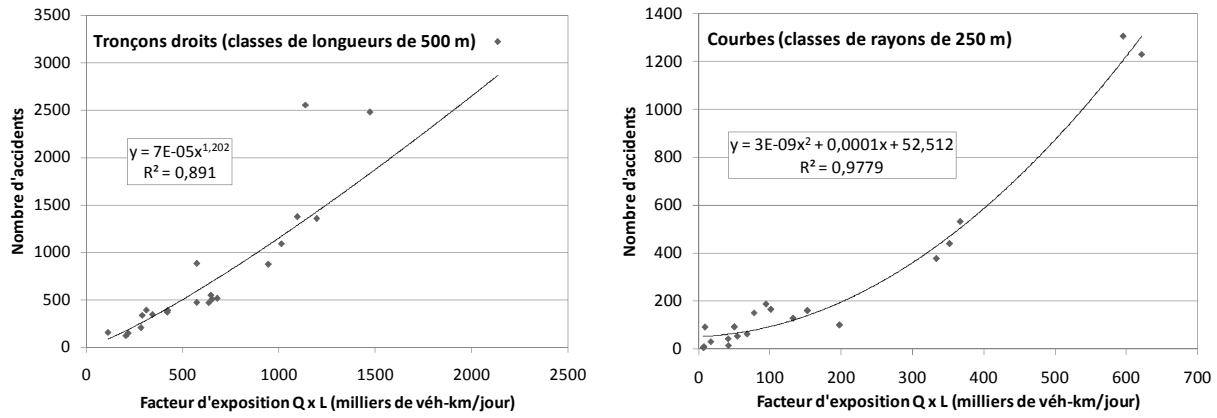


Figure 5.13: Nombre d'accidents en fonction du facteur d'exposition sur les tronçons droits et courbes en section courante après agrégation d'éléments géométriques

Ces graphiques présentent des régressions beaucoup plus fiables que ceux présentés à partir de chacun des éléments pris un à un (Figure 5.12). Ainsi, l'agrégation d'éléments géométrique permet bel et bien de réduire la variabilité provoquée par des points à des fréquences faibles d'accidents. Ces graphiques confirment fortement l'impact qu'a le facteur d'exposition sur le nombre d'accidents à prévoir. Fait surprenant : la courbe de régression la plus fidèle est

désormais associée à l'élément courbe avec un coefficient de détermination de 0,98. Par contre, puisque la méthode d'agglomération est complètement différente pour les deux graphiques, il est difficile de conclure que les courbes sont plus corrélées au facteur d'exposition que les tronçons droits. L'hypothèse décrite précédemment par rapport aux autres facteurs pouvant influencer les accidents pour les courbes demeure, d'où la pertinence de l'analyse qui suit.

Impact du rayon sur le taux d'accidents

La seconde variable soupçonnée d'avoir une influence sur les accidents autoroutiers est le rayon de courbure. Cette hypothèse provient du fait que le rayon a un impact reconnu dans la littérature pour les routes à deux voies (Vogt & G. Bared, 1998). Pour vérifier l'impact du rayon sur les accidents, on utilise ici le taux d'accidents, plutôt que la fréquence, de manière à corréler simultanément le facteur d'exposition et le rayon. Il est possible, dans un premier temps d'illustrer visuellement cet impact (voir Figure 5.14).

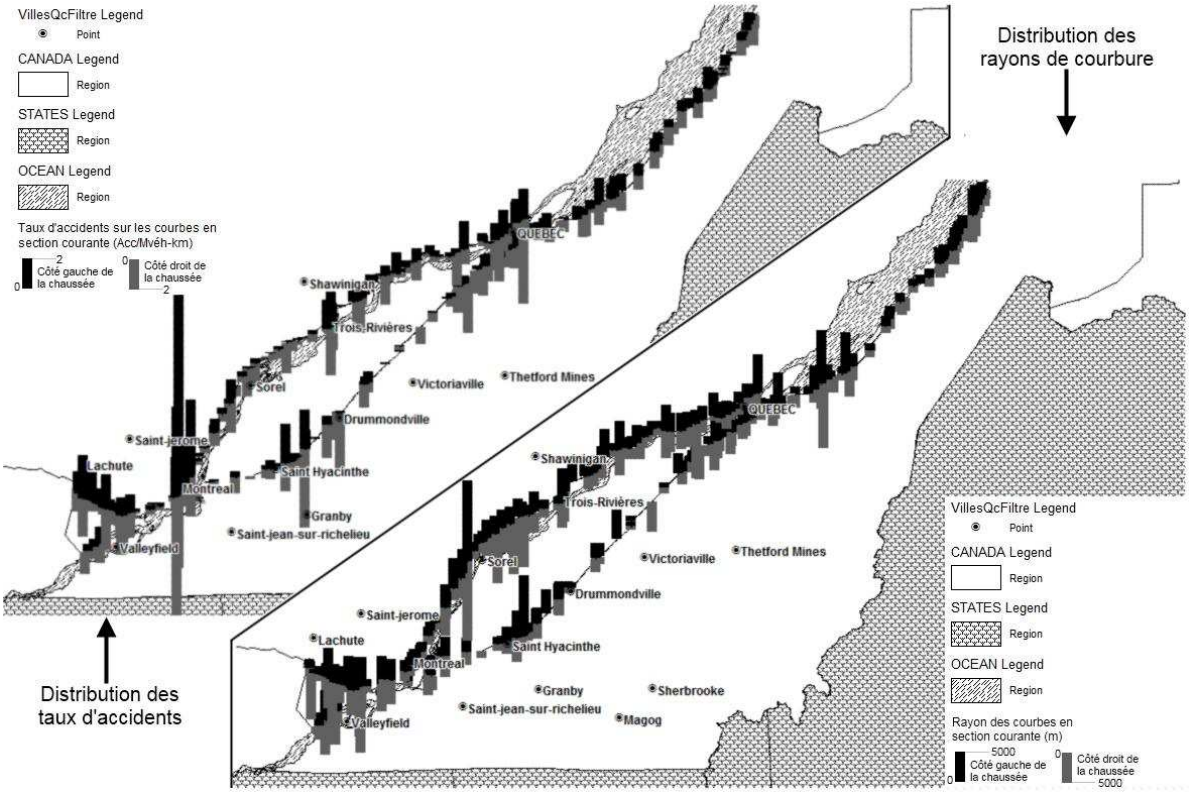


Figure 5.14: Distribution des taux d'accidents et des rayons pour chacune des courbes de l'autoroute 20 et 40

La figure précédente illustre les taux d'accidents et les rayons pour chacune des courbes reconstituées à la section 5.2.3. Les colonnes vers le haut (en noir) s'appliquent au côté gauche de la chaussée et les colonnes vers le bas (en gris) s'appliquent au côté droit. En comparant des zones sur le graphique, il est possible de remarquer que là où de faibles taux d'accidents sont constatés, de grands rayons sont présents et vice-versa. Deux exemples peuvent être facilement observés de par leur évidence :

- L'autoroute Métropolitaine à Montréal;
- L'autoroute 40 près de Sorel.

Voyant cette tendance, différentes classes de rayons ont été examinées dans l'objectif de corréler quantitativement le taux d'accidents au rayon. Le taux moyen est utilisé ici, plutôt que le taux d'accident de base, car il s'agit d'une agrégation de plusieurs éléments géométrique d'une même classe de rayon. Les classes de 100, 250 et 500 mètres ont fait l'objet de l'analyse. La Figure 5.15 présente le résultat d'une première étape de régression pour ces cas.

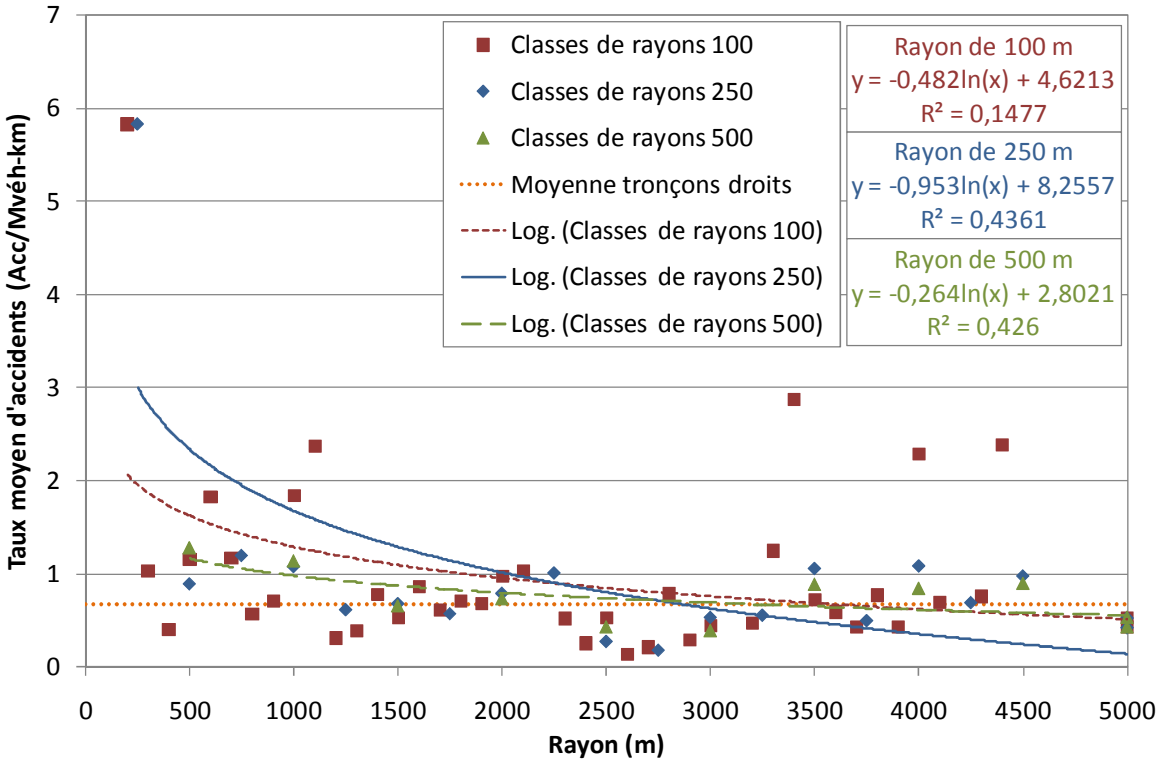


Figure 5.15: Taux moyen d'accidents par classes de rayons

Cette figure démontre des signes positifs quant à la modélisation du rayon pour la prédiction des accidents dans les courbes en section courante d'autoroutes. Toutefois, avec un coefficient de détermination maximal sous la barre du 0,5, il est difficile pour le moment de suggérer ce modèle pour utilisation immédiate. Cette valeur de 0,5 correspond à la limite usuelle pour présentation d'une régression selon l'ITE (2008). Par ailleurs, en examinant plus en détail la répartition des points du graphique, on peut constater que plusieurs valeurs se retrouvent sous le *Tm* pour les tronçons droits, ce qui diffère des résultats attendus (convergence vers le Tm avec l'augmentation du rayon). Autre tendance inattendue : une remontée des taux se fait sentir à partir d'un rayon d'environ 3000 mètres. Une hypothèse qui pourrait expliquer ce phénomène pourrait être que les conducteurs s'engageant dans une grande courbe n'auraient plus l'impression d'un danger imminent, ce qui diminuerait leur attention et augmenterait le niveau de risque de la courbe. À l'inverse, les faibles taux observés en dessous d'un rayon de 3000 mètres pourraient s'expliquer par une vigilance accrue des conducteurs qui perçoivent plus facilement la déflexion du tracé.

CHAPITRE 6 CONCLUSION

6.1 Rappel des étapes et objectifs des travaux de recherche

En résumé, les travaux de la présente recherche se sont effectués en trois volets : la revue de la littérature sur l'analyse et la modélisation des accidents survenus sur des éléments géométriques spécifiques, la caractérisation des accidents autoroutiers du Québec pour la plage temporelle du début de l'année 2000 jusqu'à la fin de l'année 2004 et l'analyse plus approfondie de l'élément courbe en section courante à partir d'une reconstitution des autoroutes 20 et 40. Les objectifs principaux visés par le projet étaient de faire ressortir les analyses et modèles de la littérature par rapport à la dangerosité d'éléments géométriques autoroutiers, de développer une approche méthodologique d'analyse des accidents à grande échelle, d'établir les principes de base et d'examiner les grandes tendances des accidents autoroutiers, d'étudier les dimensions spatiale et temporelle des accidents et d'introduire une approche d'analyse segmentée par élément géométrique, afin d'apporter des outils aux analystes en sécurité routière (notamment lors d'un audit). La méthodologie consiste principalement en l'exploration de bases de données sur la géographie, la circulation et les accidents, en la fusion de ces dernières et en l'élaboration d'une base de données propre à l'élément géométrique à l'étude.

6.2 Principaux résultats

La revue de la littérature a permis de mettre en évidence quelques analyses et modèles appliqués à des éléments autoroutiers précis tout en tenant compte de multiples variables. Il faut noter, tout d'abord, que les références sur le sujet sont divisées en deux époques distinctes : les environs des années soixante-dix et les années 2000 et suivantes. Dans tous les modèles (les anciens comme les plus récents), l'impact du débit sur le nombre d'accidents est plus que considérable. En fait, il s'agit toujours de la variable ayant le plus d'influence sur le nombre d'accidents. Par contre, aucune référence dans celles consultées traitant des autoroutes n'étudie de manière plus précise l'impact de la circulation sur une période de temps plus courte, comme pour le débit horaire, par exemple. En effet, il est toujours plutôt question du DJMA. Par ailleurs, il est unanime à travers les auteurs que la longueur du tronçon examiné correspond également à un facteur explicatif important du nombre d'accidents. On en conclut donc que le facteur d'exposition, qui est la combinaison du débit et de la longueur, est crucial dans toutes tentatives d'analyses ou de

modélisation des accidents autoroutiers. Plusieurs éléments distincts ont été examinés dans la revue de la littérature, mais rien n'a été trouvé concernant la courbe ainsi que le tronçon droit en section courante d'autoroute. Il a donc été choisi d'approfondir ces éléments autoroutiers dans le cadre de la présente recherche (Chapitre 5). En guise de référence générale plus complète, il faut rappeler que l'annexe 1 présente la bibliographie exhaustive de la présente recherche.

L'étape de caractérisation des données d'accidents autoroutières a permis, quant à elle, d'établir une méthodologie d'étude globale sur un échantillon de grande envergure, soit l'ensemble des autoroutes du Québec entre le début de l'année 2000 et la fin de l'année 2004. De par l'application de cette méthodologie, il a été possible de mesurer le niveau de dangerosité des autoroutes à partir des principaux indicateurs de sécurité routière (fréquence d'accidents, taux d'accidents pondéré par la longueur et le débit et indice de gravité). En bref, on estime la fréquence d'accidents à plus de 22 000 par année avec un taux d'un peu moins de sept accidents par million de véhicules et pour dix kilomètres. Près de 85 % de ces accidents autoroutiers surviennent en section courante (d'où la pertinence du choix d'éléments en section courante dans le cadre du Chapitre 5). En parallèle, une description spatiale et temporelle (grandes tendances) de l'échantillon a été effectuée. De la première, il a été déduit qu'il se produisait plus d'accidents, tant en termes de fréquence qu'en termes de taux, dans les milieux plus urbanisés comme la région de Montréal et de Québec. En divisant l'analyse par autoroute, il a été aussi possible d'établir la liste des autoroutes les plus accidentogènes. Au niveau de la fréquence d'accidents, les pires autoroutes sont, respectivement l'autoroute 40, 15 et 20. Cela va de pair avec l'exposition qu'ils offrent par rapport aux autres autoroutes. En ce qui a trait aux taux d'accidents, les autoroutes les plus problématiques sont celles qui ont une extrémité se transformant en boulevard comme l'aurotoute 973, 740 ou 720. Les indices de gravité, quant à eux, sont beaucoup plus uniformes d'une autoroute à l'autre. Pour ce qui est de la description temporelle, plusieurs tendances ont été observées. En bref, il est possible de constater que la distribution temporelle des accidents suit sensiblement la même forme que les débits en fonction du temps. Par exemple, en période de semaine, il est possible de voir des pointes d'accidents suivant les heures de pointe du trafic.

Finalement, l'analyse segmentée aura permis de mettre sur pieds une approche méthodologique plus spécifique pour un élément géométrique formant une autoroute. Dans le cas de la courbe en section courante (élément étudié plus en détail dans le cadre de la présente recherche), à partir

d'un sous-échantillon comprenant les autoroutes 20 et 40, il aura été possible de démontrer l'influence du débit, de la longueur et du rayon de courbure sur le nombre d'accidents, sans toutefois être en mesure de fournir un modèle statistiquement valable. Il faut mentionner malgré tout que la stratégie la plus efficace pour tenter de modéliser les accidents sur cet élément a été d'exprimer le taux d'accidents moyen (en accidents par million de véhicules-kilomètre) pour les courbes regroupées par classes de rayons de 250 mètres. Un fait à noter plutôt inattendu est qu'à partir de cette agrégation, l'équation unissant la fréquence d'accidents au facteur d'exposition devient beaucoup plus évidente. En parallèle, à l'aide d'une plate-forme SIG, il a été possible de visualiser, de manière évidente, l'impact du rayon sur les taux d'accidents dans certains secteurs du Québec. Par exemple, il était possible de voir qu'à Montréal, sur l'autoroute Métropolitaine, on retrouvait des taux d'accidents élevés pour des courbes avec des rayons particulièrement faibles. Il faut noter également qu'en utilisant les tronçons droits en guise de base comparative, il était possible de remarquer une différence au niveau des taux moyens d'accidents dans un segment courbe par rapport à un segment rectiligne (0,854 acc/Mvéh-km en courbe par rapport à 0,669 acc/Mvéh-km en ligne droite). Cette différence est toutefois négligeable dans le cas de la comparaison des indices de gravité.

6.3 Recommandations et nouvelles avenues de recherche

Le présent document ouvre vers plusieurs avenues de recherche. En effet, de nombreux éléments supplémentaires mériteraient d'être explorés davantage dans l'objectif de mieux comprendre le comportement accidentogène des autoroutes par rapport à ses composantes et ses caractéristiques. Les points qui suivent énoncent quelques éléments qui pourraient bonifier la présente recherche. Ils incluent certaines recommandations par rapport aux données de base et à la méthodologie et proposent d'autres perspectives d'analyses.

- Développer un procédé de génération automatique des éléments géométriques.
- Utiliser le débit horaire plutôt qu'un débit journalier dans les taux d'accidents pour considérer de façon plus précise l'état de la circulation au moment de l'accident (analyse microtemporelle). Par exemple, de nuit, on constaterait probablement une hausse des taux d'accidents comparativement au jour. Autre exemple, une autoroute avec un débit journalier très élevé, mais qui est presque toujours à saturation n'impliquera pas

nécessairement beaucoup d'accidents, car lorsqu'elle est congestionnée, les véhicules sont à très basse vitesse et le risque de collision est beaucoup plus faible. Cette distinction est impossible avec des débits journaliers, car on ne connaît pas la répartition des débits à travers les heures et on ne connaît donc pas non plus la proportion de la journée où la route est saturée. Il serait donc intéressant d'examiner s'il les implications d'une telle analyse.

- Pour le calcul de la longueur du réseau : améliorer la BDGR en ajoutant le nombre de voies et leur largeur pour chaque élément de la base de données de façon à obtenir une estimation plus précise de l'étendue du réseau.
- Si ce n'est pas déjà fait au Ministère, parfaire la BDDV avec les vitesses pratiquées (à partir des compteurs automatiques).
- Améliorer la BDGR en ajoutant un champ « milieu » pour chacun des éléments de la base de données, car il s'agit d'une variable qui se retrouve souvent dans les modèles. À ce propos, la problématique particulière de cette avenue est de définir plus précisément la limite entre un milieu urbain et rural. Il faudrait statuer sur des éléments quantifiables pour éventuellement délimiter ces zones.
- Implanter des compteurs automatiques sur les bretelles et voies de service suivant la même proportion que ceux en section courante permettrait de comparer la dangerosité des différents types de sous-route à l'aide de taux moyen d'accidents (présentement limité aux sections courantes à grande échelle).
- Pour le calcul des accidents sur les bretelles : recodifier les bretelles selon leurs caractéristiques propres (entrée, sortie, autoroute à autoroute, directe, indirecte de type « boucle », configuration, etc.) au lieu d'une codification fonction des points cardinaux et d'une rotation antihoraire qui ne sert pas en pratique.
- Effectuer le même exercice que celui du chapitre 5, mais pour l'élément « échangeur dans son ensemble », selon les différents types (implique un degré de complexité supplémentaire pour l'interprétation des DJMA et des longueurs);
- Évaluer l'influence en parallèle des variables autres que géométriques (temps, aspect ou nature de la chaussée, état de la surface, vitesse affichée ou vitesse moyenne pratiquée,

signalisation (panneaux autoroutiers et marquage), panneaux publicitaires, utilisation du sol, etc.

- Effectuer les tests statistiques adéquats pour valider les modèles éventuellement plus précis et présentant des tendances plus claires.

RÉFÉRENCES

AIPCR. (2003). *Manuel de Sécurité Routière*: Association mondiale de la Route.

Bahar, G., Masliah, M., Wolff, R., & Park, P. (2007). *Desktop Reference for Crash Reduction Factors* (FHWA-SA-07-015). Washington D.C.: Federal Highway Administration.

Baker, M. (1980). *Improving the Traffic Operations and Safety of Ramps and Speed Changes of Lanes - A Review of State Design Practices* (Interim Report FHWA-RD-79-127).

Barber, P. (2006). Notes de cours - GCI 330 Trafic routier: Département de génie civil, Université de Sherbrooke.

Bared, J., Giering, G. L., & Warren, D. L. (1999). Safety Evaluation of Acceleration and Deceleration Lane Lengths. *Institute of Transportation Engineers, ITE Journal*.

Bared, J. G., Edara, P. K., & Kim, T. (2007). Safety Impact of Interchange Spacing on Urban Freeways. *86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.* Transportation Research Board.

Bauer, K. M., & Harwood, D. W. (1998). *Statistical Models of Accidents on Interchange Ramps and Speed-Change Lanes* (Final Report FHWA-RD-97-106): Federal Highway Administration.

Brunelle, É., & al. (2009). *Antidote RX v8*: Druide informatique inc.

Chang, L.-Y. (2005). Analysis of Freeway Accident Frequencies: Negative Binomial Regression Versus Artificial Neural Network. *Safety Science*(43), 541-557.

Chang, L.-Y., & Chen, W.-C. (2005). Data mining of tree-based models to analyze freeway accident frequency. *Journal of Safety Research*(36), 365-375.

Cirillo, J. A., Dietz, S. K., & Beatty, R. L. (1969). Analysis and Modeling of Relationships Between Accidents and the Geometric and Traffic Characteristics of the Interstate System. *Federal Highway Administration, Washington, D.C.*, 94.

Foody, T. J., & Wray, J. H. (1975). *Improving the Traffic Operations and Safety of Full Cloverleaf Interchanges* (Final Report FHWA-RD-75-126): Federal Highway Administration.

Garber, N. J., & Hoel, L. A. (1997). *Traffic and Highway Engineering, Chapter 5 - Highway Safety*: PWS Publishing Compagny.

Graettinger, A. J., Rushing, T. W., & McFadden, J. (2001). Evaluation of inexpensive global positioning system units to improve crash location data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1746), 94-101.

Harkey, D. L., & al. (2005). Crash Reduction Factors for Traffic Engineering and Intelligent Transportation System (ITS) Improvements: State of Knowledge Report. *Research Results Digest*(299).

Harwood, D. W., Bauer, K. M., Richard, K. R., Gilmore, D. K., Persaud, B., & Lyon, C. (2004). *Development of SPFs for Safety Analyst Interim Tools - Technical Memorandum* (DTFH61-01-F-00096): Midwest Research Institute, for the Federal Highway Administration.

Hauer, E., & Persaud, B. (1996). Safety Analysis of Roadway Geometric and Ancillary Features. *Research Report, Transportation Association of Canada, Ottawa, Canada, December 1996, 171*.

Houle, D., & Bélanger, C. (2009). Les audits de sécurité routière. *44e congrès de l'AQTR, Montréal* Association québécoise du transport et des routes.

ITE. (2008). *Trip Generation, 8th Edition*: Institute of Transportation Engineers.

Koepke, F. J. (1993). Ramp Exit/Entrance Design - Taper Versus Parallel and Critical Dimensions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1385), 126-132.

Kopelias, P., Papadimitriou, F., Papandreou, K., & Prevedouros, P. (2007). Urban Freeway Crash Analysis. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(2015), 123-131.

Leisch, J. E., Neuman, T. R., Leisch, J. P., Hess, J. W., & Rosenbaum, M. J. (1982). *Synthesis of Safety Research Related to Traffic Control and Roadway Elements, Volume 1, Chapter 6 - Interchanges*: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

MTQ. (2002a). *Guide de la codification et du mesurage du réseau routier*: Ministère des Transports du Québec.

MTQ. (2002b). Le Plan géomatique du Gouvernement du Québec - La Base géographique routière (BGR): Ministère des Transports du Québec.

MTQ. (2002c). Notions de longueurs du réseau routier. In *Inventaire des intrastructures de transport - Guide de la codification et du mesurage du réseau routier* (pp. 46-47): Ministère des Transports du Québec.

Nicoll, M. (2004). *Highway Accident System User's Manual*: British Columbia, Ministry of Transportation.

Oppe, S. (1992). A Comparaison of Some Statistical Techniques for Road Accident Analysis. *Accident Analysis and Prevention, 24*(4), 397-423.

Pilko, P., Bared, J. G., Edara, P. K., & Kim, T. (2007). *Safety Assessment of Interchange Spacing on Urban Freeways*: Research, Development, and Technology, Turner-Fairbank Highway Research Center, Federal Higway Administration.

SAAQ. (2006). *Guide de rédaction du rapport d'accident de véhicules routiers*: Société de l'assurance automobile du Québec.

SAAQ. (2007). *Données statistiques 2006*: Société de l'assurance automobile du Québec.

SAAQ. (2008a). *Bilan 2007 - Accidents, parc automobile, permis de conduire*: Société de l'assurance automobile du Québec.

SAAQ. (2008b). *Données et statistiques 2007*: Société de l'assurance automobile du Québec.

Torbic, D. J., Harwood, D. W., Gilmore, D. K., & Richard, K. R. (2007a). *Interchange Safety Analysis Tool (ISAT): User Manual* (FHWA-HRT-07-045): Federal Highway Administration.

Torbic, D. J., Harwood, D. W., Gilmore, D. K., & Richard, K. R. (2007b). *Safety Analysis of Interchanges* (DTFH61-05-P-00302): Midwest Research Institute, for the Federal Highway Administration.

Twomey, J. M., Heckman, M. L., & Hayward, J. C. (1992). *Safety Effectiveness of Highway Design Features, Volume IV - Interchanges* (FHWA-RD-91-047): Federal Highway Administration.

Vogt, A., & G. Bared, J. (1998). Accident Models for Two-Lane Rural Roads: Segments and Intersections. (FHWA-RD-98-133).

Walker, R. J. (1993). Two-Lane Loop Ramps: Operation and Design Considerations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*(1385), 133-138.

Wu, H., Sando, T., Mussa, R., Sobanjo, J., & Spainhour, L. (2004). Integration of GPS and GIS to Improve Crash Location Data Accuracy. *24th Annual ESRI International User Conference, San Diego, California*.

ANNEXE 1 – BIBLIOGRAPHIE

AASHTO. (2004). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Abdel-Aty, M., Pemmanaboina, R., & Hsia, L. (2006). Assessing Crash Occurence on Urban Freeways by Applying a System of Interrelated Equations. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1953), 1-9.

Abraham, M., & Hauer, E. (1998). Two Problems of Averaging Arising in the Estimation of the Relationship Between Accidents and Traffic Flow. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1635), 37-43.

AIPCR. (2003). Manuel de Sécurité Routière: Association mondiale de la Route.

ATC. (1999). Guide canadien de conception géométrique des routes. Ottawa: Association des transports du Canada (ATC).

Aufaure, M.-A. (2000). Le data mining spatial. Conférence Lyon I, Lyon.

Awad, W. H., & Janson, B. N. (1998). Prediction Models for Truck Accidents at Freeway Ramps in Washington State Using Regression and Artificial Intelligence Techniques. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1635), 30-36.

Bahar, G., Masliah, M., Wolff, R., & Park, P. (2007). Desktop Reference for Crash Reduction Factors (FHWA-SA-07-015). Washington D.C.: Federal Highway Administration.

Baker, M. (1980). Improving the Traffic Operations and Safety of Ramps and Speed Changes of Lanes - A Review of State Design Practices (Interim Report FHWA-RD-79-127).

Banos, A., Huguenin-Richard, F., & Lassarre, S. (1999). Detection of Traffic Accidents Clusters in a Road Network. International Conference on the Analysis and Interpretation of Disease Clusters and Ecological Studies, Royal Statistical Society, London.

Barber, P. (2006). Notes de cours - GCI 330 Trafic routier: Département de génie civil, Université de Sherbrooke.

Bared, J., Giering, G. L., & Warren, D. L. (1999). Safety Evaluation of Acceleration and Deceleration Lane Lengths. Institute of Transportation Engineers, ITE Journal.

Bared, J. G., Edara, P. K., & Kim, T. (2007). Safety Impact of Interchange Spacing on Urban Freeways. 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. Transportation Research Board.

Bauer, K. M., & Harwood, D. W. (1998). Statistical Models of Accidents on Interchange Ramps and Speed-Change Lanes (Final Report FHWA-RD-97-106): Federal Highway Administration.

Black, W. R. (1991). Highway Accidents: A Spatial and Temporal Analysis. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1318), 75-82.

Bornsztein, L. L., & Pietrantonio, H. (2003). Evaluating Road Safety Audit Procedures: Some Questions and a New Method of Study. 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. Transportation Research Board.

Bowman, B. L., & Hummer J, E. Examination of Truck Accidents on Urban Freeways. FHWA-RD-89-201. Federal Highway Administration, McLean, Virginia December 1989, 101 pages. (FH375).

Box, P. C., & al. (1972). Freeway Accidents and Illumination. Highway Research Record(416), 10-20.

Brenac, T. (1996). Safety at Curves and Road Geometry Standards in Some European Countries: A Discussion. 75th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. Transportation Research Board.

Bruneau, J.-F., Morin, D., & Pouliot, M. (2001). Safety of Motorway Lighting. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1758), 1-5.

Brunelle, É., & al. (2009). Antidote RX v8: Druide informatique inc.

CA. (2003). Statistiques sur les collisions de la route au Canada: Transports Canada.

Carles, O. (2000). Système de génération automatique de bases de données pour la simulation de situations de conduite fondée sur l'interaction de ses différents acteurs. Université Paul Sabatier de Toulouse III, Toulouse.

Chang, J., Oh, C., & Chang, M. (1997). Effects of Traffic Condition (v/c) on Safety at Freeway Facility Sections. Transportation Research Circular, E-C018(4th Internatioal Symposium on Highway Capacity), 200-208.

Chang, L.-Y. (2005). Analysis of Freeway Accident Frequencies: Negative Binomial Regression Versus Artificial Neural Network. Safety Science(43), 541-557.

Chang, L.-Y., & Chen, W.-C. (2005). Data mining of tree-based models to analyze freeway accident frequency. Journal of Safety Research(36), 365-375.

Chen, H., Liu, P., Behzadi, B., & Lu, J. J. (2008). Impacts of Exit Ramp Type on the Safety Performance of Freeway Diverge Areas. 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. Transportation Research Board.

Chira-Chavala, T., & Mak, K. K. (1986). Identification of Accident Factors on Highway Segments: A Method and Applications. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1068), 52-58.

Choueiri, E. M. (1993). Safety Aspects of Individual Design Elements and Their Interactions on Two-Lane Highways. An International Persepective. Presented at the 1993 Annual Meeting of the Transportation Research Board. Wash. D. C.

Cirillo, J. A., & Bellis, W. R. (1970). The Relationship of Accidents to Length of Speed-Change Lanes and Weaving Areas on Interstate Highways. Highway Research Record(312), 17-32.

Cirillo, J. A., Dietz, S. K., & Beatty, R. L. (1969). Analysis and Modeling of Relationships Between Accidents and the Geometric and Traffic Characteristics of the Interstate System. Federal Highway Administration, Washington, D.C., 94.

Craus, J., Livneh, M., & Ishai, I. (1991). Effect of Pavement and Shoulder Condition on Highway Accidents. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1318), 51-57.

Creasey, F. T., Ullman, G. L., & Dudek, C. L. (1989). Delineation of Urban Freeway Gore Area Crash Cushions in Texas. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1233), 28-33.

DOT. (2003). Improving Crash Data for Safer Roadways, Second Edition. Model Minimum Uniform Crash Criteria Guideline (MMUCC).

Eckhardt, N., Flahaut, B., & Thomas, I. (2002). Spatio-temporalité des accidents de la route en périphérie urbaine. L'exemple de Bruxelles.

El-Basha, R. H. S., Hassan, Y., & Sayed, T. A. (2007). Modeling Freeway Diverging Behavior on Deceleration Lanes Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(2012), 30-37.

Elvik, R., & Vaa, T. (2004). The Handbook of Road Safety Measures (1ste éd.). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.

Fazio, J., Holden, J., & Rouphail, N. M. (1993). Use of Freeway Conflict Rates as an Alternative to Crash Rates in Weaving Section Safety Analyses. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1401), 61-69.

Fazio, J., & Rouphail, N. M. (1986). Freeway Weaving Sections: Comparison and Refinement of Design and Operations Analysis Procedures. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1091), 101-109.

FHWA. (1982). Procedures and Guidelines for Rehabilitation of Existing Freeway - Arterial Highway Interchanges. Volume 2 : Design Procedures for Rehabilitation of Freeway - Arterial Interchanges Final Report. FHWA-RD-81-104. 171 p.

FHWA. (2006). Road Safety Audit Guidelines: Federal Highway Administration.

Fitzpatrick, K., & Wooldridge, M. (2001). Recent Geometric Design Research for Improved Safety and Operations (NCHRP Synthesis 299): National Cooperative Highway Research Program.

Fontaine, H., Gourlet, Y., l'Hoste, J., & Muhlrad, N. (2003). Inventaire critique des données nécessaires à la recherche en sécurité routière.

Foody, T. J., & Wray, J. H. (1975). Improving the Traffic Operations and Safety of Full Cloverleaf Interchanges (Final Report FHWA-RD-75-126): Federal Highway Administration.

Garber, N. J., & Hoel, L. A. (1997). Traffic and Highway Engineering, Chapter 5 - Highway Safety: PWS Publishing Compagny.

Glad, R. W., Milton, J. C., & Olson, D. K. (2001). Weave Analysis and Performance : The Washington State Case Study (WA-RD 515.1): Washington State Department of Transportation.

Golay, F., Oggier, R., & Gilgen, M. (2000). SYRROU - Systèmes de repérage spatial des données routières. Lausanne: École Polytechnique fédérale de Lausanne.

Goldstine, R. (1991). Influence of Road Width on Accident Rates by Traffic Volume. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1318), 64-69.

Golob, T. F., Recker, W. W., & Alvarez, V. M. (2003). Safety Aspects of Freeway Weaving Sections (UCB-ITS-PWP-2003-13): Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.

Golob, T. F., Recker, W. W., & Alvarez, V. M. (2004). Tool to Evaluate Safety Effects of Changes

in Freeway Traffic Flow. Journal of Transportation Engineering(March/Arpil 2004), 222-230.

Graettinger, A. J., Rushing, T. W., & McFadden, J. (2001). Evaluation of inexpensive global positioning system units to improve crash location data. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1746), 94-101.

Hamerslag, R., Roos, J. P., & Kwakernaak, M. (1982). Analysis of Accidents in Traffic Situations by Means of Multiproportional Weighted Poisson Model. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(847), 29-36.

Harkey, D. L., & al. (2005). Crash Reduction Factors for Traffic Engineering and Intelligent Transportation System (ITS) Improvements: State of Knowledge Report. Research Results Digest(299).

Harwood, D. W., Bauer, K. M., Richard, K. R., Gilmore, D. K., Persaud, B., & Lyon, C. (2004). Development of SPFs for Safety Analyst Interim Tools - Technical Memorandum (DTFH61-01-F-00096): Midwest Research Institute, for the Federal Highway Administration.

Harwood, D. W., & Graham, J. L. (1983). Rehabilitation of Existing Freeway-Arterial Highway Interchanges. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(923), 18-26.

Hauer, E. (1999). Safety and the Choice of Degree of Curve. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1665), 22-27.

Hauer, E. (1999). Safety in Geometric Design Standards. 2nd International Symposium of Highway Geometric Design.

Hauer, E. (2000). Review of literature for the Interactive Highway Safety Design Model, Unedited Draft [Unedited Draft]. Consulté le 12 juin 2006.

Hauer, E., & Persaud, B. (1996). Safety Analysis of Roadway Geometric and Ancillary Features. Research Report, Transportation Association of Canada, Ottawa, Canada, December 1996, 171.

Hildebrand, E., & Wilson, F. (1999). Road Safety Audit Guidelines. Fredericton: University of New Brunswick, Transportation Group.

Hilger Delucia, B., A. Scopatz, R., Benton, J., Jensen, M., V. Milton, E., Pain, R., et al. (2006). Crash records systems - A Synthesis of Highway Practice, NCHRP Synthesis 350. Washington: National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board.

Houle, D., & Bélanger, C. (2009). Les audits de sécurité routière. 44e congrès de l'AQTR, Montréal Association québécoise du transport et des routes.

ITE. (2008). Trip Generation, 8th Edition: Institute of Transportation Engineers.

Janson, B., & et al. (1999). Effects of Geometric Characteristics on Interchanges on Truck Safety. Report No. CDOT-DTD-R-99-3, 110.

Karp, H. (2003). Safe Car, Safe Driver, Dangerous Roads. Reader's Digest.

Kim, J.-K., Wang, Y., & F. Ulfarsson, G. (2007). Modeling the probability of freeway rear-end crash occurrence. Journal of Transportation Engineering(January 2007), 11-19.

Kockelman, K. M., & Ma, J. (2007). Freeway speeds and speed variations preceding crashes, within and across lanes. Journal of Transportation Research Forum(Spring 2007).

Koepke, F. J. (1993). Ramp Exit/Entrance Design - Taper Versus Parallel and Critical Dimensions. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1385), 126-132.

Kopelias, P., Papadimitriou, F., Papandreou, K., & Prevedouros, P. (2007). Urban Freeway Crash Analysis. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(2015), 123-131.

Kweon, Y.-J., & M. Kockelman, K. (2005). The safety effects of speed limit changes: use of panel models, including speed, use, and design variables. 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. Transportation Research Board.

Spatially disaggregate panel models of crash and injury counts: the effect of speed limits and design. Washington D.C. (2005).

Lamm, R., Psarianos, B., & Mailaender, T. (1999). Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook. New York ; Montréal: McGraw-Hill.

Larson, R. M. Using Friction and Texture Data to Reduce Traffic Fatalities, Serious Injuries, and Traffic Delays. Applied Pavement Technology, Inc., Springfield, Virginia, U.S.A.

Lee, C., Hellinga, B., & Saccomanno, F. (2003). Real-Time Crash Prediction Model for the Application to Crash Prevention in Freeway Traffic. 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. Transportation Research Board.

Lee, J.-T., Dittberner, R., & Sripathi, H. (2007). Safety Impacts of Freeway Managed-Lane: Inside Lane for High-Occupancy Vehicle Use and Right Shoulder Lane as Travel Lane During Peak Periods. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(2012), 113-120.

Leisch, J. E., Neuman, T. R., Leisch, J. P., Hess, J. W., & Rosenbaum, M. J. (1982). Synthesis of Safety Research Related to Traffic Control and Roadway Elements, Volume 1, Chapter 6 - Interchanges: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Leisch, J. P. (1989). Horizontal Sight Distance Considerations in Freeway and Interchange Reconstruction. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1208), 80-84.

Leisch, J. P. (1993). Operational Considerations for Systems of Interchanges. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1385), 106-111.

Lord, D., & Bonneson, J. A. (2005). Calibration of Predictive Models for Estimating Safety of Ramp Design Configurations. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1908), 88-95.

Lord, D., & Bonneson, J. A. (2006). Role and Application of Accident Modification Factors Within Highway Design Process. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1961), 65-73.

Lundy, R. A. (1964). Effect of Traffic Volumes and Number of Lanes on Freeway Accident Rates. Highway Research Record(99), 138-156.

Lundy, R. A. (1967). The Effect of Ramp Type and Geometry on Accidents. Highway Research Record(163), 80-119.

Lupton, K. (1996). Using Cubic Splines to Estimate Horizontal Curvature for Road Accident Analysis. Traffic Engineering & Control, June 1996, pp. 381-385.

Luyanda, F., & Smith R, W. (1982). A Multivariate Statistical Analysis of Highway Conditions and Highway Accidents. 1st Pan American Congress on Civil Engineering, San Juan, Porto Rico.

Mak, K. K. (1995). Safety Effects of Roadway Design Decisions - Roadside. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1512), 16-21.

Mauer, P. The use of a satellite navigation system (GPS) to register locations of traffic accidents.

McBean, P. A. (1982). The Influence of Road Geometry at a Sample of Accident Sites. TRRL Laboratory Report 1053, Transportation and Road Research Laboratory, Crowthorne.

McCartt, A. T., Northrup, V. S., & Retting, R. A. (2004). Types and Characteristics of Ramp-Related Motor Vehicle Crashes on Urban Interstate Roadways in Norther Virginia. Journal of Safety Research(35), 107-114.

Miaou, S. P., & Lum, H. (1993). Modeling Vehicle Accidents and Highway Geometric Design Relationships. Accident Analysis and Prevention, 25, no. 6, 689-709.

MTQ. (2002). Guide de la codification et du mesurage du réseau routier: Ministère des Transports du Québec.

MTQ. (2002). Le Plan géomatique du Gouvernement du Québec - La Base géographique routière (BGR): Ministère des Transports du Québec.

MTQ. (2002). Notions de longueurs du réseau routier. In Inventaire des intrastructures de transport - Guide de la codification et du mesurage du réseau routier (pp. 46-47): Ministère des Transports du Québec.

MTQ. (2006). Chapitre 9 - Carrefours dénivelés. In Collection Normes - Ouvrages routiers, Tome I - Conception routière: Ministère des Transports du Québec.

Nahi, N. E. (1973). Freeway-Traffic Data Processing. Proceedings of the IEEE, 61(5), 537-541.

Neuman, T. R., & al. (1983). Accident Analysis for Highway Curves. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(923), 65-69.

Ng, J. C. W., & Sayed, T. (2004). Effect of Geometric Design Consistency on Road Safety. Can. J. Civ., 31, 218-227.

NHTSA. (2000). Traffic Safety Facts 1999 - A Compilation of Motor Vehicle Crash Data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System. Washington: National Highway Traffic Safety Administration.

NHTSA. (2005). Traffic Safety Facts 2005 - A Compilation of Motor Vehicle Crash Data from the Fatality Analysis Reporting System and the General Estimates System. Washington: National Highway Traffic Safety Administration, National Center for Statistics and Analysis.

NHTSA. (2005). Traffic Safety Facts 2005 - Overview. Washington: National Highway Traffic Safety Administration, National Center for Statistics and Analysis.

Nicoll, M. (2004). Highway Accident System User's Manual: British Columbia, Ministry of Transportation.

Noland, R. B. (2001). Traffic Fatalities and Injuries: Are Reductions the Result of "Improved" in Highway Design Standards. 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. Transportation Research Board.

Ogden, K. W. (1996). Safer roads : a guide to road safety engineering. Aldershot, Hants, England: Avebury Technical.

Oh, C., Oh, J.-S., & G. Ritchie, S. (2001). Real-time Estimation of Freeway Accident Likelihood. 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. Transportation Research Board.

Oppe, S. (1992). A Comparaison of Some Statistical Techniques for Road Accident Analysis. Accident Analysis and Prevention, 24(4), 397-423.

Owers, R. S., & Wilson, E. M. (2001). Safety analysis without the legal paralysis: the road safety audit program: Department of Civil and Architectural Engineering, University of Wyoming, Laramie, Wyoming 82071.

Safety Performance Assessment of Freeway Interchanges, Ramps, and Ramp Terminals. Charlottetown, Prince Edward Island. (2006).

Persaud, B., & Dzbik, L. (1993). Accident Prediction Models for Freeways. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1401), 55-60.

Pilko, P., Bared, J. G., Edara, P. K., & Kim, T. (2007). Safety Assessment of Interchange Spacing on Urban Freeways: Research, Development, and Technology, Turner-Fairbank Highway Research Center, Federal Higway Administration.

Ramos, F. (2003). Modélisation et validation d'un système d'information géographique 3D opérationnel. Université de Marne-la-Vallée, École doctorale "Information, Communication, Simulation, Modélisation"

RSF. Roadway Safety Guide: Roadway Safety Foundation.

RSF. (1997). Improving Roadway Safety: Current Issues - Final Report: Roadway Safety Foundation.

SAAQ. (2006). Guide de rédaction du rapport d'accident de véhicules routiers: Société de l'assurance automobile du Québec.

SAAQ. (2007). Données statistiques 2006: Société de l'assurance automobile du Québec.

SAAQ. (2008). Bilan 2007 - Accidents, parc automobile, permis de conduire: Société de l'assurance automobile du Québec.

SAAQ. (2008). Données et statistiques 2007: Société de l'assurance automobile du Québec.

Sanderson, R. W. (1977). Analysis of Accident Experience vs. Shoulder Width. Technical Memorandum, Road Systems, Transports Canada, Sécurité Routière, 25.

Sando, T., Mussa, R., Wu, H., Sobanjo, J., & Spainhour, L. (2004). A Cost-Effective GIS Safety Analysis Tool for Improving Highway Safety 24th Annual ESRI International User Conference, San Diego, California.

Shankar, V., & al. (1996). Statistical Analysis of Accident Severity on Rural Freeways. Accident Analysis and Prevention, Vol. 28, No. 3, 1996, pp. 391-401.

Shankar, V., Mannering, F., & Barfield, W. (1995). Effect of Roadway Geometrics and Environmental Factors on Rural Freeway Accident Frenquencies. Accident Analysis and Prevention, 27, no. 3, 371-389.

Shen, J., & Gan, A. (2003). Development of Crash Reduction Factors: Methods, Problems, and Research Needs. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1840), 50-56.

Slinn, M., Matthews, P., & Guest, P. (2005). Traffic engineering design : principles and practice (2e éd. --e éd.). Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann.

Spring, G. S. (2005). Road Safety: Discussion of State of Practice. Journal of Transportation Engineering(May 2005), 329-332.

Tardif, F. (2004). Changements de limite de vitesse sur les autoroutes et variations du bilan routier : l'expérience américaine: Société de l'assurance automobile du Québec.

Taylor, J. I., & McGee, H. W. (1973). Improving Traffic Operations and Safety at Exit Gore Areas (145): Highway Research Board, National Cooperative Highway Research Program.

Thevenin, T. (2002). Quand l'information géographique se met au service des transports publics urbains - Une approche spatio-temporelle appliquée à l'agglomération bisontine. Thèse de doctorat inédit, Université de Franche-Comté, Besançon.

Thomas, G. B., & al. (1994). Effect of Geometric Characteristics on Approach Based Accident Rates. Paper prepared for the 73rd Annual Meeting of the TRB. January 1994., 12 pages.

TL. (2005). Road Safety Audit. London: Transport for London, Surface Transport, Directorate of Street Management.

Torbic, D. J., Harwood, D. W., Gilmore, D. K., & Richard, K. R. (2007). Interchange Safety Analysis Tool (ISAT): User Manual (FHWA-HRT-07-045): Federal Highway Administration.

Torbic, D. J., Harwood, D. W., Gilmore, D. K., & Richard, K. R. (2007). Safety Analysis of Interchanges (DTFH61-05-P-00302): Midwest Research Institute, for the Federal Highway Administration.

TRB. (1982). Highway Accident Analysis Systems. NCHRP Synthesis of Highway Practice 91. Transportation Research Board, Wash. D. C., 69 pages.

TRR. (1984). The Influence of Roadway Surface Discontinuities on Safety. A State of the Art Report. Transportation Research Board, Wash. D. C.

Twomey, J. M., Heckman, M. L., & Hayward, J. C. (1992). Safety Effectiveness of Highway Design Features, Volume IV - Interchanges (FHWA-RD-91-047): Federal Highway Administration.

Twomey, J. M., Heckman, M. L., Hayward, J. C., & Zuk, R. J. (1993). Accidents and Safety Associated with Interchanges. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1385), 100-105.

Urbanik II, T., Hinshaw, W., & Fambro, D. B. (1989). Safety Effects of Limited Sight Distance on Crest Vertical Curves. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1208), 23-35.

Vogt, A., & G. Bared, J. (1998). Accident Models for Two-Lane Rural Roads: Segments and Intersections. (FHWA-RD-98-133).

Vostrez, J., & Lundy, R. A. (1965). Comparative Freeway Study. Highway Research Record(99), 157-199.

Walker, R. J. (1993). Two-Lane Loop Ramps: Operation and Design Considerations. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1385), 133-138.

Wilson, E. M., E. Lipinski, M., Krammes, R., Kwan, A., Logan, J., Pain, R., et al. (2004). Road Safety Audits - A Synthesis of Highway Practice, NCHRP Synthesis 336. Washington: National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board.

Wilson, E. M., Panel, T., Galloway, D. J., Giancola, A. R., Ivan, J. N., Lasek, J. J., et al. (2003). Roadway Safety Tools for Local Agencies - A Synthesis of Highway Practice, NCHRP Synthesis 321: National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board.

Wong, Y. D., & et al. (1992). Driver Behavior at Horizontal Curves: Risk Compensations and the Margin of Safety. Accident Analysis and Prevention, 24, no.4, 425-436.

Worrall, R. D., Drake, J. S., Buhr, J. H., Soltman, T. J., & Berry, D. S. (1965). Study of Operational Characteristics of Left-Hand Entrance and Exit Ramps on Urban Freeways. Highway Research Record(99), 244-273.

Wu, H., Sando, T., Mussa, R., Sobanjo, J., & Spainhour, L. (2004). Integration of GPS and GIS to Improve Crash Location Data Accuracy. 24th Annual ESRI International User Conference, San Diego, California.

Wunderlich, R. T. (1985). Evaluation of Freeway Crash Cushion Delineation Treatments. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1027), 14-19.

Yates, J. G. (1970). Relationship Between Curvature and Accident Experience on Loop and Outer Connection Ramps. Highway Research Record(312), 64-75.

Yates, J. G., & Beatty, R. L. (1970). Relationship Between Lighting and Accident Experience Between Interchanges. Highway Research Record(312), 85-92.

Ye, X., Pendyala, R. M., Shankar, V., & Konduri, K. (2008). Simultaneous Equations Model of Accident Frequency by Severity Level for Freeway Sections. 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. Transportation Research Board.

Zador, P., Stein, H., Hall, J., & Wright, P. (1987). Relationships Between Vertical and Horizontal Roadway Alignments and the Incidence of Fatal Rollover Crashes in New Mexico and Georgia. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1111), 27-42.

Zegeer, C. V., & al. (1992). Safety Effects of Geometric Improvements on Horizontal Curves. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board(1356), 11-19.

Zeitouni, K. (2004). Fouille de données spatiales.