



Transports  
Canada

Transport  
Canada

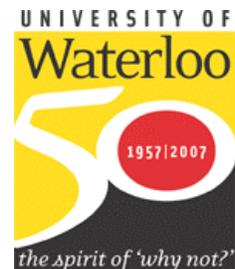
TP 14807



Transports Canada  
Travaux publics et Services  
gouvernementaux Canada

# Répercussions des limiteurs de vitesse obligatoires à bord des camions sur la sécurité routière au Canada

Ottawa



TC 1002757



Canada

# Travaux publics et Services gouvernementaux Canada

## Répercussions des limiteurs de vitesse obligatoires à bord des camions sur la sécurité routière au Canada

Ottawa

Université de Waterloo  
Bureau de la recherche en génie  
CPH 3390  
200, avenue University Ouest  
Waterloo (Ontario) N2L 3G1  
Tél. : (519) 888-4567, poste 3754  
Télec. : (519) 888-6197  
[www.uwaterloo.ca](http://www.uwaterloo.ca)

Projet n° 4010

## Avertissement

Le présent rapport reflète les opinions des auteurs, qui ne sont pas nécessairement celles de Transports Canada ou des conseils des sous-ministres et des ministres responsables des transports et de la sécurité routière.

## Équipe de projet du client

**Chef de projet**

Pierre Thiffault – Transports Canada

**Équipe de projet**Andrew Spoerri – Transports Canada  
Brian Orribine – Transports Canada  
Eric Hakomaki – MTO  
Pierre Tremblay – MTQ

## Équipe de projet

**Chargé de projet**

Frank Saccomanno, Ph.D., ing.

**Chargé de projet adjoint**

Chris Philp, ing.

**Équipe technique**Flavio Cunto, M.Sc.  
David Duong  
Rudy Sooklall, M.Sc.(A.)**Conseillers**

Bruce Hellinga, Ph.D., ing.

## RÉSUMÉ

- Introduction

En Amérique du Nord, un certain nombre d'autorités (administrations nationales, États et provinces) songent actuellement à recourir à la législation pour réduire les dépenses d'énergie, les émissions des véhicules et les risques d'accident en limitant la vitesse maximale de circulation des gros camions sur les autoroutes et les routes.

Le 19 mars 2008, l'Ontario a présenté le projet de loi 41, *Loi de 2008 modifiant le Code de la route* (Systèmes limiteurs de vitesse), afin de rendre obligatoire l'installation de limiteurs de vitesse à bord des véhicules utilitaires (Assemblée législative de l'Ontario, 2008). Le « projet de loi 41 », loi modifiant le Code de la route, prescrit l'installation de limiteurs de vitesse à bord des gros camions et fixe la vitesse maximale de circulation des camions à 105 km/h. Les principaux partisans de ce projet de loi sont l'Alliance canadienne du camionnage (ACC) et l'Ontario Trucking Association (OTA). Un projet de loi sur les limiteurs de vitesse des camions a été présenté dans la province de Québec afin d'obliger un véhicule déjà équipé d'un limiteur de vitesse de l'activer et de fixer la vitesse maximale autorisée à 105 km/h. Les limiteurs de vitesse ont déjà été adoptés dans l'Union européenne et dans l'État australien des Nouvelle-Galles du Sud.

### Objet de l'étude

L'objet fondamental de cette étude est d'évaluer les répercussions, au chapitre de la sécurité, de l'installation obligatoire de limiteurs de vitesse à bord des gros camions (d'une masse supérieure à 11 794 kg) pour différentes vitesses maximales, dont la vitesse plafond de 105 km/h prévue par la récente législation ontarienne. Le terme « sécurité » dans le présent rapport englobe à la fois la fréquence escomptée des collisions (accidents) et leur gravité, lorsque de gros camions sont impliqués dans des accidents sur différents types de routes et selon différentes conditions de circulation.

- Mesure du rendement de sécurité

En tant que fondement pour enquêter sur les répercussions de l'installation obligatoire de limiteurs de vitesse à bord des camions sur la sécurité, cette étude élabore un modèle de microsimulation de la circulation qui fournit des estimations précises « en temps réel » du rendement en matière de sécurité (ou des risques d'accident) et qui évalue dans quelle mesure cette mesure du rendement est touchée par différentes stratégies de limitation de la vitesse qui s'appliquent à différentes géométries routières et scénarios de circulation.

Pour une paire de véhicules donnée, le rendement en matière de sécurité est fonction des vitesses critiques des véhicules et des courbes de décélération qui peuvent aboutir à une augmentation des perturbations de la circulation et des risques d'accident. Cette mesure porte

le nom d'indice d'accidentalité (IA). Pour un intervalle de temps et une trajectoire de véhicule donnés, l'IA désigne la probabilité que le taux de décélération d'un véhicule qui en suit un autre pour éviter un accident avec le véhicule de tête (ou DRAC) dépasse le taux de décélération maximal autorisé du véhicule (ou MADR). D'autres mesures du rendement en matière de sécurité ont été tirées de l'IA, notamment : l'IA moyen/véhicule (IA/véh.), l'IA du 85<sup>e</sup> centile (IA85) ainsi que le nombre et le pourcentage de véhicules en conflit pour un seuil de conflit préétabli.

## Étalonnage du modèle et cadre d'application

Un modèle microscopique de simulation de la circulation a été étalonné et validé afin de fournir des mesures exactes et fiables de l'IA en temps réel pour différents scénarios de circulation et géométries routières. Pour en assurer la précision, on tient compte des paramètres des « estimations optimales » pour la simulation en fonction des données observées de suivi des véhicules.

La plate-forme de simulation retenue pour enquêter sur les répercussions, au chapitre de la sécurité, des limiteurs de vitesse à bord des camions est le logiciel VISSIM (version 4.3). Le cadre de l'étude comporte cinq étapes :

1. Caractérisation des indicateurs utiles de rendement en matière de sécurité;
2. Étalonnage de VISSIM au sujet des paramètres d'entrée des « estimations optimales »;
3. Validation des résultats de VISSIM pour un échantillon indépendant de données sur la circulation;
4. Établissement d'un lien entre le rendement en matière de sécurité et le risque observé d'accident;
5. Établissement de scénarios de route et de circulation présentant de l'utilité pour simuler les effets des limiteurs de vitesse.

Les données d'observation sur le suivi des véhicules qui ont servi à étalonner et à valider le rendement en matière de sécurité proviennent du programme *Next Generation SIMulation* (NGSIM) administré par la Federal Highway Administration (FHWA, 2007).

## Scénarios touchant le rendement en matière de sécurité

Pour évaluer les répercussions de l'installation de limiteurs de vitesse sur la sécurité, cette étude envisage plusieurs scénarios de circulation et de géométrie routière. Parmi les paramètres relatifs à la géométrie routière dont on a tenu compte, mentionnons : tronçon rectiligne, tronçon avec bretelle de sortie, tronçon avec bretelle d'accès et tronçon confondu avec bretelles d'accès et de sortie.

Les scénarios de circulation dont on a tenu compte dans cette étude sont :

- Forte et faible densité de circulation (2 000 et 500 véhicules par heure et par voie, respectivement);

- Pourcentage élevé (15) et faible (2,5) de camions dans le courant de circulation;
- Taux de conformité approximatifs des limiteurs de vitesse obligatoires (75 %, 100 %);
- Utilisation facultative des limiteurs de vitesse (35 % du parc de camions limité à 105 km/h).

Outre ces scénarios de géométrie et de circulation, plusieurs stratégies de limitation de la vitesse maximale sont envisagées pour les gros camions :

- 110 km/h,
- 105 km/h,
- 100 km/h,
- 90 km/h,
- 80 km/h.

Les deux premières stratégies ont été adoptées pour refléter les récents règlements sur la limitation de la vitesse en Ontario et au Québec. Les stratégies résiduelles de limitation de la vitesse maximale ont permis de comprendre la sensibilité de la sécurité à des seuils de vitesse maximale. Afin de bien comprendre les résultats de la sécurité résultant des limiteurs de vitesse dans un couloir existant, on a appliqué le modèle à l'autoroute QEW en direction de l'est dans la région de Halton sur le tronçon reliant Guelph Line à Burloak Drive.

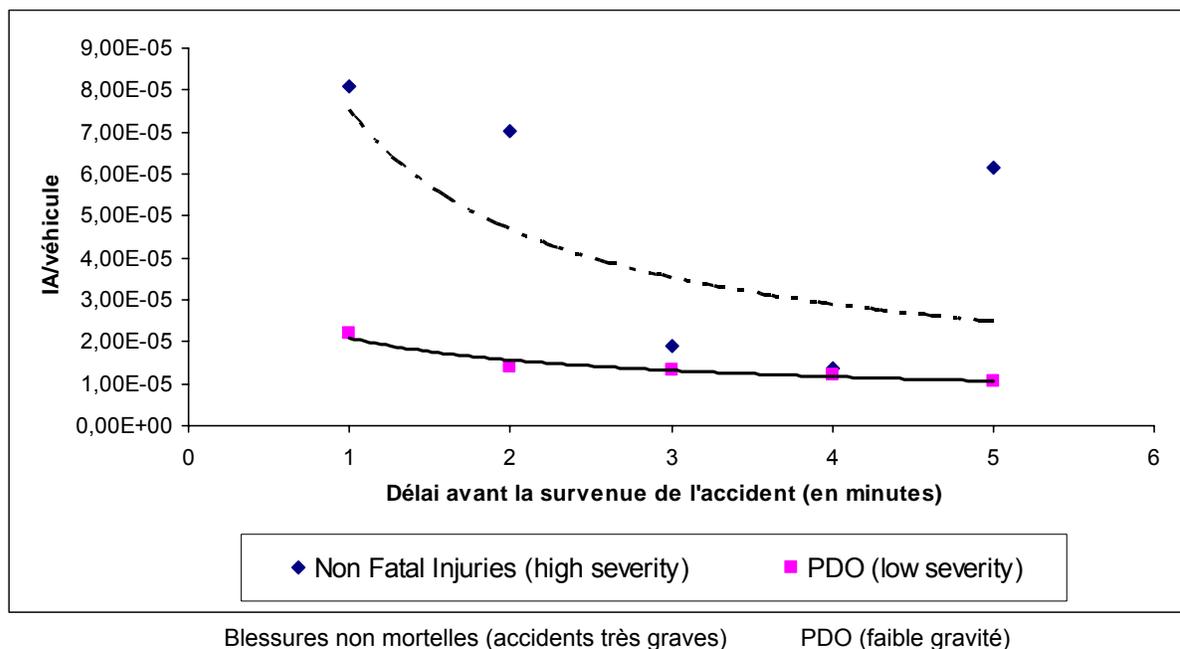
### Établissement d'un lien entre l'IA et la collision observée

Comme l'ont constaté Gettman et Head (2003a), l'idée d'établir un lien entre le rendement en matière de sécurité et les collisions ne tient pas au fait que ces indicateurs peuvent ou non reproduire les accidents effectifs, mais à la question de savoir s'il est possible d'établir une corrélation entre ces indicateurs et les caractéristiques de la circulation qui reflètent des situations dangereuses à un emplacement et à un moment donnés. Cela ne veut pas dire que les substituts doivent permettre de prévoir les accidents avec exactitude, mais plutôt que, pour un courant de circulation donné, ils doivent faire la distinction entre une situation à haut risque (collision) et une situation à faible risque (pas d'accident).

Une procédure adoptée dans le cadre de cette étude compare les mesures simulées de l'IA à la collision observée au sujet d'un échantillon d'accidents extraits d'une période quinquennale (1997-2001) sur un tronçon de l'autoroute QEW muni d'instruments dans la région de Peel. À propos de ces accidents, le système pourvu d'instruments (FTMS) fournit les paramètres de vitesse, de densité et d'occupation par tranches de 20 secondes à différents postes de détection au niveau du sol. L'utilisation des données des détecteurs au niveau du sol FTMS et des registres des accidents permet d'analyser le rendement simulé de sécurité pour le courant de circulation en temps réel au voisinage de l'accident pendant un certain temps précédant chaque accident.

## Résultats des liens entre l'IA et les accidents

Deux mesures de sécurité ont été simulées pour chacun des 20 accidents d'un échantillon extrait des registres FTMS : 1) IA moyen/véh. et 2) IA85 moyen. Ces mesures ont été obtenues par tranches d'une minute pour une durée de 5 minutes avant l'accident. La mesure de l'IA/véh. a été obtenue en additionnant toutes les valeurs individuelles d'IA divisées par le nombre de véhicules dans la simulation. Les résultats sont illustrés au **tableau A** pour deux types d'accident, soit de faible gravité et très grave. L'IA moyen/véh. a été obtenu en faisant la somme de l'IA total de tous les véhicules et accidents et en la divisant par le volume pour tous les accidents. Cette moyenne a été calculée pour 10 simulations indépendantes.



**Tableau A : Indice de sécurité par opposition au délai pour les accidents de faible et de grande gravité dans l'échantillon du QEW 20**

Pour les 20 accidents illustrés au **tableau A**, on a constaté une réduction du rendement de sécurité (augmentation du risque d'accident) à l'approche du moment de la collision. Ce rapport ne semble pas linéaire et il incite à croire que l'IA moyen par véhicule avant l'accident augmente à mesure que l'on approche de l'heure de l'accident. En outre, les rapports illustrés au **tableau A** incitent également à croire qu'il y a une augmentation du profil IA/véh. à mesure que la gravité de l'accident augmente. Cela étaye l'idée que des valeurs plus élevées d'IA/véh. reflètent une augmentation de la gravité d'un accident.

- Résultats généraux de l'application du modèle

Cette étude s'est soldée par un certain nombre de résultats importants :

- L'installation de limiteurs de vitesse réglés à 105 km/h (ce qui correspond aux règlements en vigueur en Ontario et au Québec) augmente la sécurité dans la zone non encombrée du courant de circulation pour toutes les configurations géométriques, en particulier sur le tronçon rectiligne. Lorsqu'on règle la vitesse maximale à 110 km/h, les gains de sécurité résultant de l'installation de limiteurs obligatoires deviennent moins manifestes. Ce résultat vaut pour la zone non encombrée du courant de circulation. On a obtenu les plus grands gains de sécurité lorsque la vitesse maximale était réglée à 90 km/h dans un débit de circulation fluide.
- Si l'on augmente la densité et le pourcentage de camions, les gains de sécurité résultant des limiteurs obligatoires réglés sur 105 km/h deviennent moins marqués.
- Lorsque la densité est réglée proche de la capacité maximale (2 000 véhicules par heure et par voie), on constate un plus grand nombre d'interactions entre les véhicules, ce qui réduit la sécurité, en particulier sur les tronçons où il y a un regain d'activités de convergence et de changement de voie, comme sur les tronçons avec bretelles d'accès et de sortie. Dans ces cas, l'installation de limiteurs de vitesse à bord des camions peut effectivement réduire le niveau de sécurité si on le compare au scénario sans limiteurs.
- À mesure que le taux de conformité augmente, on constate une faible hausse correspondante de la sécurité dans le cas des limiteurs de vitesse obligatoires. Il faut également signaler qu'à mesure que la densité et le pourcentage de camions augmentent, les gains de sécurité qui se rattachent à un taux de conformité intégral sont neutralisés par les perturbations accrues de la circulation causées par l'augmentation de la densité et du pourcentage de camions.

L'étude de cas sur l'autoroute QEW confirme les résultats de l'analyse de sensibilité quant aux différents scénarios de circulation et stratégies de limitation de la vitesse. L'installation de limiteurs de vitesse réglés sur 105 km/h aboutit à des gains de sécurité statistiquement significatifs le long du couloir étudié par rapport au cas de référence (sans limiteurs obligatoires). On a procédé au total à 30 simulations, avec un gain moyen de 16 % en matière de sécurité (IA/véh.). Dans 21 cas, on a observé des gains de sécurité positifs. Les différences dans l'IA/véh. entre le cas de référence et le cas du limiteur obligatoire a donné des valeurs positives significatives qui incitent à penser que, dans le couloir, les limiteurs se sont soldés par des gains de sécurité.

On a procédé à une étude parallèle des répercussions, au chapitre de la sécurité, des limiteurs utilisés sur les routes rurales à deux voies, en s'inspirant d'un examen d'études préalables complété par une analyse des courbes de vitesse des gros camions de l'Alberta et de la Saskatchewan et d'un examen des politiques sur la limitation de vitesse à travers le Canada. Les résultats révèlent que les limites de vitesse sur les routes rurales à deux voies sans terre-plein central sont généralement de l'ordre de 80 à 90 km/h. Toutefois, les routes rurales à deux voies sans terre-plein central peuvent afficher des limites de vitesse de 100 km/h. Sur les routes où des vitesses plus élevées sont affichées, les données révèlent qu'environ 40 % des camions roulent à des vitesses supérieures à 105 km/h.

L'installation obligatoire de limiteurs de vitesse pour les routes rurales à deux voies risque d'aboutir à une augmentation des dépassements dans la voie de circulation en sens inverse. La possibilité d'une augmentation des dépassements dangereux présente des défis particuliers en matière de sécurité là où les camions sont assujettis à une vitesse maximale réglée par des limiteurs pour des routes rurales à deux voies sans terre-plein central. Il faudra procéder à une étude approfondie de cette situation avant de pouvoir tirer une conclusion plus certaine au sujet des répercussions, au chapitre de la sécurité, des limiteurs de vitesse à bord des camions sur ce type de route.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>Résumé.....</b>	<b>i</b>
<b>1. Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1 L'énergie et l'environnement : deux facteurs à l'origine des limiteurs de vitesse des camions.....	2
1.2 Répercussions sur la sécurité.....	3
1.3 Buts et objectifs.....	4
<b>2. Examen d'études préalables sur la limitation de vitesse.....</b>	<b>6</b>
2.1 Études sur la limitation de vitesse non discriminatoire.....	6
2.1.1 Almqvist, Hyden et Risser (1991).....	7
2.1.2 Comte (1996).....	7
2.1.3 Loon et Duynstee (2001).....	8
2.1.4 Makinen et Varhelyi (2001).....	8
2.1.5 Liu et Tate (2004).....	9
2.1.6 Toledo, Albert et Hakkert (2007).....	10
2.2 Études sur les limites de vitesse discriminatoires.....	11
2.2.1 Baum, Esterlitz, Zador et Penny (1991).....	12
2.2.2 Harkey et Mera (1994).....	12
2.2.3 Johnson et Pawar (2005).....	13
2.2.4 Johnson et Pawar (2007).....	13
2.3 Résultats d'études empiriques.....	14
2.4 Simulation du rapport entre la vitesse et la sécurité.....	15
<b>3. Cadre modèle et caractérisation des intrants.....</b>	<b>17</b>
3.1 Plates-formes de simulation de la circulation.....	17
3.2 Simulation à l'aide de VISSIM.....	18
3.3 Mesures du rendement en matière de sécurité.....	21
3.4 Étalonnage et validation de VISSIM.....	22
3.4.1 Données sur le suivi des véhicules du NGSIM.....	23
3.4.2 Étalonnage/validation heuristique des paramètres de VISSIM.....	24
3.5 Établissement d'un lien entre l'IA et les accidents observés.....	39
3.5.1 Procédure adoptée.....	40
3.5.2 Base de données sur les accidents et l'écoulement de la circulation.....	42
3.5.3 Codage du réseau et simulation.....	44
3.5.4 Établissement d'un lien entre l'IA/véh. et le délai qui s'écoule avant l'accident.....	48
<b>4. Répercussions de certains scénarios de circulation sur la sécurité.....</b>	<b>54</b>
<b>5. Application à l'étude de cas : tronçon de l'autoroute QEW dans la région de Halton.....</b>	<b>68</b>
<b>6. Analyse de sensibilité des vitesses sur les routes rurales à deux voies sans terre- plein central.....</b>	<b>74</b>
<b>7. Conclusions.....</b>	<b>77</b>
<b>8. Bibliographie.....</b>	<b>80</b>

## Annexe

### A. Lois provinciales et territoriales sur les limitations de vitesse

#### Tableaux

Tableau 1 – Paramètres d’entrée du modèle .....	25
Tableau 2 – Tableau d’analyse de variance – Plackett-Burman avec repli (tronçon avec bretelles de sortie) .....	28
Tableau 3 – Tableau d’analyse de variance – Plackett-Burman avec repli (tronçon avec bretelles d’accès/sortie confondues) .....	29
Tableau 4 – Tableau d’analyse de variance – Plan factoriel fractionné $2^{10-3}$ (tronçon avec bretelles de sortie) .....	30
Tableau 5 – Tableau d’analyse de variance – Plan factoriel fractionné de $2^{10-3}$ (tronçon entier) .....	33
Tableau 6 – Meilleures estimations de l’algorithme génétique des paramètres de VISSIM (tronçon avec bretelles de sortie) .....	37
Tableau 7 – Meilleures estimations de l’algorithme génétique des paramètres de VISSIM (tronçon avec bretelles confondues) .....	38
Tableau 8 – Courbes de volume/vitesse observées et simulées .....	45
Tableau 9 – Distribution normale tronquée du MADR – Chaussée sèche .....	49
Tableau 10 – IA/véh. et IA85 simulés pour l’échantillon d’accidents survenus sur le QEW	51
Tableau 11 – Résumé de l’analyse factorielle .....	55
Tableau 12 – Analyse de variance pour la stratégie à 105 km/h .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 13 – Analyse de variance pour la stratégie à 110 km/h .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tableau 14 – données d’entrée pour l’application à l’étude de cas .....	68
Tableau 15 – Valeurs de l’IA/véhicule pour le scénario sans limiteur de vitesse obligatoire .....	69
Tableau 16 – Valeurs de l’IA/véhicule pour le scénario avec limiteur de vitesse obligatoire .....	70
Tableau 17 – Résumé des vitesses des poids lourds sur les routes rurales à deux voies où la vitesse est limitée à 100 km/h .....	75
Tableau 18 – Limites de vitesse types dans les provinces et les territoires sur les routes rurales à deux voies .....	76

#### Figures

Figure 1 – Limiteur de vitesse électronique type (Woodward Governor Company, 2007) .....	2
Figure 2 – Impact des limiteurs de vitesse des camions sur le cadre de recherche sur la sécurité .....	19

---

Figure 3 – Tronçon d'étude de la trajectoire des véhicules – Route 101 des États-Unis .....	24
Figure 4 – Cadre de validation des mesures de l'IA d'après les données observées sur les accidents.....	41
Figure 5 – Site étudié le long du QEW (source : Site Web Compass, 2003) .....	43
Figure 6 – Courbe de vitesse de l'accident 405 .....	44
Figure 7 – Indice de sécurité par opposition au délai qui s'écoule pour les accidents peu graves et très graves dans l'échantillon de 20 accidents survenus sur le QEW .....	50
Figure 8 – Géométrie du tronçon avec bretelle de sortie et configuration des voies.....	55
Figure 9 – Géométrie du tronçon rectiligne et configuration des voies.....	55
Figure 10 – Géométrie du tronçon avec bretelle d'accès et configuration des voies .....	55
Figure 11 – Parcelle résiduelle du modèle d'ajustement (stratégie à 105 km/h) .....	60
Figure 12 – Estimations de l'IA/véhicule en fonction de la densité (tronçons avec bretelles de sortie).....	62
Figure 13 – Estimations de l'IA/véhicule en fonction du pourcentage de camions (tronçons avec bretelles de sortie).....	63
Figure 14 – IA/véhicule en vertu de différentes stratégies de limiteurs de vitesse.....	64
Figure 15 – Estimations de l'IA/véhicule en fonction de la densité (tronçons avec bretelles d'accès).....	66
Figure 16 – Estimations de l'IA/véhicule en fonction de la densité (tronçons rectilignes)....	67
Figure 17 – Couloir de l'étude de cas sur l'autoroute QEW en direction de l'est (cartes Google, 2007) .....	68
Figure 18 – Comparaison entre le limiteur de vitesse obligatoire et le limiteur de vitesse optionnel .....	72

## INTRODUCTION

En Amérique du Nord, un certain nombre d'autorités (nationales, États et provinces) songent actuellement à imposer l'installation de limiteurs de vitesse obligatoires afin de réduire les dépenses d'énergie et les risques d'accident. Un limiteur de vitesse, qu'on appelle également un régulateur, est une micropuce intégrée qui limite le régime maximum d'un moteur, ce qui limite la vitesse maximale à laquelle peut rouler le véhicule. La **Figure 1** illustre un limiteur de vitesse électronique type distribué par Woodward Governor Company.

Toledo *et al.* (2007) font observer que les limiteurs de vitesse peuvent être classés en fonction d'un certain nombre de caractéristiques de fonctionnement comme les systèmes-conseils ou actifs, les vitesses préétablies ou dynamiques fixées par limiteur et des systèmes continus ou volontaires. Les conducteurs reçoivent des avertissements sonores et visuels lorsqu'ils dépassent la limite de vitesse en vertu des systèmes-conseils, alors qu'un système actif limite la vitesse d'un véhicule en exerçant une force antagoniste sur l'accélérateur ou en agissant sur le système d'injection d'essence du moteur. Les limiteurs de vitesse préétablis ont tout simplement une vitesse maximale prédéterminée programmée dans l'appareil, alors que les systèmes dynamiques utilisent des données en temps réel pour calculer la vitesse maximale en fonction de la limitation de vitesse affichée sur une route en particulier. Les systèmes dynamiques ou adapteurs de vitesse intelligents (AVI) exigent des communications entre les véhicules et des balises le long de la route ou un GPS pour obtenir des données en temps réel, ce qui coûte cher à installer. Les limiteurs de vitesse peuvent être conçus de manière à être allumés en permanence ou à permettre au conducteur de déterminer quand le système doit être allumé ou éteint.

Les camions construits depuis 10 ans utilisent ce type de technologie. Une récente étude réalisée par l'Université du Nebraska (McDonald et Brewster, 2008) fait observer que 50 % des grands transporteurs et 25 % des transporteurs plus petits activent déjà leurs limiteurs à titre volontaire. Néanmoins, le type de législation envisagé dans ce rapport incite à penser que tous les camions doivent être dotés de ce type de dispositif et être assujettis à une vitesse maximale fixée par règlement.

L'Ontario a présenté le projet de loi 41, *Loi modifiant le Code de la route* (Systèmes limiteurs de vitesse) le 19 mars 2008 afin d'imposer l'installation de limiteurs de vitesse à bord des véhicules utilitaires (Assemblée législative de l'Ontario, 2008). Le « projet de loi 41 », loi modifiant le Code de la route de l'Ontario, habilite le lieutenant-gouverneur en conseil à imposer une vitesse de conduite maximale de 105 km/h grâce aux limiteurs de vitesse obligatoires à bord des poids lourds. Cette vitesse maximale obligatoire offre une marge de 5 km/h ou moins à l'égard de la vitesse maximale imposée pour permettre aux camions de dépasser les véhicules plus lents (en évitant les « courses d'éléphants », c'est-à-dire les longs moments où les camions circulent côte à côte) et d'effectuer d'autres manœuvres de précaution s'il y a lieu. Une législation sur les limiteurs de vitesse des camions adoptée dans la province de Québec oblige les conducteurs de véhicules déjà équipés de ces dispositifs à les activer. La législation du Québec fixe également la vitesse maximale autorisée des camions à 105 km/h.

Une législation analogue sur les limiteurs de vitesse a également été adoptée dans un certain nombre de pays européens et en Australie (Nouvelle-Galles du Sud).



**Figure 1 – Limiteur de vitesse électronique type (Woodward Governor Company, 2007)**

### L'énergie et l'environnement : deux facteurs à l'origine des limiteurs de vitesse des camions

L'objectif primordial des limiteurs de vitesse obligatoires à bord des camions est de réduire les coûts de carburant des camions et les émissions des véhicules. Le gouvernement du Canada reconnaît que la réduction des émissions de gaz à effet de serre est un des principaux motifs derrière l'imposition des limiteurs de vitesse des camions à l'échelle nationale et, dans le cadre de ces objectifs environnementaux globaux, les limiteurs de vitesse obligatoires permettront au Canada de s'acquitter des engagements pris en vertu du Protocole de Kyoto (Nations Unies, 1998).

En Ontario, la limitation obligatoire de la vitesse des camions à 105 km/h devrait permettre d'économiser jusqu'à 10 000 litres de carburant par camion et par an ou de réduire de plus de 50 millions de litres la consommation de carburant diesel de tous les camions circulant dans la province. Aux prix actuels du carburant diesel, cela équivaut à des économies annuelles d'environ 8 400 \$ par camion ou à une baisse annuelle totale de 140 000 tonnes d'émissions de gaz à effet de serre. Les bienfaits des limiteurs de vitesse sur le plan de l'environnement et de l'énergie aident à mieux comprendre la raison pour laquelle le Conseil canadien de la sécurité et l'Association pulmonaire du Canada sont parmi les partisans les plus convaincus de cette initiative.

## Répercussions sur la sécurité

En sa qualité de principale représentante des grandes entreprises de camionnage, l'Alliance canadienne du camionnage (ACC) milite en faveur de l'adoption de limiteurs de vitesse à bord des camions en faisant valoir que ces dispositifs rendront la conduite plus sûre. L'ACC fait observer que si les vitesses maximales des camions sont fixées légèrement au-dessus de la vitesse maximale autorisée (comme le suggèrent les textes législatifs de l'Ontario et du Québec), les limiteurs entraîneront une baisse des talonnages et des changements de voie intempestifs. On s'attend également à ce que cela offre une « marge » qui permettra aux camions de dépasser les véhicules roulant plus lentement, entraîne une diminution des files de camions roulant plus lentement dans le courant de circulation, une baisse du stress des routiers, qui se croient obligés de rouler plus vite pour livrer leurs marchandises à temps, et une réduction de l'usure des pneus et des freins.

Comme on a pu le lire dans un récent communiqué de presse du ministère des Transports, la position de l'Ontario est la suivante (Ontario, 2007) :

« La réglementation de l'utilisation de limiteurs de vitesse sur les poids lourds contribuera à prévenir les collisions graves. Le ralentissement des poids lourds sur les routes provinciales et l'observation d'une vitesse sans danger par la circulation auront pour effet de rendre les routes de l'Ontario plus sûres pour tout le monde. »

Le président de l'Ontario Trucking Association, David Bradley, a déclaré que l'imposition de limiteurs de vitesse à bord des camions (Ontario, 2007) :

« [...] est un grand pas en avant pour la sécurité routière et pour l'environnement. Même si les routiers sont dans l'ensemble moins enclins à rouler à une vitesse excessive, l'activation des limiteurs de vitesse est un moyen qui permet de pratiquement éliminer les excès de vitesse tout en améliorant en même temps le respect des voies de circulation. L'imposition des limiteurs de vitesse s'inspirera de la législation adoptée ce printemps, qui cible la conduite dangereuse et imprudente par de grosses amendes infligées à ceux qui sont reconnus coupables de conduite en état d'ivresse et de faire de la course automobile dans les rues. »

Tout le monde ne partage cependant pas l'avis que les limiteurs de vitesse rehausseront la sécurité pour les camions et les voyageurs en général, ce qui risque d'être la question la plus litigieuse se rattachant à cette initiative.

Un certain nombre de groupes industriels, en particulier l'Owner-Operator's Business Association in Canada (OBAC, 2006), qui représente les entreprises de camionnage exploitées par des propriétaires-exploitants, a déclaré que les limiteurs de vitesse obligatoires risquent de ne pas faciliter la tâche aux camions qui cherchent à s'intégrer au courant de circulation, à dépasser ou à rouler à la même vitesse que les véhicules roulant plus vite, en

particulier dans les administrations où les limitations de vitesse générales sur les routes sont plus élevées. Barry Prentice, directeur de l'Institut des transports de l'Université du Manitoba, avertit que le fait de limiter la vitesse des camions risque de se solder par (Prentice, 2007) :

« [...] une multiplication des accidents à mesure que d'autres conducteurs cherchent à dépasser les véhicules roulant plus lentement (camions). »

Manifestement, il y a beaucoup de controverse qui entoure les répercussions des limiteurs de vitesse sur la sécurité, surtout s'ils sont rendus obligatoires uniquement pour les poids lourds. Ce projet de recherche cherche à offrir une base scientifique pour éclairer les politiques publiques au sujet de ces répercussions sur la sécurité et à réduire une bonne part de l'incertitude et de la controverse se rattachant à l'initiative en question.

## Buts et objectifs

Le but fondamental de cette étude est d'évaluer les répercussions, au chapitre de la sécurité, de l'installation obligatoire de limiteurs de vitesse à bord des poids lourds (d'une masse supérieure à 11 794 kg), selon différentes vitesses maximales spécifiées, notamment la vitesse de 105 km/h préconisée dans les récentes législations de l'Ontario et du Québec. Le terme « sécurité » dans ce rapport englobe à la fois la fréquence prévue des accidents et leur gravité, lorsque des poids lourds sont impliqués dans des accidents sur différents types de routes et selon différentes conditions de circulation.

En tant que fondement permettant de mesurer le rendement en matière de sécurité et d'évaluer les répercussions des limiteurs de vitesse à bord des camions, cette étude élabore un modèle de microsimulation de la circulation qui donne des estimations précises « en temps réel » du rendement de sécurité (ou de l'accidentalité) en plus de permettre de mieux comprendre les conséquences sur le rendement en matière de sécurité de différentes stratégies de limitation de la vitesse et de conditions routières et de circulation.

Les recherches dont il est question dans ce rapport visent six objectifs précis :

1. Procéder à un examen approfondi de la documentation pour déterminer et décrire l'expérience actuelle des limiteurs de vitesse dans différents pays (comme l'Australie, l'Europe et l'Amérique du Nord);
2. Établir un cadre modèle afin d'étudier les répercussions, au chapitre de la sécurité, des limiteurs de vitesse des camions pour différents scénarios de route et de circulation, et intégrer ce cadre dans une plate-forme de microsimulation de la circulation vendue dans le commerce. La plate-forme adoptée pour cette recherche est le logiciel VISSIM, qui est un algorithme de microsimulation de la circulation distribuée par PTV America;

3. Étalonner et valider le modèle de simulation de la circulation VISSIM en utilisant des mesures du rendement de sécurité pour des scénarios représentatifs des routes et de la circulation fondés sur les données observées sur le suivi des véhicules (provenant de l'étude de la circulation NGSIM administrée par la Federal Highway Administration (FHWA));
4. Examiner différentes « mesures de rendement de sécurité » de substitution et les lier aux changements qui surviennent dans l'accidentalité, selon des échantillons d'accidents extraits de tronçons routiers munis d'instruments, et évaluer leur capacité à faire la distinction entre les scénarios sans danger et dangereux;
5. Appliquer le modèle à différentes géométries routières et scénarios de circulation pour étudier l'impact d'autres stratégies de limitation de la vitesse sur le rendement en matière de sécurité;
6. Sélectionner un couloir routier représentatif pour une étude de cas afin d'appliquer les modèles de simulation et d'évaluer d'autres stratégies de limitation de la vitesse par rapport à celles qui sont appliquées à ce couloir.

Les résultats de cette étude devraient permettre de mieux comprendre les situations dans lesquelles les limiteurs de vitesse des camions peuvent être déployés avec le maximum de résultats et où la vitesse maximale recommandée doit s'appliquer.

## EXAMEN D'ÉTUDES PRÉALABLES SUR LA LIMITATION DE VITESSE

Selon le rapport du Transportation Research Board intitulé *Managing Speeds*, la sécurité est la principale raison pour laquelle on cherche à réglementer les vitesses de la circulation. Plusieurs études ont révélé que la vitesse a un rapport direct avec la gravité des blessures résultant de collisions de véhicule. Il y a une hausse des risques de blessures graves qui correspond à une augmentation des vitesses à l'impact. Cette hausse prévue des blessures graves n'a rien d'étonnant puisque l'énergie cinétique qui se dissipe dans les accidents est proportionnelle à la masse des véhicules impliqués et au carré de leur écart de vitesse.

Une étude consacrée à l'impact des vitesses de circulation sur les routes provinciales de la Saskatchewan a révélé que les victimes diminueront d'environ 7 % pour chaque baisse de 1 km/h (0,62 mi/h) de la vitesse moyenne de circulation de tous les véhicules (Liu et Popoff, 1997). En Australie, Sliogeris (1992) a constaté une augmentation de 24 % des accidents faisant des victimes et des blessés lorsque l'État de Victoria a augmenté les limitations de vitesse maximale de 100 à 110 km/h le 1<sup>er</sup> juin 1987. Par ailleurs, les accidents faisant des victimes et des blessés ont diminué de 19 % lorsque, deux années plus tard, cet État a à nouveau imposé la limite inférieure de 100 km/h. Peltola (2000) a constaté une baisse de 14 % des accidents lorsque la Finlande a décrété une série de réductions saisonnières de la vitesse maximale entre 1987 et 1996, alors que les vitesses ont été réduites sur les autoroutes de 100 à 80 km/h. Aarts et Van Shagen (2006) ont déclaré que, même si des études récentes et plus anciennes démontrent que le fait de rouler plus vite que le reste de la circulation multiplie les risques d'accident, les preuves disponibles ne sont pas concluantes en ce qui concerne le fait de conduire plus lentement que la vitesse moyenne.

Le rapport *Managing Speeds* du Transportation Research Board donne un résumé d'autres études statistiques qui établissent un lien entre la diminution de la limite de vitesse maximale et la diminution des accidents sur différents types de routes. Garber et Gadiraju (1988) et Knowles *et al.* (1997) ont également étudié l'impact de la vitesse sur la sécurité routière et constaté que le fait de réduire la vitesse de conduite moyenne des véhicules a pour effet de réduire les risques de blessures graves résultant d'accidents de la route.

### Études sur la limitation de vitesse non discriminatoire

Les recherches préalables consacrées aux répercussions des limiteurs de vitesse sur la sécurité proviennent essentiellement d'études européennes consacrées à la limitation de la vitesse de tous les types de véhicules (Toledo *et al.*, 2007; Liu et Tate, 2004; Comte, 1996). Ces études reposent sur des modèles et ne ciblent pas en particulier les poids lourds. Quelques essais sur le terrain ont eu lieu en Europe au sujet des voitures particulières et révèlent des améliorations au niveau de la sécurité (Várhelyi et Mäkinen, 2001; Almqvist *et al.*, 1991). Cela vaut particulièrement pour la gravité des accidents. Lorsque des poids lourds sont pris dans des accidents impliquant des véhicules multiples, on s'attend à ce que

les répercussions sur la sécurité soient beaucoup plus significatives, étant donné qu'une plus grande énergie cinétique est dissipée dans les accidents impliquant des poids lourds. Toutefois, au chapitre de la fréquence des accidents, cela peut avoir des effets néfastes sur la sécurité, en particulier lorsque toutes les catégories de véhicules ne sont pas ciblées. Cet effet néfaste est attribuable en partie à une perturbation accrue du courant de circulation.

### **Almqvist, Hyden et Risser (1991)**

Almqvist *et al.* (1991) ont proposé l'imposition de limiteurs de vitesse obligatoires afin d'améliorer le respect de la réglementation de la vitesse dans les agglomérations où la vitesse autorisée varie entre 30 et 70 km/h. Le système envisagé comporte un capteur au niveau du sol capable d'émettre des impulsions au moindre écart par rapport à la limite de vitesse existante. Les véhicules seront équipés de récepteurs qui pourront lire ces impulsions et qui limiteront automatiquement la vitesse de ces véhicules à celle autorisée.

Le cadre envisagé repose sur la compréhension théorique que l'on a des limiteurs de vitesse et sur les auto-observations résultant d'études limitées sur le terrain. Les études sur le terrain ont porté sur une voiture équipée d'un limiteur de vitesse conduite par des membres du personnel du ministère de la Circulation et du Génie à Lund, en Suède. Leurs observations au sujet des situations inhabituelles enregistrées sur un microphone intégré ont servi à construire le cadre proposé.

Les auteurs sont d'avis que les limiteurs de vitesse obligatoires en général sont nécessaires pour obtenir des gains de sécurité et ils s'attendent à ce que les limiteurs aboutissent à une conduite plus en douceur (avec des accélérations et des décélérations moins accentuées). Ils insistent également sur le niveau d'acceptation par les automobilistes et leur attitude à l'égard des limiteurs de vitesse.

### **Comte (1996)**

Comte (1996) a évalué les effets des limiteurs de vitesse sur la conduite des automobilistes dans les zones urbaines (où la vitesse maximale est de 30 mi/h ou de 50 km/h), en utilisant le simulateur de conduite évoluée de l'Université de Leeds qui permet d'observer le comportement des automobilistes sans leur faire courir de risques personnels. Parmi les mesures de sécurité utilisées dans le cadre de cette expérience, il y a le comportement de l'automobiliste qui en suit un autre, l'acceptation de l'espacement et les infractions aux feux de circulation. La charge de travail mental subjective des automobilistes a cause de l'utilisation de limiteurs de vitesse a également été enregistrée à l'aide du RTLX de la NASA (mesure standard de la charge de travail mental).

Le limiteur de vitesse utilisé dans cette étude limite en permanence la vitesse maximale du véhicule à 30 mi tandis qu'un limiteur de vitesse secondaire est activé aux carrefours où la vitesse maximale est limitée à 25 mi/h. Selon l'auteur, l'application réelle nécessiterait sans doute l'installation d'un émetteur au niveau du sol à chaque changement de la limite de vitesse. Cet émetteur et le récepteur à bord du véhicule équipé d'un limiteur de vitesse communiquent entre eux et la vitesse maximale du véhicule est plafonnée à la limite de

vitesse. Trois scénarios ont été envisagés dans l'étude : des véhicules sans limiteur de vitesse, la moitié des véhicules équipés d'un limiteur de vitesse et tous les véhicules équipés d'un limiteur de vitesse. Les contrôles de vitesse dans cette étude ciblaient les voitures.

Parmi les bienfaits constatés pour la sécurité dans le cadre de cette étude, mentionnons des vitesses inférieures, des espacements plus longs entre véhicules et une baisse des infractions aux feux de circulation. Toutefois, on a constaté que les automobilistes affichaient des comportements plus risqués d'acceptation des espacements et de freinage différé pour neutraliser la baisse des durées de parcours. Selon les rapports remplis par les automobilistes, il semble qu'il y ait une amélioration de la conduite moyennant un moindre effort physique attribuable à la limitation des vitesses maximales, malgré une augmentation du niveau de contrariété et des pressions de temps.

Comte (1996) affirme par ailleurs que les résultats ne s'appliquent qu'aux effets à court terme et que d'autres recherches sont nécessaires pour déterminer les effets d'adaptation à long terme des limiteurs de vitesse.

### **Loon et Duynstee (2001)**

Loon et Duynstee (2001) ont rendu compte des conclusions d'une évaluation d'un an des limiteurs de vitesse à bord de 20 voitures et d'un autobus municipal. Un limiteur de vitesse continu et dynamique (vitesses réglées à 30, 50 ou 80 km/h) a été utilisé dans l'étude réalisée aux Pays-Bas dans la ville de Tilburg. Un GPS différentiel a été utilisé dans la zone de vitesse où circulait le véhicule qui en était équipé.

L'objectif primordial de l'étude n'était pas l'écoulement de la circulation ou la sécurité, mais plutôt l'évaluation des comportements de conduite, de l'ergonomie des utilisateurs, de l'acceptation des utilisateurs et du soutien du public. Toutefois, les auteurs affirment que le respect des limites de vitesse actuelles aux Pays-Bas aboutira à une baisse de 21 % (source non vérifiée) du nombre de victimes de la route.

On a constaté que les limiteurs de vitesse ont un effet favorable sur les comportements de conduite et habitudes de vitesse, mais l'interaction entre les véhicules équipés et ceux qui ne le sont pas peut aboutir à des manœuvres indésirables (comme un dépassement et un talonnage) de la part des véhicules qui n'en sont pas équipés. Les auteurs affirment que l'implantation généralisée des limiteurs de vitesse aura des répercussions positives sur la sécurité (et une interaction moins indésirable avec la circulation).

### **Makinen et Varhelyi (2001)**

Makinen et Varhelyi (2001) ont rendu compte des conclusions d'un essai sur le terrain de l'utilisation de limiteurs de vitesse à bord des véhicules aux Pays-Bas, en Espagne et en Suède. L'étude a porté sur la plupart des catégories de limites de vitesse en Europe qui oscillent entre 30 et 120 km/h. On a recouru à un limiteur de vitesse actif sur l'accélérateur qui exerce une force antagoniste chaque fois qu'un conducteur cherche à dépasser la limite

de vitesse. La résistance opposée par l'accélérateur suffit à rappeler aux automobilistes la limite de vitesse et la force supplémentaire qu'il faut pour accélérer est un facteur dissuasif de rouler plus vite.

Des essais ont eu lieu sur des rues urbaines, des routes rurales et des autoroutes avec un amalgame de conducteurs de sexe féminin et masculin âgés de 25 à 55 ans. On a utilisé une voiture munie d'appareils dans ces essais moyennant un recodage dissimulé des données à l'aide d'une vidéocaméra et de plusieurs transducteurs.

Les essais sur le terrain ont révélé que le limiteur de vitesse avait un effet appréciable sur la diminution de la vitesse sur les routes où la limite de vitesse variait entre 30 et 70 km/h. Aucun changement significatif n'a été observé sur les routes où la vitesse était limitée à 80 ou 90 km/h et sur les autoroutes (ce qui est sans doute attribuable à la forte densité de circulation ou à une vitesse inférieure à la limite de vitesse en vigueur).

Parmi les autres constats positifs de cette étude, il faut mentionner d'importantes réductions de la vitesse dans des conditions de conduite sans entraves, un effet moindre lorsque la circulation était dense, une diminution des écarts de vitesse et une plus grande acceptation après avoir conduit avec le limiteur à bord. On a également constaté une augmentation des intervalles de temps (plus grande distance entre véhicules) dans la plage de vitesses de 30 à 50 km/h. Toutefois, sur les routes rurales, on a observé de moindres distances (espacement moins sécuritaire entre véhicules), en particulier sur les chemins où la vitesse variait entre 70 et 90 km/h.

Les résultats négatifs de l'étude sont une augmentation des temps de trajet, du niveau de contrariété et de stress et une baisse du niveau de patience. Les résultats de cette étude doivent être interprétés comme des effets à court terme car il faudra plus de données sur la conduite en région rurale où l'on enregistre les vitesses les plus élevées. L'étude préconisait également d'autres recherches sur l'effet à long terme et l'installation des limiteurs de vitesse sur un plus grand nombre de véhicules.

### **Liu et Tate (2004)**

Liu et Tate (2004) ont utilisé un modèle de simulation de la circulation pour évaluer l'incidence possible sur l'écoulement de la circulation dans deux réseaux urbains en temps réel de systèmes dynamiques ou adaptateurs de vitesse intelligents (AVI). Ils ont utilisé l'outil de microsimulation *Dynamic Route Assignment Combining User Learning and microsimulAtion* (DRACULA) conçu par l'Université de Leeds pour évaluer l'incidence sur l'écoulement de la circulation de l'installation de systèmes AVI. Ils ont modélisé un système obligatoire variable permettant de faire varier les limites de vitesse selon l'emplacement (en fonction de la géométrie routière), mais où ces limites sont fixes pendant la durée de l'étude.

La circulation dans diverses conditions d'encombrement a été stimulée et ils ont testé diverses densités de véhicules équipés du système AVI. L'étude a révélé que les systèmes AVI sont plus efficaces lorsqu'il y a moins d'encombres et ils ont observé une baisse de

l'écart de vitesse résultant des vitesses contrôlées aux limites supérieures. Les durées de parcours moyennes dans le réseau n'ont pas été affectées et l'on n'a pas observé la formation de files supplémentaires à circulation lente (<10 km/h) après l'implantation des systèmes AVI.

### **Toledo, Albert et Hakkert (2007)**

Toledo *et al.* (2007) ont utilisé un modèle de microsimulation de la circulation (MITSIMLab) pour évaluer l'effet en puissance de l'installation généralisée de limiteurs de vitesse à bord de véhicules (10 % de tous les véhicules) (avec des vitesses maximales préétablies de 100 km/h et 120 km/h et la désactivation des limiteurs de vitesse) sur les caractéristiques de l'écoulement de la circulation autoroutière et la sécurité.

Le modèle de simulation utilisait une distribution des vitesses recherchée pour saisir l'incidence des limiteurs de vitesse sur le comportement des automobilistes. On a présumé que la distribution des vitesses recherchée était normale avec des paramètres liés à la vitesse autorisée. La moyenne de la distribution des vitesses recherchée a été fixée à une vitesse 10 % plus élevée que la vitesse autorisée avec un écart type de 15 % de la limite de vitesse autorisée. Différentes distributions des vitesses recherchées et niveaux d'encombrement ont été évalués dans le cadre de cette étude; vitesses autorisées (vitesses moyennes recherchées) de 100 (110), 110 (121), 120 (132) et 130 km/h (143 km/h) à des taux d'embouteillage de 20, 40, 60, 80 et 100 % de la demande en période de pointe. La demande en période de pointe atteint son maximum; c'est pourquoi un niveau d'embouteillage de 100 % représente le scénario de la pire éventualité pour les encombrements de la circulation. Le modèle suédois, qui établit un lien entre la fluctuation des vitesses moyennes et les accidents, a servi à évaluer l'impact sur la sécurité de l'installation de limiteurs de vitesse sur au moins 10 % du parc total de véhicules.

L'étude a démontré que les limiteurs de vitesse réduisent les vitesses moyennes de circulation dans tous les cas, sauf lorsque la demande atteint son maximum, et que les réductions de vitesse sont moins marquées lorsque le limiteur de vitesse est plus contraignant (c.-à-d. lorsque les automobilistes ont plus d'occasions de dépasser la vitesse limite, par exemple aux limites de vitesse autorisées de 120 km/h et 130 km/h, on a observé une diminution de plus de 10 km/h de la vitesse moyenne avec des limiteurs de vitesse réglés sur 100 km/h). Les plus fortes réductions des vitesses de circulation ont été enregistrées à une capacité de 40 à 60 % et non pas au niveau le plus bas des encombrements. Les auteurs ont attribué ce phénomène à une augmentation des interactions entre les véhicules, aux niveaux d'encombrement de 40 à 60 %, ce qui explique que les véhicules équipés d'un limiteur de vitesse exercent un effet plus marqué sur la vitesse des véhicules qui n'en sont pas équipés.

La plus forte variabilité de la vitesse (exprimée comme écart type) a été observée au maximum de la demande alors que la variabilité de la vitesse était nettement inférieure lorsque la circulation s'écoulait librement. L'utilisation de limiteurs de vitesse a généralement entraîné une diminution de la variabilité de la vitesse dans les encombrements

moyens à élevés (60 à 100 %), la plus forte baisse de la variabilité de la vitesse étant enregistrée lorsque les limiteurs de vitesse sont réglés sur 100 km/h plutôt que sur 120 km/h.

On a également observé que le nombre de changements de voie diminue lorsque les limites de vitesse autorisées sont plus élevées. Les auteurs attribuent cela à l'espacement plus élevé qu'il faut pour changer de voie à vitesses plus élevées, d'où la diminution du nombre de changements de voie. Aux plus bas niveaux d'encombrements (20 à 40 %), le nombre de changements de voie atteint son minimum étant donné que le besoin de changer de voie est minime. L'augmentation des encombrements se solde par des interactions plus nombreuses car les automobilistes qui roulent plus vite cherchent à dépasser ceux qui roulent plus lentement, et on a constaté que le nombre de changements de voie se stabilisait ou diminuait même à des niveaux d'encombrement de 60 à 80 %. Cela est attribuable au moindre espacement à ces niveaux d'encombrement, ce qui rend les dépassements plus difficiles. Toutefois, le nombre le plus élevé de changements de voie a été enregistré au maximum de la demande lorsque les automobilistes changent de voie pour éviter les files (les vitesses à pleine capacité étaient inférieures par rapport aux niveaux d'encombrement de 60 à 80 %, d'où la plus grande facilité qu'il y a à changer de voie).

Le modèle suédois, qui établit un lien entre la fluctuation des vitesses moyennes et la gravité des accidents, prédit que les accidents mortels peuvent être réduits de 40 % alors que les accidents qui font des blessés peuvent être réduits de 25 %. Une plus forte réduction de l'accidentalité a été constatée lorsque le limiteur de vitesse était réglé sur 100 km/h par opposition à 120 km/h. Toutefois, les auteurs mettent en garde contre les répercussions observées sur la sécurité; le modèle suédois, à l'instar de la plupart des autres modèles, a été étalonné à l'aide de données où la variation de la vitesse maximum se situe autour de 10 km/h. Les variations de vitesse observées dans cette étude étaient supérieures à 10 km/h et les modèles de prévision de la sécurité ne sont pas testés au sujet des importantes fluctuations de vitesse.

## Études sur les limites de vitesse discriminatoires

Aux États-Unis, plusieurs États ont des limites de vitesse autorisées différentes pour les voitures particulières et les camions sur les grand-routes rurales entre États. Plusieurs études ont porté sur les répercussions en matière de conduite ou de sécurité de l'imposition de limites de vitesse différentes. Toutefois, les résultats relatifs aux impacts sur la sécurité n'étaient pas concluants et d'autres recherches sont préconisées pour déterminer les incidences sur la sécurité de limites de vitesse différentielles. Le rapport de la FHWA (octobre 2005) intitulé *The Safety Impacts of Differential Speed Limits on Rural Interstate Highways* [FHWA-HRT-05-042] conclut qu'« on n'a pas observé d'effets uniformes sur la sécurité de limites de vitesse différentielles par opposition à des limites de vitesse uniformes dans le cadre de cette étude ». Voir <http://www.tfrc.gov/safety/pubs/05042/05042.pdf>.

**Baum, Esterlitz, Zador et Penny (1991)**

Baum *et al.* (1991) ont comparé les vitesses à l'aide de méthodes statistiques entre trois États affichant des limites de vitesses différentielles (65 et 55 mi/h ou 65 et 60 mi/h) et deux affichant des limites de vitesses uniformes (65 mi/h). Les conclusions révèlent que les routes entre États qui affichent des limites de vitesse différentielles ont pour effet de réduire les vitesses des camions les plus rapides sans hausse apparente de l'écart de vitesse. Les auteurs recommandent d'autres recherches pour déterminer si la diminution de la vitesse des camions se traduit par des différences dans la gravité des accidents par rapport aux États où la limite de vitesse est uniformément de 65 mi/h.

**Harkey et Mera (1994)**

Harkey et Mera (1994) ont fait la synthèse des effets des limites de vitesse uniformes et différentielles sur la sécurité des transports et l'écoulement de la circulation sur les grand-routes entre États. Les limites de vitesse différentielles (mi/h) imposées aux voitures particulières et aux camions sur les routes entre États sont de 65/55 ou de 65/60. Parmi les mesures d'efficacité qui ont servi à analyser l'impact des limites de vitesse différentielles, mentionnons : la vitesse moyenne, la variation de vitesse, la distribution des vitesses et le non-respect des vitesses limites. On a analysé l'impact sur la sécurité routière en utilisant la proportion d'accidents par type de collision, par type de véhicule ou par gravité de l'accident. La densité de circulation a servi de variable de stratification pour les données sur les accidents.

Voici les résultats de l'étude de Harkey et Mera :

- Les vitesses moyennes de roulement des véhicules ne sont pas touchées par le type de limite de vitesse, même s'il semble que la limite de vitesse de 65/55 réduise le nombre de véhicules qui dépassent la limite de vitesse de 10 mi/h ou moins.
- Les vitesses moyennes de roulement des camions sont les mêmes pour des limites de vitesse de 65/55 et 65/60, mais la limite de vitesse de 65/55 aboutit à un écart inférieur à 3 mi/h par rapport à la limite de 65 mi/h.
- La variation de vitesse des camions augmente de manière appréciable aux endroits où les limites imposées aux camions sont plus élevées et où celles imposées aux voitures particulières restent les mêmes. Aux endroits où les limites de vitesse sont différentes, la variation de vitesse du débit global de la circulation augmente sensiblement (révélant ainsi un plus grand nombre d'interactions entre les véhicules et les camions).
- Les grand-routes entre États où les limites de vitesse sont uniformes enregistrent des pourcentages plus élevés d'accidents entre camions et véhicules pour tous les types de collisions, y compris les collisions par l'arrière (niveau de confiance de 90 %) et les collisions latérales (niveau de confiance de 85 %).
- Les grand-routes entre États qui ont des limites de vitesse différentielles enregistrent un plus fort pourcentage d'accidents entre véhicules et camions en ce qui concerne les collisions par l'arrière (qui ne sont pas statistiquement significatives).

- On n'a pas constaté de différences dans les accidents mortels même si les grand-routes entre États qui ont une limite de vitesse uniforme enregistrent un plus fort pourcentage d'accidents faisant des blessés (qui ne sont pas statistiquement significatifs).

Les auteurs recommandent d'approfondir les recherches pour évaluer l'impact des limites de vitesse différentielles sur la sécurité routière.

### **Johnson et Pawar (2005)**

Johnson et Pawar (2005) ont procédé à une analyse coûts-avantages globale des écarts de vitesse entre les poids lourds et d'autres véhicules. Leur étude a porté sur les distributions des vitesses des camions et des véhicules en vertu de deux limites de vitesse uniformes (70 mi/h et 75 mi/h) et de deux limites de vitesse différentielles (70/65 mi/h et 65/55 mi/h). Les résultats de l'impact observé sur l'écoulement de la circulation sont résumés dans un rapport ultérieur à la **section 0**. Seul l'impact observé sur la sécurité attribuable aux écarts de vitesse est résumé pour ce rapport.

Les auteurs ont examiné des études antérieures et analysé les données sur les accidents entre 2001 et 2004 pour déterminer les tendances de sécurité routière attribuables aux vitesses différentielles. Selon eux, les résultats de leur étude sont peu concluants; il ne s'en dégage aucune tendance claire pour étayer une augmentation ou une diminution réelle de la sécurité. L'utilisation de limiteurs de vitesse sur les routes sans vitesses différentielles est l'une des raisons qui explique ces résultats peu concluants. Ainsi, les auteurs affirment que les routes sans vitesses différentielles imposent une vitesse différentielle « virtuelle », ce dont les études ne tiennent pas compte.

### **Johnson et Pawar (2007)**

Johnson et Pawar (2007) ont présenté les résultats d'une étude analysant les distributions des vitesses des camions et des véhicules en vertu de deux limites de vitesse uniformes (70 et 75 mi/h) et de deux limites de vitesse différentielles (70/65 et 65/55 mi/h). L'étude a également porté sur l'utilisation de limiteurs de vitesse à bord des camions. Une étude réalisée par les mêmes auteurs en 2005 a porté sur l'impact des vitesses différentielles sur la sécurité.

Les données utilisées dans le cadre de cette étude ont été recueillies entre 11 h et 16 h les jours de semaine afin d'atténuer les effets du trafic habitation-travail et du trafic les fins de semaine. Les vitesses des camions ont été mesurées à l'aide d'un vélocimètre Prolaser II. Les distributions empiriques des vitesses et les écarts de vitesse sont présentés parallèlement au nombre d'interactions entre les véhicules (qui dépassent et qui sont dépassés) obtenus à l'aide de simulations informatiques.

Sur les routes de l'Arkansas imposant des limites de vitesse différentielles de 70/65 mi/h (écart de vitesse de 5 mi/h), on a constaté que l'écart de vitesse moyen réel entre les véhicules et les camions était de 6,8 mi/h (73,5 vs 66,7 mi/h). Les auteurs attribuent le plus

grand écart de vitesse moyenne de 6,8 mi/h contre 5 mi/h (différence indiquée) au fait que de nombreux camions sont équipés d'un limiteur de vitesse, ce qui a pour effet de réduire la vitesse moyenne des camions par rapport à la vitesse recherchée.

Sur les routes de l'Illinois qui affichent des limites de vitesses différentielles de 65/55 mi/h (écart de 10 mi/h), on a observé que l'écart de vitesse moyen réel entre les véhicules et les camions était de 9 mi/h (73,2 vs 64,2 mi/h).

Sur les routes du Missouri avec une vitesse uniforme de 70 mi/h imposée aux voitures et aux camions, on a observé un écart de vitesse moyen de 4 mi/h (72,6 vs 68,6 mi/h). Les auteurs attribuent partiellement cet écart dans les vitesses moyennes à l'utilisation de limiteurs de vitesse réglés en deçà de la vitesse imposée (70 mi/h). Ils ont également constaté que l'écart de vitesse moyenne des camions sur les routes où les limites de vitesse indiquées étaient de 55 et de 65 mi/h se situait à moins de 4,4 mi/h de la vitesse des routes où la vitesse autorisée des camions était de 70 mi/h.

Sur les routes de l'Oklahoma avec une vitesse uniforme de 75 mi/h imposée aux voitures et aux camions, un écart de vitesse moyen de 2,5 mi/h (74,8 vs 72,3 mi/h) a été observé. Les données ont été obtenues sur des routes à péage et à moindre densité de circulation par rapport à la plupart des routes rurales à grande vitesse.

L'étude a révélé que la variation de vitesse (écart type ou différence entre la vitesse du 85<sup>e</sup> centile et la vitesse du 50<sup>e</sup> centile) des voitures diminuait parallèlement à l'augmentation de la limite de vitesse, ce qui est conforme à ce que l'on peut lire dans la documentation à ce sujet. Toutefois, la variation de vitesse des camions va dans le sens contraire et les auteurs attribuent ce phénomène au fait que certains camions sont équipés d'un limiteur de vitesse, de sorte qu'un ensemble de camions (sans limiteurs de vitesse) peuvent circuler à des vitesses supérieures à celles des autres.

Le nombre d'interactions entre les véhicules (qui dépassent et qui sont dépassés) a été modélisé à l'aide d'une simulation informatique et des données d'un lieu au Missouri où la limite de vitesse est uniformément de 70 mi/h. Les résultats révèlent que, pour un véhicule qui roule à 60 mi/h (soit 10 mi/h en deçà de la limite de vitesse), la fréquence des interactions avec d'autres véhicules est supérieure de 227 % à celle d'un véhicule qui roule à la vitesse moyenne (71,8 mi/h), alors que la fréquence des interactions est supérieure de 90,67 % pour un véhicule qui roule à 80 mi/h.

## Résultats d'études empiriques

Presque toutes les études en simulation de la vitesse/sécurité dont il est question dans la documentation sont fondées soit sur l'analyse simple des tendances des données d'observation sur la vitesse et les accidents (Peltola, par exemple, a utilisé 640 rapports de police sur les accidents), soit sur les données relatives à la vitesse et aux interactions provenant de modèles de microcirculation. À l'exception de Toledo *et al.* (2007), la plupart

des études sur les limiteurs de vitesse ont été réalisées essentiellement dans des zones urbaines, et aucune n'a envisagé l'option que les limiteurs de vitesse ciblent exclusivement les camions. Les répercussions, au chapitre de la sécurité, de l'utilisation de limiteurs de vitesse ou de limites de vitesse différentielles ne permettent pas de tirer des conclusions et la plupart des auteurs recommandent d'approfondir les recherches pour évaluer l'incidence sur la sécurité routière.

Logiquement, nous devrions nous attendre à une baisse du nombre d'accidents résultant d'une réduction de la limite de vitesse maximale pour tous les véhicules du courant de circulation. La difficulté de ce projet consiste à déterminer l'effet d'une stratégie qui cible un groupe de véhicules (les camions) et pas un autre (les voitures) et ses répercussions sur la modification des vitesses différentielles dans le courant de circulation avec des hausses possibles des perturbations de la circulation. Avec une hausse des perturbations, nous nous attendons à une augmentation du nombre d'accidents et de leur gravité. Lee *et al.* (2003) sont d'avis qu'il est plus probable que la variation de vitesse par opposition à la vitesse moyenne explique la probabilité des accidents sur les autoroutes. La variation de vitesse explique mieux les « perturbations » dans le débit de la circulation (c.-à-d. une hausse des changements de voie et des courbes d'accélération/décélération) et, par conséquent, une hausse des conflits et des accidents de la circulation.

## Simulation du rapport entre la vitesse et la sécurité

La sécurité routière peut être prévue à l'aide de mesures de substitution du rendement en matière de sécurité provenant d'une plate-forme de microsimulation bien étalonnée et validée pour différentes conditions de géométrie routière et de circulation (Gettman et Head, 2003).

Le rapport entre la variation de vitesse de circulation, les perturbations et les risques d'accident est complexe et exige un traitement approfondi en temps réel du comportement des automobilistes, de la vitesse de chaque véhicule et des profils d'espacement ainsi que des risques d'accident qui s'y rattachent (Mehmood *et al.*, 2003). Compte tenu de la complexité de ce rapport, on peut douter de pouvoir obtenir des réponses utiles dans les études statistiques portant exclusivement sur les données historiques sur les accidents. Les études statistiques sont généralement truffées de problèmes de colinéarité des variables, d'absence de signification, d'incapacité à refléter fidèlement les rapports de cause à effet qui touchent les accidents, de distorsion de régression à la moyenne et sont incapables de tenir compte des véritables interactions de contexte et d'un ordre supérieur qui expliquent le comportement des automobilistes et les collisions.

Si les limites de vitesse se traduisent par des hausses délibérées ou accidentelles des écarts ou des variations de vitesse entre les voitures et les camions, il y a alors un risque que la fréquence des accidents et leur gravité ne soient compromises par ces limites. Toutefois, de récentes études statistiques sur les vitesses différentielles imposées aux poids lourds et leurs répercussions sur la sécurité se sont révélées peu concluantes (Johnson et Pawar, 2005).

Lee *et al.* (2006) ont adopté une approche par microsimulation plus approfondie pour étudier le lien entre la variation de vitesse sur les autoroutes et l'augmentation des risques d'accident. L'approche a été appliquée au tronçon d'une autoroute urbaine en Ontario. Ils ont observé une diminution du potentiel d'accidents de 5 à 17 % lorsqu'une baisse provisoire des limites de vitesse est imposée dans les scénarios de circulation où le potentiel d'accidents dépasse un seuil préétabli. Les auteurs ont jugé que les résultats de ce projet étaient prometteurs sans compter qu'ils ont inspiré la démarche adoptée dans cette recherche.

## CADRE MODÈLE ET CARACTÉRISATION DES INTRANTS

Cette partie présente le cadre modèle qui porte sur cinq tâches précises :

1. Étudier les plates-formes de simulation de la circulation couramment disponibles;
2. Présenter une plate-forme de simulation de la circulation (VISSIM);
3. Mesurer le rendement en matière de sécurité;
4. Étalonner et valider la plate-forme VISSIM qui traite des données, des procédures et des résultats du suivi des véhicules;
5. Établir un lien entre une mesure du rendement en matière de sécurité et les accidents observés.

### Plates-formes de simulation de la circulation

Gettman et Head (2003) affirment que les modèles de microsimulation permettent d'expliquer les comportements clés des automobilistes qui se soldent par des accidents ou des accidents évités de justesse. Parmi ces éléments comportementaux, mentionnons : le talonnage d'un autre véhicule, l'acceptation des espacements et les changements de voie. À l'aide d'un ensemble de caractéristiques souhaitables, plusieurs plates-formes de microsimulation existantes ont été comparées afin d'évaluer leur bien-fondé pour établir des mesures fiables du rendement de sécurité en temps réel.

Parmi ces plates-formes disponibles dans le commerce, mentionnons :

- CORSIM,
- VISSIM,
- SIMTRAFFIC,
- PARAMICS,
- HUTSIM,
- TEXAS,
- WATSIM,
- INTEGRATION,
- AIMSUN.

Koorey (2002) a procédé à une évaluation de trois plates-formes de simulation pour déterminer leur capacité à modéliser les routes rurales à deux voies en Nouvelle-Zélande :

- logiciel TRARR 4 (ARRB Transport Research Ltd, Australie),
- logiciel TWOPAS 98 (FHWA, É.-U.),
- logiciel PARAMICS 2001 (SIAS Ltd, Écosse).

Il a découvert que la plupart des plates-formes de microsimulation actuelles ont été conçues expressément pour évaluer la circulation (p. ex. les durées de trajet, le temps passé à suivre un autre véhicule) et non pas pour mesurer les avantages sur le plan de la sécurité.

## Simulation à l'aide de VISSIM

Pour cette recherche, on a retenu le logiciel VISSIM (version 4.3) comme plate-forme de simulation de la circulation pour évaluer les répercussions, au chapitre de la sécurité, de l'installation obligatoire de limiteurs de vitesse différentiels à bord des camions. La plate-forme VISSIM est diffusée par PTV AG, et au Canada par PTV America qui a son siège de Vancouver (<http://www.ptvamerica.com/main.html>).

VISSIM repose sur des algorithmes de conduite psychophysiques et elle permet de simuler quatre régimes de conduite différents : 1) la conduite sans emprise, 2) le processus de clôture, 3) le processus d'espacement et 4) le freinage d'urgence. Ces quatre régimes définis sous l'angle de six seuils de réaction humaine représentent des situations où les automobilistes doivent se conduire de manière analogue (mais pas égale) à l'égard de l'espacement/vitesse souhaité et des mesures qu'il faut prendre pour avoir ces réactions au moyen de taux variables d'accélération et de décélération (Wiedemann et Reiter, 1992).

La mise au point d'un modèle de simulation de la circulation présentant des risques d'accident capable de représenter le comportement des poids lourds assujettis à des limites de vitesse variables nécessite l'étalonnage et la validation de plusieurs paramètres d'entrée de la plate-forme VISSIM. Pour procéder à cet étalonnage/validation, il faut de vastes bases de données au sujet du suivi des véhicules en temps réel et des collisions.

Comme l'illustre la **Figure 2**, le cadre modèle adopté pour cette étude comporte cinq étapes procédurales :

1. Description d'indicateurs utiles de rendement en matière de sécurité;
2. Étalonnage de VISSIM à l'égard des paramètres d'entrée des « meilleures estimations »;
3. Validation des résultats de VISSIM pour un échantillon indépendant de données sur la circulation;
4. Établissement d'un lien entre le rendement en matière de sécurité et les risques observés d'accidents;
5. Établissement de scénarios de la route et de la circulation utiles pour simuler les effets des limiteurs de vitesse.

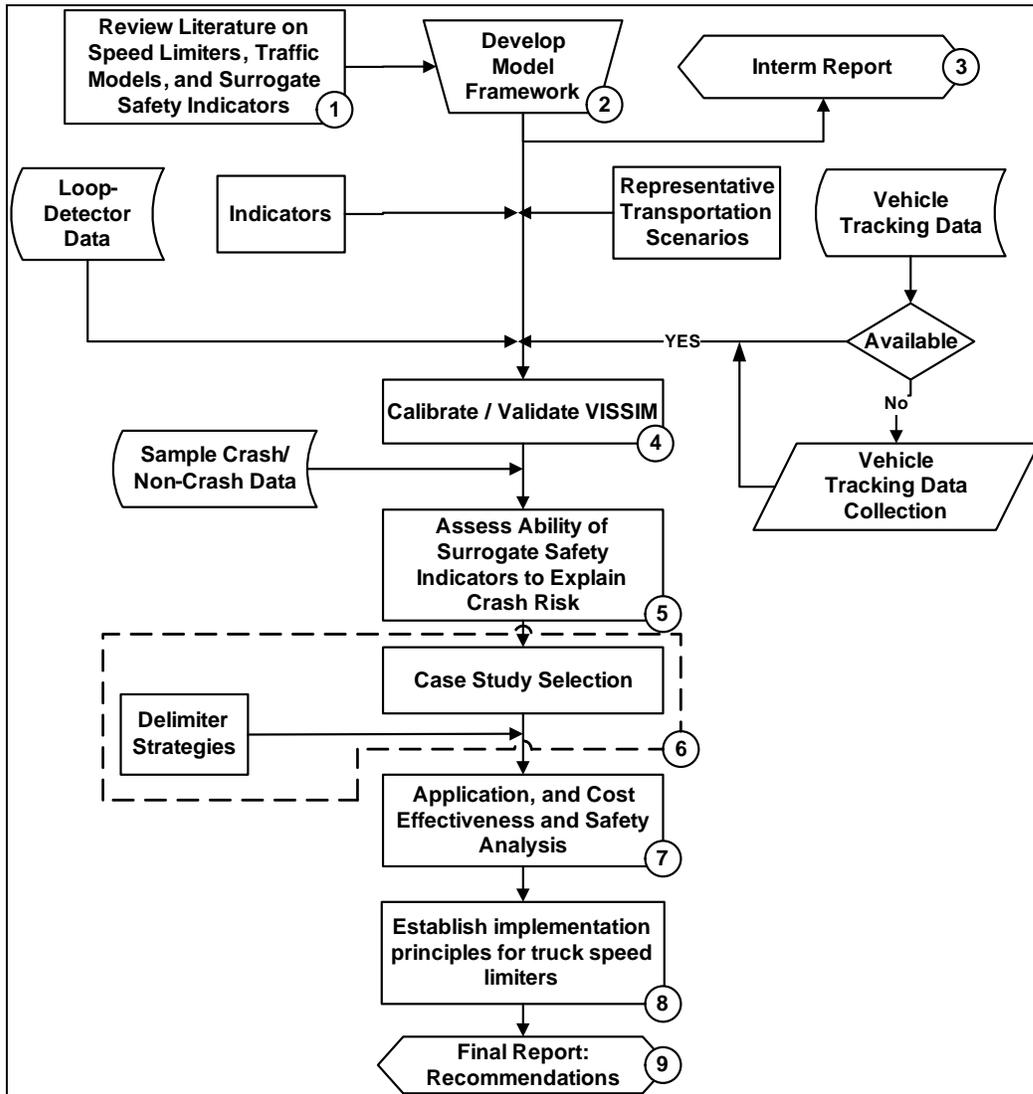


Figure 2 – Impact des limiteurs de vitesse des camions sur le cadre de recherche sur la sécurité

TRADUCTION :

Analyse de la documentation sur les limiteurs de vitesse, les modèles de circulation et les indicateurs de sécurité de substitution (1)		Élaboration du cadre modèle (2)		Rapport provisoire (3)
Données du détecteur au niveau du sol	Indicateurs		Scénarios représentatifs des transports	Données sur le suivi des véhicules
			OUI	Disponibles
		Étalonner/valider VISSIM (4)		Non
	Données d'échantillon sur les accidents/les non-accidents			Collecte de données sur le suivi des véhicules
		Évaluer la capacité des indicateurs de sécurité de substitution à expliquer les risques d'accident (5)		
	Stratégies de séparation			
		Sélection de l'étude de cas (6)		
		Application et analyse de rentabilité et de sécurité (7)		
		Établir les principes d'adoption des limiteurs de vitesse à bord des camions (8)		
		Recommandations du rapport final (9)		

## Mesures du rendement en matière de sécurité

Au lieu de prédire les accidents réels, les mesures du rendement en matière de sécurité servent couramment en microsimulation à saisir les interactions des véhicules en temps réel dans le courant de circulation et à expliquer le potentiel d'accidents. Un certain nombre de mesures du rendement en matière de sécurité sont possibles, notamment le « délai de collision » ((TTC), le « taux de décélération pour éviter l'accident » (DRAC), le « délai post-empiètement » (PET), le délai prolongé de collision (TET), le paramètre de densité dangereuse (UD), entre autres (Minderhoud et Bovy, 2001, Gettman et Head, 2003a, Archer, 2005, Huguenin *et al.*, 2005). Ces indicateurs et leur utilité pour l'analyse de la sécurité ont été analysés par Cunto et Saccomanno (2007). L'utilité du rendement en matière de sécurité dans la prévision des accidents exige de juxtaposer les seuils et le rendement en matière de sécurité, pour que les mesures puissent refléter les éventuels conflits qui aboutissent à des accidents. Cunto et Saccomanno (2007) et Saccomanno *et al.* (2008) avancent certaines idées sur la façon dont le rendement en matière de sécurité peut servir à reconnaître les éventuels conflits dans le courant de circulation avec le temps.

Dans cette étude sur la sécurité des limiteurs de vitesse des camions, le rendement est exprimé sous forme d'un indice d'accidentalité (IA) défini à l'origine par Cunto et Saccomanno (2007). Pour chaque véhicule suiveur, l'IA cherche à saisir les impératifs de décélération critiques en temps réel. L'IA est défini en termes du risque que le taux de décélération d'un véhicule suiveur pour éviter un accident (DRAC) avec le véhicule de tête dépasse le taux de décélération maximal disponible (MADR). Étant donné que le MADR est propre au véhicule et au scénario, il faut préciser des valeurs distinctes du MADR pour chaque véhicule dans le courant de circulation, comme :

$$CPI_i = \frac{\sum_{t=ti}^{tf_i} P(DRAC_{i,t} > MADR_{i,t}) \cdot \Delta t \cdot b}{T_i} \quad (1)$$

(TRADUCTION : CPI = IA)

où :

IA<sub>i</sub> = indice d'accidentalité du véhicule *i*

ti = intervalle initial du véhicule *i*

tf<sub>i</sub> = intervalle final du véhicule *i*

Δt = intervalle d'observation (en secondes)

T<sub>i</sub> = temps simulé total du véhicule *i* (en secondes)

Signalons que le terme *b* dans l'équation 1 est de nature binaire, à savoir qu'il est de 1 si le DRAC<sub>i,t</sub> > 0 et de 0 autrement, ce qui laisse entendre qu'un conflit peut survenir lorsque le véhicule suiveur s'approche du véhicule de tête. En outre, l'IA/véhicule (IA/véh.) dans l'équation 1 s'obtient en additionnant les probabilités en tranches de 0,1 seconde pour la période où le véhicule franchit un tronçon donné. On a utilisé d'autres mesures extraites de l'IA dans cette étude, notamment : l'IA moyen/véh., l'IA du 85<sup>e</sup> centile (IA85) de même que

le nombre et le pourcentage de véhicules en conflit à propos d'un seuil de conflit préétabli. (*Nota : Dans le restant de ce rapport, l'indice i qui renvoie à chaque véhicule étudié a été supprimé du sigle IA.*)

L'IA85 cherche à saisir le pire effet d'une exposition critique à l'IA d'un échantillon de véhicules. Cette mesure peut refléter une sorte de seuil pour élaborer des politiques de conception. En outre, si l'on présume que le MADR est attribué à chaque véhicule à partir d'une distribution donnée, il est possible d'établir des conflits de circulation par véhicule et par intervalle d'observation. En l'occurrence, un conflit peut être défini tout simplement comme l'intervalle qui s'écoule lorsque le DRAC d'un véhicule donné dépasse son MADR. Ainsi, au lieu d'avoir un seuil fixe pour les conflits de circulation, comme un taux de décélération de  $3,335 \text{ m/s}^2$ , un conflit peut être défini comme étant fonction de facteurs atténuants ou de conditions comme les conditions météorologiques et différentes capacités de freinage. On étudie donc le nombre de véhicules et le pourcentage de véhicules en conflit comme mesure supplémentaire du rendement en matière de sécurité en plus des mesures reposant sur l'IA.

## Étalonnage et validation de VISSIM

Avant une simulation, VISSIM exige la caractérisation d'environ 30 paramètres d'entrée. Toutefois, ces paramètres ne fournissent pas tous une explication détaillée des changements qui surviennent dans les valeurs de l'IA. Pour les paramètres qui ne sont pas significatifs, on a opté pour une valeur par défaut, comme le suggère VISSIM; alors que, pour les facteurs significatifs, une valeur de « la meilleure estimation » doit être calculée en fonction des profils observés de suivi des véhicules. L'objectif clé de l'étalonnage est d'obtenir ces « meilleures estimations » pour différentes configurations « géométriques » à propos de tous les paramètres significatifs utilisés dans l'exercice de simulation. Dans cette étude, deux configurations géométriques d'autoroute sont envisagées : les bretelles de sortie et les tronçons avec bretelles de sortie/accès confondues.

L'étalonnage de VISSIM a pour but d'établir des mesures exactes et fiables de rendement en matière de sécurité pour différentes géométries routières en fonction des paramètres d'entrée des « meilleures estimations » pour l'exercice de simulation. Ces paramètres d'entrée doivent soutenir une comparaison étroite avec les mesures observées du rendement en matière de sécurité provenant des données sur le suivi des véhicules. Faute d'un tel étalonnage, les résultats de la simulation risquent de conduire à des erreurs et on ne peut s'y fier pour en tirer des conclusions exactes sur la sécurité. Les données d'observation sur le suivi des véhicules qui ont servi à étalonner et à valider le rendement en matière de sécurité de VISSIM proviennent du programme Next Generation SIMulation (NGSIM) administré par la FHWA (2007).

## Données sur le suivi des véhicules du NGSIM

L'un des principaux objectifs du programme NGSIM est de fournir des données détaillées et de qualité supérieure sur les véhicules en temps réel qui peuvent servir à améliorer les algorithmes de simulation de la conduite (Kovvali *et al.*, 2007). Les données du NGSIM sont librement accessibles aux chercheurs et aux praticiens des transports qui en font la demande.

Dans cette étude, les données sur le suivi des véhicules du NGSIM ont été extraites pour deux tranches de 15 minutes sur des tronçons avec bretelles de sortie et des tronçons avec bretelles d'accès/sortie confondues (comme l'illustre la **Figure 3**). Des images vidéo numériques ont été prises par huit caméras installées au-dessus d'un tronçon de la route 101 des États-Unis à Los Angeles, en Californie (FHWA, 2007). Les trajectoires de chaque véhicule ont été transcrites à partir des images vidéo pour chaque intervalle de 0,1 seconde et regroupées en deux échantillons indépendants de 15 minutes couvrant les périodes : 1) 7 h 50 à 8 h 5 et 2) 8 h 20 à 8 h 35. Le premier échantillon de 15 minutes sert à l'étalonnage, alors que le deuxième sert à valider les résultats du modèle. La base de données NGSIM fournit des renseignements détaillés sur plusieurs paramètres qui présentent de l'intérêt pour la simulation, notamment la distribution des véhicules par type, la matrice O-D, la densité de circulation à intervalles de 5 minutes, la vitesse moyenne, la durée de trajet moyenne, le nombre de changements de voie, l'espacement et l'analyse de l'espacement entre véhicules.

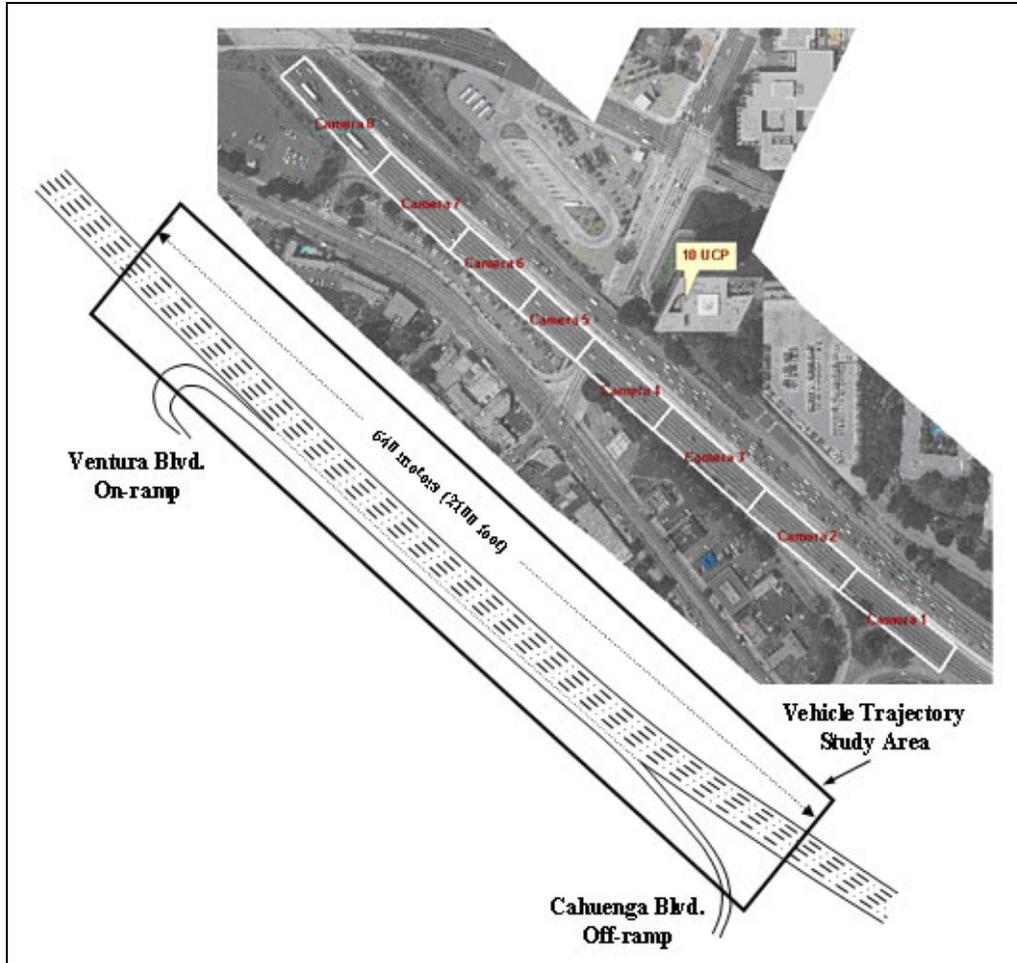


Figure 3 – Tronçon d'étude de la trajectoire des véhicules – Route 101 des États-Unis

### Étalonnage/validation heuristique des paramètres de VISSIM

La procédure d'étalonnage/validation retenue pour cette étude comporte cinq étapes séquentielles :

1. Sélection heuristique des intrants du modèle initial;
2. Examen statistique initial des intrants;
3. Expression linéaire établissant un lien entre les intrants significatifs et le rendement en matière de sécurité;
4. Meilleures estimations des intrants du modèle à l'aide d'algorithmes génétiques;
5. Validation des intrants sélectionnés en fonction d'un échantillon indépendant de la circulation.

Les quatre premières étapes s'appliquent à la procédure d'étalonnage du modèle, c'est-à-dire à l'obtention des meilleures estimations des intrants de simulation, alors que la cinquième a pour but de valider la portabilité des résultats découlant de l'étalonnage.

### Étape 1 : Sélection heuristique des intrants du modèle initial

VISSIM exige la caractérisation de 16 paramètres d'entrée pour le modèle de véhicule suiveur, de 10 paramètres d'entrée pour le modèle de changement de voie et de 8 distributions des intrants du comportement des automobilistes. On a eu recours au solide jugement d'un ingénieur pour réduire ces paramètres à ceux qui expliquent le mieux le rendement en matière de sécurité sur les tronçons d'une autoroute avec bretelles de sortie et les tronçons avec bretelles de sortie/accès. Ces 16 paramètres d'entrée sont énumérés au **Tableau 1**.

**Tableau 1 – Paramètres d'entrée du modèle**

Paramètre		Description	Bas niveau (-1)	Haut niveau (+1)	Points principaux (0)
A	Vitesse recherchée (moyenne) (km/h)	La moyenne de la distribution des vitesses d'écoulement libre. Les véhicules se voient attribuer une valeur particulière et ils roulent à cette vitesse moyennant certaines fluctuations s'ils ne sont pas entravés par d'autres véhicules.	80	120	100
B	Vitesse recherchée (écart type en km/h)	Écart type de la distribution des vitesses recherchées.	2,9	8,7	5,8
C	Décélération recherchée (m/s <sup>2</sup> )	Le taux de décélération maximal que les automobilistes sont prêts à appliquer en situation « normale ».	-4,5	-1,3	-2,9
D	Véhicules observés à l'avant	Affecte la façon dont les véhicules arrivent à prédire les manœuvres d'autres véhicules et réagissent en conséquence.	1	3	2
E	Distance anticipée (max.) (m)	Définit la distance que les véhicules peuvent apercevoir à l'avant pour réagir aux autres véhicules qui les précèdent ou qui roulent à côté d'eux sur une voie attenante.	50	300	175
F	CC0	Distance à l'arrêt (m), qui définit la distance recherchée entre des véhicules à l'arrêt.	0,5	3	1,75
G	CC1	Espacement en secondes qu'un automobiliste tient à respecter. L'établissement d'une valeur élevée aura pour effet de rendre les automobilistes plus prudents.	0,5	1,5	1

Paramètre		Description	Bas niveau (-1)	Haut niveau (+1)	Points principaux (0)
H	CC2	La variation suivante (m) restreint l'oscillation de la distance longitudinale avant qu'un automobiliste ne se rapproche du véhicule qui le précède pour respecter la « distance de sécurité ». En réglant ce paramètre sur une valeur plus élevée, on obtient de plus longs espacements entre les véhicules, car il y a un plus grand pourcentage d'automobilistes qui attendent de disposer d'un espacement plus long avant d'accélérer afin de maintenir une distance de sécurité.	1,5	6	3,75
I	CC3	Seuil d'entrée du véhicule « suiveur », qui contrôle l'amorce du processus de décélération. En réglant ce paramètre sur une valeur plus élevée, un automobiliste attendra plus longtemps avant de décélérer jusqu'à la distance de sécurité.	-15	-4	-9,5
J	CC5	Pour des différences de vitesse positives; les seuils du véhicule suiveur contrôlent les différences de vitesse du véhicule suiveur. Des valeurs plus petites entraînent une réaction plus sensible des automobilistes aux accélérations ou aux décélérations de la voiture qui les précède.	0,1	2	1,05
K	CC6	Dépendance de la vitesse à l'égard de l'oscillation, influe sur la distance et l'oscillation de la vitesse.	2	20	11
L	Décélération acceptée	Pour le véhicule qui « change de voie ».	-3,5	-0,5	-2
M	Décélération acceptée	Pour le véhicule suiveur.	-2,5	-0,25	-1,375
N	Espacement minimum (m)	Définit la distance minimum dont il faut disposer par rapport au véhicule de tête pour un changement de voie en situation d'immobilité.	0,5	4	2,25
O	Décélération maximale pour un freinage coopératif (m/s <sup>2</sup> )	Définit la décélération maximale qu'opérera le véhicule en cas de freinage coopératif, ce qui permettra à un véhicule qui change de voie de réintégrer sa propre voie.	-9,0	-4,0	-6,5
P	Facteur de réduction de la distance de sécurité	Entre en vigueur pour a) la distance de sécurité du véhicule suiveur dans la nouvelle voie pour lui permettre de décider de changer de voie ou non; b) la propre distance de sécurité au cours d'un changement de voie; c) la distance qui sépare le véhicule suiveur du véhicule de tête (plus lent) qui change de voie.	0,2	0,8	0,5

## Étape 2 : Examen statistique des intrants (Plackett-Burman avec repli)

Le but primordial de cet examen statistique est de déterminer les paramètres découlant de l'examen heuristique préalable dont on estime que la contribution au rendement en matière de sécurité est « statistiquement significative ». À cette étape, on établit un plan de sélection de Plackett-Burman avec repli pour déterminer les effets « de premier plan ou principaux » qui ont trait aux paramètres d'entrée de l'étape 1 pour le rendement en matière de sécurité. Le rendement en matière de sécurité est exprimé sous forme d'IA moyen/véhicule pour la période de simulation.

L'hypothèse à la base du plan factoriel de Plackett-Burman est d'établir une expression linéaire pour relier les paramètres d'entrée du modèle aux estimations du rendement en matière de sécurité (réactions observées). L'expression utilisée dans cet exercice revêt la forme suivante :

$$CPI = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \dots + \beta_n \cdot X_n \quad (2)$$

(TRADUCTION : CPI = IA)

où :

$\beta_j$  = paramètres du modèle

$X_j$  = intrants factoriels qui expliquent l'IA (termes de premier ordre)

Pour les 16 paramètres initiaux tirés du **Tableau 1**, on a procédé à 32 simulations à l'aide du plan de conception de Plackett-Burman fourni par Montgomery (2005) à la fois pour les tronçons avec bretelles de sortie et les tronçons avec bretelles d'accès/sortie confondues. On a réalisé des expériences en parallèle pour estimer l'erreur/écart dû à la nature aléatoire de la simulation et l'on a établi l'importance de chaque facteur au moyen d'une analyse de variance.

Pour le tronçon avec bretelles de sortie, les résultats de l'analyse de variance ont été obtenus à propos des 16 effets du premier ordre tels qu'ils sont résumés au **Tableau 2**. Au total, 10 facteurs du premier ordre ont été jugés statistiquement significatifs au niveau de 5 % et, parmi ceux-ci, il faut mentionner : la vitesse recherchée moyenne, la décélération recherchée, les véhicules observés en avant, la distance d'espacement maximale, CC0, CC3, CC5, CC6, la décélération acceptée pour le véhicule qui change de voie et le facteur de réduction de la distance de sécurité. Les intrants factoriels significatifs au niveau de 5 % sont en caractères gras dans le **Tableau 2**.

**Tableau 2 – Tableau d’analyse de variance – Plackett-Burman avec repli (tronçon avec bretelles de sortie)**

	Nom	Effets (10 <sup>-10</sup> )	Somme des carrés (10 <sup>-10</sup> )	DF	Carré moyen (10 <sup>-10</sup> )	Valeur-F
<b>A</b>	<b>Vitesse recherchée (moyenne) (km/h)</b>	<b>379722,67</b>	<b>1,15E+12</b>	<b>1</b>	<b>1,15351E+12</b>	<b>6,82</b>
B	Vitesse recherchée (écart type en km/h)	-33475,26	8,96E+09	1	8964744196	0,05
<b>C</b>	<b>Décélération recherchée (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>-1528947,04</b>	<b>1,87E+13</b>	<b>1</b>	<b>1,87014E+13</b>	<b>110,64</b>
<b>D</b>	<b>Véhicules observés en avant</b>	<b>-419065,37</b>	<b>1,4E+12</b>	<b>1</b>	<b>1,40493E+12</b>	<b>8,31</b>
<b>E</b>	<b>(Distance anticipée (max.) (m)</b>	<b>-598486,40</b>	<b>2,87E+12</b>	<b>1</b>	<b>2,86549E+12</b>	<b>16,95</b>
<b>F</b>	<b>CC0</b>	<b>491246,05</b>	<b>1,93E+12</b>	<b>1</b>	<b>1,93058E+12</b>	<b>11,42</b>
G	CC1	-70207,36	3,94E+10	1	39432586211	0,23
H	CC2	46978,02	1,77E+10	1	17655475231	0,10
<b>I</b>	<b>CC3</b>	<b>-375521,31</b>	<b>1,13E+12</b>	<b>1</b>	<b>1,12813E+12</b>	<b>6,67</b>
<b>J</b>	<b>CC5</b>	<b>371433,42</b>	<b>1,1E+12</b>	<b>1</b>	<b>1,1037E+12</b>	<b>6,53</b>
<b>K</b>	<b>CC6</b>	<b>380470,45</b>	<b>1,16E+12</b>	<b>1</b>	<b>1,15806E+12</b>	<b>6,85</b>
<b>L</b>	<b>Décélération acceptée</b>	<b>733815,21</b>	<b>4,31E+12</b>	<b>1</b>	<b>4,30788E+12</b>	<b>25,49</b>
M	Décélération acceptée	270174,22	5,84E+11	1	5,83953E+11	3,45
N	Espacement minimum (m)	-163021,59	2,13E+11	1	2,12608E+11	1,26
O	Décélération maximale pour un freinage coopératif (m/s <sup>2</sup> )	-322400,04	8,32E+11	1	8,31534E+11	4,92
<b>P</b>	<b>Facteur de réduction de la distance de sécurité</b>	<b>618607,06</b>	<b>3,06E+12</b>	<b>1</b>	<b>3,0614E+12</b>	<b>18,11</b>
Erreur			1,18E+12	7	1,69035E+11	

Pour le tronçon avec bretelles d’accès/sortie confondues, on a constaté au total que 12 termes du premier ordre étaient statistiquement significatifs au niveau de 5 % (**Tableau 3**). Ces termes significatifs sont : la vitesse moyenne recherchée, la décélération recherchée, les véhicules observés en avant, la distance d’espace maximale, CC0, CC1, CC3, CC5, CC6, la décélération acceptée des véhicules qui changent de voie et qui suivent et le facteur de réduction de la distance de sécurité. Dans le **Tableau 3**, les termes significatifs sont en gras.

**Tableau 3 – Tableau d’analyse de variance – Plackett-Burman avec repli (tronçon avec bretelles d’accès/sortie confondues)**

Nom		Effets (10 <sup>-10</sup> )	Somme des carrés (10 <sup>-10</sup> )	DF	Carré moyen (10 <sup>-10</sup> )	Valeur-F
A	Vitesse recherchée (moyenne) (km/h)	2,63E+05	5,52E+11	1	5,52E+11	12,13
B	Vitesse recherchée (écart type en km/h)	5,36E+04	2,3E+10	1	2,3E+10	0,50
C	Décélération recherchée (m/s <sup>2</sup> )	-8,55E+05	5,85E+12	1	5,85E+12	128,35
D	Véhicules observés en avant	-3,77E+05	1,14E+12	1	1,14E+12	25,01
E	Distance anticipée (max.) (m)	-4,92E+05	1,93E+12	1	1,93E+12	42,44
F	C00	4,71E+05	1,78E+12	1	1,78E+12	38,98
G	CC1	2,83E+05	6,41E+11	1	6,41E+11	14,07
H	CC2	-1,72E+04	2,36E+09	1	2,36E+09	0,05
I	CC3	-2,67E+05	5,69E+11	1	5,69E+11	12,49
J	CC5	3,46E+05	9,6E+11	1	9,6E+11	21,08
K	CC6	3,29E+05	8,65E+11	1	8,65E+11	18,99
L	Décélération acceptée (véhicule qui change de voie)	4,68E+05	1,75E+12	1	1,75E+12	38,48
M	Décélération acceptée (véhicule suiveur)	2,16E+05	3,73E+11	1	3,73E+11	8,19
N	Espacement minimum (m)	-1,22E+05	1,2E+11	1	1,2E+11	2,63
O	Décélération maximale pour un freinage coopératif (m/s <sup>2</sup> )	-1,74E+05	2,43E+11	1	2,43E+11	5,33
P	Facteur de réduction de la distance de sécurité	3,84E+05	1,18E+12	1	1,18E+12	25,87
Erreur			3,19E+11	7	4,55E+10	
F <sub>(1, 7, 0,05)</sub> =		5,591				

### Étape 3 : Expression linéaire établissant un lien entre les intrants significatifs et le rendement en matière de sécurité (analyse factorielle fractionnée)

À cette étape, on a étudié les effets possibles d’un ordre supérieur (deuxième et troisième) qui expliquent le rendement en matière de sécurité. Le résultat fondamental de cet exercice est un modèle linéaire qui établit un lien entre le rendement en matière de sécurité (exprimé sous forme d’IA moyen/véh.) et une série de termes du premier ordre et d’un ordre supérieur. L’importance de cette expression a été établie à l’aide d’une analyse de variance.

Dans le cas du tronçon avec bretelles de sortie, pour réduire le nombre de combinaisons factorielles, on a appliqué une fraction de 1/8 du plan factoriel  $2^{10-3}$ . L'expérience factorielle fractionnée de 1/8 donne une résolution de conception V avec un générateur de conception recommandé de la forme :

$$(H=BCGG; \underline{I}=BCDE; J=ACDF) \text{ qui aboutit à une relation de définition de la forme :}$$

$$I=ABCGH=BCDE\underline{I}=ACDFJ=ADEGHI=\underline{BDFGHJ}=ABEF\underline{IJ}=CEFGH\underline{IJ}$$

où I est la matrice identitaire avec des valeurs unitaires le long de la diagonale.

Il est possible de déterminer le facteur confusionnel d'une expérience factorielle fractionnée en appliquant le rapport suivant. Par exemple, on peut trouver les facteurs principaux ou les interactions d'un ordre supérieur confondues avec la vitesse recherchée (facteur A) en multipliant les deux membres de la relation de définition par ce terme, comme :

$$I \cdot A = ABCGH \cdot A$$

$$A \cdot I = A^2 BCGH \quad \text{note that : } X \cdot I = X \text{ and } X^2 = I, \text{ therefore}$$

$$A = BCGH$$

(TRADUCTION : Signalons que :  $X \cdot I = X$  et  $X^2 = I$ , donc)

Cela incite à penser que le facteur A (vitesse recherchée) peut être confondu avec l'amalgame de facteurs CEFGM, BCDEI, CDFJ, DEGHI, BDFGHJ, BEFIJ et CEFGHIJ, qui expliquent l'IA moyen/véhicule.

Pour obtenir les résultats au **Tableau 4** au sujet des tronçons avec bretelles de sortie, on a procédé au total à 160 simulations, dont 128 reflètent le plan factoriel fractionné  $2^{10-3}$  et 32 reproduisent les passages pour les points principaux. L'application de l'analyse factorielle a réduit les 10 facteurs significatifs de l'étape précédente (**Tableau 2**) à 4 effets du premier ordre : véhicules observés en avant, CC5, CC6 et le facteur de réduction de la distance de sécurité, et à 11 interactions du deuxième ordre : AD, AE, BE, CD, CG, CI, DE, EH, FJ, GI et HI. Les résultats de l'analyse de variance sont résumés au **Tableau 4**.

**Tableau 4 – Tableau d'analyse de variance – Plan factoriel fractionné  $2^{10-3}$  (tronçon avec bretelles de sortie)**

Nom		Coefficients ( $10^{-10}$ )	Effets ( $10^{-10}$ )	Somme des carrés ( $10^{-10}$ )	DF	Carré moyen ( $10^{-10}$ )	Va- leur-F
(Constante)		1 371 526	2 743 053	2,41E+14	1	2,41E+14	231,88
A	Vitesse recherchée (moyenne) (km/h)	-169 139	-338 278	3,66E+12	1	3,66E+12	3,53
B	Décélération	129 532	259 063	2,15E+12	1	2,15E+12	2,07

Nom		Coefficients (10 <sup>-10</sup> )	Effets (10 <sup>-10</sup> )	Somme des carrés (10 <sup>-10</sup> )	DF	Carré moyen (10 <sup>-10</sup> )	Va- leur-F
	recherchée (m/s <sup>2</sup> )						
<b>C</b>	<b>Véhicules observés en avant</b>	<b>-364 666</b>	<b>-729 332</b>	<b>1,70E+13</b>	<b>1</b>	<b>1,70E+13</b>	<b>16,39</b>
D	(Distance anticipée (max.) (m))	23 225	46 451	6,90E+10	1	6,90E+10	0,07
E	CC0	20 479	40 957	5,37E+10	1	5,37E+10	0,05
F	CC3	86 194	172 389	9,51E+11	1	9,51E+11	0,92
<b>G</b>	<b>CC5</b>	<b>-258 537</b>	<b>-517 074</b>	<b>8,56E+12</b>	<b>1</b>	<b>8,56E+12</b>	<b>8,24</b>
<b>H</b>	<b>CC6</b>	<b>-190 818</b>	<b>-381 637</b>	<b>4,66E+12</b>	<b>1</b>	<b>4,66E+12</b>	<b>4,49</b>
I	Décélération acceptée	166 596	333 191	3,55E+12	1	3,55E+12	3,42
<b>J</b>	<b>Facteur de réduction de la distance de sécurité</b>	<b>1 096 302</b>	<b>2 192 604</b>	<b>1,54E+14</b>	<b>1</b>	<b>1,54E+14</b>	<b>148,15</b>
AB		60 743	121 486	4,72E+11	1	4,72E+11	0,45
AC		-253 339	-506 678	8,22E+12	1	8,22E+12	7,91
<b>AD</b>		<b>1 173 839</b>	<b>2 347 677</b>	<b>1,76E+14</b>	<b>1</b>	<b>1,76E+14</b>	<b>169,85</b>
<b>AE</b>		<b>-306 017</b>	<b>-612 034</b>	<b>1,20E+13</b>	<b>1</b>	<b>1,20E+13</b>	<b>11,54</b>
AF		105 570	211 140	1,43E+12	1	1,43E+12	1,37
AG		-37 589	-75 179	1,81E+11	1	1,81E+11	0,17
AH		-12 434	-24 867	1,98E+10	1	1,98E+10	0,02
AI		-12 833	-25 665	2,11E+10	1	2,11E+10	0,02
AJ		-33 853	-67 706	1,47E+11	1	1,47E+11	0,14
BC		-155 674	-311 349	3,10E+12	1	3,10E+12	2,99
BD		-13 963	-27 926	2,50E+10	1	2,50E+10	0,02
<b>BE</b>		<b>-189 716</b>	<b>-379 432</b>	<b>4,61E+12</b>	<b>1</b>	<b>4,61E+12</b>	<b>4,44</b>
BF		8 215	16 430	8,64E+09	1	8,64E+09	0,01
BG		-69 474	-138 948	6,18E+11	1	6,18E+11	0,59
BH		105 967	211 934	1,44E+12	1	1,44E+12	1,38
BI		136 295	272 591	2,38E+12	1	2,38E+12	2,29
BJ		-32 079	-64 158	1,32E+11	1	1,32E+11	0,13
<b>CD</b>		<b>-251 355</b>	<b>-502 710</b>	<b>8,09E+12</b>	<b>1</b>	<b>8,09E+12</b>	<b>7,79</b>
CE		112 230	224 461	1,61E+12	1	1,61E+12	1,55
CF		-10 160	-20 321	1,32E+10	1	1,32E+10	0,01
<b>CG</b>		<b>252 151</b>	<b>504 302</b>	<b>8,14E+12</b>	<b>1</b>	<b>8,14E+12</b>	<b>7,84</b>
CH		-150 986	-301 973	2,92E+12	1	2,92E+12	2,81
<b>CI</b>		<b>-427 917</b>	<b>-855 834</b>	<b>2,34E+13</b>	<b>1</b>	<b>2,34E+13</b>	<b>22,57</b>

Nom		Coefficients (10 <sup>-10</sup> )	Effets (10 <sup>-10</sup> )	Somme des carrés (10 <sup>-10</sup> )	DF	Carré moyen (10 <sup>-10</sup> )	Va- leur-F
CJ		37 164	74 328	1,77E+11	1	1,77E+11	0,17
<b>DE</b>		<b>-261 291</b>	<b>-522 582</b>	<b>8,74E+12</b>	<b>1</b>	<b>8,74E+12</b>	<b>8,42</b>
DF		156 861	313 722	3,15E+12	1	3,15E+12	3,03
DG		-26 236	-52 472	8,81E+10	1	8,81E+10	0,08
DH		37 558	75 115	1,81E+11	1	1,81E+11	0,17
DI		112 685	225 369	1,63E+12	1	1,63E+12	1,57
DJ		-15 558	-31 117	3,10E+10	1	3,10E+10	0,03
EF		26 290	52 581	8,85E+10	1	8,85E+10	0,09
EG		163 710	327 420	3,43E+12	1	3,43E+12	3,30
<b>EH</b>		<b>-237 628</b>	<b>-475 257</b>	<b>7,23E+12</b>	<b>1</b>	<b>7,23E+12</b>	<b>6,96</b>
EI		-78 619	-157 239	7,91E+11	1	7,91E+11	0,76
EJ		-18 857	-37 714	4,55E+10	1	4,55E+10	0,04
FG		125 497	250 994	2,02E+12	1	2,02E+12	1,94
FH		7 331	14 662	6,88E+09	1	6,88E+09	0,01
FI		32 932	65 863	1,39E+11	1	1,39E+11	0,13
<b>FJ</b>		<b>-376 130</b>	<b>-752 261</b>	<b>1,81E+13</b>	<b>1</b>	<b>1,81E+13</b>	<b>17,44</b>
GH		-89 293	-178 586	1,02E+12	1	1,02E+12	0,98
<b>GI</b>		<b>-223 789</b>	<b>-447 578</b>	<b>6,41E+12</b>	<b>1</b>	<b>6,41E+12</b>	<b>6,17</b>
GJ		-75 751	-151 503	7,34E+11	1	7,34E+11	0,71
<b>HI</b>		<b>220 271</b>	<b>440 542</b>	<b>6,21E+12</b>	<b>1</b>	<b>6,21E+12</b>	<b>5,98</b>
HJ		-69 406	-138 812	6,17E+11	1	6,17E+11	0,59
IJ		-41 708	-83 415	2,23E+11	1	2,23E+11	0,21
Erreur				3,22E+13	31	1,0384E+12	

À partir du **Tableau 4**, les termes significatifs des premier et second ordres ont été régressés contre l'« IA par véh. » pour obtenir une expression au sujet des tronçons avec bretelles de sortie sous la forme :

$$\begin{aligned}
 \overline{CPI}/veh = & 1.371(10^{-4}) - 3.647(10^{-5}) \cdot (\text{observedvehiclesahead}) + 1.097(10^{-4}) \cdot (\text{safetydistancefactor}) \\
 & + 1.173(10^{-4}) \cdot (\text{Desiredaveragespeed}) \cdot (\text{maximumlookaheaddistance}) \\
 & - 3.060(10^{-5}) \cdot (\text{Desiredaveragespeed}) \cdot (\text{CC0}) \\
 & - 4.279(10^{-5}) \cdot (\text{observedvehiclesahead}) \cdot (\text{accepteddeceleration of lanechangevehicle})
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

TRADUCTION :

$$IA/véh.=1,371(10^{-4})-3,647(10^{-5})\cdot(\text{véhicules observés en avant})+1,097(10^{-4})\cdot(\text{facteur de distance de sécurité})+1,173(10^{-4})\cdot(\text{vitesse moyenne recherchée})\cdot(\text{distance d'espacement maximale})-3,060(10^{-5})\cdot(\text{vitesse moyenne recherchée})\cdot(CC0)-4,279(10^{-5})\cdot(\text{véhicules observés en avant})\cdot(\text{décélération acceptée du véhicule qui change de voie})$$

L'équation 3 contient deux termes du premier ordre et trois termes du deuxième ordre, avec un R au carré de 0,49.

Pour le tronçon avec bretelles de sortie considéré dans cet étalonnage, il faudra préciser cinq facteurs significatifs dans VISSIM : les véhicules observés en avant, le facteur de distance de sécurité, la vitesse moyenne recherchée, la distance d'espacement maximale et la décélération acceptable des véhicules qui changent de voie.

Pour le tronçon d'autoroute avec bretelles d'accès/sortie confondues, afin de réduire le nombre de combinaisons factorielles dont il faut tenir compte, on a utilisé une fraction de 1/32 d'un plan factoriel de 2<sup>12-5</sup>. Le plan factoriel fractionné de 1/32 donne une résolution de conception IV et le générateur de conception recommandé pour l'expérience revêt la forme :

$$H=ABCDEFGG; I=CDEFG; J=BDEFG; K=ADEFG; \text{ et } L=BCEFG$$

Pour obtenir les résultats du **Tableau 5**, on a réalisé au total 516 simulations, dont 128 pour refléter le plan factoriel fractionné de 2<sup>12-5</sup> et une pour les points principaux. Chaque simulation a été reproduite à quatre reprises avec différentes valeurs de départ aléatoires pour obtenir une plus grande précision de l'erreur pure estimative. L'application de l'analyse factorielle a réduit les 12 facteurs significatifs de l'étape précédente (**Tableau 3**) à quatre effets du premier ordre : la vitesse moyenne recherchée, la distance d'espace maximale, CC0 et CC1, et à sept interactions du deuxième ordre : AE, AF, DE, DF, EF, KJ et HL. Les résultats de l'analyse de variance appliqués à ces facteurs sont résumés au **Tableau 5**.

**Tableau 5 – Tableau d'analyse de variance – Plan factoriel fractionné de 2<sup>10-3</sup> (tronçon entier)**

Nom		Coefficients (10 <sup>-10</sup> )	Effets (10 <sup>-10</sup> )	Somme des carrés (10 <sup>-10</sup> )	DF	Carré moyen (10 <sup>-10</sup> )	Valeur-F
(Constante)		4421458					
A	Vitesse recherchée (moyenne) (km/h)	3,78E+06	7,56E+06	7,31E+15	1	7,31E+15	29,85
B	Décélération recherchée (m/s <sup>2</sup> )	3,11E+05	6,22E+05	4,95E+13	1	4,95E+13	0,20
C	Véhicules observés en avant	-4,45E+05	-8,90E+05	1,01E+14	1	1,01E+14	0,41
D	(Distance anticipée (max.))	-3,68E+06	-7,35E+06	6,92E+15	1	6,92E+15	28,25

Nom		Coefficients (10 <sup>-10</sup> )	Effets (10 <sup>-10</sup> )	Somme des carrés (10 <sup>-10</sup> )	DF	Carré moyen (10 <sup>-10</sup> )	Va- leur-F
	(m)						
<b>E</b>	<b>CC0</b>	<b>2,99E+06</b>	<b>5,98E+06</b>	<b>4,57E+15</b>	<b>1</b>	<b>4,57E+15</b>	<b>18,68</b>
<b>F</b>	<b>CC1</b>	<b>3,71E+06</b>	<b>7,41E+06</b>	<b>7,04E+15</b>	<b>1</b>	<b>7,04E+15</b>	<b>28,74</b>
G	CC3	4,31E+04	8,61E+04	9,49E+11	1	9,49E+11	0,00
H	CC5	5,00E+05	1,00E+06	1,28E+14	1	1,28E+14	0,52
I	CC6	1,01E+06	2,01E+06	5,20E+14	1	5,20E+14	2,12
J	Décélération acceptée du véhicule qui change de voie	-7,37E+05	-1,47E+06	2,78E+14	1	2,78E+14	1,13
K	Décélération acceptée du véhicule suiveur	-1,61E+05	-3,22E+05	1,33E+13	1	1,33E+13	0,05
L	Facteur de réduction de la distance de sécurité	4,47E+05	8,94E+05	1,02E+14	1	1,02E+14	0,42
<b>AE</b>		<b>2,97E+06</b>	<b>5,94E+06</b>	<b>4,52E+15</b>	<b>1</b>	<b>4,52E+15</b>	<b>18,48</b>
<b>AF</b>		<b>3,44E+06</b>	<b>6,88E+06</b>	<b>6,06E+15</b>	<b>1</b>	<b>6,06E+15</b>	<b>24,76</b>
AG		2,43E+04	4,85E+04	3,01E+11	1	3,01E+11	0,00
BE		8,00E+05	1,60E+06	3,28E+14	1	3,28E+14	1,34
BF		3,08E+05	6,17E+05	4,87E+13	1	4,87E+13	0,20
BG		7,97E+05	1,59E+06	3,25E+14	1	3,25E+14	1,33
CE		-3,10E+05	-6,21E+05	4,94E+13	1	4,94E+13	0,20
CF		-4,33E+04	-8,67E+04	9,62E+11	1	9,62E+11	0,00
CG		-9,25E+05	-1,85E+06	4,38E+14	1	4,38E+14	1,79
CH		-7,77E+05	-1,55E+06	3,09E+14	1	3,09E+14	1,26
CI		-1,14E+05	-2,29E+05	6,71E+12	1	6,71E+12	0,03
CK		9,99E+05	2,00E+06	5,11E+14	1	5,11E+14	2,09
<b>DE</b>		<b>-2,87E+06</b>	<b>-5,73E+06</b>	<b>4,21E+15</b>	<b>1</b>	<b>4,21E+15</b>	<b>17,19</b>
<b>DF</b>		<b>-4,05E+06</b>	<b>-8,11E+06</b>	<b>8,41E+15</b>	<b>1</b>	<b>8,41E+15</b>	<b>34,36</b>
DG		1,69E+05	3,38E+05	1,46E+13	1	1,46E+13	0,06
DH		-1,17E+04	-2,35E+04	7,04E+10	1	7,04E+10	0,00
DI		-8,18E+05	-1,64E+06	3,42E+14	1	3,42E+14	1,40
DJ		4,26E+05	8,51E+05	9,28E+13	1	9,28E+13	0,38
DK		-1,58E+04	-3,16E+04	1,28E+11	1	1,28E+11	0,00
DL		8,78E+04	1,76E+05	3,95E+12	1	3,95E+12	0,02
<b>EF</b>		<b>2,88E+06</b>	<b>5,77E+06</b>	<b>4,26E+15</b>	<b>1</b>	<b>4,26E+15</b>	<b>17,39</b>

Nom		Coefficients (10 <sup>-10</sup> )	Effets (10 <sup>-10</sup> )	Somme des carrés (10 <sup>-10</sup> )	DF	Carré moyen (10 <sup>-10</sup> )	Va- leur-F
EG		1,05E+05	2,10E+05	5,63E+12	1	5,63E+12	0,02
EH		4,98E+05	9,97E+05	1,27E+14	1	1,27E+14	0,52
EI		9,43E+05	1,89E+06	4,56E+14	1	4,56E+14	1,86
EJ		-7,99E+05	-1,60E+06	3,27E+14	1	3,27E+14	1,34
EK		-5,57E+03	-1,11E+04	1,59E+10	1	1,59E+10	0,00
EL		-3,92E+05	-7,83E+05	7,85E+13	1	7,85E+13	0,32
FG		-1,33E+05	-2,66E+05	9,09E+12	1	9,09E+12	0,04
FH		1,56E+04	3,12E+04	1,25E+11	1	1,25E+11	0,00
FI		8,33E+05	1,67E+06	3,56E+14	1	3,56E+14	1,45
FJ		-4,51E+05	-9,02E+05	1,04E+14	1	1,04E+14	0,43
FK		3,49E+03	6,99E+03	6,25E+09	1	6,25E+09	0,00
FL		-5,90E+04	-1,18E+05	1,78E+12	1	1,78E+12	0,01
GH		2,26E+04	4,53E+04	2,62E+11	1	2,62E+11	0,00
GI		2,93E+05	5,86E+05	4,39E+13	1	4,39E+13	0,18
GJ		-8,10E+05	-1,62E+06	3,36E+14	1	3,36E+14	1,37
<b>GK</b>		<b>-2,98E+06</b>	<b>-5,96E+06</b>	<b>4,54E+15</b>	<b>1</b>	<b>4,54E+15</b>	<b>18,55</b>
GL		1,49E+05	2,97E+05	1,13E+13	1	1,13E+13	0,05
<b>HL</b>		<b>-3,16E+06</b>	<b>-6,33E+06</b>	<b>5,12E+15</b>	<b>1</b>	<b>5,12E+15</b>	<b>20,93</b>
IJ		-5,05E+04	-1,01E+05	1,30E+12	1	1,30E+12	0,01
IK		-3,94E+05	-7,88E+05	7,95E+13	1	7,95E+13	0,32
IL		-2,86E+05	-5,73E+05	4,20E+13	1	4,20E+13	0,17
JK		3,59E+05	7,18E+05	6,60E+13	1	6,60E+13	0,27
JL		4,61E+04	9,22E+04	1,09E+12	1	1,09E+12	0,00
KL		-9,10E+04	-1,82E+05	4,24E+12	1	4,24E+12	0,02
Absence de concor- dance				2,974E+16	71	4,188E+14	1,71
Erreur				9,473E+16	387	2,448E+14	
F <sub>(1, 387, 0,05)</sub> =		3,866					

Pour le tronçon avec bretelles confondues, les termes significatifs du premier et du deuxième ordre du **Tableau 5** ont été régressés contre l'« IA par véh. » pour obtenir une expression linéaire sous la forme :

$$\begin{aligned}
\overline{CPI/Veh} = & 4.421(10^{-4}) - 3.777(10^{-4}) \cdot (\text{desired average speed}) - 3.675(10^{-4}) \cdot (\text{maximum look ahead distance}) \\
& + 2.988(10^{-4}) \cdot (CC0) + 3.706(10^{-4}) \cdot (CC1) + 2.972(10^{-4}) \cdot (\text{desired average speed}) \cdot (CC0) \\
& - 3.440(10^{-4}) \cdot (\text{desired average speed}) \cdot (CC1) - 2.866(10^{-4}) \cdot (\text{maximum look ahead distance}) \\
& - 2.977(10^{-4}) \cdot (CC3) \cdot (\text{accepted deceleration of trailing vehicle}) \\
& - 3.163(10^{-4}) \cdot (CC5) \cdot (\text{safety distance factor})
\end{aligned} \tag{4}$$

## TRADUCTION :

$$\begin{aligned}
IA/véh. = & 4,421(10^{-4}) - 3,777(10^{-4}) \cdot (\text{vitesse moyenne désirée}) - 3,675(10^{-4}) \cdot (\text{distance d'espace maximale}) \\
& + 2,988(10^{-4}) \cdot (CC0) + 3,706(10^{-4}) \cdot (CC1) + 2,972(10^{-4}) \cdot (\text{vitesse moyenne recherchée}) \cdot (CC0) \\
& - 3,440(10^{-4}) \cdot (\text{vitesse moyenne recherchée}) \cdot (CC1) - 2,866(10^{-4}) \cdot (\text{distance d'espace maximale}) \\
& - 2,977(10^{-4}) \cdot (CC3) \cdot (\text{décélération acceptée du véhicule suiveur}) \\
& - 3,163(10^{-4}) \cdot (CC5) \cdot (\text{facteur de distance de sécurité})
\end{aligned}$$

#### Étape 4 : Valeurs paramétriques de VISSIM

À cette étape, on a utilisé les **équations 3 et 4** pour établir un amalgame de valeurs qui génèrent l'IA moyen/véh. observé dans les données sur le suivi des véhicules du NGSIM à la fois pour les tronçons avec bretelles de sortie et les tronçons avec bretelles d'accès/sortie confondues. Les données sur le suivi des véhicules génèrent des valeurs cibles respectives d'IA/véh. de  $9,920(10^{-5})$  et de  $9,526(10^{-5})$  pour les tronçons avec bretelles de sortie et les tronçons avec bretelles d'accès/sortie confondues.

Si l'on prend le cas des tronçons avec bretelles de sortie, l'**équation 3** peut offrir de nombreuses solutions, c'est-à-dire des valeurs d'intrants qui donnent un IA moyen donné par véhicule. Un certain nombre de procédures ont été analysées en vue de retenir la solution de la « meilleure estimation » parmi l'ensemble des valeurs de prédilection. Mentionnons notamment les algorithmes génétiques (Cunto et Saccomanno, 2007) et l'optimum de Pareto (Grierson, 2007). Dans cet exercice, on a sélectionné un algorithme génétique pour obtenir l'une des solutions optimales à l'**équation 3** au sujet du tronçon avec bretelles de sortie et à l'**équation 4** pour le tronçon avec bretelles confondues.

L'algorithme génétique (AG) est une technique de recherche qui permet de trouver des solutions à un problème d'optimisation donné. Un algorithme génétique type nécessite la définition préalable de deux contraintes :

1. Représentation génétique du domaine de solution;
2. Fonction d'aptitude pour évaluer le domaine de solution.

Dans ce cas, la représentation génétique du rendement en matière de sécurité est exprimée de façon linéaire à l'aide du plan factoriel fractionné établi à l'étape précédente. La fonction d'aptitude est définie comme la somme résiduelle des carrés extraits de la simulation par rapport aux mesures observées dans les données sur le suivi des véhicules. La fonction d'aptitude mesure la *qualité* de la solution représentée.

Une fois que la représentation génétique et la fonction d'aptitude sont définies, l'AG s'occupe d'initialiser de façon aléatoire un ensemble de solutions. Celles-ci sont ensuite améliorées par l'application répétitive d'opérateurs de mutation, de permutation, d'inversion et de sélection.

Les meilleures estimations des intrants significatifs des tronçons avec bretelles de sortie sont résumées au **Tableau 6**.

**Tableau 6 – Meilleures estimations de l'algorithme génétique des paramètres de VISSIM (tronçon avec bretelles de sortie)**

Mesures de sécurité	Intrants
Véhicules observés en avant	2
Facteur de distance de sécurité	0,46
Vitesse moyenne recherchée	106,80
Distance d'espacement maximale	114,13
Décélération acceptable des véhicules qui changent de voie	-2,25
CC0	2,88

Ces intrants correspondent à un IA moyen simulé/véh. de  $1,048(10^{-4})$ , légèrement supérieur à la valeur cible recherchée du NGSIM, qui est de  $9,921(10^{-5})$ . Le nombre moyen simulé de véhicules en conflit (6,6 véhicules) correspond de près à la valeur cible de 6 du NGSIM. Pour les données d'étalonnage, on a estimé que le pourcentage d'erreur de l'IA/véh. était relativement bas, à environ 5,7 %.

On a obtenu une valeur plus élevée de l'IA/véh. à partir des données sur le suivi des véhicules, ce qui incite à penser que le modèle de simulation sous-estime légèrement le manque de sécurité. Aussi bien les valeurs simulées qu'observées de l'IA/véh. se situent dans des plages d'erreur acceptables, ce qui incite à croire que le modèle de simulation utilisé dans cette étude reflète fidèlement le rendement observé en matière de sécurité dans les données du NGSIM.

Pour le tronçon d'autoroute avec bretelles confondues, on a appliqué une procédure analogue pour obtenir la meilleure estimation des paramètres d'entrée résumés au **Tableau 7**.

**Tableau 7 – Meilleures estimations de l’algorithme génétique des paramètres de VISSIM (tronçon avec bretelles confondues)**

Paramètre de VISSIM	Valeur
Facteur de distance de sécurité	0,76
Vitesse moyenne recherchée	106,70
Distance d’espace maximale	243,97
Décélération acceptable du véhicule suiveur	-1,10
CC0	2,44
CC1	1,09
CC3	-6,09
CC5	1,88

Ces intrants correspondent à un IA moyen simulé/véh. de  $8,274(10^{-5})$ , ce qui est légèrement inférieur à la valeur ciblée recherchée du NGSIM, qui est de  $9,526(10^{-5})$  pour le tronçon avec bretelles d’accès/sortie confondues. Pour les données d’étalonnage, on a estimé que le pourcentage d’erreur de l’IA/véh. était relativement faible, à environ 13,9 %. On a obtenu un IA/véh. plus élevé à partir des données sur le suivi des véhicules, ce qui incite à penser que la simulation sous-estime sans doute le manque de sécurité. Toutefois, aussi bien les valeurs simulées qu’observées de l’IA/véh. se situent dans des plages d’erreur acceptables, ce qui incite à croire que le modèle de simulation utilisé dans cette étude reflète fidèlement le rendement observé en matière de sécurité dans les données du NGSIM.

### Étape 5 : Validation des extrants du modèle (rendement en matière de sécurité)

L’une des grandes préoccupations soulevées par l’étalonnage de VISSIM tel qu’il est abordé ci-dessus consiste à savoir si les estimations des paramètres sont applicables à d’autres ensembles de données indépendants présentant des caractéristiques similaires en matière de circulation et de géométrie.

Avant de sélectionner les caractéristiques de l’ensemble de données de validation, nous devons nous assurer que des comportements de conduite analogues s’appliquent à la fois aux ensembles de données d’étalonnage et de validation. Mentionnons à titre d’exemple les réactions d’un automobiliste sur une autoroute urbaine par opposition à une route rurale à deux voies. Dans ce dernier cas, les possibilités de dépassement revêtent de l’importance pour établir la vitesse recherchée du véhicule, alors que les possibilités de dépassement sur autoroute revêtent moins d’importance.

Comme le résumant les **tableaux 6 et 7** au sujet des données de validation, les valeurs d’entrée des meilleures estimations de VISSIM résultant de l’exercice d’étalonnage ont donné un IA simulé/véh. de  $1,070(10^{-4})$ , qui soutient bien la comparaison avec la valeur observée dans l’échantillon de validation du NGSIM, qui est de  $1,243(10^{-4})$ . Cela donne une « erreur de portabilité » de 5,7 % (dans le cas du tronçon avec bretelles de sortie) et de

-13,9 % (dans le cas du tronçon avec bretelles confondues), deux valeurs qui se situent dans des plages acceptables pour l'IA/véh. Cela incite à croire que les paramètres d'entrée de VISSIM obtenus par étalonnage sont effectivement transférables à l'échantillon de validation des données sur le suivi des véhicules pour les deux configurations géométriques envisagées dans l'analyse.

## Établissement d'un lien entre l'IA et les accidents observés

La difficulté qu'il y a à lier le rendement en matière de sécurité aux collisions, selon les observations de Gettman et Head (2003a), ne tient pas tant à la question de savoir si ces indicateurs peuvent reproduire fidèlement les accidents réels, mais s'il est possible de les corrélérer aux caractéristiques de la circulation qui reflètent des situations dangereuses à un emplacement et à un moment donnés. Cela ne veut pas dire que les indicateurs de substitution doivent prédire les accidents avec exactitude, mais plutôt qu'ils doivent pouvoir faire la distinction au sujet d'un courant de circulation donné entre les situations à haut risque (accidents) et les situations à faible risque (pas d'accidents). Cette partie du rapport établit un lien entre les mesures simulées de l'IA et les comportements à haut risque observés tels qu'ils se reflètent dans les données sur les accidents.

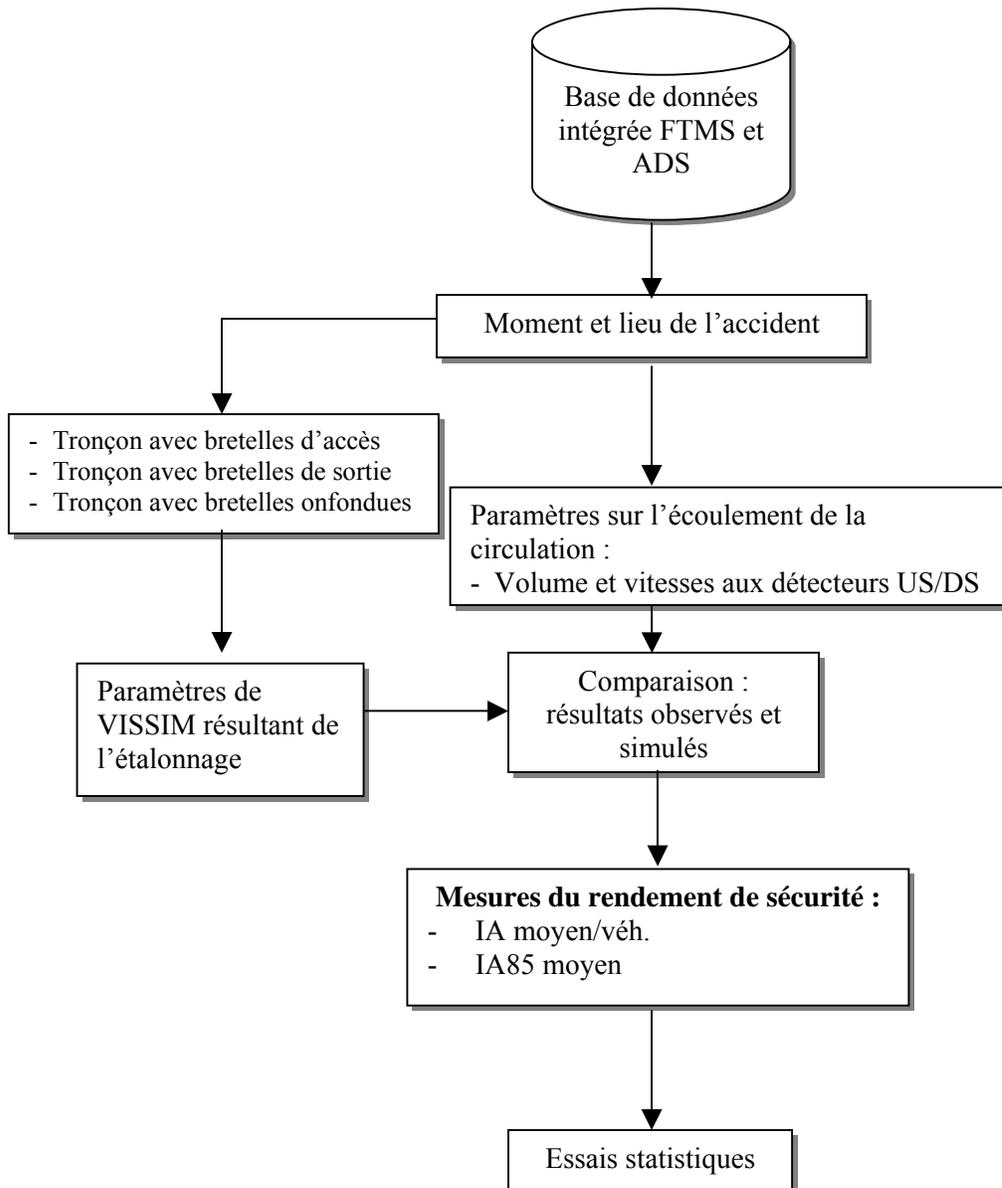
De récentes études ont cherché à estimer le potentiel d'accidentalité en « temps réel » en analysant des facteurs temporels comme les variations de vitesse et d'accélération dans les trajectoires d'un véhicule en particulier et pour l'ensemble du courant de la circulation. Ce type d'analyse renvoie aux conditions de circulation qui existent pendant un bref moment avant l'accident, et on qualifie couramment ces facteurs de « précurseurs d'accidents » (Garber et Ehrhart, 2000, Lee *et al.*, 2002, Lee *et al.*, 2003, et Abdel-Aty et Pande, 2005). En général, les études consacrées aux précurseurs d'accidents cherchent à lier les coefficients de variation de la vitesse, de la densité et du volume extraits des détecteurs au niveau du sol aux accidents observés sur une période de temps donnée (disons 6 à 12 mois).

Dans cette partie du rapport, nous décrivons une procédure qui compare les mesures simulées de l'IA aux accidents observés, en fonction des données des détecteurs au niveau du sol extraites d'un tronçon de l'autoroute QEW muni d'appareils dans la région du Grand Toronto (GTA) sur une période de cinq ans (1997-2001). La comparaison repose sur une analyse des accidents signalés sur ce tronçon dans le Freeway Traffic Management System (FTMS) et l'Accident Data System (ADS) de l'autoroute QEW. L'utilisation de ces données permet d'analyser le rendement de sécurité simulé du courant de circulation en temps réel sur une période de 5 minutes avant chaque collision, selon l'extrait du FTMS effectué aux détecteurs au niveau du sol les plus proches en amont et en aval.

### Procédure adoptée

La procédure adoptée pour cette étude cherche à reproduire au niveau microscopique les débits de la circulation similaire observés aux détecteurs au niveau du sol 5 minutes avant chaque collision. On présume que 5 minutes est un intervalle suffisant durant lequel les changements qui se produisent dans la circulation peuvent avoir un effet direct sur une collision. Les deux principaux facteurs qui affectent l'écoulement de la circulation sont censés être : le volume (v/h) et la vitesse (km/h). On établit des modes d'écoulement de la circulation analogues en faisant concorder les valeurs de volume et de vitesse observées et simulées par tranches d'une minute à la fois pour les détecteurs en amont (US) et en aval (DS).

Dès lors qu'on obtient des conditions analogues, on calcule l'IA moyen/véh. et l'IA85 à propos de chaque minute qui a précédé chaque accident. On peut prévoir qu'à mesure qu'on approche du moment de l'accident, l'IA moyen/véh. a tendance à augmenter, ce qui reflète une perturbation accrue de la circulation et une augmentation des risques d'accident. Le cadre de cette analyse est illustré à la **Figure 4**.



**Figure 4 – Cadre de validation des mesures de l’IA d’après les données observées sur les accidents**

La procédure qui consiste à lier l'IA/véh. à l'intervalle observé qui s'écoule avant l'accident comprend quatre étapes :

1. Estimer une heure relativement « précise » de chaque accident en fonction des courbes de vitesse observées par les détecteurs au niveau du sol, c'est-à-dire le délai de réduction de la vitesse maximale au premier détecteur US moins le temps approximatif qu'il faut pour que l'onde de choc de l'accident se propage du lieu de l'accident jusqu'au détecteur US.
2. À propos de chaque accident, obtenir les mesures du volume/vitesse par tranches d'une minute à la fois aux détecteurs en aval et en amont 5 minutes avant l'heure estimative de l'accident.
3. Simuler le tronçon à l'aide des paramètres de VISSIM découlant de l'exercice d'étalonnage et comparer les courbes simulées de volume/vitesse aux détecteurs US et DS aux courbes observées dans les données du FTMS.
4. Estimer les mesures du rendement de sécurité découlant de l'exercice de simulation en utilisant 10 valeurs de départ indépendantes au sujet de l'intervalle de 5 minutes qui a précédé l'accident. Signalons que les meilleures valeurs de départ ont été adoptées en comparant la somme résiduelle des carrés entre les données simulées et observées du volume/vitesse, et que les valeurs qui ont donné l'erreur quadratique résiduelle la plus basse ont été retenues.

L'hypothèse fondamentale qui sous-tend cette comparaison est que l'IA moyen simulé/véh. est censé augmenter à mesure qu'approche l'heure estimative de l'accident. L'IA85 moyen a été retenu comme mesure supplémentaire de cet exercice car il exclut les comportements extrêmes à haut risque dans le courant de circulation et qu'il a donc moins de chances de varier dans le temps. Cela donne un indicateur plus stable des perturbations générales de la circulation que l'IA moyen par véhicule.

### **Base de données sur les accidents et l'écoulement de la circulation**

Les données utilisées dans cette analyse sont extraites d'un tronçon du Queen Elizabeth Way (QEW) muni d'appareils dans la région de Peel. Ce tronçon du QEW s'étend sur 19 km le long de la rive nord du lac Ontario depuis Royal Windsor Drive jusqu'à la route 427 (**Figure 5**). Ces données proviennent d'une combinaison de trois bases de données séparées : 1) le Système de données sur les accidents (ADS); 2) le système COMPASS; 3) le registre de données sur les incidents FTMS. L'ADS est un recueil d'accidents extraits des rapports de police. Le système COMPASS désigne la vitesse, le volume et les taux d'occupation regroupés par intervalles de 20 secondes à divers postes de détection au niveau du sol situés le long du QEW. Parallèlement au système COMPASS, le registre de données sur les incidents FTMS fournit des données visuellement vérifiables sur les événements (y compris les accidents) qui ont perturbé l'écoulement de la circulation. Les données sur les accidents du FTMS ont été appariées aux données des détecteurs au niveau du sol du système COMPASS, et on a lié toutes ces données aux renseignements détaillés sur chaque accident figurant dans la base de données ADS. Une concordance entre les données FTMS et les données ADS permet d'établir un lien entre la circulation en temps réel sur le QEW vers l'heure de l'accident et les caractéristiques de l'accident proprement dit.



**Figure 5 – Site étudié le long du QEW (source : Site Web Compass, 2003)**

Ibarrola (2004) a étudié un certain nombre d'incohérences entre les bases de données ci-dessus et conçu une méthode afin d'intégrer les registres d'incidents ADS et FTMS pour le tronçon étudié du QEW. Il a enquêté au total sur 297 accidents observés sur le tronçon étudié et a estimé l'heure « précise » de chaque accident en fonction des données des détecteurs au niveau du sol. L'heure de l'accident est l'heure de réduction de la vitesse maximale pour chaque accident au premier détecteur en amont moins le temps approximatif qu'il faut pour que l'onde de choc de l'accident se propage entre le lieu de l'accident et ce détecteur.

La **Figure 6** illustre la procédure visuelle qui sert à déterminer l'heure de l'accident en utilisant la courbe de vitesse observée FTMS/COMPASS pour un accident donné, soit le n° 405. D'après la **Figure 6**, nous constatons que la réduction de la vitesse maximale au premier détecteur en amont a lieu entre 18:14:00 et 18:16:00. L'heure d'arrivée prévue la plus hâtive de l'onde de choc est 18:14:00. Lee (2004) a estimé un intervalle entre le moment où l'onde de choc parvient au premier détecteur en amont et l'heure de l'accident qui se situe entre deux et trois intervalles de sondage (40 à 60 secondes). Pour l'accident n° 405, l'heure prévue de l'accident se situe entre 18:13:00 et 18:13:20. Un axe de raisonnement semblable a été appliqué aux autres accidents dans l'échantillon FTMS.

Date: 09/02/1999  
 Upstream VDS: QEWDE490DES  
 Downstream VDS: QEWDE500DES  
 FTMS Detection: 18:27:20  
 Time of the crash: 18:15:00

Speed Profile for Crash 405

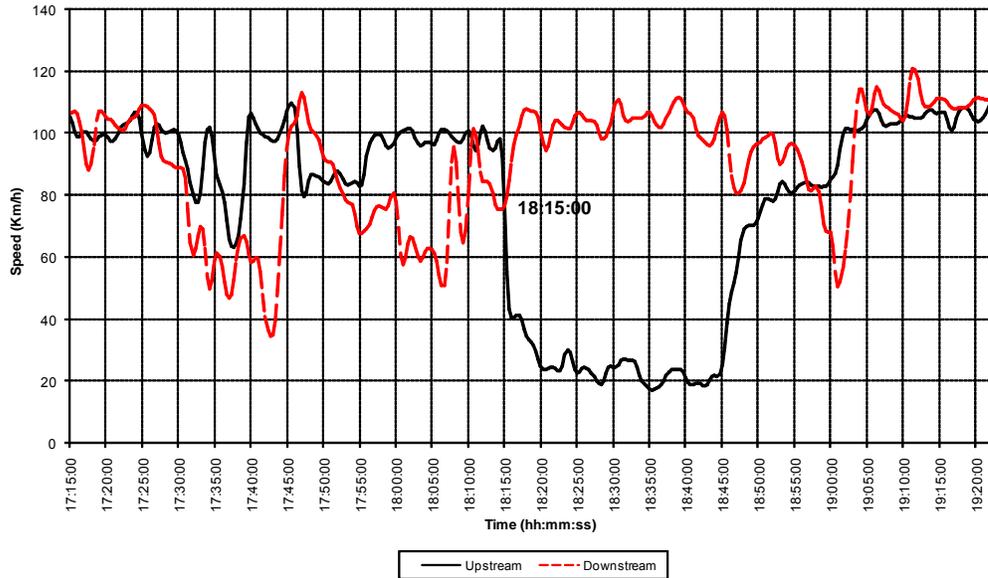


Figure 6 – Courbe de vitesse de l'accident 405

TRADUCTION :

Date : 02-09-1999

Courbe de vitesse de l'accident 405

Détecteur en amont :

Détecteur en aval :

Détecteur FTMS :

Heure de l'accident :

Speed (Km/h) = Vitesse (km/h)

18:15:00

Time (hh:mm:ss) = Heure (hh:mm:ss)

Upstream = En amont

Downstream = En aval

Codage du réseau et simulation

Le codage du réseau peut être décrit comme la procédure qui consiste à incorporer les paramètres de géométrie et d'écoulement de la circulation propres à chaque accident dans la plate-forme de microsimulation VISSIM adoptée pour cette étude. Les caractéristiques géométriques de chaque accident, comme le nombre de voies et leur configuration, proviennent des images du site fournies par le logiciel Google Earth©. Ces images ont servi de toile de fond pour produire le réseau physique de VISSIM. On a réglé le secteur d'intérêt pour qu'il corresponde aux premiers détecteurs en aval et en amont au sujet de chaque accident.

Les caractéristiques de la circulation utilisées dans la simulation cherchaient à reproduire le plus fidèlement possible les caractéristiques observées 5 minutes avant l'accident aux détecteurs en amont et en aval. Deux caractéristiques ont été analysées : le volume au

détecteur en amont et la courbe de vitesse au détecteur en aval. On a présumé que l'intervalle de 5 minutes reflétait le délai durant lequel l'état de la circulation (perturbation) affecte un accident ultérieur.

Le contrôle du volume imposé aux détecteurs en amont reproduit des espacements similaires observés toutes les 20 secondes sur chaque voie. Toutefois, les ondes de choc de l'écoulement de la circulation provoquées par les perturbations en aval du secteur d'intérêt sont susceptibles d'affecter le courant de la circulation entre les détecteurs. Idéalement, il convient de coder le réseau dans son intégralité pour pouvoir saisir ces « discontinuités ». Une façon pratique de régler ce problème consiste à imposer la même courbe de vitesse au détecteur en aval que la courbe observée dans les données du détecteur au niveau du sol. On a fait concorder à la fois les volumes et les vitesses aux détecteurs en amont et en aval en utilisant l'application « Visual Basic.net » conçue pour modifier ces intrants dans VISSIM par voie et par tranche d'une minute.

Le **Tableau 8** résume la différence entre les courbes de volume et de vitesse observées et simulées pour un échantillon de 20 accidents analysés. Il faut signaler que, dans toutes les simulations, le même ensemble optimal de paramètres de VISSIM calculés par étalonnage ont été utilisés en fonction de leurs conditions géométriques respectives (tronçon avec bretelles de sortie, tronçon avec bretelles d'accès, tronçon avec bretelles confondues).

Les simulations ont été réalisées moyennant une période d'échauffement de 30 minutes pour permettre au courant de circulation (avec et sans embouteillages) de devenir relativement stable. Après cette période d'échauffement, les données sur chaque véhicule ont été enregistrées pour chaque intervalle de 0,1 seconde pendant la durée de 5 minutes sélectionnée. Dix reproductions de chaque simulation ont servi à estimer la moyenne des mesures du rendement de sécurité (IA moyen/véh.).

**Tableau 8 – Courbes de volume/vitesse observées et simulées**

ID de l'accident	Intervalle (min)	Détecteur EN AMONT						Détecteur EN AVAL					
		Volume (v/h)			Vitesse (km/h)			Volume (v/h)			Vitesse (km/h)		
		Obs.	Sim.	ET	Obs.	Sim.	ET	Obs.	Sim.	ET	Obs.	Sim.	ET
<b>118</b>	0 - 1	2520	2767	<b>0,06</b>	99	105	<b>0,07</b>	2760	2547	<b>0,06</b>	99	106	<b>0,04</b>
	1 - 2	3240	3253		95	105		2940	3033		93	91	
	2 - 3	3360	3347		99	105		3480	3220		93	94	
	3 - 4	2460	2647		101	106		3240	2960		108	105	
	4 - 5	2940	3000		99	105		2820	2793		97	100	
<b>239</b>	0 - 1	4800	5112	<b>0,09</b>	104	102	<b>0,03</b>	6180	5790	<b>0,13</b>	102	100	<b>0,02</b>
	1 - 2	7140	6582		90	95		4320	5274		105	102	
	2 - 3	7740	6798		93	91		7140	6660		91	91	
	3 - 4	7380	6498		94	95		8160	6786		75	74	
	4 - 5	6120	6054		97	98		6480	6354		64	63	

ID de l'accident	Inter- valle (min)	Détecteur EN AMONT						Détecteur EN AVAL					
		Volume (v/h)			Vitesse (km/h)			Volume (v/h)			Vitesse (km/h)		
		Obs.	Sim.	ET	Obs.	Sim.	ET	Obs.	Sim.	ET	Obs.	Sim.	ET
<b>320</b>	0 - 1	5460	5784	<b>0,10</b>	79	85	<b>0,20</b>	5220	6078	<b>0,11</b>	92	86	<b>0,05</b>
	1 - 2	6120	5784		89	100		5520	5904		90	86	
	2 - 3	6180	6066		96	98		6600	6060		88	84	
	3 - 4	4980	4092		95	103		4380	4962		74	70	
	4 - 5	4920	5340		68	96		2100	2178		39	39	
<b>371</b>	0 - 1	3840	3930	<b>0,04</b>	100	105	<b>0,13</b>	4320	4104	<b>0,04</b>	100	104	<b>0,04</b>
	1 - 2	3960	4032		101	105		4080	4032		104	104	
	2 - 3	4620	4368		97	104		3780	3936		103	100	
	3 - 4	5580	5280		97	101		4980	5046		97	91	
	4 - 5	4140	4098		80	102		4200	4464		78	78	
<b>372</b>	0 - 1	4860	4830	<b>0,01</b>	94	92	<b>0,07</b>	4920	4704	<b>0,10</b>	102	96	<b>0,07</b>
	1 - 2	3840	3858		100	97		4740	3888		106	97	
	2 - 3	6120	5952		87	76		3120	3243		104	93	
	3 - 4	5460	5466		95	89		5640	5304		85	85	
	4 - 5	5160	5112		100	94		5400	4986		87	91	
<b>405</b>	0 - 1	5760	5688	<b>0,02</b>	96	102	<b>0,06</b>	4320	4620	<b>0,04</b>	97	100	<b>0,05</b>
	1 - 2	5580	5550		99	102		5040	5106		92	97	
	2 - 3	5580	5688		98	102		4920	5052		83	90	
	3 - 4	6240	5958		94	101		4740	4956		82	83	
	4 - 5	6600	6654		91	99		5340	5508		75	76	
<b>406</b>	0 - 1	5640	5364	<b>0,03</b>	58	70	<b>0,18</b>	4680	4536	<b>0,09</b>	34	36	<b>0,14</b>
	1 - 2	5220	5316		59	71		4680	4812		50	53	
	2 - 3	5100	4980		65	76		4260	3948		37	39	
	3 - 4	5580	5460		64	72		3240	3552		22	20	
	4 - 5	5340	5442		56	67		4500	3750		36	25	
<b>455</b>	0 - 1	5940	6084	<b>0,04</b>	66	56	<b>0,13</b>	5340	5952	<b>0,09</b>	90	88	<b>0,06</b>
	1 - 2	6060	6042		73	64		6360	6012		86	85	
	2 - 3	5760	6000		70	75		5640	6078		74	75	
	3 - 4	6480	6288		67	81		5940	5928		54	58	
	4 - 5	5880	6330		78	74		5160	5862		56	50	
<b>478</b>	0 - 1	5100	5796	<b>0,08</b>	48	54	<b>0,09</b>	5400	6018	<b>0,06</b>	75	77	<b>0,10</b>
	1 - 2	5760	6102		68	68		6120	6120		71	76	
	2 - 3	6300	6342		66	68		5940	5952		66	65	
	3 - 4	6180	6174		67	56		4860	4986		51	49	
	4 - 5	5580	6030		54	54		3120	3246		47	38	
<b>522</b>	0 - 1	5520	5569	<b>0,02</b>	109	100	<b>0,06</b>	5520	5618	<b>0,04</b>	108	101	<b>0,06</b>

ID de l'accident	Inter- valle (min)	Détecteur EN AMONT						Détecteur EN AVAL					
		Volume (v/h)			Vitesse (km/h)			Volume (v/h)			Vitesse (km/h)		
		Obs.	Sim.	ET	Obs.	Sim.	ET	Obs.	Sim.	ET	Obs.	Sim.	ET
	1 - 2	4320	4445		113	104		5220	4985		113	101	
	2 - 3	5100	4991		101	102		4380	4615		109	103	
	3 - 4	6120	6076		104	98		5520	5678		101	100	
	4 - 5	6420	6284		99	98		5880	6022		99	100	
<b>571</b>	0 - 1	4800	5208	<b>0,10</b>	68	57	<b>0,13</b>	5340	5190	<b>0,10</b>	55	56	<b>0,07</b>
	1 - 2	5280	5220		60	52		4560	4944		57	50	
	2 - 3	5100	5298		63	57		5040	5178		54	52	
	3 - 4	5100	5310		63	52		4980	5190		54	53	
	4 - 5	4140	4974		41	44		4320	5148		47	50	
<b>595</b>	0 - 1	5340	5304	<b>0,04</b>	82	103	<b>0,17</b>	4860	4728	<b>0,07</b>	68	70	<b>0,07</b>
	1 - 2	4500	4632		104	105		4080	3780		41	46	
	2 - 3	5460	5568		104	104		3780	4140		44	44	
	3 - 4	6420	6120		105	103		4560	4980		63	65	
	4 - 5	6120	5748		82	104		4680	4632		50	53	
<b>688</b>	0 - 1	5220	5004	<b>0,06</b>	59	49	<b>0,09</b>	6000	5352	<b>0,09</b>	58	47	<b>0,22</b>
	1 - 2	5640	5460		60	60		5160	5556		73	53	
	2 - 3	5640	5352		60	58		5460	5544		79	54	
	3 - 4	4680	5106		80	73		5520	5952		74	65	
	4 - 5	5520	5298		86	87		4800	5460		48	45	
<b>702</b>	0 - 1	5880	5946	<b>0,06</b>	71	67	<b>0,12</b>	5460	5880	<b>0,08</b>	95	88	<b>0,06</b>
	1 - 2	5940	5988		76	68		6300	5958		90	88	
	2 - 3	6480	6018		80	76		5520	5934		79	79	
	3 - 4	5280	5484		95	93		4680	5124		42	42	
	4 - 5	4140	4530		82	102		4680	5112		46	41	
<b>731</b>	0 - 1	6309	6072	<b>0,06</b>	94	90	<b>0,27</b>	5885	5760	<b>0,09</b>	78	78	<b>0,07</b>
	1 - 2	5703	6114		90	89		5671	5964		65	61	
	2 - 3	5706	6030		82	89		5068	6018		53	57	
	3 - 4	5593	6078		75	85		4546	4626		36	36	
	4 - 5	5134	5340		63	98		4196	4482		37	33	
<b>739</b>	0 - 1	5280	5202	<b>0,05</b>	107	102	<b>0,05</b>	4500	4836	<b>0,08</b>	107	102	<b>0,24</b>
	1 - 2	6660	6528		101	98		6120	5688		104	100	
	2 - 3	5340	5514		107	101		5880	6210		105	98	
	3 - 4	7140	6804		102	99		6000	5796		103	101	
	4 - 5	4920	5376		88	95		2215	2526		66	31	
<b>854</b>	0 - 1	4620	4746	<b>0,02</b>	102	103	<b>0,05</b>	4620	4686	<b>0,05</b>	101	103	<b>0,06</b>
	1 - 2	4440	4500		103	105		4980	4776		99	103	

ID de l'accident	Inter- valle (min)	Détecteur EN AMONT						Détecteur EN AVAL					
		Volume (v/h)			Vitesse (km/h)			Volume (v/h)			Vitesse (km/h)		
		Obs.	Sim.	ET	Obs.	Sim.	ET	Obs.	Sim.	ET	Obs.	Sim.	ET
	2 - 3	6060	5814		91	100		4080	4470		98	103	
	3 - 4	6300	6306		94	96		6120	6336		90	98	
	4 - 5	5940	5856		94	100		6360	6066		77	74	
<b>884</b>	0 - 1	5100	5180	<b>0,03</b>	42	46	<b>0,05</b>	5100	5327	<b>0,09</b>	56	43	<b>0,18</b>
	1 - 2	5400	5193		52	51		6000	5420		60	47	
	2 - 3	5520	5567		61	59		5700	5780		73	60	
	3 - 4	5460	5527		59	61		5040	5027		38	38	
	4 - 5	5220	5547		64	65		4500	5213		57	45	
<b>888</b>	0 - 1	4380	4140	<b>0,06</b>	108	104	<b>0,05</b>	5220	4740	<b>0,09</b>	94	101	<b>0,05</b>
	1 - 2	6060	5904		100	97		4380	4884		105	102	
	2 - 3	4440	4128		104	102		5460	5148		92	98	
	3 - 4	6300	6048		91	99		4860	5172		82	84	
	4 - 5	5460	5028		98	101		4980	5496		58	59	
<b>903</b>	0 - 1	6660	6204	<b>0,09</b>	91	98	<b>0,22</b>	6180	5562	<b>0,15</b>	94	92	<b>0,21</b>
	1 - 2	6840	6378		92	96		6840	6240		92	90	
	2 - 3	6780	6228		96	97		6900	6240		92	90	
	3 - 4	6240	5964		97	95		5160	5580		61	57	
	4 - 5	5100	5910		57	86		2400	3060		38	21	

- Note : Les courbes de volume/vitesse simulées correspondent à la moyenne des 10 simulations pour chaque accident.

## Établissement d'un lien entre l'IA/véh. et le délai qui s'écoule avant l'accident

Deux mesures de sécurité ont été simulées et regroupées par tranches d'une minute pour une durée de 5 minutes avant l'accident : 1) IA moyen/véh. et 2) IA85 moyen. La mesure de l'IA/véh. a été obtenue en additionnant toutes les valeurs individuelles d'IA et en les divisant par le nombre de véhicules dans la simulation. D'après l'équation 1, nous constatons que la mesure de l'IA est très sensible aux valeurs élevées des « taux de décélération nécessaires pour éviter l'accident ou DRAC ». Cela peut produire de grandes variations dans la mesure, car elle englobe les rares conflits de niveau supérieur qui ont des valeurs IA anormalement élevées. La mesure de l'IA85<sup>e</sup> centile cherche à saisir le « pire effet » du risque d'accident au sujet d'un échantillon de véhicules en faisant fi des véhicules à risque anormalement élevé qui ont pour effet de fausser l'estimation moyenne. Cela explique que l'IA85 affiche de moindres niveaux de variabilité que l'IA moyen/véh.

Comme nous l'avons déjà vu, des valeurs MADR ont été attribuées à chaque véhicule en présumant une distribution normale tronquée pour les paramètres indiqués au **Tableau 9**. Ainsi, au lieu d'avoir un seuil fixe (disons un taux de décélération de 3,35 m/s<sup>2</sup>) pour définir

le conflit, le seuil est exprimé en fonction de facteurs ou de conditions atténuants, comme les conditions météorologiques et différentes capacités de freinage. Dans ce cas, un conflit est défini pour chaque tranche de temps où le DRAC d'un véhicule donné dépasse son MADR ou sa capacité de freinage. Le MADR est attribué à chaque véhicule d'après la classification du véhicule et le potentiel de frottement de la chaussée. La valeur moyenne présumée pour une chaussée sèche, par exemple, provient des essais sur le terrain (Neilsen, 2008) pour différents véhicules qui en viennent à un arrêt complet alors que leur vitesse initiale était de 80 à 100 km/h.

**Tableau 9 – Distribution normale tronquée du MADR – Chaussée sèche**

Paramètres de distribution du MADR	Voitures	Camions
Moyenne (m/s <sup>2</sup> )	8,45	5,01
Écart type (m/s <sup>2</sup> )	1,40	1,40
Limite supérieure (m/s <sup>2</sup> )	13,45	7,98
Limite inférieure (m/s <sup>2</sup> )	3,45	2,05

Pour établir la capacité d'une mesure donnée de rendement de sécurité à refléter l'augmentation du risque d'accident, on se fonde sur deux hypothèses nulles :

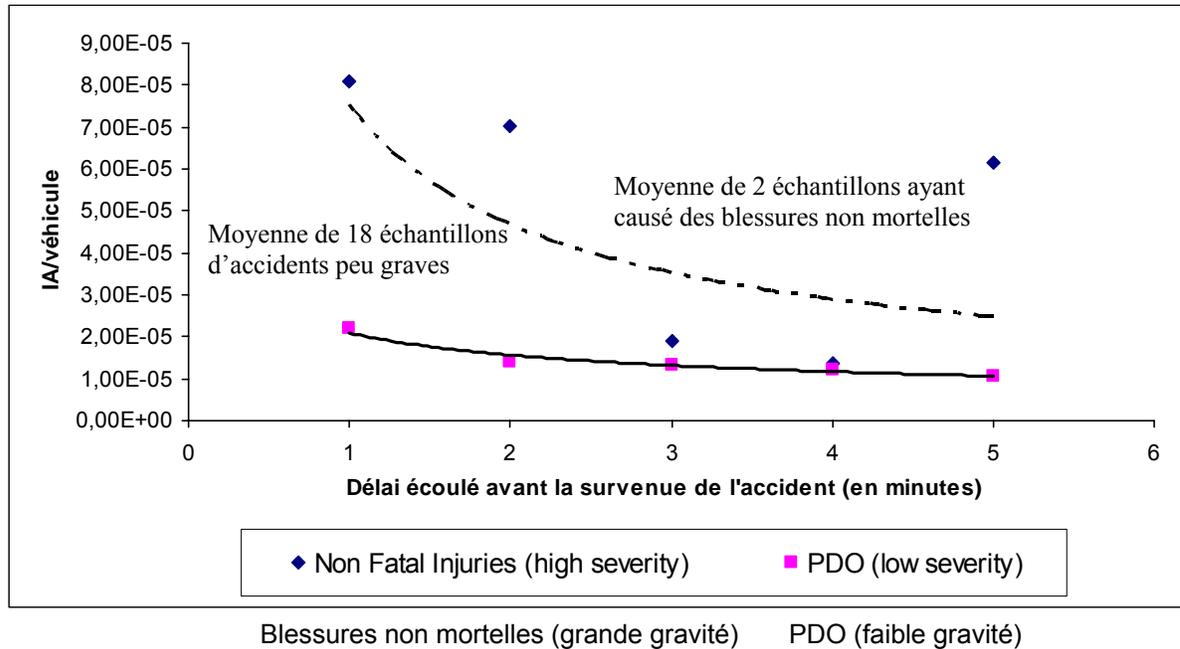
$H_0$  : la mesure de sécurité n'augmente pas à mesure que l'on approche de l'heure de l'accident

et

$H_0$  : la mesure de sécurité n'augmente pas avec la gravité de l'accident.

Le rejet d'une de ces deux hypothèses démontre que la mesure de sécurité envisagée prouve l'augmentation du risque d'accident qui se reflète dans les données d'observation.

Les résultats de l'analyse de l'échantillon de 20 accidents sont illustrés à la **Figure 7**.



**Figure 7 – Indice de sécurité par opposition au délai qui s’écoule pour les accidents peu graves et très graves dans l’échantillon de 20 accidents survenus sur le QEW**

Pour établir ce rapport, on a estimé l’IA/véh. pour chaque véhicule franchissant le tronçon de l’accident entre le détecteur en amont et le détecteur en aval pour chaque intervalle de 0,1 seconde 5 minutes avant chaque accident faisant partie de l’échantillon.

Pour les 20 accidents illustrés à la **Figure 7**, on a observé une baisse du rendement de sécurité (augmentation du risque d’accident) à mesure qu’approchait l’heure de l’accident. C’est pourquoi ces résultats indiquent un rejet de l’hypothèse nulle concernant le risque d’accident et incitent à croire que l’IA moyen/véh. pour le courant de circulation avant l’accident fournit un certain indice du risque accru d’accident. Le rapport illustré à la **Figure 7** suggère une élévation du profil IA/véh. à mesure qu’augmente la gravité de l’accident. Cela semble logique étant donné que les valeurs plus élevées d’IA/véh. sont censées refléter une augmentation de la gravité d’un accident.

Pour l’échantillon de 20 accidents, on a obtenu l’IA/véh. et l’IA85 simulés tels qu’ils sont résumés au **Tableau 10**. L’état de la circulation se rattachant à chaque accident a été déterminé 5 minutes auparavant.

**Tableau 10 – IA/véh. et IA85 simulés pour l'échantillon d'accidents survenus sur le QEW**

ID de l'acc.	Type d'acc.	Heure	IA85 moyen	IA/véh. moyen	ID de l'acc.	Type d'acc.	Heure	IA85 moyen	IA/véh. moyen
595	PDO	0-1min	4,63E-09	9,29E-06	688	PDO	0-1min	8,76E-06	2,49E-05
		1-2min	2,63E-09	1,24E-05			1-2min	2,18E-05	2,24E-05
		2-3min	1,39E-08	3,46E-05			2-3min	1,88E-05	1,71E-05
		3-4min	3,84E-08	2,85E-05			3-4min	4,82E-05	2,08E-05
		4-5min	7,42E-08	9,87E-06			4-5min	2,22E-05	2,43E-05
405	PDO	0-1min	1,51E-09	9,15E-06	702	PDO	0-1min	1,28E-05	3,10E-05
		1-2min	1,24E-09	7,66E-06			1-2min	1,61E-08	2,58E-05
		2-3min	1,03E-09	7,76E-06			2-3min	2,80E-06	1,33E-05
		3-4min	1,02E-09	6,72E-06			3-4min	8,92E-06	1,18E-05
		4-5min	9,36E-10	5,08E-06			4-5min	6,48E-06	1,11E-05
320	PDO	0-1min	9,90E-08	3,96E-05	731	PDO	0-1min	6,97E-06	2,16E-05
		1-2min	2,48E-09	1,76E-05			1-2min	8,76E-06	2,23E-05
		2-3min	1,11E-09	1,05E-05			2-3min	3,40E-06	1,64E-05
		3-4min	1,35E-09	1,02E-05			3-4min	2,72E-06	1,38E-05
		4-5min	1,35E-09	6,89E-06			4-5min	1,40E-09	1,21E-05
371	PDO	0-1min	2,31E-09	7,26E-06	739	PDO	0-1min	5,58E-08	2,31E-05
		1-2min	1,10E-09	6,12E-06			1-2min	1,20E-09	8,36E-06
		2-3min	1,04E-09	4,73E-06			2-3min	1,13E-09	9,15E-06
		3-4min	1,00E-09	4,55E-06			3-4min	3,64E-09	7,93E-06
		4-5min	9,97E-10	4,95E-06			4-5min	1,02E-09	7,84E-06
372	PDO	0-1min	9,68E-10	4,86E-06	854	PDO	0-1min	4,79E-07	1,10E-05
		1-2min	1,02E-09	3,53E-06			1-2min	1,20E-09	8,52E-06
		2-3min	8,51E-10	2,37E-06			2-3min	1,06E-09	8,08E-06
		3-4min	8,77E-10	2,68E-06			3-4min	1,10E-09	9,46E-06
		4-5min	9,28E-10	3,37E-06			4-5min	1,08E-09	9,99E-06
239	PDO	0-1min	1,09E-09	2,52E-06	888	PDO	0-1min	1,70E-06	1,88E-05
		1-2min	8,80E-10	3,52E-09			1-2min	5,37E-06	1,24E-05
		2-3min	7,97E-10	3,10E-07			2-3min	8,28E-06	1,64E-05
		3-4min	8,61E-10	4,33E-10			3-4min	5,32E-06	1,14E-05
		4-5min	8,62E-10	1,65E-09			4-5min	1,23E-09	1,02E-05
455	PDO	0-1min	4,56E-09	1,61E-05	884	PDO	0-1min	4,44E-05	2,65E-05
		1-2min	1,65E-06	1,32E-05			1-2min	2,91E-05	2,11E-05
		2-3min	1,93E-09	1,13E-05			2-3min	6,30E-06	1,96E-05
		3-4min	1,18E-06	8,52E-06			3-4min	2,76E-05	1,95E-05

ID de l'acc.	Type d'acc.	Heure	IA85 moyen	IA/véh. moyen	ID de l'acc.	Type d'acc.	Heure	IA85 moyen	IA/véh. moyen
		4-5min	1,08E-09	7,43E-06			4-5min	4,73E-05	2,58E-05
478	PDO	0-1min	1,11E-08	4,62E-05	903	PDO	0-1min	9,07E-06	2,95E-05
		1-2min	1,18E-08	1,38E-05			1-2min	1,62E-05	2,11E-05
		2-3min	3,84E-06	1,41E-05			2-3min	1,40E-09	9,73E-06
		3-4min	1,73E-09	1,73E-05			3-4min	1,10E-09	6,16E-06
		4-5min	1,25E-09	6,94E-06			4-5min	1,03E-09	6,07E-06
522	PDO	0-1min	1,13E-09	5,78E-06	406	Blessures	0-1min	1,96E-06	1,55E-04
		1-2min	1,05E-09	7,09E-06		non	1-2min	5,31E-07	1,32E-04
		2-3min	1,02E-09	7,80E-06		mortelles	2-3min	4,12E-08	2,95E-05
		3-4min	1,04E-09	7,65E-06			3-4min	9,78E-09	1,79E-05
		4-5min	1,01E-09	8,02E-06			4-5min	2,40E-07	1,14E-04
571	PDO	0-1min	5,31E-05	6,74E-05	118	Blessures	0-1min	1,01E-09	6,67E-06
		1-2min	8,09E-05	3,11E-05		non	1-2min	1,05E-09	8,89E-06
		2-3min	8,63E-05	3,68E-05		mortelles	2-3min	1,13E-09	8,51E-06
		3-4min	8,40E-05	3,27E-05			3-4min	1,86E-06	9,26E-06
		4-5min	1,00E-04	3,20E-05			4-5min	1,01E-09	8,76E-06

Les résultats du **Tableau 10** indiquent que dans 16 cas, on a la preuve d'une augmentation de l'IA/véh. tandis que l'on approche de l'heure de l'accident. Le rapport semble non linéaire au bout de 3 minutes. L'intervalle critique de perturbation de la circulation se rattache à l'intervalle de temps qui précède l'accident d'une minute. Dans 15 cas, l'IA/véh. au cours des deux premiers intervalles d'une minute est le plus élevé, ce qui indique une concordance relativement bonne entre le rendement de sécurité simulé tel qu'exprimé par l'IA/véh. moyen et l'augmentation du risque d'accident.

Les résultats au **Tableau 10** révèlent également un changement de l'IA/véh. en ce qui concerne la gravité. Ces résultats ont été fournis séparément pour chacun des 18 accidents de faible gravité et des deux accidents ayant causé des blessures non mortelles (grande gravité). En général, l'IA/véh. pour les accidents graves (ayant fait des victimes et des blessés) était quatre fois plus élevé que l'IA/véh. des accidents peu graves (PDO) pendant l'intervalle de 5 minutes précédant l'accident.

Dans quatre cas, les résultats n'étaient pas l'idée que l'IA/véh. augmente à mesure que l'on approche de l'heure de l'accident ou que les accidents plus graves reflètent des valeurs plus élevées de l'IA/véh. L'hypothèse fondamentale est que les accidents surviennent généralement à cause de perturbations dans le courant de circulation plutôt que du comportement aberrant d'un automobiliste qui s'endort au volant. Il faut bien comprendre que, si les perturbations de la circulation expliquent dans une large mesure les conditions de la circulation qui aboutissent à des accidents, elles n'expliquent pas tous les facteurs ni tous les accidents observés. Un certain nombre d'accidents ne peuvent pas s'expliquer dans une

large mesure par les perturbations de la circulation provenant de la simulation. Malgré cette mise en garde, la mesure du rendement de sécurité, soit l'IA/véh. utilisée dans cette analyse, semble fournir une preuve objective raisonnable d'une augmentation du risque d'accident avec le temps.

On obtient un rapport semblable entre l'IA85 et le risque d'accident. Pour 15 % des automobilistes qui dépassent les profils d'IA du courant général de circulation, on a observé une relation significative entre l'IA85 et le délai qui s'écoule jusqu'à l'accident; à mesure que l'on approche de l'heure de l'accident, on a constaté une augmentation de l'IA85 dans 13 des 20 accidents observés.

Il faut signaler que les résultats ci-dessus reposent sur des observations extraites d'un échantillon restreint d'accidents signalés sur le QEW. Pour vérifier entièrement la signification statistique de ces résultats, un échantillon de plus grande taille est recommandé.

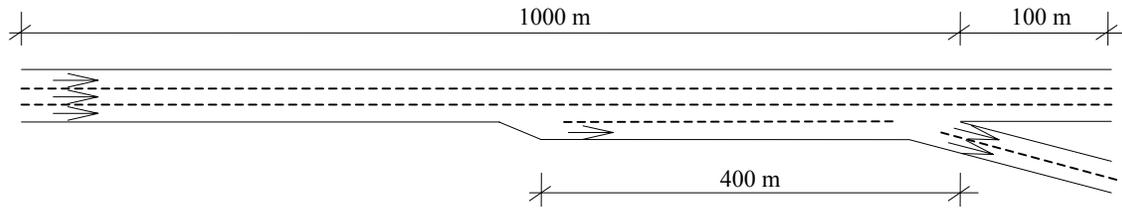
## RÉPERCUSSIONS DE CERTAINS SCÉNARIOS DE CIRCULATION SUR LA SÉCURITÉ

Les répercussions des limiteurs de vitesse sur la sécurité sont évaluées par rapport à trois stratégies différentes de limitation de la vitesse des camions : pas de limiteurs obligatoires (cas de référence); limiteurs obligatoires dont la vitesse maximale est réglée sur 105 km/h; limiteurs obligatoires dont la vitesse maximale est réglée sur 110 km/h. Les stratégies obligatoires ont été retenues pour refléter les points de vue actuels du Canada au sujet des limitations de la vitesse maximale des poids lourds.

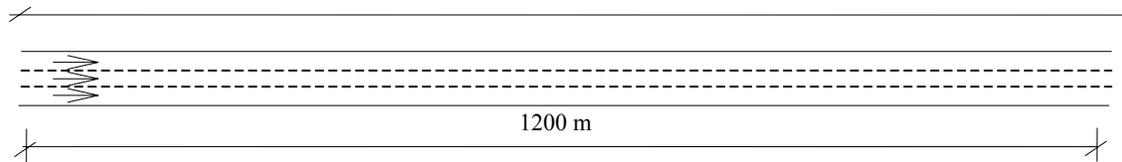
Comme nous l'avons vu précédemment dans ce rapport, les résultats d'un sondage réalisé par l'Université d'Arkansas (McDonald et Brewster, 2008) révèlent que 50 % des véhicules des grands transporteurs étaient équipés d'un limiteur, contre 25 % des véhicules des petits transporteurs. Pour tenir compte des limiteurs volontaires dans le parc de camions canadiens, la stratégie afférente au cas de référence (pas de limiteur obligatoire) présume que 35 % de tous les camions sont actuellement équipés d'un dispositif volontaire quelconque de limitation de la vitesse réglé sur une vitesse maximale de 105 km/h. Cela est censé refléter une vitesse maximale raisonnable qui est acceptée par la plupart des transporteurs ou des camionneurs. Pour la stratégie en dehors du cas de référence, la vitesse maximale de tous les limiteurs (volontaires et obligatoires) a été fixée par règlement (c.-à-d. à 105 km/h, etc.).

Pour chacune des stratégies ci-dessus, on a étudié différents niveaux de densité, pourcentage de camions et taux de conformité. On a présumé que ces facteurs ont un certain effet sur la vitesse moyenne et la variation de vitesse et, par conséquent, sur l'IA des véhicules dans le courant de circulation selon différentes conditions de la route et de la circulation. En outre, on estime que certaines caractéristiques géométriques comme le nombre de voies peuvent avoir un effet sur l'IA sous réserve de l'adoption de limiteurs de vitesse. Dans cette étude, nous avons envisagé trois configurations géométriques autoroutières : tronçons avec bretelles d'accès, tronçons avec bretelles de sortie et tronçons rectilignes avec deux voies et trois voies dans chaque sens.

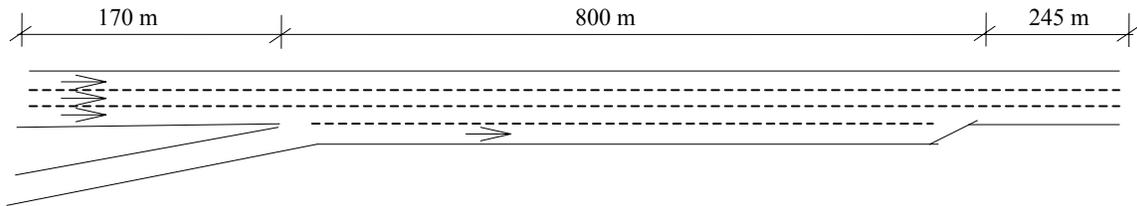
Les paramètres d'entrée des tronçons avec bretelles de sortie et des tronçons avec bretelles d'accès/sortie confondues dans cette analyse sont les paramètres suggérés par l'exercice d'étalonnage de « la meilleure estimation » (voir **section 0**). Pour le tronçon rectiligne, les paramètres d'entrée des tronçons avec bretelles d'accès/sortie ont été utilisés dans la simulation. Les caractères des configurations des tronçons avec bretelles d'accès, rectiligne et avec bretelles de sortie utilisées dans cette analyse de sensibilité sont illustrés aux **figures 8 à 10** pour le scénario à trois voies.



**Figure 8 – Géométrie du tronçon avec bretelle de sortie et configuration des voies**



**Figure 9 – Géométrie du tronçon rectiligne et configuration des voies**



**Figure 10 – Géométrie du tronçon avec bretelle d'accès et configuration des voies**

Le **Tableau 11** donne une description des différentes stratégies de circulation, de configuration des voies et de limitation de la vitesse utilisées dans l'analyse de sensibilité du rendement de sécurité. Une expérience factorielle à deux niveaux a été entreprise pour tenir compte de toutes les interactions possibles entre ces caractéristiques et l'IA moyen simulé par véhicule. Cette expérience a été réalisée avec des limiteurs de vitesse réglés sur les deux vitesses maximales, soit 105 et 110 km/h.

**Tableau 11 – Résumé de l'analyse factorielle**

Facteur	Paramètre	Faible niveau (-1)	Niveau élevé (+1)	Description
A	V	500	2000	Volume en véhicules par heure et par voie
B	% de camions	0,025	0,15	Pourcentage de camions (2,5 % à 15 %)
C	Taux de conf.	0,75	1	Taux de conformité
D	N. de voies	2	3	Nombre de voies (2 ou 3)
E	Contrôle de la vitesse	-1	1	Limiteur de vitesse : -1 = pas de contrôle; 1 = limite de vitesse 105-110km/h

L'expérience factorielle complète  $2^5$  nécessite 32 simulations. On a tenu compte des points principaux ou des valeurs moyennes de la densité, du pourcentage de camions et du taux de conformité (ainsi que du nombre de voies et de la vitesse maximale). En outre, on a procédé à cinq répétitions de toute l'expérience pour tenir compte de la variabilité aléatoire de la simulation. Cela a donné au total 180 simulations ( $[32+4]*5$ ) à propos de chacune des deux stratégies de limitation de la vitesse (105 km/h ou 110 km/h).

L'un des principaux objectifs de l'analyse factorielle est d'estimer l'effet de variables indépendantes sur l'IA moyen/véh., en l'absence d'éventuels partis pris d'échelle se rattachant aux variables. L'expérience factorielle donne également une expression linéaire qui établit un lien entre les variables indépendantes d'intérêt et l'IA moyen/véh.

Les **tableaux 12 et 13** résument les résultats de l'analyse de variance réalisée pour l'expérience factorielle aux bretelles de sortie et s'appliquant respectivement aux vitesses maximales de 105 km/h et de 110 km/h. Pour la stratégie de 105 km/h, le paramètre (IA/véh.) était très nettement affecté par la densité (A), le pourcentage de camions (B), le nombre de voies dans chaque sens (D) et l'installation de limiteurs de vitesse (E) réglés sur une vitesse maximale donnée. En outre, on a constaté qu'un certain nombre d'interactions des deuxième et troisième ordres faisant intervenir ces quatre facteurs et les taux de conformité étaient significatives au niveau de 5 %. Ces constatations incitent à croire qu'il existe des preuves statistiques qui permettent d'affirmer que l'adoption de limiteurs de vitesse aura des conséquences sur la sécurité. Lorsque la vitesse maximale est fixée à 110 km/h, le paramètre (IA/véh.) est nettement affecté par les fluctuations de la densité, du pourcentage de camions et du nombre de voies, mais n'est nullement touché par l'adoption effective de limiteurs. Cela incite à penser que le réglage d'une vitesse maximale supérieure sur les limiteurs donnera de moindres gains de sécurité par rapport au cas de référence (pas de limiteurs). En outre, le fait de régler la vitesse maximale du limiteur à 110 km/h donne également de moindres gains de sécurité lorsqu'on compare ce scénario au scénario « avec limiteurs », où la vitesse est réglée sur 105 km/h.

Une régression linéaire a été réalisée pour établir un lien entre le paramètre (IA/véh.) et différentes caractéristiques de la circulation et de la conformité avec et sans limiteurs. Pour cette analyse, la vitesse maximale des limiteurs a été réglée à 105 km/h, avec les résultats suivants pour le cas de la bretelle de sortie :

$$\begin{aligned} \ln(CPI / veh) = & -16.44 + 0.000414 (V) + 22.71635 (TR) - 0.07936 (L) - 0.81935 (SL) - \\ & - 0.00394 (V)(TR) + 0.00054 (V)(L) + 0.000447 (V)(SL) + \\ & + 0.027514 (TR)(SL) - 0.00018 (V)(CR)(1 + SL) \end{aligned} \quad (5)$$

TRADUCTION :

$$\begin{aligned} \ln(IA/véh.) = & 16,44+0,000414(V)+22,71635(TR)-0,07936(L)-0,81935(LV)- \\ & -0,00394(V)(TR)+0,00054(V)(L)+0,000447(V)(LV)+ \\ & +0,027514(TR)(LV)-0,00018(V)(TC)(1+LV) \end{aligned}$$

où :

$V$  = volume (vphpl)

$TR$  = pourcentage de camion

$L$  = nombre de voies (2 ou 3 voies)

$LV$  = limiteur de vitesse (éteint = -1; allumé = +1)

$TC$  = taux de conformité

L'expression ci-dessus explique bien la variation de la mesure du rendement de sécurité avec un R carré de 0,69. On a constaté que l'absence d'erreur de concordance (181,22) et l'erreur pure de 153,23 manquaient de signalisation statistique. Cette expression donne des résultats suffisamment précis pour les variables testées. Une parcelle résiduelle du modèle d'ajustement illustré à la **Figure 11** montre que l'hypothèse de normalité dans les (erreurs) résiduelles est valable.

Le modèle linéaire d'ajustement ci-dessus peut servir à étudier les fluctuations des variables d'entrée étudiées. Étant donné que cette analyse est multidimensionnelle, elle permet de mieux comprendre la façon dont les fluctuations des variables indépendantes affectent la sécurité telle qu'elle est exprimée par le paramètre (IA/véh.) à l'endroit des bretelles de sortie.

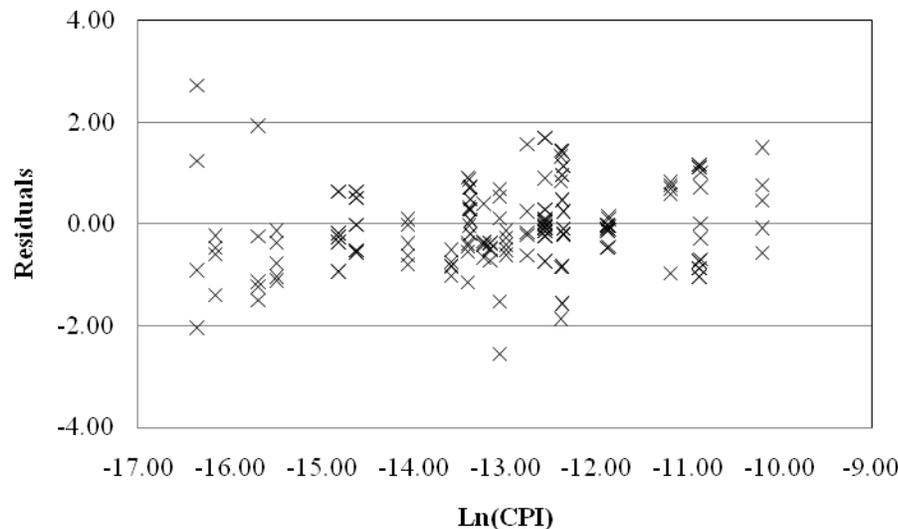
En vérifiant les coefficients de l'**équation 5** et les valeurs possibles des variables indépendantes, on peut affirmer qu'à mesure que le taux de conformité augmente, il y a une faible augmentation correspondante de la sécurité dans le cas des limiteurs de vitesse obligatoires. Il faut également signaler qu'à mesure que le volume et le pourcentage de camions augmentent, les gains de sécurité se rattachant à la conformité intégrale sont neutralisés par les perturbations accrues de la circulation provoquées par la densité et le pourcentage plus élevés de camions.

**Tableau 12 – Analyse de variance pour la stratégie à 105 km/h**

Variable dépendante : Ln(LA)						
Source	Effet	Somme des carrés	df	Carré moyen	F	Sig.
Modèle corrigé	-	426.03	35	12.17	11.44	0.00
<b>Point d'interception</b>	-	<b>25253.38</b>	<b>1</b>	<b>25253.38</b>	<b>23732.13</b>	<b>0.00</b>
<b>A</b>	<b>1.89</b>	<b>142.70</b>	<b>1</b>	<b>142.70</b>	<b>134.10</b>	<b>0.00</b>
<b>B</b>	<b>2.22</b>	<b>197.67</b>	<b>1</b>	<b>197.67</b>	<b>185.76</b>	<b>0.00</b>
C	-	3.06	1	3.06	2.87	0.09
<b>D</b>	<b>0.60</b>	<b>10.46</b>	<b>1</b>	<b>10.46</b>	<b>9.83</b>	<b>0.00</b>
<b>E</b>	<b>-0.44</b>	<b>5.55</b>	<b>1</b>	<b>5.55</b>	<b>5.21</b>	<b>0.02</b>
<b>A * B</b>	<b>-0.37</b>	<b>5.48</b>	<b>1</b>	<b>5.48</b>	<b>5.15</b>	<b>0.02</b>
<b>A * C</b>	<b>0.33</b>	<b>4.42</b>	<b>1</b>	<b>4.42</b>	<b>4.15</b>	<b>0.04</b>
B * C	-	3.67	1	3.67	3.45	0.07
A * B * C	-	1.69	1	1.69	1.58	0.21
<b>A * D</b>	<b>0.40</b>	<b>6.54</b>	<b>1</b>	<b>6.54</b>	<b>6.15</b>	<b>0.01</b>
B * D	-	0.46	1	0.46	0.43	0.51
A * B * D	-	0.09	1	0.09	0.08	0.78
C * D	-	0.06	1	0.06	0.06	0.81
A * C * D	-	0.00	1	0.00	0.00	0.95
B * C * D	-	0.02	1	0.02	0.02	0.90
A * B * C * D	-	0.06	1	0.06	0.05	0.82
<b>A * E</b>	<b>0.43</b>	<b>7.53</b>	<b>1</b>	<b>7.53</b>	<b>7.07</b>	<b>0.01</b>
<b>B * E</b>	<b>0.34</b>	<b>4.73</b>	<b>1</b>	<b>4.73</b>	<b>4.45</b>	<b>0.04</b>
A * B * E	-	3.32	1	3.32	3.12	0.08
C * E	-	3.06	1	3.06	2.87	0.09
<b>A * C * E</b>	<b>0.33</b>	<b>4.42</b>	<b>1</b>	<b>4.42</b>	<b>4.15</b>	<b>0.04</b>
B * C * E	-	3.67	1	3.67	3.45	0.07
A * B * C * E	-	1.69	1	1.69	1.58	0.21
D * E	-	0.17	1	0.17	0.16	0.69
A * D * E	-	0.32	1	0.32	0.30	0.58
B * D * E	-	0.41	1	0.41	0.38	0.54
A * B * D * E	-	0.25	1	0.25	0.23	0.63
C * D * E	-	0.06	1	0.06	0.06	0.81
A * C * D * E	-	0.00	1	0.00	0.00	0.95
B * C * D * E	-	0.02	1	0.02	0.02	0.90
A * B * C * D * E	-	0.06	1	0.06	0.05	0.82
Erreur pure		153.23	144	1.06		

**Tableau 13 – Analyse de variance pour la stratégie à 110 km/h**

Variable dépendante : Ln(LA)						
Source	Effet	Somme des carrés	df	Carré moyen	F	Sig.
Modèle corrigé		202.66	35	5.79	17.83	0.00
<b>Point d'intersection</b>		<b>24325.31</b>	<b>1</b>	<b>24325.31</b>	<b>74900.32</b>	<b>0.00</b>
<b>A</b>	<b>1.01</b>	<b>40.69</b>	<b>1</b>	<b>40.69</b>	<b>125.30</b>	<b>0.00</b>
<b>B</b>	<b>1.92</b>	<b>148.05</b>	<b>1</b>	<b>148.05</b>	<b>455.87</b>	<b>0.00</b>
C		0.00	1	0.00	0.00	0.99
<b>D</b>	<b>0.40</b>	<b>5.11</b>	<b>1</b>	<b>5.11</b>	<b>15.74</b>	<b>0.00</b>
E		0.03	1	0.03	0.08	0.78
A * B		0.04	1	0.04	0.13	0.72
A * C		0.14	1	0.14	0.43	0.51
B * C		0.12	1	0.12	0.37	0.54
A * B * C		0.01	1	0.01	0.02	0.88
A * D		0.81	1	0.81	2.49	0.12
B * D		0.10	1	0.10	0.32	0.57
A * B * D		0.00	1	0.00	0.00	0.96
C * D		0.00	1	0.00	0.00	0.97
A * C * D		0.00	1	0.00	0.00	0.98
B * C * D		0.00	1	0.00	0.00	1.00
A * B * C * D		0.00	1	0.00	0.01	0.94
A * E		0.38	1	0.38	1.17	0.28
B * E		0.00	1	0.00	0.00	0.98
A * B * E		0.24	1	0.24	0.75	0.39
C * E		0.00	1	0.00	0.00	0.99
A * C * E		0.14	1	0.14	0.43	0.51
B * C * E		0.12	1	0.12	0.37	0.54
A * B * C * E		0.01	1	0.01	0.02	0.88
D * E		0.98	1	0.98	3.03	0.08
A * D * E		0.00	1	0.00	0.00	0.97
B * D * E		0.34	1	0.34	1.05	0.31
A * B * D * E		0.16	1	0.16	0.50	0.48
C * D * E		0.00	1	0.00	0.00	0.97
A * C * D * E		0.00	1	0.00	0.00	0.98
B * C * D * E		0.00	1	0.00	0.00	1.00
A * B * C * D * E		0.00	1	0.00	0.01	0.94
Erreur pure		46.77	144	0.32		



TRADUCTION :  
 Residuals = Résidus  
 Ln(CPI) = Ln (IA)

**Figure 11 – Parcelle résiduelle du modèle d'ajustement (stratégie à 105 km/h)**

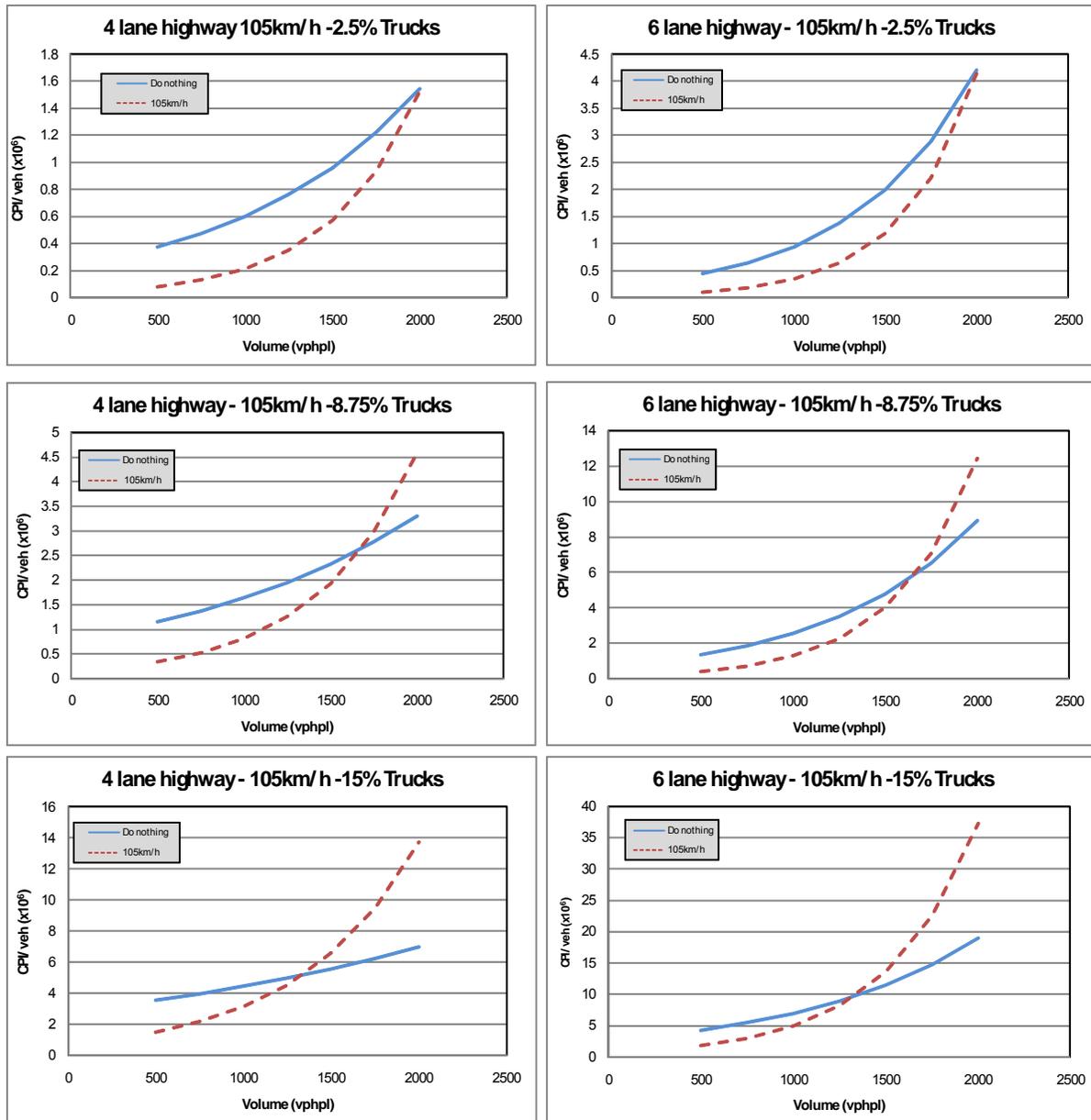
On a procédé à une analyse graphique du rapport entre l'IA/véh. et la densité et le pourcentage de camions au sujet des tronçons autoroutiers à deux et trois voies, dont les résultats sont illustrés aux **figures 12 et 13**. Ces parcelles envisagent les deux stratégies de limitation de la vitesse : avec et sans limiteurs obligatoires. Dans le cas où un limiteur obligatoire est imposé, la vitesse maximale est fixée à 105 km/h, ce qui cadre avec les lois en vigueur en Ontario et au Québec.

L'analyse incite à penser que pour le cas de référence (sans limiteur), l'IA par véhicule est généralement plus élevé que dans le cas du limiteur obligatoire. Cela confirme l'idée selon laquelle les limiteurs (réglés sur 105 km/h) peuvent entraîner des gains de sécurité positifs. Toutefois, ce résultat ne semble pas s'appliquer à toutes les densités et à tous les pourcentages de camions. Lorsque la densité augmente, l'écart entre la stratégie avec et sans limiteur devient moins marqué. De fait, pour les densités qui dépassent 1 250 véhicules par heure et par voie (v/h/v), l'imposition de limiteurs obligatoires réglés sur 105 km/h peut avoir un effet négatif sur la sécurité (c.-à-d. un IA/véh. plus élevé).

Signalons que ce constat vaut pour les densités dans le régime sans encombrements. Apparemment, à mesure que la densité approche de la capacité maximale, la vitesse des véhicules dans le courant de circulation dépendra des encombrements, ce qui explique que le limiteur n'ait pas un effet notable sur la sécurité. Le rapport entre l'augmentation de la densité et de l'IA/véh. dans le régime sans encombrements semble être particulièrement marqué avec une hausse du pourcentage de camions. Il semble qu'à différentes densités, le rendement de sécurité diminue parallèlement à l'augmentation du pourcentage de camions. À

certaines densités et moyennant un fort pourcentage de camions, l'IA/véh. dans le cas du limiteur obligatoire peut être plus élevé que l'indice qu'on obtient dans le cas de référence (sans limiteur obligatoire). Compte tenu des densités et du pourcentage de camions sur de nombreuses autoroutes du Canada, ce résultat risque de présenter certains problèmes de sécurité attribuables à l'imposition de limiteurs de vitesse à bord des camions.

Signalons que ces conclusions reposent sur les valeurs d'entrée simulées extraites de la géométrie d'un tronçon avec bretelle de sortie. Comme l'illustre le Error! Reference source not found., on a constaté que l'adoption de limiteurs réglés sur 105 km/h avait un effet significatif sur le paramètre IA/véh. dans le cas du tronçon avec bretelle de sortie. Le signe négatif qui se rattache à ce facteur (E) suggère une réduction de l'IA/véh. et, par conséquent, une amélioration de la sécurité. Nous constatons au Error! Reference source not found. que, dans le cas du tronçon avec bretelle de sortie, l'imposition de limiteurs réglés sur 110 km/h n'a pas d'effet significatif sur l'IA/véh. en ce qui concerne le cas de référence (sans limiteur obligatoire).



**Figure 12 – Estimations de l’IA/véhicule en fonction de la densité (tronçons avec bretelles de sortie)**

TRADUCTION :

CPI/veh (x10<sup>6</sup>)

4 lane highway 105km/h – 2.5% Truck

Do nothing

105km/h

Volume (vphpl)

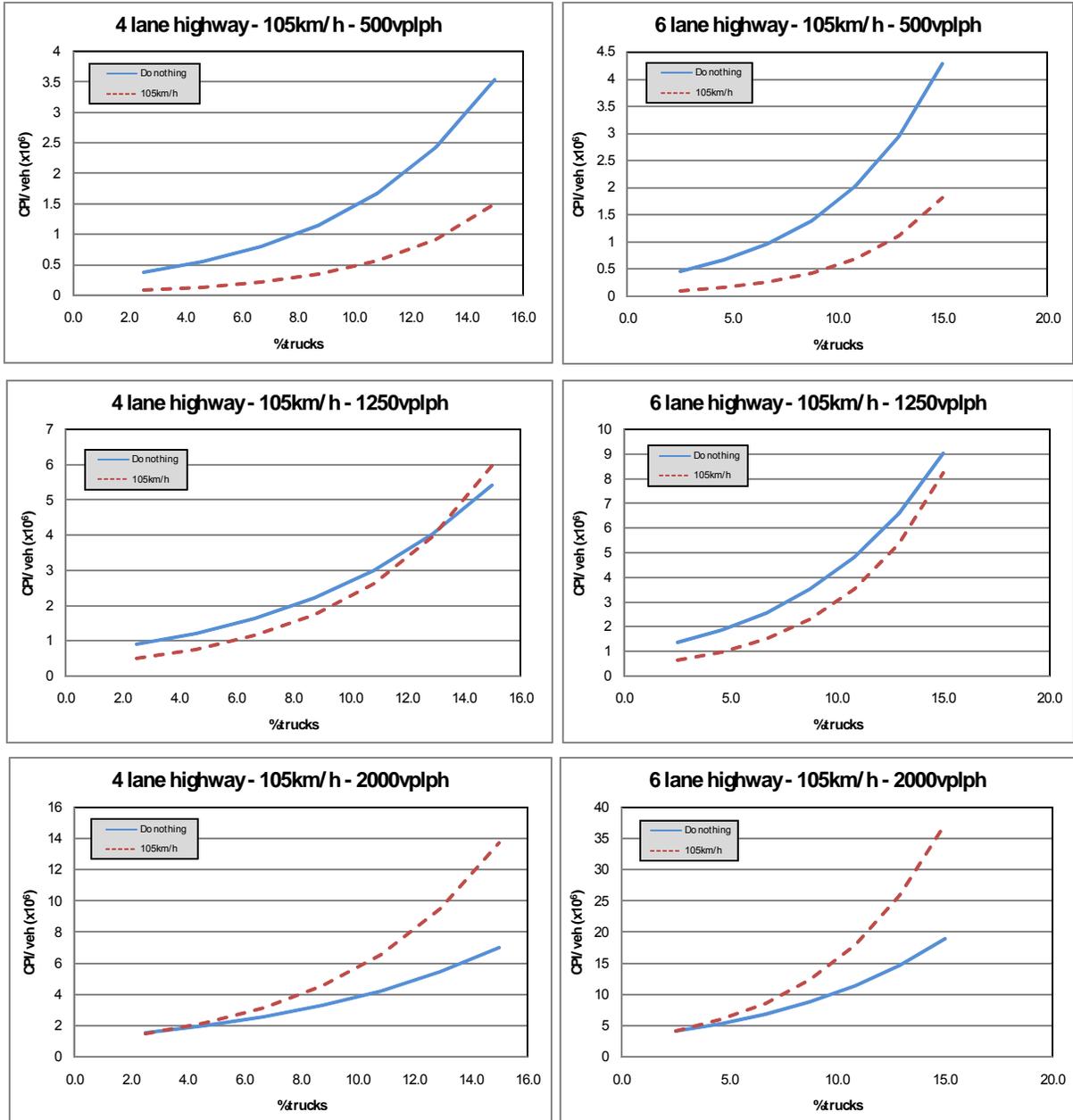
IA/véh. (x10<sup>6</sup>)

Route à 4 voies 105 km/h – 2,5 % camions

Non-intervention

105 km/h

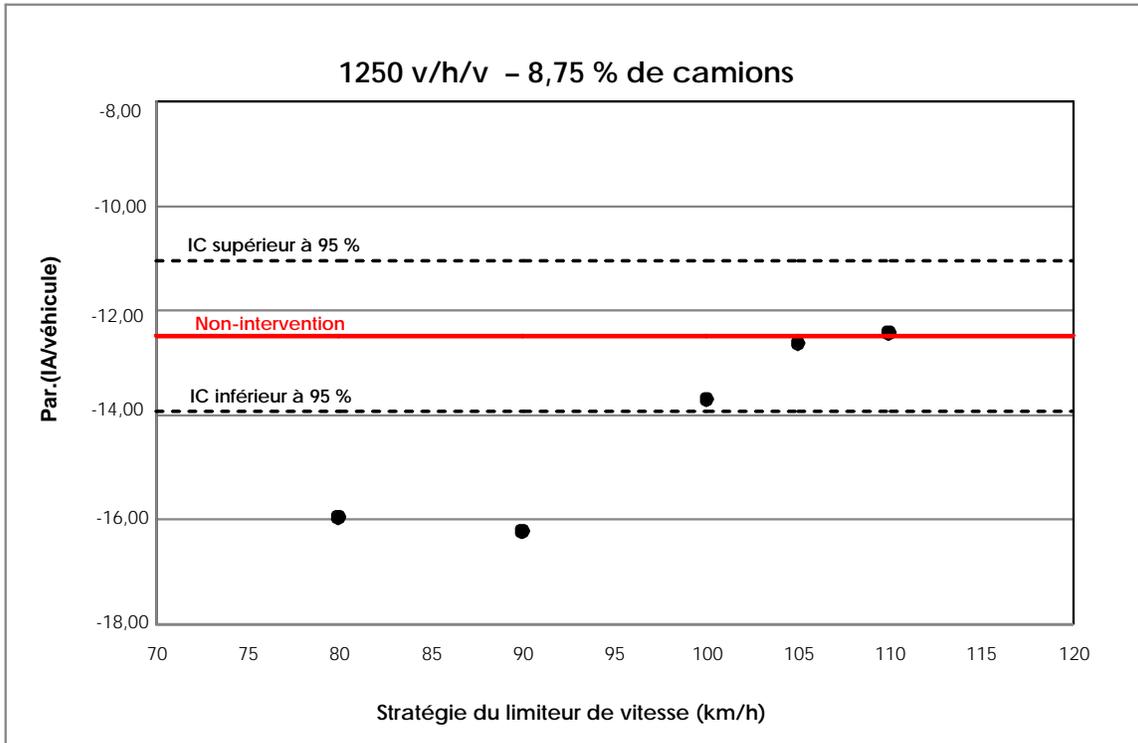
Densité (v/h/v)



**Figure 13 – Estimations de l’IA/véhicule en fonction du pourcentage de camions (tronçons avec bretelles de sortie)**

TRADUCTION :	
CPI/veh (x10 <sup>6</sup> )	IA/véh. (x10 <sup>6</sup> )
4 lane highway 105km/h – 500 vplph	Route à 4 voies 105 km/h – 500 v/h/v
Do nothing	Non-intervention
105km/h	105 km/h
% trucks	% de camions

La **Figure 14** illustre le rapport entre l'IA/véh. avec et sans limiteurs réglés sur différentes vitesses maximales, notamment plusieurs qui sont inférieures au seuil de 105 km/h. Pour ce rapport, la densité est réglée nettement en deçà de la capacité qui se situe à 1 250 véh./h/v et le pourcentage de camions est fixé à 8,75 %. Le graphique révèle que l'adoption de limiteurs peut améliorer la sécurité (baisse des valeurs de l'IA/véh.) pour tous les réglages de la vitesse maximale inférieurs à 105 km/h, alors que les plus hauts gains de sécurité se rattachent à une vitesse maximale fixée à 90 km/h. Comme nous l'avons déjà vu, à une vitesse de 110 km/h ou supérieure, la stratégie du limiteur obligatoire ne produit aucun gain de sécurité significatif.



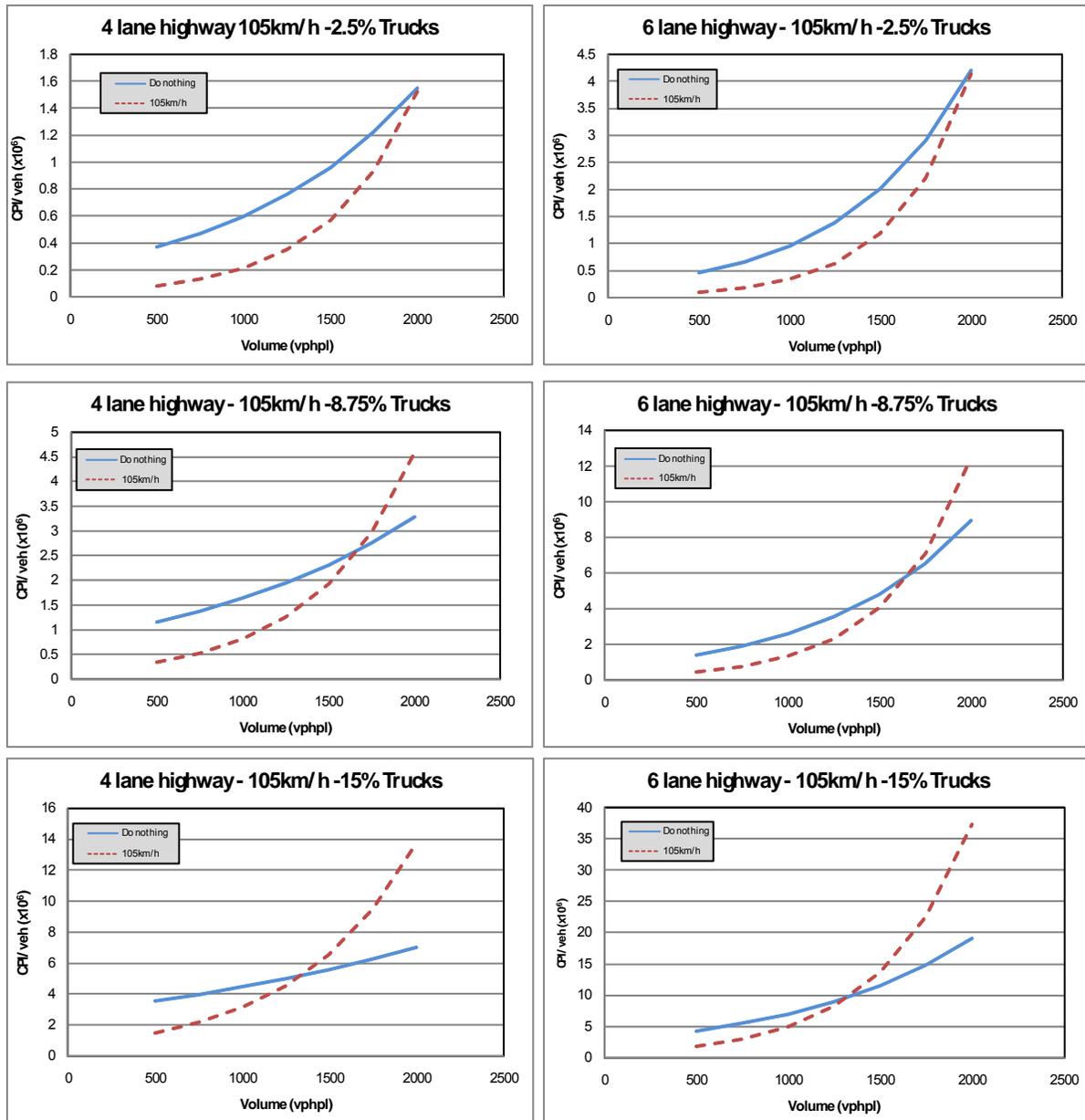
**Figure 14 – IA/véhicule en vertu de différentes stratégies de limiteurs de vitesse**

Dans ce rapport, l'analyse des scénarios de circulation a été élargie pour englober à la fois les tronçons avec bretelles d'accès et les tronçons rectilignes. Les paramètres d'entrée pour les tronçons avec bretelles d'accès et les tronçons rectilignes sont ceux qui ont été obtenus à partir des tronçons avec bretelles confondues dont on a parlé à la **section 0**. Les **figures 15** et **16** illustrent le rapport entre l'IA/véh. et la densité pour différents pourcentages de camions à la fois pour les configurations à deux et trois voies respectivement pour les tronçons avec bretelles d'accès et les tronçons rectilignes.

Dans le cas du tronçon avec bretelle d'accès, on a obtenu des résultats analogues à ceux du tronçon avec bretelle de sortie. À mesure que la densité augmente, on constate une augmentation de l'IA/véh., en particulier pour les pourcentages de camions plus élevés. L'imposition de limiteurs réglés sur 105 km/h entraîne des gains de sécurité par rapport au

cas de référence (sans limiteur obligatoire). À mesure que la densité augmente à des niveaux qui se rapprochent de la capacité maximale, l'imposition de limiteurs peut avoir un effet néfaste sur la sécurité (c.-à-d. un IA/véh. plus élevé). Ce résultat vaut aussi bien pour les configurations à quatre voies que les configurations à six voies. Les hausses du pourcentage de camions révèlent un effet négatif marqué sur la sécurité des limiteurs par rapport au cas de référence. Lorsque les densités sont très élevées, l'IA/véh. par opposition au pourcentage de camions est inférieur par rapport au cas de référence. Cela semble indiquer que, pour des densités importantes, l'imposition de limiteurs réglés sur 105 km/h peut avoir un effet néfaste sur la sécurité pour des pourcentages plus élevés de camions dans le courant de circulation dans la configuration du tronçon avec bretelle d'accès. Cela est sans doute attribuable au fait que les poids lourds ont des impératifs de freinage plus stricts que les voitures. Tandis que le pourcentage de camions augmente dans un courant de circulation de densité plus élevée, les valeurs de l'IA/véh. augmentent aussi. Tandis que la densité augmente, l'espacement moyen entre véhicules est réduit, ce qui multiplie les chances que le DRAC dépasse le MADR pour un intervalle de temps donné.

Pour les tronçons rectilignes, l'IA/véh. est systématiquement inférieur dans le cas du limiteur obligatoire par rapport au cas de référence. Cela suggère que, pour les tronçons rectilignes où l'on pourrait s'attendre à une diminution des interactions entre véhicules, les gains de sécurité des limiteurs réglés sur 105 km/h peuvent être plus marqués que pour les tronçons où il y a des bretelles d'accès et de sortie.



**Figure 15 – Estimations de l’IA/véhicule en fonction de la densité (tronçons avec bretelles d’accès)**

TRADUCTION :	
CPI/veh (x10 <sup>6</sup> )	IA/véh. (x10 <sup>6</sup> )
4 lane highway 105km/h – 2.5% Truck	Route à 4 voies 105 km/h – 2,5 % camions
Do nothing	Non-intervention
105km/h	105 km/h
Volume (vphpl)	Densité (v/h/v)

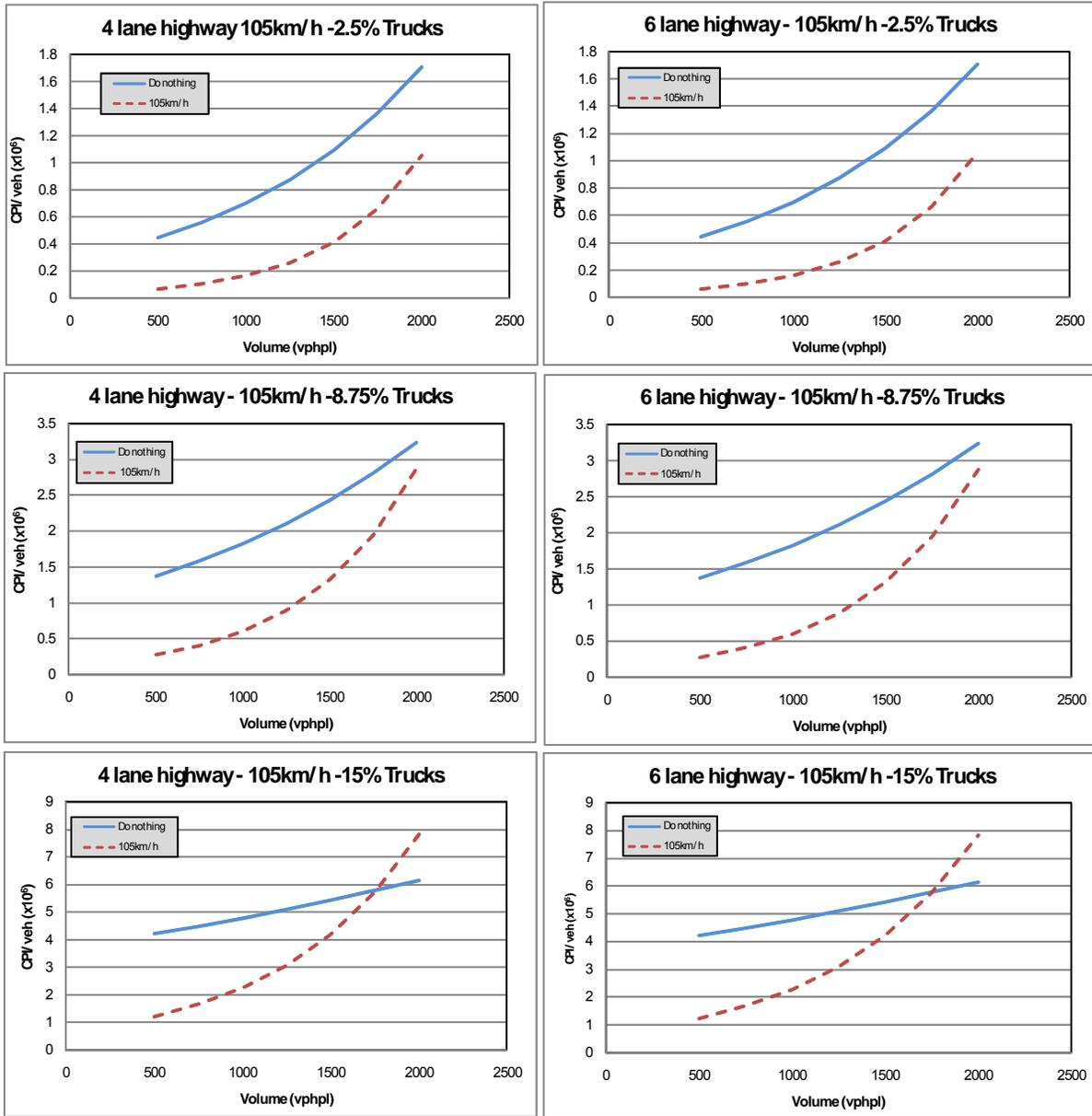


Figure 16 – Estimations de l’IA/véhicule en fonction de la densité (tronçons rectilignes)

TRADUCTION :

CPI/veh (x10<sup>6</sup>)

4 lane highway 105km/h – 2.5% Truck

Do nothing

105km/h

Volume (vphpl)

IA/véh. (x10<sup>6</sup>)

Route à 4 voies 105 km/h – 2,5 % camions

Non-intervention

105 km/h

Densité (v/h/v)

## APPLICATION À L'ÉTUDE DE CAS : TRONÇON DE L'AUTOROUTE QEW DANS LA RÉGION DE HALTON

Dans cette étude de cas, l'autoroute QEW en direction est, entre les échangeurs de Guelph Line et de Burloak Drive, a été simulée pour évaluer les conséquences de l'imposition de limiteurs de vitesse obligatoires sur un tronçon « réel » d'autoroute en utilisant les données origine-destination provenant du terrain. Le couloir de l'étude de cas est illustré à la **Figure 17**.



**Figure 17 – Couloir de l'étude de cas sur l'autoroute QEW en direction de l'est (cartes Google, 2007)**

Deux scénarios ont été évalués : 1) pas de limiteur de vitesse obligatoire et 2) limiteur de vitesse obligatoire à bord des camions avec vitesse maximale fixée à 105 km/h et taux de conformité de 100 %. Pour ces deux scénarios, on a utilisé une densité moyenne origine-destination de 10 jours qui couvre la tranche horaire allant de 6 h à 7 h du matin. D'après les observations d'Allaby (2006), la densité moyenne « en voie principale » a été fixée à 2 726 v/h dans le couloir à trois voies (ou 908 v/h/v) avec un pourcentage de camions de 5 %. Les données d'entrée pour l'application à l'étude de cas sont résumées au **Tableau 12**.

**Tableau 12 – données d'entrée pour l'application à l'étude de cas**

	6 h 30 – 7 h	7 h – 7 h 30
Voie principale en aval	2896	2814
Guelph Line N	40	48
Guelph Line S	52	63
Walker's Line N	110	132
Walker's Line S	92	110
Appleby Line N	48	69
Appleby Line S	152	182
Burloak Drive N	232	295
Burloak Drive S	251	319

Trente simulations ont été réalisées avec et sans limiteur de vitesse. Pour le cas de référence (sans limiteur de vitesse obligatoire), on a présumé que 35 % des camions étaient équipés volontairement d'un limiteur de vitesse réglé sur 105 km/h. Pour l'application à ce couloir, on a présumé une vitesse de libre écoulement de 106,8 km/h (vitesse par défaut de VISSIM pour une limite de vitesse indiquée de 100 km/h).

Les **tableaux 15 et 16** résument les résultats des simulations dans le couloir respectivement avec et sans limiteurs de vitesse obligatoires. Les résultats sont exprimés en fonction de plusieurs mesures du rendement de sécurité, à savoir : le nombre de véhicules en conflit, le pourcentage de temps où un véhicule donné se trouve en situation de conflit, la durée totale d'exposition au conflit, l'IA/véh. et l'IA85<sup>e</sup> centile. La mesure de l'IA, comme nous l'avons vu plus haut, repose sur une comparaison entre le DRAC et le MADR, où le MADR est attribué au hasard à chaque véhicule en fonction de ses caractéristiques (voitures par opposition à camions, etc.). Comme nous l'avons déjà vu à la **section 3.5.4**, on juge qu'un véhicule est en conflit (situation potentielle d'accident) à un moment donné dans le temps si son DRAC provenant des simulations dépasse son MADR préétabli, cette procédure étant décrite en détail dans Saccomanno *et al.* (2008).

**Tableau 13 – Valeurs de l'IA/véhicule pour le scénario sans limiteur de vitesse obligatoire**

Simulation n°	N. de véhicules	N. de véhicules en conflit	% de véhicules en conflit	Durée d'exposition (véhicule*s)	IA85 (10 <sup>-10</sup> )	IA/véh. (10 <sup>-10</sup> )
1	3903	19	0,49	0,19	9,14	109 032
2	3902	24	0,62	0,21	9,23	138 876
3	3841	25	0,65	0,16	8,48	107 160
4	3934	22	0,56	0,22	9,11	124 080
5	3871	28	0,72	0,16	12,52	132 776
6	3894	20	0,51	0,18	9,91	101 472
7	3896	20	0,51	0,18	9,14	112 473
8	3858	10	0,26	0,26	8,19	82 502
9	3853	25	0,65	0,14	9,30	91 832
10	3791	25	0,66	0,19	12,19	144 555
11	3861	31	0,80	0,22	10,74	184 423
12	3849	28	0,73	0,18	9,15	130 738
13	3829	21	0,55	0,19	9,17	119 481
14	3868	16	0,41	0,36	9,16	128 479
15	3993	44	1,10	0,17	11,72	185 623
16	3896	20	0,51	0,18	8,79	88 406
17	3859	20	0,52	0,21	9,29	123 055

Simulation n°	N. de véhicules	N. de véhicules en conflit	% de véhicules en conflit	Durée d'exposition (véhicule*s)	IA85 (10 <sup>-10</sup> )	IA/véh. (10 <sup>-10</sup> )
18	3926	34	0,87	0,19	11,34	162 214
19	3873	30	0,77	0,16	9,91	124 591
20	3846	31	0,81	0,17	10,04	138 146
21	3930	28	0,71	0,21	8,63	147 132
22	3944	15	0,38	0,19	8,23	79 719
23	3892	18	0,46	0,19	8,20	75 749
24	3826	29	0,76	0,20	9,21	150 380
25	3814	19	0,50	0,19	10,25	133 264
26	3805	18	0,47	0,18	8,65	104 371
27	3813	11	0,29	0,23	7,95	71 818
28	3865	14	0,36	0,14	8,33	72 787
29	3922	32	0,82	0,18	9,94	144 698
30	3859	18	0,47	0,14	8,72	79 873
Moyenne	3873,77	23,17	0,60	0,19	9,49	119 657
Écart type	46,00	7,42	0,19	0,04	1,19	31 203

**Tableau 14 – Valeurs de l’IA/véhicule pour le scénario avec limiteur de vitesse obligatoire**

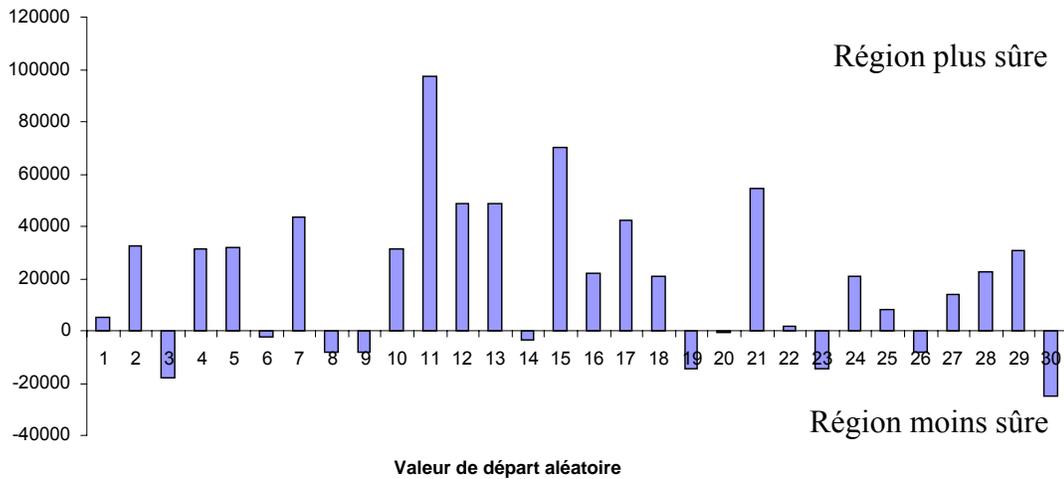
Simulation n°	N. de véhicules	N. de véhicules en conflit	% de véhicules en conflit	Durée d'exposition (véhicule*s)	IA85 (10 <sup>-10</sup> )	IA/véh. (10 <sup>-10</sup> )
1	3906	24	0,61	0,2	8,62	104 017
2	3902	15	0,38	0,29	8,42	106 437
3	3843	23	0,6	0,2	8,70	125 064
4	3934	18	0,46	0,18	8,65	92 523
5	3870	23	0,59	0,17	9,19	100 638
6	3894	19	0,49	0,21	9,17	103 537
7	3895	13	0,33	0,17	7,98	68 836
8	3857	16	0,41	0,2	8,25	90 793
9	3853	19	0,49	0,21	8,16	99 671
10	3788	25	0,66	0,14	10,05	113 513
11	3863	22	0,57	0,17	9,30	87 053
12	3852	17	0,44	0,19	8,26	82 151
13	3829	11	0,29	0,15	8,04	70 857
14	3872	25	0,65	0,21	9,07	131 774

Simulation n°	N. de véhicules	N. de véhicules en conflit	% de véhicules en conflit	Durée d'exposition (véhicule*s)	IA85 (10 <sup>-10</sup> )	IA/véh. (10 <sup>-10</sup> )
15	3995	29	0,73	0,16	13,63	115 569
16	3902	15	0,38	0,16	7,85	66 440
17	3859	13	0,34	0,19	8,36	80 640
18	3926	25	0,64	0,21	11,30	141 223
19	3872	26	0,67	0,17	9,44	138 923
20	3842	25	0,65	0,3	9,98	138 795
21	3928	16	0,41	0,17	9,06	92 856
22	3945	19	0,48	0,14	8,96	77 837
23	3892	16	0,41	0,22	8,31	90 474
24	3829	29	0,76	0,22	9,00	129 443
25	3819	28	0,73	0,14	11,45	125 241
26	3802	22	0,58	0,17	9,05	112 583
27	3815	9	0,24	0,17	8,19	57 754
28	3869	9	0,23	0,16	7,76	49 950
29	3922	25	0,64	0,18	8,73	114 032
30	3859	20	0,52	0,2	8,34	104 689
Moyenne	3874,47	19,87	0,51	0,19	9,04	100 444
Écart type	46,20	5,76	0,15	0,04	1,24	24 635

En général, pour cette application, on a constaté que l'IA/véh. et le nombre de conflits étaient inférieurs dans le scénario avec limiteur par rapport au scénario sans limiteur. Cela incite à penser que l'imposition de limiteurs de vitesse obligatoires réglés sur 105 km/h se solde par des gains de sécurité dans tout le couloir. Avec des limiteurs, on a constaté qu'en moyenne, 20 véhicules étaient en conflit, contre 23 sans limiteur. On a également constaté que l'IA/véh. et l'IA85 étaient inférieurs d'environ 16 et 4,7 % respectivement avec les limiteurs par rapport au cas de référence. Au total, près de 3 900 véhicules ont été simulés dans ce couloir et, même si certaines différences ont été constatées pour différents exercices de simulation, on a observé que les limiteurs entraînent systématiquement des gains de sécurité.

La différence de l'IA moyen par véhicule entre les deux stratégies (avec et sans limiteur) a été estimée pour chacune des 30 simulations. Les résultats de la **Figure 18** montrent que l'IA/véh. avec limiteur est généralement inférieur à celui du cas de référence, à l'exception d'environ 9 exercices de simulation. Les différences varient d'une valeur dangereuse d'IA/véh. de -17 000 (10<sup>-10</sup>) à une valeur de sécurité maximale de 100 000 (10<sup>-10</sup>) se rattachant à l'exercice de simulation n° 11.

Différences avec et sans limiteurs, IA/véh. (10<sup>-10</sup>)



**Figure 18 – Comparaison entre le limiteur de vitesse obligatoire et le limiteur de vitesse optionnel**

On a soumis ces résultats à un test d'équivalence des moyennes. Pour commencer, les différences dans la variation de l'IA/véh. avec et sans limiteurs manquaient de signification statistique. On a estimé une variance groupée pour les deux distributions en utilisant l'équation suivante :

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \tag{6}$$

où :

- $s_1^2, s_2^2$  sont les variations de distribution 1 et 2
- $n_1, n_2$  sont la taille de l'échantillon des distributions 1 et 2

La variance groupée estimée à partir de l'équation 6 était de 28111<sup>2</sup>. Cette valeur a servi à obtenir l'équivalence des moyennes pour l'IA/véh. avec et sans limiteurs. Les résultats sont résumés ci-dessous :

**Vérifier que les variances sont identiques**

Pourcentage de variance entre distributions	$\sigma_1^2/\sigma_2^2$	1,604
F-observé	$F_{(0,05,30,30)}$	1,841

**Pourcentage < F-observé**

**La variance (l'écart type) n'est pas nettement différente**

**Vérifier que la différence des moyennes est égale à zéro**

Écart type groupé ( $10^{-10}$ )	$s_p$	28111
Degrés de liberté ( $10^{-10}$ )	$v$	58
Différence entre distributions ( $10^{-10}$ )	$X_1-X_2$	-19213,11
Intervalle de confiance ( $10^{-10}$ )	+/-	16 702

**Étant donné que l'intervalle de confiance n'englobe pas le zéro, au pourcentage alpha de 5 %, nous rejetons l'hypothèse nulle selon laquelle  $X_1-X_2$  équivaut à zéro.**

D'après ces résultats, nous pouvons déduire qu'au niveau de 5 % pour le couloir de l'étude de cas, l'IA/véh. avec limiteur est nettement inférieur à sa valeur sans (cas de référence). Cela incite à penser que l'imposition de limiteurs réglés sur 105 km/h peut se solder par d'importants gains de sécurité par rapport au cas de référence. Dans cette application, nous avons présumé un tronçon autoroutier à voies multiples avec terre-plein central avec un faible pourcentage de camions (l'autoroute QEW dans la région de Halton). Pour savoir si cette conclusion vaut également pour d'autres types de routes (p. ex. les routes rurales à deux voies) ou d'autres limites de vitesse, il faudra procéder à d'autres études.

## ANALYSE DE SENSIBILITÉ DES VITESSES SUR LES ROUTES RURALES À DEUX VOIES SANS TERRE-PLEIN CENTRAL

La modélisation des risques d'accident attribuables à l'imposition de limiteurs de vitesse obligatoires à bord des poids lourds sur les routes à deux voies sans terre-plein central serait inefficace si l'on utilisait la méthodologie et le modèle de microsimulation de la circulation employés dans cette étude. Toutefois, on admet la possibilité d'une augmentation de la fréquence des manœuvres de dépassement dangereuses lorsque les camions sont assujettis à une vitesse maximale fixée par un limiteur sur les routes rurales à deux voies sans terre-plein central. Voilà pourquoi on a procédé à une analyse de sensibilité pour déterminer le pourcentage de poids lourds qui dépassent la vitesse de 105 km/h sur les routes rurales à deux voies au Canada. Cette analyse aide à comprendre l'ampleur des changements que les limiteurs de vitesse pourraient entraîner dans l'écoulement actuel de la circulation sur les routes à deux voies à l'échelle nationale.

L'enquête a été conçue de manière à recueillir des données pour l'analyse des tronçons routiers à deux voies, là où il existe des dispositifs de collecte de données qui permettent de classer les véhicules en voitures et en camions. Les données sur la vitesse ont été obtenues auprès des provinces de l'Alberta (deux routes) et de la Saskatchewan (sept routes). Les provinces de Colombie-Britannique, du Manitoba et de Nouvelle-Écosse recueillent seulement des données d'ensemble sur la vitesse (il est donc impossible de séparer les vitesses des camions). La Nouvelle-Écosse a précisé qu'elle pouvait recueillir des données non regroupées sur la vitesse en cas de besoin. Des données groupées sur la vitesse au sujet de l'ensemble de la circulation qui font état du nombre de camions (route de l'Alaska où la vitesse autorisée est de 90 km/h) mais pas de leur vitesse individuelle ont été fournies par le Yukon. Une analyse des données a révélé que, pour la route de l'Alaska au Yukon, moins de 1 % de l'ensemble de la circulation dépassait le seuil de 105 km/h.

Le **Tableau 15** fournit un résumé des vitesses des poids lourds sur les routes rurales à deux voies où la limite de vitesse affichée est de 100 km/h en Alberta et en Saskatchewan. On constate d'après les données relatives à la vitesse sur les routes rurales à deux voies sans terre-plein central qu'au moins un tiers des camions roulaient à une vitesse supérieure à 105 km/h (ce qui n'est pas insignifiant). Toutefois, il faut également signaler que ces vitesses ont été observées sur des routes situées dans les régions des Prairies, où les manœuvres de dépassement sont facilitées par des tronçons routiers plats, longs et rectilignes.

On a procédé à un examen de toutes les lois provinciales et territoriales qui régissent l'imposition de limites de vitesse sur les routes afin de connaître les limites de vitesse types sur les routes rurales à deux voies sans terre-plein central. On a calculé la limite de vitesse type pour chaque province ou territoire en interprétant les lois provinciales et territoriales respectives. On trouvera un résumé de toutes les lois provinciales et territoriales à l'**annexe A**.

Le

Tableau 16 propose un résumé des limites de vitesse types sur les routes rurales à deux voies sans terre-plein central au Canada. Les résultats montrent que les limites de vitesse types sur les routes rurales à deux voies sans terre-plein central sont généralement de l'ordre de 80 à 90 km/h. Toutefois, les routes rurales à deux voies sans terre-plein central peuvent afficher des limites de vitesse de 100 km/h, comme l'illustre le **Tableau 15** dans les provinces des prairies de l'Alberta et de la Saskatchewan.

Il paraît souhaitable d'étudier plus à fond les répercussions, au chapitre de la sécurité, des limiteurs de vitesse à bord des poids lourds sur les routes rurales à deux voies, surtout celles où les limites de vitesse sont supérieures à la normale et où un grand nombre de camions roulent actuellement à des vitesses supérieures à 105 km/h.

**Tableau 15 – Résumé des vitesses des poids lourds sur les routes rurales à deux voies où la vitesse est limitée à 100 km/h**

Lieu	Année	Période	Poids lourds dépassant 105 km/h (%)	Poids lourds dans le courant de circulation (%)	Circulation quotidienne moyenne
Route 44 vers le nord, Alberta	2005	Mois	35,1 %	23,7 %	3 236
Route 44 vers le sud, Alberta	2005	Mois	25,9 %	22,2 %	3 397
Route 44 vers le nord, Alberta	2006	Mois	27,3 %	26,0 %	3 495
Route 44 vers le sud, Alberta	2006	Mois	29,0 %	22,2 %	3 639
Route 2A vers le nord, Alberta	2005	Mois	33,1 %	2,7 %	3 587
Route 2A vers le sud, Alberta	2005	Mois	31,1 %	3,3 %	3 578
Route 2A vers le nord, Alberta	2006	Mois	35,9 %	3,1 %	3 689
Route 2A vers le sud, Alberta	2006	Mois	29,4 %	4,5 %	3 712
<b>Moyenne</b>			<b>30,9 %</b>	<b>13,5 %</b>	
<b>Écart type</b>			<b>3,6 %</b>	<b>10,8 %</b>	
Yorkton, route 10 - voie 1, Saskatchewan	2007	1 sem.	34,7 %	5,6 %	1 225
Yorkton, route 10 - voie 2, Saskatchewan	2007	1 sem.	35,6 %	5,5 %	1 265
Duck Lake, route 11 - voie 1, Saskatchewan	2007	1 sem.	49,0 %	6,4 %	1 813
Duck Lake, route 11 - voie 2, Saskatchewan	2007	1 sem.	53,8 %	6,2 %	1 944
Shell Lake, route 3 - voie 1, Saskatchewan	2007	1 sem.	21,8 %	3,5 %	500
Shell Lake, route 3 - voie 2, Saskatchewan	2007	1 sem.	36,3 %	3,7 %	477
Moose Jaw, route 2 - voie 1, Saskatchewan	2007	1 sem.	44,4 %	6,7 %	1 873
Moose Jaw, route 2 - voie 2, Saskatchewan	2007	1 sem.	23,6 %	6,8 %	1 918
Route de l'Alaska 7 - voie 1, Saskatchewan	2007	2 sem.	77,1 %	19,8 %	984

Route de l'Alaska 7 - voie 2, Saskatchewan	2007	2 sem.	64,6 %	20,5 %	1 031
Roche Percee, route 39 - voie 1, Saskatchewan	2007	2 jours	49,9 %	36,5 %	544
Roche Percee, route 39 - voie 2, Saskatchewan	2007	2 jours	33,3 %	32,6 %	575
Langenburg, route 16 - voie 1, Saskatchewan	2007	1 sem.	43,1 %	23,0 %	959
Langenburg, route 16 - voie 2, Saskatchewan	2007	1 sem.	60,5 %	22,9 %	948
<b>Moyenne</b>			<b>44,8 %</b>	<b>14,3 %</b>	
<b>Écart type</b>			<b>15,6 %</b>	<b>11,3 %</b>	

**Tableau 16 – Limites de vitesse types dans les provinces et les territoires sur les routes rurales à deux voies**

Province/territoire	Limite de vitesse†	Source
Alberta	80 km/h	Traffic Safety Act
Colombie-Britannique	80 km/h	Motor Vehicle Act
Manitoba	90 km/h	Code de la route
Nouveau-Brunswick	80 km/h	Loi sur les véhicules à moteur
Terre-Neuve-et-Labrador	80 km/h	Highway Traffic Act
Nouvelle-Écosse	80 km/h	Motor Vehicle Act
Ontario	80 km/h	Code de la route
Île-du-Prince-Édouard	80 km/h	Highway Traffic Act
Québec	90 km/h	Code de la route
Saskatchewan	80 km/h	Highway Traffic Act
Territoires du Nord-Ouest	90 km/h	Loi sur les véhicules automobiles
Nunavut	90 km/h	Loi sur les véhicules automobiles
Territoire du Yukon	50 km/h	Loi sur les véhicules automobiles

- † Les limites de vitesse sont interprétées à partir des lois respectives des provinces et des territoires.
- La législation autorise l'augmentation des limites de vitesse types sur certaines routes.

## CONCLUSIONS

- La microsimulation constitue une solide plate-forme comportementale et permet d'étudier les répercussions des limiteurs de vitesse obligatoires à bord des camions sur la sécurité. Elle explique également les rapports comportementaux complexes des automobilistes qui sont fonction de la géométrie routière, des conditions de la circulation en temps réel et des taux de conformité.
- L'utilisation du modèle de microsimulation exige un exercice d'étalonnage et de validation qui permet de déterminer les paramètres d'entrée de la « meilleure estimation ». Cela garantit la plus grande précision des résultats des simulations.
- L'étude repose sur la caractérisation d'une mesure du rendement de sécurité liée à une collision réelle, à l'aide des données de détecteurs au niveau du sol sur un tronçon d'autoroute urbaine muni d'appareils. On a constaté que cette mesure de sécurité augmentait proportionnellement à mesure que l'on approche du moment de l'accident, ce qui incite à penser que les comportements à risque plus élevé dans le courant de circulation précèdent immédiatement une collision donnée. Le rendement de sécurité a été défini par un indice d'accidentalité (IA) qui reflète la vitesse de chaque véhicule, les impératifs d'espacement et de décélération dans le temps. Cette mesure de l'IA explique également les différences dans la gravité des accidents, de sorte que les valeurs plus élevées de l'IA se rattachent à des accidents de plus grande gravité.
- On a étudié la stratégie de limiteurs de vitesse obligatoires à propos de trois configurations routières géométriques (tronçons avec bretelles d'accès et de sortie et tronçons rectilignes), de deux vitesses maximales des limiteurs (105 km/h et 110 km/h), de différentes caractéristiques de la circulation (densités, pourcentage de camions) ainsi que de différents taux de conformité avec les limiteurs de vitesse. Les principaux résultats de ces essais sont les suivants :
  - L'imposition de limiteurs de vitesse réglés sur 105 km/h (ce qui cadre avec les règlements en vigueur en Ontario et au Québec) augmente la sécurité dans la zone non encombrée du courant de circulation pour toutes les configurations géométriques envisagées, en particulier pour le tronçon rectiligne. Lorsque la vitesse maximale est fixée à 110 km/h, les gains de sécurité résultant de l'imposition de limiteurs sont moins marqués. Cela vaut également pour la zone non encombrée du courant de circulation. Les gains de sécurité maximums résultent lorsque la vitesse maximale est fixée à 90 km/h aux densités de circulation sans encombrements étudiées.
  - À mesure que la densité et le pourcentage de camions augmentent, les gains de sécurité qui se rattachent aux limiteurs obligatoires réglés sur 105 km/h deviennent moins marqués. À mesure que la densité approche de la capacité maximale (2 000 véhicules à l'heure et par voie), il se produit un plus grand nombre d'interactions entre les véhicules qui peuvent aboutir à une diminution de

la sécurité, en particulier sur les tronçons où il y a un regain d'activités de convergence et de changements de voie (comme les tronçons avec bretelles d'accès et de sortie). Dans ces cas, l'adoption de limiteurs de vitesse à bord des camions peut effectivement réduire le niveau de sécurité lorsqu'on le compare au cas de référence sans limiteurs.

- À mesure que le taux de conformité augmente, on constate une faible hausse correspondante de la sécurité dans le cas des limiteurs de vitesse obligatoires. Il faut également signaler qu'à mesure que la densité et le pourcentage de camions augmentent, les gains de sécurité qui se rattachent à un taux de conformité intégral sont neutralisés par les perturbations accrues de la circulation causées par l'augmentation de la densité et du pourcentage de camions.
- L'étude de cas sur l'autoroute QEW confirme les résultats de l'analyse de sensibilité de différents scénarios de circulation et de différentes stratégies de limitation de la vitesse. Lorsque la vitesse du limiteur est réglée sur 105 km/h, son adoption se solde par des gains de sécurité statistiquement significatifs le long du couloir de l'étude de cas par rapport au cas de référence (sans limiteurs obligatoires). Au total, 30 simulations ont été exécutées et, dans 21 cas, l'introduction de limiteurs a donné des gains de sécurité positifs. En moyenne pour les 30 simulations, on a enregistré un gain total de 16 % (IA/véhicule). Les différences dans l'IA/véh. entre le cas de référence et le cas du limiteur obligatoire ont abouti à des valeurs positives significatives, qui incitent à penser que, dans le couloir, les limiteurs génèrent certains gains de sécurité.
- Une étude parallèle des répercussions, au chapitre de la sécurité, des limiteurs pour les routes rurales à deux voies a été réalisée, d'après un examen d'études antérieures complété par une analyse des courbes de vitesse des poids lourds en Alberta et en Saskatchewan et un examen des politiques provinciales et territoriales sur l'établissement des limites de vitesse sur les routes. Les résultats révèlent :
  - que les limites de vitesse types sur les routes rurales à deux voies sans terre-plein central sont de l'ordre de 80 à 90 km/h, même si les routes peuvent avoir des limites de vitesse indiquées de 100 km/h;
  - que les données provenant de plusieurs routes rurales à deux voies sans terre-plein central en Alberta et en Saskatchewan où la limite de vitesse indiquée était de 100 km/h révèlent qu'environ 40 % des camionneurs roulent à une vitesse dépassant 105 km/h sur ces routes. Cela a des répercussions sur la sécurité dans le cas des limiteurs de vitesse obligatoires réglés sur 105 km/h, surtout dans la mesure où cela entraîne des manœuvres de dépassement dangereuses.

La possibilité d'une augmentation des manœuvres de dépassement dangereuses présente des problèmes de sécurité particuliers lorsque les camions sont assujettis à une vitesse maximale fixée par les limiteurs sur les routes rurales à deux voies sans terre-plein central. Une étude approfondie de cette situation est nécessaire avant que l'on puisse tirer une conclusion sans équivoque au sujet des répercussions, au chapitre de la sécurité, des limiteurs de vitesse à bord des camions sur ce type de route.



---

## BIBLIOGRAPHIE

Allaby, P. *An evaluation of the safety and operational impacts of a candidate variable speed limit control strategy on an urban freeway*. Mémoire de maîtrise, Université de Waterloo, 2006.

Almquist, S., Hyden, C. et Risser, R. *Use of speed limiters in cars for increased safety and a better environment*, Transport Research Record, n° 1318, p. 34-39, 1991.

American Trucking Associations (ATA). Octobre 2006. *Before the US Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration and Federal Motor Carrier Safety Administration: Petition for rulemaking before NHTSA to amend 49 CFR part 571*. <http://www.truckline.com/NR/rdonlyres/0CB11B29-D85D-4E2E-B43D-7375E302CDFC/0/101606ATAPetition.pdf>, site Web consulté en octobre 2007.

Archer, J. *Methods for the assessment and prediction of traffic safety at urban intersection and their application in micro-simulation modelling*. Thèse de doctorat, ministère des Infrastructures, Institut royal de technologie, Suède, 2005.

Arts, L. et Van Schagen, S., *Driving speed and the risk of road crashes: A review*, Accident Analysis and Prevention, p. 215-224, 2006.

Baum, H. M., Esterlitz, J. R., Zador, P. et Penny, M. *Different speed limits for cars and trucks: Do they affect vehicle speed?* Transportation Research Record, n° 1318, p. 3-7, 1991.

Comte, S. L. *Response to automatic speed control in urban areas: A simulator study*. ITS Working Paper 477, Institute for Transport Studies, Université de Leeds, 1996.

Federal Highway Administration (FHWA). *US Highway 101 Dataset*. Next Generation SIMulation Fact Sheet, FHWA-HRT-07-030, 2007, <http://www.tfhrc.gov/about/07030.htm>, site Web consulté en juillet 2007.

Garber, N. J., Miller, J. S., Yuan, B. et Sun, X. *The safety impacts of differential speed limits on rural interstate highways*. Federal Highway Administration, rapport n° FHWA-HRT-05-042, octobre 2005.

Garber, N. et Gadiraju, R. *Speed variance and its influence on accidents*. AAA Foundation for Safety, Washington, D.C., 1988.

Gettman, D. et Head, L. *Surrogate safety measures from traffic simulation models*. Rapport final, Federal Highway Administration, publication n° FHWA-RD-03-050, 2003a.

Gettman, D. et Head, L. *Surrogate safety measures from traffic simulation models*. Transportation Research Record, n° 1840, p. 104-115, 2003b.

Gouvernement du Québec. *Rapport de la Table québécoise de la sécurité routière – Québec annonce six actions prioritaires.*

<http://communiqués.gouv.qc.ca/gouvqc/communiqués/GPQF/Juillet2007/05/c3929.html>, site Web consulté en octobre 2007.

Grierson, D. *Multicriteria decision making in n-D*. Proceedings of the 14th EG-ICE Workshop on Bringing ITC Knowledge to Work, édité par Rebolj, D., Maribor, Slovénie, 26-29 juin 2007, p. 681-687.

Harkey, D. L. et Mera, R. *Safety impacts of different speed limits on cars and trucks*. Federal Highway Administration, publication n° FHWA-RD-93-161, 1994.

Huguenin, F., Torday, A., Dumont, A. *Evaluation of traffic safety using microsimulation*. Actes de la 5<sup>e</sup> Conférence suisse sur les recherches dans le domaine des transports – STRC, Ascona, 2005.

Johnson, S. L., Pawar, N. *Analysis of heavy truck and automobile speed distributions for uniform and differential speed limit configurations on rural interstate highways*. Proceedings of the Transportation Research Board Annual Meeting CD-ROM, Washington, DC, janvier 2007.

Johnson, S. L., Pawar, N. *Cost-benefit evaluation of large truck-automobile speed limit differentials on rural interstate highways*. US Department of Transportation, novembre 2005.

Knowles, V., Persaud, B., Parker, M. et Wilde, G. *Safety, speed and speed management: A Canadian review*. Transports Canada, mars 1997.

Koorey, G. *Assessment of rural road simulation modelling tools*. Actes de la Conférence technique du Groupe des transports IPENZ, 2002, [http://www.ipenz.org.nz/ipenztg/papers/2002\\_pdf/23\\_Koorey\\_Simulation.pdf](http://www.ipenz.org.nz/ipenztg/papers/2002_pdf/23_Koorey_Simulation.pdf), site Web consulté en septembre 2007.

Lee, C., Hellinga, B. et Saccomanno, F. *Evaluation of variable speed limits to improve safety*. Transportation Research Part C, n° 14, p. 213-228, 2006.

Lee, C., Hellinga, B. et Saccomanno, F. *Real-time crash prediction model for application to crash prevention in freeway traffic*. Transportation Research Record, n° 1840, p. 67-77, 2003.

Liu, G. et Popoff, A. *Provincial-wide travel speed and traffic safety study in Saskatchewan*. Transportation Research Record, n° 1595, p. 8-13, 1997.

Liu, G. et Tate, J. *Network effects of intelligent speed adaptation systems*. Transportation, n° 31, p. 297-325, 2004.

Loon, A. van et Duynstee, L. *Intelligent speed adaptation (ISA): A successful test in the Netherlands*. Ministère des Transports, Centre de recherches sur les transports (AVV), Pays-Bas, 2001.

Makinen, T. et Varhelyi, A. *Field trials with in-car speed limiter*. Transportation Research Part C, n° 9, p. 191-211, 2001.

Minderhoud, M. et Bovy, P. *Extended time to collision measures for road traffic safety assessment*. Accident Analysis and Prevention, vol. 33, p. 89-97, 2001.

Neilsen, J. *Stopping Distances*. Safe Drive Training, 15 mai 2008, <http://www.sdt.com.au/safedrive-directory-STOPPINGDISTANCE.htm>, site Web consulté en mai 2008.

Ontario. *Province Supports Mandatory Speed Limiters: Speed Limiters Enhance Road Safety*. Communiqué de presse, QUEEN'S PARK, 3 juillet 2007, octobre 2007, <http://ogov.newswire.ca/ontario/GPOE/2007/07/03/c3371.html?lmatch=&lang=e.html>, site Web consulté en mars 2008.

Ontario Trucking Association (OTA). *Ontario Trucking Association wants speed limiters activated on all trucks*. Communiqué de presse, 16 novembre 2005.

Owner-Operator's Business Association of Canada (OBAC). *Comments of the Owner-Operator's Business Association of Canada: In response to the Ministry of Transportation request for comments on the Ontario Trucking Association proposal to mandate speed-limiters for heavy trucks*. Présenté par Ritchie, J., directeur général, OBAC, 3 janvier 2006.

Mehmood, A., Saccomanno, F. et Hellinga, B. *Application of systems dynamics in car-following models*. Journal of Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers, n° 129-6, p. 625-634, 2003.

Peltola, H. *Seasonally changing speed limits: Effects on speeds and accidents*. Transportation Research Record, n° 1734, p. 46-51, 2000.

Prentice, B. *CBC News: Government to test speed monitor that rewards safe driving*. <http://www.cbc.ca/technology/story/2007/09/11/tech-speed-limiters.html>, site Web consulté en septembre 2007.

PTV. *VISSIM 4.30: User manual*. Mars 2007.

Sliogeris, J. *110 kilometre per hour speed limit: Evaluation of road safety effects*. Rapport n° GR 98-2, Vic Roads, Australie, 1992.

Saccomanno, F.F., [Cunto, F. et Guido, G.](#) « [Comparing safety at signalized intersections and roundabouts using simulated rear-end conflicts](#) ». *Proceedings "Transportation Research*

*Board 87th Annual Meeting".* Washington, D.C., 13-17 janvier, Forthcoming Transportation Research Record, 2008.

Toledo, T., Albert, G. et Hakkert, S. *A simulation-based evaluation of the impact of active speed limiters on traffic flow and safety.* Transportation Research Record, n° 2019, p. 169-180, 2007.

TRB Special Report 254. *Managing speed; Review of current practice for setting and enforcing speed limits.* Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., 1998.

Wiedemann, R. et Reiter, U. *Microscopic traffic simulation: the simulation system MISSION, background and actual state.* Projet ICARUS de la CEC (V1052), rapport final, vol. 2, annexe A, Bruxelles : CEC, 1992.

Woodward Governor Company. *SG 2D Speed Governor: Specification.* [www.woodward.com/pdf/ic/03258.pdf](http://www.woodward.com/pdf/ic/03258.pdf), site Web consulté en mai 2007.

Annexe A  
Lois provinciales et territoriales  
sur les limitations de vitesse

## Sommaire des codes de la route – Établissement des limites de vitesse

Province/territoire	Code de la route/Loi sur les véhicules automobiles	
	Disposition sur la limitation de vitesse	Description
Alberta	Partie 5 Division 1 106	<p>106. Subject to a speed limit that is prescribed under section 108 for a highway,</p> <p>(a) 100 kilometres per hour is the maximum speed limit for a primary highway that is located outside an urban area;</p> <p>(b) 80 kilometres per hour is the maximum speed limit for</p> <p>(i) a highway that is subject to the direction, control and management of</p> <p>(A) the council of a municipal district or Metis settlement, or</p> <p>(B) the Minister responsible for the <i>Special Areas Act</i>, in the case of a special area;</p> <p>(ii) a highway that is within a city where the title to the highway is vested in the Crown in right of Alberta pursuant to section 22 of the <i>Public Highways Development Act</i>;</p> <p>(iii) a highway that</p> <p>(A) is located on an Indian reserve where the title to the highway is vested in the Crown in right of Alberta, and</p> <p>(B) is not the subject of an agreement entered into pursuant to section 13 of the <i>Public Highways Development Act</i>;</p> <p>(iv) a forestry road;</p> <p>(v) a licence of occupation road;</p> <p>(vi) a highway located within an improvement district;</p> <p>(vii) a highway that is subject to the direction, control and management of the Minister responsible for the <i>Provincial Parks Act</i>;</p> <p>(c) subject to clause (b)(ii), 50 kilometres per hour is the maximum speed limit for a highway located within an urban area.</p>
	108	<p>108(1) In accordance with the following, a road authority may prescribe speed limits that are different from the speed limits established under section 106 or 107:</p> <p>(a) in the case of a primary highway or any portion of a primary highway, the Minister may prescribe a maximum speed limit that is higher or lower than 100 kilometres per hour;</p> <p>(b) in the case of a highway or any portion of a highway under the direction, control and</p>

Province/territoire	Code de la route/Loi sur les véhicules automobiles	
	Disposition sur la limitation de vitesse	Description
		<p>management of a council of a municipal district or Metis settlement, the council may prescribe a maximum speed limit that is higher or lower than 80 kilometres per hour;</p> <p>(c) in the case of a highway or any portion of a highway under the direction, control and management of a council of an urban area, the council may prescribe a maximum speed limit that is higher or lower than 50 kilometres per hour;</p> <p>(d) in the case of a highway referred to in section 106(b) that is not a primary highway, a road authority may prescribe a maximum speed limit that is not higher than 100 kilometres per hour;</p> <p>108(2) Where a road authority or other person is empowered to prescribe a speed limit, the road authority or other person prescribing the speed limit may make that speed limit applicable to</p> <p>(a) all vehicles or only to a certain class or classes of vehicles;</p> <p>(b) daytime;</p> <p>(c) nighttime;</p> <p>(d) different periods of the year;</p> <p>(e) different traffic lanes for the same highway.</p>
Colombie-Britannique	1.2.1.2 146	<p>146(1) Subject to this section, a person must not drive or operate a motor vehicle on a highway in a municipality at a greater rate of speed than 50 km/h, and a person must not drive or operate a motor vehicle on a highway outside a municipality at a greater rate of speed than 80 km/h.</p> <p>146(2) The Minister of Transportation and Highways may, by causing a sign to be erected or placed on a highway limiting the rate of speed of motor vehicles or a category of motor vehicles driven or operated on that portion of the highway, increase or decrease the rate of speed at which a person may drive or operate a motor vehicle or a category of motor vehicle on that portion of the highway.</p> <p>146(3) If the Minister of Transportation and Highways has caused a sign to be erected or placed on a highway limiting the rate of speed of motor vehicles or a category of motor vehicles driven or operated on that portion of the highway, a person must not, when the sign is in place on the highway, drive or operate a</p>

Province/territoire	Code de la route/Loi sur les véhicules automobiles	
	Disposition sur la limitation de vitesse	Description
		<p>vehicle on that portion of the highway at a greater rate of speed than that indicated on the sign for that category of motor vehicle.</p> <p>146(4) The Minister of Transportation and Highways may, by notice in the Gazette, define areas in the unorganized area of British Columbia, and may by causing signs to be erected at the entrance to an area so defined direct the rate of speed at which a person may drive or operate a motor vehicle or a category of motor vehicle in that area, but the rate of speed must not be greater than 60 km/h.</p> <p>146(5) If the Minister of Transportation and Highways has caused signs to be erected or placed on a highway in accordance with subsection (4), a person must not, when the sign is in place on the highway, drive or operate a vehicle on a highway at a greater rate of speed than that indicated on the sign for that category of motor vehicle, unless another sign on a specific highway in the defined area so indicates.</p> <p>146(6) Subject to subsections (2) and (3), a municipality may by bylaw direct the rate of speed at which a person may drive or operate a motor vehicle on a highway in the municipality.</p> <p>146(7) If, under a bylaw adopted by a municipality, signs have been erected or placed on a highway limiting the rate of speed of motor vehicles driven or operated on a designated portion of the highway, a person must not, when the sign is in place on the highway, drive or operate a motor vehicle on that portion of the highway at a greater rate of speed than that indicated on the sign.</p> <p>146(8) A municipality may by bylaw direct that the rate of speed at which a person may drive or operate a motor vehicle in the municipality on a lane not exceeding 8 m in width must not be in excess of 20 km/h.</p> <p>146(9) Despite section 260 (3) [<i>enforcement powers</i>] of the <i>Community Charter</i>, a person who contravenes a bylaw made under subsection (6) or (8) does not commit an offence against the bylaw.</p> <p>146(10) A municipality that has enacted a bylaw under subsection (8) is not required to erect signs designating the rate of speed at which motor vehicles may be driven or operated.</p> <p>146(11) A person must not drive or operate a</p>

Province/territoire	Code de la route/Loi sur les véhicules automobiles	
	Disposition sur la limitation de vitesse	Description
		motor vehicle on a lane in a municipality that has enacted a bylaw under subsection (8) at a greater rate of speed than 20 km/h.
Manitoba	Partie IV Division II 95  98	95(1) Sous réserve des paragraphes 98(1) à (5), il est interdit de conduire un véhicule à une vitesse supérieure : a) à 50 kilomètres à l'heure dans toute zone de limitation de vitesse si cette zone ainsi que la vitesse maximale qui y est autorisée sont indiquées par des signaux érigés conformément à la présente loi; b) à la vitesse maximale qui est autorisée en tout autre lieu selon les signaux érigés conformément à la présente loi; c) à 90 kilomètres à l'heure dans les lieux non visés à l'alinéa a) ou b). 98(1) Le Conseil routier peut, par ordonnance, fixer pour tout ou partie de toute route désignée dans l'ordonnance, la vitesse maximale qui y est autorisée, laquelle vitesse peut être supérieure à la vitesse de 90 kilomètres à l'heure, visée à l'alinéa 95(1)c), sans dépasser toutefois 110 kilomètres à l'heure.
Nouveau-Brunswick	1955, ch. 13, art. 122 140	140(1) Sauf disposition contraire expressément stipulée par la présente loi et sous réserve des paragraphes 140.1(1) et 142.01(1), nul ne peut conduire un véhicule sur une route à une vitesse supérieure a) à cinquante kilomètres à l'heure dans une zone urbaine, b) à la vitesse maximale prescrite en conformité avec les dispositions de l'article 141, ou c) à quatre-vingt kilomètres à l'heure aux autres endroits où la vitesse maximale n'est pas autrement indiquée. 140(1.1) Quiconque enfreint les dispositions du paragraphe (1) a) en conduisant à une vitesse excédant de vingt-cinq kilomètres par heure ou moins l'une des vitesses limites mentionnées à ce paragraphe, commet une infraction, b) en conduisant à une vitesse excédant de plus de vingt-cinq kilomètres par heure et d'au plus de cinquante kilomètres par heure, l'une des vitesses limites mentionnées à ce paragraphe, commet une infraction, ou c) en conduisant à une vitesse excédant de plus de cinquante kilomètres par heure l'une des

Province/territoire	Code de la route/Loi sur les véhicules automobiles	
	Disposition sur la limitation de vitesse	Description
		<p>vitesses limites mentionnées à ce paragraphe, commet une infraction.</p> <p>140(1.2) Lorsque dans une poursuite pour une infraction à l'alinéa (1.1)b) l'infraction n'est pas prouvée, mais les faits pouvant constituer une infraction en vertu de l'alinéa (1.1)a) sont établis, le présumé contrevenant peut être condamné pour une infraction à l'alinéa (1.1)a) bien qu'il n'ait pas été poursuivi pour une telle infraction.</p> <p>140(2) Nul ne doit conduire un véhicule sur une route plus vite qu'il n'est raisonnable et prudent de le faire dans les conditions du moment et compte tenu des risques réels et éventuels existant à ce moment-là.</p> <p>1955, c.13, art.123; 1956, c.19, art.7, 8; 1959, c.23, art.8; 1960, c.53, art.23; 1961-62, c.62, art.43; 1971, c.48, art.7; 1973, c.59, art.8; 1977, c.M-11.1, art.17; 1977, c.32, art.13; 1981, c.48, art.8; 1983, c.52, art.12; 1990, c.61, art.84; 1996, c.79, art.6; 2001, c.30, art.3; 2007, c.44, art.8.</p> <p>140.1(1) Nul ne peut conduire un véhicule, dans une zone d'école entre 7 h 30 et 16 h les jours pendant lesquels une école publique ou privée située à proximité de cette zone d'école est en cours, à une vitesse supérieure</p> <p>a) à cinquante kilomètres à l'heure dans une zone urbaine,</p> <p>b) à la vitesse maximale prescrite en conformité avec les dispositions du paragraphe (2) ou du paragraphe 142(2), ou</p> <p>c) à quatre-vingt kilomètres à l'heure aux autres endroits où la vitesse maximale n'est pas autrement indiquée.</p> <p>140.1(2) Le ministre des Transports peut désigner certaines sections de route situées à proximité d'écoles publiques ou privées comme zones d'école et y prescrire des vitesses maximales inférieures à celles prescrites au paragraphe (1) pour ces routes, ces vitesses sont en vigueur entre 7 h 30 et 16 h les jours pendant lesquels une école publique ou privée située à proximité de cette zone d'école est en cours.</p> <p>140.1(3) Le ministre des Transports doit ériger des panneaux dans les sections de routes désignées comme zones d'école pour signaler chaque zone d'école.</p> <p>140.1(4) Une section d'une route désignée comme zone d'école doit être signalée au début et à la fin de la zone par des panneaux faisant face à l'espace réservé à la circulation.</p>

Province/territoire	Code de la route/Loi sur les véhicules automobiles	
	Disposition sur la limitation de vitesse	Description
	141	<p>140.1(5) Quiconque enfreint les dispositions du paragraphe (1)</p> <p><i>a)</i> en conduisant à une vitesse excédant de vingt-cinq kilomètres par heure ou moins l'une des vitesses limites mentionnées à ce paragraphe, commet une infraction,</p> <p><i>b)</i> en conduisant à une vitesse excédant de plus de vingt-cinq kilomètres par heure et d'au plus de cinquante kilomètres par heure, l'une des vitesses limites mentionnées à ce paragraphe, commet une infraction, ou</p> <p><i>c)</i> en conduisant à une vitesse excédant de plus de cinquante kilomètres par heure l'une des vitesses limites mentionnées à ce paragraphe, commet une infraction.</p> <p>140.1(6) Lorsque dans une poursuite pour une infraction à l'alinéa (5)b) l'infraction n'est pas prouvée, mais les faits pouvant constituer une infraction en vertu de l'alinéa (5)a) sont établis, le présumé contrevenant peut être condamné pour une infraction à l'alinéa (5)a) bien qu'il n'ait pas été poursuivi pour une telle infraction.</p> <p>140.1(7) Nonobstant l'article 51 ou le paragraphe 56(3), (5) ou (8) de la <i>Loi sur la procédure applicable aux infractions provinciales</i>, lorsqu'une personne est reconnue coupable d'une infraction en application de l'alinéa (5)a), b) ou c), l'amende minimale doit être le double de l'amende minimale prévue à <i>Loi sur la procédure applicable aux infractions provinciales</i> pour cette classe d'infraction.</p> <p>141. Sous réserve du paragraphe 140.1(2), le ministre des Transports peut prescrire des vitesses maximales supérieures ou inférieures à celles prescrites par l'article 140 pour</p> <p><i>a)</i> une route ou partie de route, ou</p> <p><i>b)</i> une ou plusieurs classes de véhicules à moteur,</p> <p>et ces vitesses peuvent différer selon le moment du jour ou de la nuit que l'on considère.</p>
Terre-Neuve-et-Labrador	Partie V 110	<p>110(1) Notwithstanding subsection (2), a person shall not drive a vehicle on a highway or in another place</p> <p>(a) at a speed which is greater than is reasonable and prudent under the conditions and having regard to actual and potential hazards existing on the highway or other place;</p> <p>(b) without due care and attention;</p> <p>(c) without reasonable consideration for other persons; or</p>

Province/territoire	Code de la route/Loi sur les véhicules automobiles	
	Disposition sur la limitation de vitesse	Description
		<p>(d) where that person suffers from a disease or physical or mental disability which might cause his or her driving of a vehicle to be a source of danger to other persons.</p> <p>110(2) Except where a higher or lower speed limit is prescribed by this Act or the regulations or by a traffic sign prescribed by the Minister of Works, Services and Transportation or by regulations made by a council, a driver shall not drive a vehicle at a speed greater than</p> <p>(a) 100 kilometres an hour on paved portions of the Trans-Canada Highway ;</p> <p>(b) 80 kilometres an hour on paved highways other than the Trans-Canada Highway ;</p> <p>(c) 60 kilometres an hour on gravel highways; or</p> <p>(d) 50 kilometres an hour</p> <p style="padding-left: 40px;">(i) through settlements,</p> <p style="padding-left: 40px;">(ii) when passing a school building or the grounds of school buildings between 8 a.m. and 5 p.m. on days when school is in session, or</p> <p style="padding-left: 40px;">(iii) when passing a church, theatre or other place of public assembly or its grounds while people are entering or leaving it.</p>
Nouvelle-Écosse	R.S., ch. 293 104  105  106	<p>104 (1) Notwithstanding the foregoing provisions of this Act, the Minister or a traffic authority with the approval of the Provincial Traffic Authority may fix such maximum rates of speed as he may see fit to approve for motor vehicles traversing any part or portion of a highway and may erect and maintain signs containing notification of such rate of speed so fixed and approved by him, and thereafter while such signs remain so erected and displayed the operator or driver of any vehicle exceeding the rate of speed so fixed and approved shall be guilty of an offence.</p> <p>105 (1) The speed limitations provided in subsection (2) of Section 102 shall not apply where the traffic authority has indicated a higher rate of speed by erecting and maintaining appropriate signs giving notice of such increased rate of speed.</p> <p>(2) The traffic authority is hereby authorized to erect and maintain such signs upon through highways or upon highways or portions thereof where there are no intersections or between widely spaced intersections.</p> <p>106 (1) Notwithstanding any other provision of</p>

Province/territoire	Code de la route/Loi sur les véhicules automobiles	
	Disposition sur la limitation de vitesse	Description
	107	<p>this Act, but subject to subsection (2) and Section 109, no person shall drive a motor vehicle at a speed in excess of eighty kilometres per hour on any highway at any time.</p> <p>(2) The Minister or the Provincial Traffic Authority may fix rates of speed in excess of eighty kilometres per hour, but not in excess of one hundred and ten kilometres per hour, for certain highways and may erect and maintain signs containing notification of such rate of speed, and the driver of a motor vehicle who exceeds the rate of speed so fixed shall be guilty of an offence.</p> <p>107 (1) Except when necessary for safe operation or to comply with this Act, no person shall drive a motor vehicle at such a slow speed as to impede or block the normal and reasonable flow of traffic.</p> <p>(2) Where a person is driving a motor vehicle at such a slow speed as to impede or block the normal and reasonable flow of traffic, he shall stop where it is reasonably safe to do so and permit traffic so impeded or blocked to pass his motor vehicle.</p> <p>(3) The Minister may fix minimum rates of speed for motor vehicles traversing any part or portion of a highway and may erect and maintain signs containing notification of such rate of speed so fixed, and thereafter while such signs remain so erected and displayed, the driver of any vehicle who wilfully drives at a rate of speed less than such minimum rate of speed shall be guilty of an offence.</p>
Ontario	Partie IX 128	<p>128. (1) Nul ne doit conduire un véhicule automobile à une vitesse supérieure :</p> <p>a) à 50 kilomètres à l'heure sur une voie publique située dans une municipalité locale ou une agglomération;</p> <p>b) malgré l'alinéa a), à 80 kilomètres à l'heure sur une voie publique qui n'est pas située dans une agglomération mais est située dans une municipalité locale qui avait le statut de canton le 31 décembre 2002 et, n'eût été l'édiction de la <i>Loi de 2001 sur les municipalités</i>, aurait conservé ce statut le 1<sup>er</sup> janvier 2003, si la municipalité est prescrite par règlement;</p> <p>c) à 80 kilomètres à l'heure sur une voie publique que le lieutenant-gouverneur en conseil désigne comme route à accès limité en</p>

Province/territoire	Code de la route/Loi sur les véhicules automobiles	
	Disposition sur la limitation de vitesse	Description
		<p>vertu de la <i>Loi sur l'aménagement des voies publiques et des transports en commun</i>, qu'elle soit située ou non dans une municipalité locale ou une agglomération;</p> <p>d) à la vitesse prescrite pour les véhicules automobiles sur une voie publique conformément au paragraphe (2), (5), (6), (6.1) ou (7);</p> <p>e) à la vitesse maximale fixée en vertu du paragraphe (10) et affichée dans une zone de construction désignée en vertu du paragraphe (8) ou (8.1);</p> <p>f) à la vitesse maximale affichée sur une voie publique ou section de voie publique conformément à l'article 128.0.1. 2005, chap. 26, annexe A, par. 17 (1); 2006, chap. 11, annexe B, par. 6 (2); 2006, chap. 32, annexe D, par. 4 (1).</p> <p>(1.1) Le ministre peut, par règlement, prescrire les municipalités auxquelles s'applique l'alinéa (1) b). 2002, chap. 17, annexe C, par. 15 (2).</p> <p>(2) Le conseil d'une municipalité peut, par règlement municipal, prescrire à l'égard des véhicules automobiles conduits sur une voie publique ou section de voie publique relevant de sa compétence une vitesse différente de celle énoncée au paragraphe (1) qui n'est pas supérieure à 100 kilomètres à l'heure. Il peut également prescrire des vitesses différentes qui s'appliquent à des moments différents de la journée. 2006, chap. 32, annexe D, par. 4 (3).</p> <p>(3) La vitesse fixée en vertu du paragraphe (10) peut être une vitesse qui n'est pas supérieure à 100 kilomètres à l'heure. 2006, chap. 32, annexe D, par. 4 (4).</p> <p>(3.1) et (4) Abrogés : 2006, chap. 32, annexe D, par. 4 (5).</p> <p>(7) Le ministre peut, par règlement, prescrire la vitesse concernant :</p> <p>a) les véhicules automobiles conduits sur une voie publique ou section de voie publique située à l'intérieur d'un parc provincial;</p> <p>b) une ou des catégories de véhicules automobiles conduits sur la route principale ou une section de celle-ci, qu'elle soit située ou non à l'intérieur d'une municipalité, cette vitesse pouvant varier selon les heures du jour ou de la nuit ou le sens de la circulation;</p> <p>c) les véhicules automobiles conduits sur une voie publique ou section de voie publique située</p>

Province/territoire	Code de la route/Loi sur les véhicules automobiles	
	Disposition sur la limitation de vitesse	Description
		sur un territoire non érigé en municipalité. L.R.O. 1990, chap. H.8, par. 128 (7); 2002, chap. 17, annexe F, tableau.
Île-du-Prince-Édouard	Cap. H-5 115	<p>115.1 (1) No person shall drive a motor vehicle on a highway at a speed greater than half the posted speed limit when approaching or passing an emergency vehicle that is stopped on the highway with its emergency lights in operation.</p> <p>(2) Subject to subsection (1) and except where a lower maximum speed limit is prescribed by this Act or the regulations, no person shall drive a vehicle at a greater speed than</p> <p>(a) fifty kilometres per hour in an urban district;</p> <p>(b) sixty kilometres per hour in a business district;</p> <p>(c) eighty kilometres per hour on unpaved highways;</p> <p>(d) one hundred kilometres per hour in other locations during the day time;</p> <p>(e) ninety kilometres per hour in other locations during the night time;</p> <p>(f) sixty kilometres per hour when entering and passing through a school zone that has been properly designated as such by the erection of signs at the entrance thereto and the exit therefrom, between the hours of eight o'clock in the forenoon and five o'clock in the afternoon, where children are present on the highway or adjacent thereto on days when school is in session;</p> <p>(f.1) sixty kilometres per hour in a construction zone; and</p> <p>(g) the maximum speed established within a municipality.</p>
Québec	V 298  299  300	<p>298. À l'approche d'une agglomération, toute municipalité à laquelle s'applique le paragraphe 4 de l'article 328 doit installer sur un chemin public dont l'entretien est sous sa responsabilité, une signalisation indiquant que la limite de vitesse est de 50 km/h.</p> <p>299. La municipalité qui détermine, par règlement, une limite de vitesse différente de celle prévue à l'article 328, doit indiquer celle-ci au moyen d'une signalisation. À défaut par elle de le faire, l'article 328 s'applique.</p> <p>300. Dans les cas visés à l'article 329, la décision du ministre des Transports prévaut sur</p>

Province/territoire	Code de la route/Loi sur les véhicules automobiles	
	Disposition sur la limitation de vitesse	Description
	328	<p>toute disposition d'un règlement pris par une municipalité.</p> <p>328. Sauf sur les chemins où une signalisation contraire apparaît et sans restreindre la portée de l'article 327, nul ne peut conduire un véhicule routier à une vitesse :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) inférieure à 60 km/h et supérieure à 100 km/h sur les autoroutes, sauf si un permis spécial de circulation établit comme condition, pour l'utilisation d'un véhicule routier hors normes, de circuler à une vitesse inférieure;</li> <li>2) excédant 90 km/h sur les chemins à surface en béton de ciment, en béton bitumineux et autres surfaces du même genre;</li> <li>3) excédant 70 km/h sur les chemins en gravier;</li> <li>4) excédant 50 km/h dans une agglomération, sauf sur les chemins à accès limité;</li> <li>5) excédant celle indiquée par une signalisation comportant un message lumineux ou non, variable ou non, qui précise, selon les circonstances et les temps de la journée, dont les périodes d'activité scolaire, la vitesse maximale autorisée sur la partie du chemin public visée par cette signalisation.</li> </ol> <p>Interprétation.</p> <p>Pour l'application des paragraphes 2 à 4 du premier alinéa, on entend par « cité », « ville » ou « village » le territoire d'une municipalité dont le nom comprend ce mot.</p> <p>Chemin d'accès.</p> <p>Sur les chemins d'accès à une agglomération, le paragraphe 4 du premier alinéa s'applique dès que le conducteur atteint l'endroit où la signalisation indique la limite de vitesse de 50 km/h.</p> <p>Administration du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs.</p> <p>Le paragraphe 3 du premier alinéa s'applique sur les chemins soumis à l'administration du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs ou entretenus par celui-ci. Le ministre, sur recommandation du ministre des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, peut, par arrêté, augmenter à 90 km/h la limite de vitesse sur tout ou partie de ces chemins.</p>
	329	<p>329. Le ministre des Transports peut modifier les limites de vitesse prévues aux paragraphes 1 à 4 du premier alinéa de l'article 328 pour tous les véhicules routiers ou pour certaines</p>





Province/territoire	Code de la route/Loi sur les véhicules automobiles	
	Disposition sur la limitation de vitesse	Description
		<p>d'une municipalité, à moins qu'une vitesse maximale plus élevée ne soit prévue en vertu de l'article 117.</p> <p>138(3) Au paragraphe (2), l'expression « route territoriale » s'entend d'une route qui, en application de l'article 5 de la <i>Loi sur la voirie</i>, n'a pas été transférée à une municipalité.</p> <p>138(4) Tous les conducteurs sont tenus de respecter la limite de vitesse prévue et marquée sur les panneaux placés le long de la route dans les cas où une municipalité a fixé une vitesse maximale inférieure à 50 kilomètres à l'heure en vertu de l'article 124.</p>