



Quand tout s'arrête :

Évaluation des pires points d'engorgement au Canada

Remerciements

Cette étude a été réalisée par la firme CPCS pour le compte de l'Association canadienne des automobilistes (CAA). L'analyse repose sur diverses sources de renseignements. Les données relatives à la vitesse des véhicules proviennent de la société HERE (HERE North America, LLC), l'un des principaux fournisseurs de cartes numériques et Services basés sur la localisation et données sur la gestion routiers. L'information concernant le débit de circulation routière provient de divers organismes provinciaux ou autorités locales dans le domaine du transport.

L'équipe de CPCS tient à remercier la CAA, qui a commandé cette étude, ainsi que la société HERE et les organismes gouvernementaux ayant accepté de fournir les données requises pour mener la présente analyse.



www.cpcs.ca



www.here.com

Table des matières

But du projet	1
Objectif du présent rapport	1
Principales questions de l'étude	1
Notre approche pour le ciblage, la classification et la hiérarchisation des points d'engorgement	9
Les pires points d'engorgement au Canada en 2015	10
Comparaison avec les principaux goulots autoroutiers aux É.-U.	30
Annexe A – Formules mathématiques	5
Annexe B – Cartes illustrant les retards pour l'ensemble des RMR	39
Annexe C – Cartes des ratios vitesse/écoulement libre	53
Bibliographie	80

Sommaire

Cette étude inédite au Canada résulte d'un processus de collecte et d'analyse de données sur la vitesse et le débit du trafic autoroutier en zones urbaines au pays, en vue de cibler les plus importants points d'engorgement autoroutiers à l'échelle nationale. À ces fins, nous avons entre autres recueilli et analysé les données relatives aux régions métropolitaines de recensement (RMR) suivantes : Vancouver, Calgary, Edmonton, Regina, Winnipeg, Toronto (y compris les RMR de Hamilton et d'Oshawa), Ottawa, Montréal, Québec et Halifax.

En quoi cette étude se distingue-t-elle des autres?

Même si des études précédentes ont déjà tenté de dresser le portrait global de la congestion routière pour une agglomération ou une région donnée, la présente analyse se distingue parce qu'elle cible et compare le niveau de congestion de certains tronçons autoroutiers au Canada. Ces goulots d'étranglement sont retenus parce qu'il s'agit de tronçons d'autoroute qui sont régulièrement et systématiquement congestionnés à toute heure de la journée en semaine, comparativement à ceux qui ne sont engorgés qu'à certains moments de la journée ou certains jours de la semaine. Pour classer les points d'engorgement, nous avons comparé les données réelles de vitesse moyenne horaire par rapport à une vitesse de référence, et ce, pour chacun des tronçons à chaque heure de la journée. Puisque les résultats de la présente étude sont établis par rapport à une vitesse de référence, les coûts de congestion imputables aux principaux points d'engorgement autoroutiers demeurent modérés en comparaison des coûts calculés par d'autres études qui reflétaient la situation globale d'une agglomération ou d'une région. À cet égard, il importe de souligner que la méthodologie a été appliquée systématiquement à toutes les zones urbaines, ce qui autorise un classement comparatif des principaux points d'engorgement au pays.

Les pires points d'engorgement au Canada

Le tronçon de l'autoroute 401 qui traverse la partie nord de la ville de Toronto au premier rang des pires goulots autoroutiers au Canada. Les engorgements qui s'y installent font perdre plus de 3 millions d'heures annuellement aux automobilistes. Parmi les dix principaux points d'engorgement répertoriés, cinq sont situés dans la région de Toronto. Par ailleurs, le tronçon de l'autoroute 40 en direction du centre-ville de Montréal occupe le troisième rang des pires goulots d'étranglement au pays, et les retards qui en découlent privent les automobilistes de près de 2 millions d'heures annuellement. À Vancouver, même si aucune autoroute non signalisée ne dessert le centre-ville, certains tronçons le long de deux artères principales (rue Granville et rue Georgia Ouest) sont suffisamment engorgés pour être pris en compte au palmarès des dix plus importants points d'engorgement au pays.

Il est à noter que le choix d'une vitesse de référence (servant à étalonner les vitesses réelles) influence largement l'estimation des retards. Par exemple, nous avons choisi de retenir l'artère principale qui dessert le centre-ville de Vancouver même s'il s'agit

d'un tronçon signalisé, et ce, pour permettre une comparaison élargie à l'ensemble des grandes villes canadiennes. Or, la limite de vitesse ainsi que le débit potentiel étant beaucoup plus faibles sur une artère comme celle-ci que sur les autoroutes à accès limité, les retards cumulatifs obtenus pour les tronçons de cette artère semblent beaucoup moins importants que si la comparaison avait été établie par rapport au débit potentiel d'une autoroute à accès limité. Ce qui revient à dire que, même si les retards relatifs mesurés pour les points d'engorgement de Vancouver semblent inférieurs à ceux de Toronto et de Montréal, il n'en demeure pas moins que les automobilistes qui doivent accéder au centre-ville de Vancouver ou en sortir sont contraints, dans les faits, à des vitesses aussi faibles, voire inférieures, à ce qui existe dans les deux autres villes.

Congestion à l'échelle régionale

Même si la mesure de la congestion dans une perspective régionale n'est pas l'objet principal de cette étude, nos paramètres permettent néanmoins de réaliser une telle analyse. Pour y parvenir, nous avons déterminé l'indice de temps de déplacement (ITD) pour chaque zone urbaine de notre ensemble de données. L'ITD correspond au ratio entre le temps de déplacement à un moment défini et le temps de déplacement en écoulement libre. Par exemple, s'il faut 45 minutes pour passer du point A au point B en période de pointe le matin, et qu'il en faut 30 pour parcourir le même segment en écoulement libre, l'ITD se chiffre à $45/30=1,50$.

L'ITD sert à évaluer dans quelle mesure la durée du trajet d'un automobiliste moyen serait réduite dans chacune des villes si la circulation s'y déroulait en écoulement libre (même s'il est irréaliste d'imaginer de telles conditions à toute heure de la journée).

On ne sera pas surpris d'apprendre que les automobilistes torontois encaissent les plus lourdes pertes en temps quotidiennement sur la base d'un aller-retour qui prendrait 60 minutes en écoulement libre. En fonction des conditions qui prévalent généralement à l'heure de pointe, il leur faut 96 minutes pour faire un aller-retour d'une durée nominale de 60 minutes, soit un supplément de 36 minutes au total. La ville de Hamilton (dans la région métropolitaine de Toronto et Hamilton) occupe le deuxième rang (25,3 minutes supplémentaires), suivie de Montréal (24,2 minutes) et de Vancouver (24 minutes).

Comparaison avec les goulots d'étranglement aux É.-U.

En incluant également les étranglements autoroutiers aux États-Unis, celui de l'autoroute 401 se hisse au palmarès canado-américain des dix principales zones embouteillées, alors que le plus important goulot d'étranglement de Montréal figure parmi les vingt plus importantes zones névralgiques à cet égard. En ce qui a trait aux heures de retard cumulatives, le goulot autoroutier de la 401 se compare aux pires points d'engorgement de la région métropolitaine de New York, et celui de l'autoroute 40 entraîne des retards équivalents aux pires embouteillages de Boston.

Acronymes

AHUA	American Highway Users Alliance
ATRI	American Transportation Research Institute
DJMA	Débit journalier moyen annuel
DVP	Don Valley Parkway (ou « Don Valley Parking Lot »)
FHWA	Federal Highway Administration (É.-U.)
HCM	Highway Capacity Manual
KVP	Kilomètres-véhicules parcourus
RMR	Région métropolitaine de recensement
RMTH	Région métropolitaine de Toronto et Hamilton
SIG	Systèmes d'information géographique
VDO	Vitesse de débit optimal
VEL	Vitesse en écoulement libre
VMO	Véhicule multioccupant

Faits saillants

- Cette étude inédite au Canada porte sur les principaux goulots d'étranglement autoroutiers au pays.
- Ces étranglements concernent les tronçons autoroutiers qui sont régulièrement et systématiquement engorgés à toute heure de la journée en semaine, comparativement à d'autres tronçons où la congestion se limite à certaines heures de la journée ou à certains jours de la semaine.
- Le plus important point d'engorgement autoroutier au Canada est situé sur le tronçon de l'autoroute 401 qui traverse la portion nord de la ville de Toronto. À lui seul, cet étranglement fait perdre aux automobilistes plus de trois millions d'heures annuellement. Au total, cinq des dix principaux goulots d'étranglement se retrouvent dans la région de Toronto.
- Le tronçon de l'autoroute 40 en direction du centre-ville de Montréal occupe le troisième rang des pires goulots autoroutiers au pays, ce qui occasionne des pertes équivalant à près de deux millions d'heures annuellement.
- Même si aucune autoroute non signalisée ne dessert le centre-ville de Vancouver, certains tronçons le long de deux artères principales (rue Granville et rue Georgia Ouest) sont suffisamment engorgés pour être pris en compte au palmarès des dix principaux points d'engorgement au pays.
- En élargissant le palmarès pour tenir compte des étranglements autoroutiers aux É.-U. (suivant une méthodologie similaire), le goulot de l'autoroute 401 se classe au palmarès canado-américain des dix zones les plus embouteillées, alors que le plus important point d'engorgement de Montréal figure parmi les vingt tronçons les plus névralgiques à cet égard.
- En ce qui a trait aux heures de retard cumulatives, le goulot autoroutier de la 401 se compare aux pires points d'engorgement de la région métropolitaine de New York, et celui de l'autoroute 40 entraîne des retards comparables aux pires embouteillages de Boston.
- Même si la mesure de la congestion régionale n'est pas l'objet principal de cette étude, nos paramètres permettent néanmoins de réaliser une telle analyse. Selon ces données, il faudrait 96 minutes dans la région de Toronto pour parcourir un aller-retour qui prendrait normalement 60 minutes en écoulement libre, alors qu'il faudrait compter 84,2 minutes à Montréal et 84 minutes à Vancouver pour un trajet nominal de 60 minutes.

But du projet

Les études sur la congestion routière portent souvent sur la congestion dans une perspective régionale. La compilation de telles données est utile pour établir des comparaisons d'une ville à l'autre [1, 2]. Toutefois, pour intervenir de manière ciblée en vue d'alléger la congestion routière, il faut d'abord mieux comprendre la nature de certains goulots d'étranglement ou points d'engorgement. À ces fins, l'American Highway Users Alliance (AHUA) a récemment commandé une étude du genre sur les principaux goulots autoroutiers aux États-Unis, qui a suscité un vif intérêt à l'échelle nationale auprès des décideurs et des médias [3].

C'est aussi ce qui motive l'Étude nationale canadienne sur les engorgements autoroutiers, qui cherche à cibler et à hiérarchiser les principaux goulots d'étranglement autoroutiers. Il s'agit d'une étude inédite au Canada. Pour y parvenir, nous avons entre autres recueilli et analysé des données reflétant la situation dans les zones urbaines suivantes : Vancouver, Calgary, Edmonton, Regina, Winnipeg, Toronto, Ottawa, Montréal, Québec et Halifax. L'étude illustre les incidences de la congestion due à ces principaux points d'engorgement, et ce, en termes de temps (heures perdues), sur le plan économique (coût d'opportunité inhérent aux heures perdues) et sur le plan environnemental (consommation excédentaire de carburant, émissions totales de CO₂). Cette analyse pancanadienne des goulots d'étranglement autoroutiers incitera les décideurs à chercher et à mettre en œuvre des solutions concernant les points les plus névralgiques du réseau routier.

Objectif du présent rapport

Ce rapport résume l'approche retenue pour cibler les principaux points d'engorgement autoroutiers. Les principes de la congestion et ses incidences y sont expliqués. Le rapport présente également la méthodologie employée dans le cadre de cette étude, les éléments qui la distinguent des autres études, ainsi que les impacts de ces goulots autoroutiers sur l'engorgement du réseau.

Principales questions de l'étude

Dès l'amorce du projet, nous avons retenu certaines questions clés pour orienter les travaux de cette étude. Ces questions ont guidé notre approche pour l'évaluation des données, ainsi que le cadre de présentation des résultats. Les questions clés sont les suivantes :

- Qu'est-ce qu'un goulot d'étranglement autoroutier?
- Comment mesure-t-on la congestion?
- Qu'est-ce qui cause la congestion autoroutière?
- Quelles sont les incidences de la congestion?
- Pourquoi s'intéresser maintenant à la congestion?

- Quelles routes urbaines faut-il prendre en compte?
- Comment doit-on utiliser les résultats de cette étude?
- Comment doit-on cibler, classifier et hiérarchiser les points d'engorgement à l'échelle nationale
- Quelles sont les conséquences directes de ces goulots autoroutiers, et quels seraient les bénéfices d'un désengorgement?

Qu'est-ce qu'un goulot d'étranglement autoroutier?

Les goulots d'étranglement sont des points d'engorgement névralgiques où la demande surpasse largement la capacité autoroutière. À titre d'exemple, la Federal Highway Administration (FHWA) des États-Unis considère que les goulots d'étranglement récurrents sont la principale cause de retards routiers aux É.-U. (40 % des retards), loin devant les incidents de la circulation (25 %), les conditions météorologiques difficiles (15 %), les travaux de construction (10 %) ou d'autres causes [4]. La présente étude porte sur les goulots d'étranglement récurrents dans les grandes zones urbaines au Canada. Il est à noter que l'analyse porte principalement sur le réseau autoroutier (toutes les routes express à accès limité et certaines autoroutes signalisées), ce qui exclut les routes locales ainsi que les voies ou bretelles d'accès aux autoroutes. La majeure partie des kilomètres-véhicules parcourus (KVP) intervient sur les autoroutes, ce qui explique qu'elles soient principalement ciblées pour une telle étude. Par ailleurs, s'il est vrai que la vitesse en écoulement libre (VEL) et la vitesse de débit optimal (VDO) sont à peu près les mêmes d'une autoroute à l'autre dans l'ensemble du réseau, il existe cependant des variations importantes en règle générale entre les différentes artères, routes collectrices et routes locales, qu'il s'agisse de la vitesse de débit optimal ou de la vitesse en écoulement libre (c'est-à-dire la vitesse moyenne des automobilistes en l'absence de congestion ou d'autres conditions nuisibles comme la construction ou la météo). Dans un tel contexte, la prise en compte de la VEL et de la VDO influence largement toute analyse comparative faisant intervenir différents types de liens routiers, l'objectivité de la démarche étant alors partiellement minée.

Dans le cadre de notre analyse, nous avons considéré les goulots autoroutiers comment étant des tronçons d'autoroute régulièrement et systématiquement congestionnés, c'est-à-dire des tronçons où les retards ne surviennent pas seulement à l'heure de pointe ou à certaines périodes particulièrement achalandées. De fait, les très nombreux véhicules qui empruntent ces points d'engorgement au cours d'une période de 24 heures en semaine entraînent des retards importants. On a tendance à penser que les points d'engorgement sont des carrefours de convergence soumis à des embouteillages chroniques, mais plusieurs points d'engorgement résultent de l'accumulation de ralentissements d'à peine quelques minutes par véhicule dans certains cas, qui s'accumulent toutefois en fonction du nombre important de véhicules qui empruntent ces portions d'autoroute. À titre d'exemple, dans son rapport de 2014 sur le coût de la congestion, l'American Transportation Research Institute

(ATRI) concluait que 89 % des coûts de congestion dans le domaine du camionnage survenaient sur seulement 12 % du kilométrage parcouru. La situation est à peu près la même pour les véhicules à passagers. Ainsi, même si la présente étude tient compte de la vitesse et du débit du trafic sur environ 3 000 kilomètres d'autoroutes partout au Canada, les vingt plus importants goulets d'étranglement totalisent à peine 65 kilomètres.

Comment mesure-t-on la congestion?

L'une des principales composantes pour la mesure de la congestion concerne la vitesse de référence, soit l'indice de comparaison à l'aune duquel sont mesurées les vitesses réelles. Lorsque les automobilistes sont ralentis par la congestion, ils ont tendance à comparer leur vitesse réelle par rapport à la vitesse en écoulement libre sur le même tronçon. Toutefois, même si cette référence peut sembler pratique et familière, la vitesse en écoulement libre n'est pas privilégiée par les intervenants dans ce domaine comme balise pour l'évaluation des coûts de congestion : les analystes s'intéressent plutôt au degré de congestion « excédentaire ». En effet, la mesure des incidences économiques de la congestion est axée sur les coûts de la congestion et les bénéfices éventuels si on parvenait à l'atténuer. À cet égard, le degré « optimal » de congestion correspond donc à l'état de la situation une fois que la congestion excédentaire aurait été éliminée. Or, ce degré optimal de congestion varie considérablement selon le moment et l'endroit en cause. Dans un tel contexte, puisqu'il s'avère irréaliste d'aspirer à des conditions de circulation en écoulement libre à toute heure de la journée dans la plupart des zones urbaines, les économistes mettent en garde contre le biais qu'introduit la vitesse en écoulement libre comme vitesse de référence.

Dans son quotidien, chacun peut d'ailleurs constater diverses manifestations du principe de congestion optimale, notamment sous la forme de files d'attente qui s'allongent devant les commerces de biens et services du secteur privé (p. ex. le matin devant les cafés populaires, aux parcs d'attractions pour accéder aux manèges les plus courus, etc.). Le marché réagit par l'augmentation des prix pour les services en demande (généralement limitée par la concurrence), et par l'accroissement de la capacité pour y répondre. Or, il en coûterait trop cher d'accroître la capacité d'absorption sur une base permanente pour éliminer complètement toute variation de la demande entre les périodes de pointe et les heures creuses : c'est pourquoi les files d'attente continuent d'apparaître jour après jour. En réalité, les usagers eux-mêmes ne voient pas la valeur d'une telle démarche en comparaison des coûts pour y parvenir, et le fournisseur de services du secteur privé fonde ses décisions financières sur les signaux qu'il perçoit à partir de ces files d'attente. Il cherche à déterminer le point de bascule entre la volonté des clients de payer davantage pour être servis plus rapidement, d'une part, et les coûts qu'engendrerait l'accroissement de la capacité en période de pointe, d'autre part.

Cependant, il est difficile de choisir une vitesse de référence en vue de tenir compte du degré optimal de congestion, puisque le véritable coût marginal de congestion

varierait selon le moment et l'endroit en cause, selon le niveau individuel de tolérance à la congestion, et selon le coût d'atténuation de la congestion par des investissements ou d'autres moyens.

Par conséquent, les études qui cherchent à mesurer les coûts de congestion sont souvent fondées sur des estimations approximatives de la vitesse maximale de déplacement, obtenue par exemple par coefficient de la vitesse en écoulement libre (VEL). Dans la présente étude, nous avons plutôt privilégié la vitesse de débit optimal (VDO) comme vitesse de référence, laquelle est dérivée de la VEL selon la méthodologie familière utilisée dans le Highway Capacity Manual (voir les détails à l'annexe A). Techniquement, la VDO renvoie à un concept distinct de la vitesse maximale de déplacement, mais elle y est beaucoup plus apparentée qu'elle ne le serait de la VEL. En outre, le recours à la VDO comme vitesse de référence est facile à concevoir, puisqu'il s'agit concrètement de la vitesse à laquelle le débit du réseau routier atteint son apogée. En d'autres termes, c'est la vitesse qui permet au plus grand nombre d'automobilistes de circuler sur l'autoroute à quelque moment de la journée.

Il est à noter également que notre méthode d'estimation de la VEL en soi (aussi présentée à l'annexe A) demeure plus modérée que celle utilisée dans le cadre d'autres études. Par ailleurs, nous reconnaissons qu'il existe d'autres coûts de congestion potentiels dont notre étude ne tient pas compte. À titre d'exemple, même si les vitesses réelles mesurées sont établies à partir des vitesses moyennes pour chaque heure de la journée, il n'en demeure pas moins que ces résultats varient naturellement d'une journée à l'autre, ce qui ajoute au caractère imprévisible de la durée de déplacement. Or, ces variations entraînent probablement une certaine augmentation des coûts de congestion, qui ne serait pas prise en compte dans les coûts imputables aux retards en fonction des vitesses moyennes.

Tous ces facteurs conjugués à la décision de privilégier la VDO (plutôt que la VEL) comme vitesse de référence contribuent aux résultats modérés obtenus dans l'estimation des coûts de congestion associés aux principaux goulots d'étranglement. À cet égard, il importe de souligner que la méthodologie a été appliquée systématiquement à l'ensemble des zones urbaines, ce qui autorise un classement comparatif des principaux points d'engorgement au pays.

Il importe aussi de souligner que la VEL ne correspond pas nécessairement à la limite de vitesse affichée, même si c'est souvent le cas. La VEL étant établie à partir d'observations réelles de la vitesse hors des heures de pointe (sans congestion), sa valeur est parfois supérieure ou inférieure à la limite de vitesse affichée, selon les caractéristiques d'un tronçon donné.

Qu'est-ce qui cause la congestion autoroutière?

La congestion résulte d'une inadéquation entre la demande et la capacité autoroutière. Autrement dit, l'engorgement survient lorsque le nombre d'automobilistes qui tentent d'emprunter un tronçon d'autoroute dépasse la capacité de ce segment. Dans un tel contexte, les usagers de la route sont forcés de réduire leur vitesse en raison du nombre accru de véhicules. Outre le nombre de véhicules, il faut tenir compte également de certaines particularités autoroutières qui forcent les usagers à ralentir brusquement, comme les voies convergentes, les bretelles d'accès ou la visibilité réduite au détour des courbes. Par ailleurs, les conditions météorologiques, les facteurs de distraction visuelle, les accidents, les travaux de construction ou d'entretien, ou encore la tenue d'activités spéciales risquent aussi d'entraver le flux de véhicules. La plupart du temps, ces facteurs n'interviennent pas isolément, mais c'est plutôt une combinaison d'entre eux qui contribue à accroître la congestion [5].

Quelles sont les incidences de la congestion?

La congestion allonge la durée du trajet entre un point A et un point B : c'est la notion même de « retard ». Le temps perdu entraîne des conséquences sur la qualité de vie des individus ainsi que des effets sur l'ensemble de l'économie. Les automobilistes et autres passagers sont contraints de sacrifier des heures potentiellement productives ainsi que du temps précieux sur le plan personnel ou familial. Lorsque des camions sont emprisonnés dans la circulation, il en coûte plus cher aux entreprises et aux consommateurs pour se procurer les biens transportés. À terme, la perte de productivité des passagers ainsi que les coûts du retard des marchandises transportées entraînent des répercussions sur la compétitivité économique à l'échelle régionale et nationale. Outre les retards, la congestion fait aussi augmenter la consommation de carburant et les émissions de gaz à effet de serre. En effet, les moteurs qui tournent au ralenti dans les embouteillages consomment beaucoup plus de carburant, ce qui a pour corollaire une augmentation des émissions de gaz à effet de serre.

Pourquoi s'intéresser maintenant à la congestion?

Les spécialistes de la planification du transport s'en remettent depuis longtemps à des modèles informatiques pour prévoir l'utilisation éventuelle du réseau autoroutier par les voitures et camions, et ainsi concevoir des infrastructures adaptées. Ce processus de conception est parfois étayé par des études techniques ou de planification, mais ces outils demeurent toutefois ponctuels compte tenu de leur coût et des ressources nécessaires. Par contre, il importe de tenir compte des lacunes dans la boucle de rétroaction qui permettrait de mettre en relief les écarts entre les prévisions et l'utilisation réelle du réseau routier par les usagers. La présente étude est un exemple des moyens par lesquels les données empiriques (comme les observations en temps réel à l'échelle du réseau) peuvent contribuer à réduire ces écarts par la rétroaction plus que nécessaire qu'elles procurent en appui aux activités de planification et d'exploitation du réseau autoroutier.

Dans le domaine du transport, bon nombre d'intervenants des secteurs public et privé s'emploient désormais à colliger sur une base régulière diverses données sur le trafic et sur l'état du réseau dans son ensemble. D'ailleurs, l'amélioration des sondes et d'autres technologies de l'information ou de communication a permis de réduire considérablement les coûts de collecte, de stockage et de mise en commun de telles données (communément appelées « mégadonnées »). La collecte en temps réel de données ciblées provenant des téléphones intelligents, des assistants de navigation personnels et des systèmes à bord des véhicules procure des indices précieux sur les valeurs de vitesse autoroutière, qui sont un facteur prépondérant pour l'analyse de la congestion.

Le recours à l'approche empirique (c'est-à-dire la modélisation à partir de données et d'observations) plutôt qu'à des hypothèses décalées dans le temps représente une nette amélioration par rapport aux analyses antérieures de la congestion. En fait, les nouvelles données basées sur les relevés de sondes GPS permettent de cibler plus exactement et plus précisément les goulots autoroutiers. La collecte de données à longueur d'année permet aux analystes de se concentrer sur certains tronçons autoroutiers vulnérables aux embouteillages causés par des ralentissements récurrents. En somme, la fréquence, le faible coût et la fiabilité des nouvelles données sur la vitesse et le débit du trafic favorisent une meilleure compréhension de la congestion, et permettent de multiplier les analyses dans ce domaine.

Quelles routes urbaines faut-il prendre en compte?

Sur le plan géographique, nous avons privilégié les routes expresses urbaines ainsi que quelques grandes artères urbaines ou autoroutes signalisées. La délimitation des différentes zones urbaines reprend celle des régions métropolitaines de recensement (RMR) pour les villes répertoriées à la figure 1. Ce tableau illustre également la population de ces villes en 2015 ainsi que le kilométrage approximatif des autoroutes analysées dans ces régions (médiane à sens unique).

Nos algorithmes permettent également de tenir compte de zones tampons aux limites de chaque RMR, afin d'inclure dans les données d'éventuels embouteillages qui s'allongeraient en périphérie d'une zone urbaine. Par contre, nous avons exclu les routes locales avoisinantes ainsi que les sorties ou bretelles d'accès des routes express compte tenu des vitesses inférieures qui y ont cours, et ce, afin de ne pas « contaminer » l'analyse de la congestion routière comme on l'a expliqué précédemment.

Sur quelles données cette étude repose-t-elle?

Cette analyse est fondée sur un vaste éventail de sources de données. La majeure partie du processus analytique consiste à faire le tri dans ces données, à les filtrer pour retenir les éléments les plus pertinents, et enfin à combiner les différents groupes de données pour former un ensemble unique de renseignements utilisables de manière cohérente. Même si un tel processus peut sembler linéaire à première vue, l'analyse

en soi passe par un procédé itératif jusqu'à l'obtention de résultats satisfaisants. Nous avons utilisé les données d'observation sur la vitesse (illustrées ci-dessous) ainsi que les estimations du débit (débit journalier moyen annuel), que nous avons combinées

Figure 1. Régions urbaines couvertes dans cette étude

RMR	Province	Population (millions)	Kilométrage autoroutier total (km)
Vancouver	Colombie-Britannique	2,5	206,4
Calgary	Alberta	1,44	245,13
Edmonton	Alberta	1,36	352,18
Regina	Saskatchewan	0,24	146,85
Winnipeg	Manitoba	0,79	168,24
Grand Toronto	Ontario	7,7	641,84
Ottawa-Gatineau	Ontario	1,33	259,69
St. Catharines	Ontario	0,13	73,33
Montréal	Québec	4,06	561,21
Québec	Québec	0,8	206,03
Halifax	Nouvelle-Écosse	0,42	115,26

Source : Données exclusives ou de Statistique Canada, analysées par CPCS.

*Incluant les RMR de Toronto, Hamilton et Oshawa

Nos données sur la vitesse ont été recueillies à partir de sondes GPS. Elles ont permis d'établir des moyennes à intervalles de cinq minutes toute la journée, sur une période de plusieurs semaines en cours d'année. Les données proviennent de la société HERE (HERE North America, LLC), l'un des principaux fournisseurs de cartes numériques et de données sur la gestion du trafic. À partir de ce groupe de données, les vitesses provenant de sondes GPS ont été répertoriées sur une couche géoréférencée du réseau routier (Traffic Message Channel) et combinées ensuite à d'autres données autoroutières localisées exclusives à CPCS, par l'entremise d'un processus nommé « fusion multisource » (conflation), expliqué un peu plus loin.

Nous avons mis à profit des données empiriques d'observation GPS pour l'année 2015. Pour pouvoir évaluer les retards éventuels durant les jours de semaine, il nous a d'abord fallu comprendre le profil de vitesse d'un cycle de 24 heures en semaine pour chacun des tronçons autoroutiers. À ces fins, les données de vitesse référencées toutes les 5 minutes ont permis d'établir une moyenne horaire pour chaque heure de la journée en semaine (60 min/5 min=12 observations), et ce, pendant 8 semaines (5 jours de semaine x 8 semaines=40 jours de semaine). C'est donc dire que chaque moyenne horaire repose en fait sur 480 observations. Afin de refléter les variations saisonnières des habitudes de conduite (et d'exclure les jours fériés), nous avons retenu

deux semaines pour chaque trimestre de l'année 2015. Les échantillons sélectionnés sont les suivants : du 2 au 15 février; du 4 au 17 mai; du 10 au 23 août; du 2 au 15 novembre. Au total, nous avons analysé plus de 180 millions de relevés de vitesse observés sur plus de 15 000 tronçons urbains!

L'encadré de la page 9 propose un aperçu de l'approche retenue. Les formulations mathématiques sont détaillées à l'annexe technique.

Comment doit-on utiliser les résultats de cette étude?

Bon nombre d'organismes de transport à l'échelle régionale ou provinciale ont commencé à mettre à profit des données empiriques similaires pour cibler localement les principaux points d'engorgement. Notre étude n'est pas un substitut à ces efforts localisés, mais vise plutôt à mettre en lumière les tronçons autoroutiers les plus lourdement engorgés au pays, soit ceux que nous avons retenus parce qu'ils occasionnent plus de 50 000 heures de retard annuellement. Puisqu'il met justement en relief les tronçons les plus engorgés, le présent rapport pourrait servir à orienter les ressources vers les solutions les plus profitables pour atténuer la congestion. Du reste, cette étude contribue aussi à consolider les efforts mis en œuvre à l'échelle régionale et provinciale pour améliorer la situation dans les régions les plus touchées par la congestion routière.

Par ailleurs, compte tenu du fait que la majeure partie de la planification et des investissements autoroutiers au Canada interviennent à l'intérieur d'un cadre d'intervention provincial (et régional dans une moindre mesure), les analyses et les comparaisons relativement aux tronçons particulièrement touchés par les goulots d'étranglement se limitent souvent aux frontières provinciales ou régionales. Or, la présente étude procède à une analyse comparative pancanadienne en misant sur une méthodologie uniforme et des sources de données homogènes sur la vitesse du trafic routier. L'analyse comparative pancanadienne saura notamment susciter l'intérêt du gouvernement fédéral, qui cherche à accroître son degré d'engagement et son financement dans les infrastructures locales de transport en vue d'atténuer la congestion routière.

Bien entendu, les résultats intéresseront aussi les automobilistes eux-mêmes. Compte tenu du fait que l'étude repose sur une méthodologie uniforme et sur des sources de données homogènes pour le classement des goulots d'étranglement au pays, les automobilistes qui empruntent régulièrement ces tronçons seront en mesure de situer leur réalité dans un tableau pancanadien.

Notre approche pour le ciblage, la classification et la hiérarchisation des points d'engorgement

La firme CPCS a mis au point un cadre exclusif pour le filtrage et la hiérarchisation des points d'engorgement à partir de données d'observation de la vitesse des véhicules. La méthode que nous privilégions permet de comparer et de classer systématiquement les principaux goulots autoroutiers à l'échelle nationale. Notre approche exclusive est fondée sur les six étapes suivantes.

1. Définition des profils de vitesse

Dans un premier temps, pour cibler d'abord les autoroutes à prendre en considération, nous avons procédé à une sélection préliminaire à partir d'un très vaste ensemble de données sur la vitesse des véhicules, et nous avons ensuite filtré ces résultats en fonction de paramètres temporels en limitant l'analyse à certaines semaines de l'année. Ce processus a été appliqué à un réseau de plus de 15 000 tronçons autoroutiers répartis dans les grandes agglomérations au Canada, totalisant 180 millions d'observations de la vitesse des véhicules. Pour chacun des tronçons autoroutiers, nous avons établi un profil de vitesse, c'est-à-dire une représentation des vitesses observables pendant une « journée normale de semaine ». Autrement dit, le profil de vitesse permet de connaître la vitesse probable que pourra atteindre un automobiliste s'il emprunte un tronçon donné à une heure particulière en semaine.

2. Définition des profils de vitesse

Nous avons estimé les retards en comparant les profils de vitesse de chaque tronçon autoroutier par rapport à la vitesse de débit optimal qui y prévaut. Les retards ont par la suite été rajustés en fonction de la longueur des tronçons et du débit estimé de véhicules qui y circulent (automobiles et camions). Ce calcul permet d'obtenir une valeur de « retard quotidien moyen » exprimé en nombre d'heures (les particularités mathématiques figurent à l'annexe technique aux présentes).

3. Fusion multisource

Afin d'obtenir l'estimation des retards cumulatifs pour un tronçon d'autoroute donné, il faut non seulement connaître le profil de vitesse des véhicules qui y circulent, mais aussi le nombre de véhicules susceptibles de subir des retards, ce qui s'exprime par l'indice de débit journalier moyen annuel (DJMA). Or, les variables pertinentes à cet égard proviennent souvent de différents groupes de données spatiales. Le processus de fusion multisource permet de combiner les données spatiales de deux ou de plusieurs réseaux à l'aide d'outils et de techniques du Système d'information géographique (SIG). En vue d'harmoniser les calculs relatifs à la congestion ainsi que l'information spatiale et géographique, nous avons fusionné diverses données exclusives de CPCS relatives au réseau autoroutier canadien avec les profils de vitesse, les estimations de la congestion, le débit de véhicules ainsi que les vitesses observées. La figure 3 illustre un exemple de fusion multisource résultant de deux ensembles de données relatives à la vitesse.

4. Analyse de contiguïté des goulots d'étranglement

Après avoir ciblé les tronçons autoroutiers les plus engorgés dans chacune des régions urbaines, nous avons observé attentivement en amont et en aval de ces engorgements pour saisir toute la teneur des embouteillages (ou zones de congestion). Le classement national tient compte des retards cumulatifs quotidiens pour l'ensemble de la zone de congestion (voir les cartes).

5. Validation des résultats

Nous nous attendions à de légères différences entre nos résultats et ceux des études sur la congestion réalisées par les organismes provinciaux ou régionaux. Et il existe effectivement des différences, notamment quant à la délimitation géographique exacte des principaux points d'engorgement ainsi qu'en ce qui concerne leur longueur estimative. Cette situation s'explique par des différences dans les données et la méthodologie. Nous avons demandé aux organismes et aux entités de représentation régionale de valider nos propres constatations. Nous avons tenu compte de l'apport des intervenants locaux pour dresser le profil des 20 plus importants points d'engorgement.

6. Incidences des goulots d'étranglement

Enfin, nous avons calculé le coût de congestion (\$) ainsi que les économies potentielles en carburant et en émissions atmosphériques, et ce, pour chacun des étranglements. Les calculs mathématiques pour établir les effets de coût de même que les coûts-avantages sont fondés sur des documents publiés et évalués par les pairs.

Figure 2. Profil de vitesse type d'un tronçon autoroutier

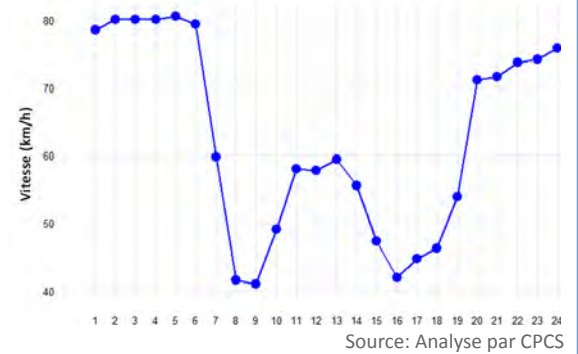
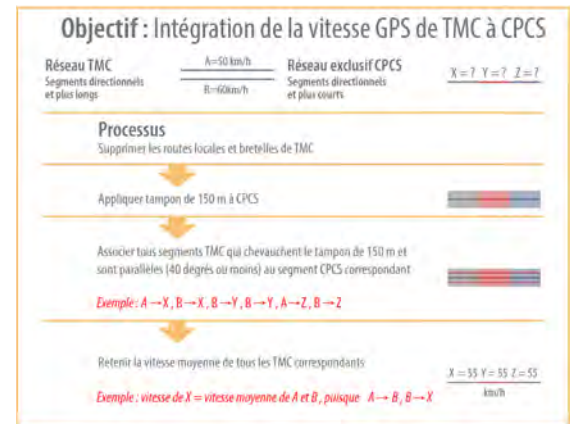
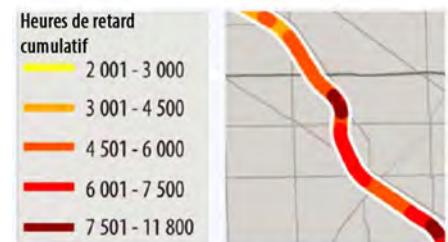


Figure 3. Fusion multisource des données de vitesse



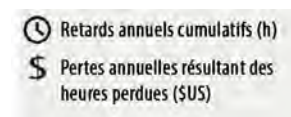
Source: Analyse par CPCS

Figure 4. Exemple d'un « prolongement » de goulot autoroutier selon les niveaux de congestion des différents tronçons (cf légende)



Source: Analyse par CPCS

Figure 5. Effets multidimensionnels de la congestion, y compris les coûts de congestion (heures perdues) et les économies de carburant et d'émissions



Source: Analyse par CPCS

Les pires points d'engorgement au Canada en 2015

Ce tableau dresse la liste des plus importants goulots d'étranglement autoroutiers qui ressortent au terme de notre analyse. Quatre villes canadiennes englobent à elles seules les vingt plus importants points d'engorgement, soit Toronto, Montréal, Vancouver et Québec. Nous avons par ailleurs calculé le coût de congestion qui résulte des pertes en temps, ainsi que les éventuelles économies en carburant et sur le plan des émissions atmosphériques qui résulteraient de la disparition de ces goulots. Dans l'ensemble, les retards causés par ces étranglements entraînent des coûts de près de 300 millions de dollars annuellement. L'élimination de ces goulots d'étranglement permettrait d'économiser plus de 22 millions de litres de carburant par année, soit l'équivalent d'environ 500 000 visites à la pompe!

L'annexe B contient des cartes illustrant le nombre d'heures de retard occasionnées quotidiennement à chaque kilomètre du réseau autoroutier dans chacune des régions métropolitaines de recensement (RMR) que nous avons analysées.

Figure 6. Les plus importants points d'engorgement au Canada, 2015

Rang	RMR	Endroit	Longueur (km)	Retards annuels cumulatifs (en milliers d'heures)	Coût annuel des retards (en millions \$ CA)	Économies potentielles en carburant annuellement (en milliers de litres)	Économies potentielles des émissions (en milliers de kg de CO ₂)
1	Toronto	Autoroute 401 (entre autoroute 427 et rue Yonge)	15,3	3 218	82,28	5 721	15 250
2	Toronto	DVP/404 (entre route Don Mills et av. Finch)	10,5	2 174	55,51	3 478	9 209
3	Montréal	Autoroute 40 (entre boul. Pie-IX et aut. 520)	10,6	1 956	45,60	4 197	10 901
4	Toronto	Gardiner Expr. (entre King-sway S. et rue Bay)	7,4	1 076	27,51	1 671	4 447
5	Montréal	Autoroute 15 (entre aut. 40 et ch. de la Côte-Saint-Luc)	3,9	812	18,93	1 653	4 273
6	Toronto	Autoroute 401 (entre av. Bayview et route Don Mills)	3,3	485	12,40	934	2 510
7	Toronto	Autoroute 409 (entre aut. 401 et av. Kipling)	1,6	274	6,99	553	1 486
8	Montréal	Autoroute 25 (entre av. Souigny et rue Beaubien E.)	2,1	259	6,04	591	1 525

Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCS.

Étude nationale canadienne sur les engorgements autoroutiers

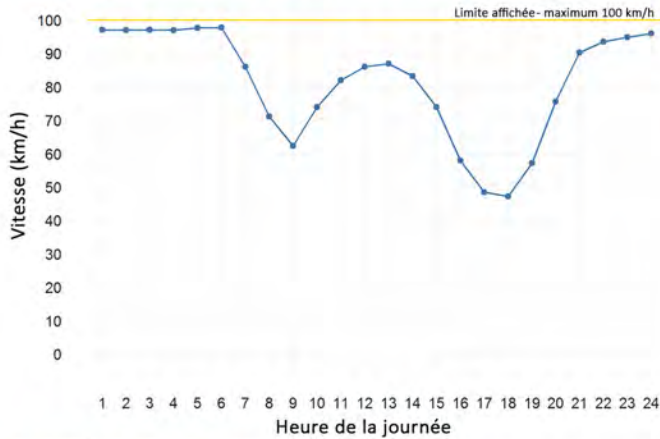
Figure 7. Les plus importants points d'engorgement au Canada, 2015

9	Vancouver	Rue Granville (à la hauteur de la prom. SW Marine)	1,6	245	0,8	679	1 700
10	Vancouver	Rue Georgia O. (entre rue Seymour et rue Pender O.)	1,2	149	3,70	603	1 477
11	Toronto	Autoroute 401 (entre DVP et av. Victoria Park)	1,3	143	3,66	395	1 064
12	Toronto	Prom. Black Creek (entre route Weston et prom. Tretheway)	0,8	114	2,91	391	986
13	Toronto	Autoroute 401 (entre Mavis et McLaughlin)	0,8	103	2,63	164	437
14	Montréal	Autoroute 40 (entre aut. 520 et boul. Cavendish)	0,9	96	2,23	207	544
15	Vancouver	Rue Granville (entre rue Broadway O. et 16e av. O.)	0,6	88	2,19	276	683
16	Montréal	Autoroute 20 (près 1re Av.)	0,8	84	1,97	174	463
17	Québec	Autoroute 73 (entre ch. des Quatre Bourgeois et sortie av. Dalquier)	0,7	78	1,81	127	329
18	Toronto	Échangeur de l'aut. 401 (à la hauteur de l'aut. 427)	0,6	73	1,87	194	518
19	Toronto	Autoroute 400 (à la hauteur de l'aut. 401)	0,6	62	1,60	216	575
20	Vancouver	Tunnel George Massey sur l'aut. 99	0,6	60	1,50	97	255
Total			65,2	11 546	287	22 322	58 634

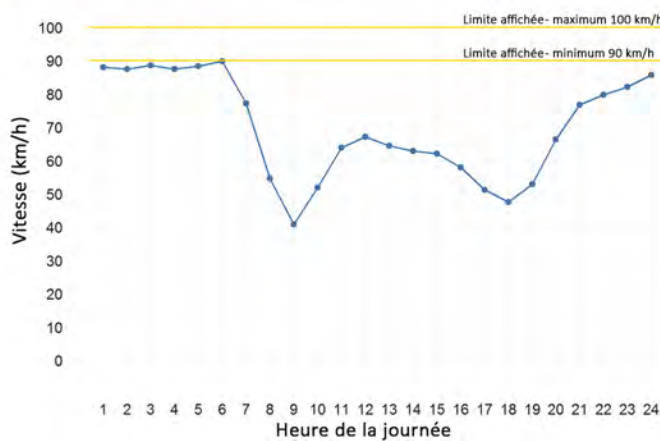
Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCS.

Figure 8. Profils de vitesse horaire à Montréal (sur 24 h)

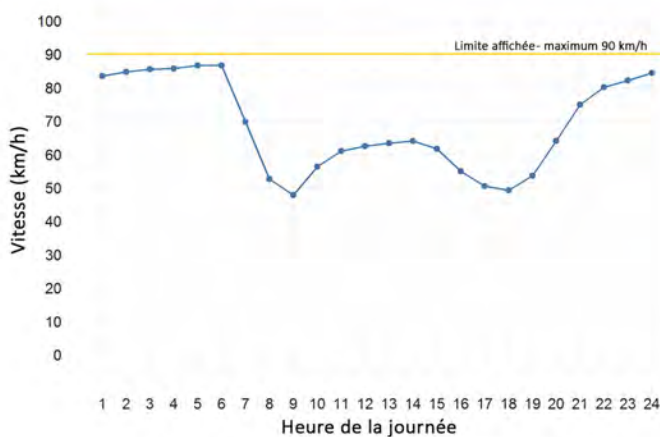
1^{re} goulot en importance au pays (autoroute 401)



2^e goulot en importance au pays (DVP/404)



4^e goulot en importance au pays (Gardiner Expr.)



Région métropolitaine de Toronto

n^{os} 1, 2, 4, 6, 7, 11, 12, 13, 18, 19

Le pire goulot d'étranglement au Canada est situé à Toronto, soit le tronçon de 15 km de l'autoroute 401 situé entre l'autoroute 427 et la rue Yonge. Construite dans les années 1960, cette artère devait permettre de contourner le centre-ville de Toronto par le sud, mais l'activité économique à proximité de l'autoroute 401 a connu une croissance rapide, si bien qu'il s'agit aujourd'hui de l'une des régions les plus développées au pays. À l'heure actuelle, ce goulot d'étranglement fait perdre aux automobilistes plus de 3,2 millions d'heures annuellement, soit des pertes d'une valeur de 82 millions de dollars si l'on tient compte du salaire moyen à l'échelle locale.

Non loin derrière, la promenade Don Valley Parkway (DVP) occupe le deuxième rang des plus importants goulots d'étranglement. Ce tronçon est situé entre la route Don Mills et l'avenue Finch (qui devient l'autoroute 404). D'une longueur d'environ 10,5 km, ce point d'engorgement entraîne la perte de près de 2,2 millions d'heures chaque année. Construit à l'origine dans le cadre d'un projet qui prévoyait plusieurs routes express reliant le centre-ville de Toronto et les banlieues florissantes des années 1960, la promenade DVP est finalement devenue l'unique lien express nord-sud pour accéder au centre-ville. En raison de la congestion qui y perdure toute la journée, les automobilistes de la région lui ont donné à juste titre le surnom de « Don Valley Parking Lot » (« Stationnement de Don Valley »).

La portion de la route express Gardiner entre South Kingsway et la rue Bay au centre-ville de Toronto figure au troisième rang des goulots d'étranglement les plus importants dans la région métropolitaine de Toronto et Hamilton (et occupe le quatrième rang à l'échelle nationale).

Comparativement à la 401, le débit est moins important sur la promenade DVP et sur la route Gardiner en raison de la largeur des tronçons. Par conséquent, les heures de retard cumulatives ne semblent pas aussi importantes. Cependant, on constate dans les faits que la vitesse

moyenne est plus faible sur la promenade DVP et sur la route Gardiner que sur la 401, et ce, sur une base plus constante au fil des heures (voir la figure 8). En effet, alors que la vitesse moyenne diminue sous la barre des 50 km/h à l'heure de pointe en fin de journée sur la 401, elles sont en deçà de ce niveau sur la promenade DVP et la route Gardiner, tant en matinée qu'en fin de journée. Pour le reste de la journée, la vitesse de déplacement demeure toujours réduite sur les deux tronçons.

Il est à noter qu'aucune portion de l'autoroute à péage électronique 407 ne figure au classement des principaux goulots d'étranglement. Traversant la portion nord de Toronto, ce segment autoroutier d'une longueur de 108 kilomètres est une autoroute à accès ouvert à système de péage entièrement électronique. Notre analyse n'a révélé aucune congestion importante sur l'autoroute 407, ce qui est une conséquence

Figure 9. Principaux points d'engorgement de Toronto



Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCSC.

directe du principe de péage. Dès lors, on peut facilement affirmer que l'autoroute à péage 407 constitue la plus longue portion « sans goulot d'étranglement » de la région métropolitaine de Toronto et Hamilton.

Parmi les grandes absentes figure aussi l'autoroute Queen Elizabeth Way (QEW), qui s'étend de l'ouest de Toronto jusqu'à Hamilton en passant par Mississauga. Cette autoroute a récemment fait l'objet d'importants réaménagements, notamment l'ajout de nouvelles voies réservées aux véhicules multioccupants dans les deux directions (depuis la fin de 2010). Même si des engorgements persistent encore en certains endroits de l'autoroute, il semble que la capacité accrue ait contribué à réduire suffisamment le niveau de congestion pour exclure cette autoroute du classement des pires points d'engorgement de la région métropolitaine de Toronto et Hamilton.

Figure 10. Principaux points d'engorgement de Toronto



Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCPS.

Montréal

n^{os} 3, 5, 8, 14 et 16

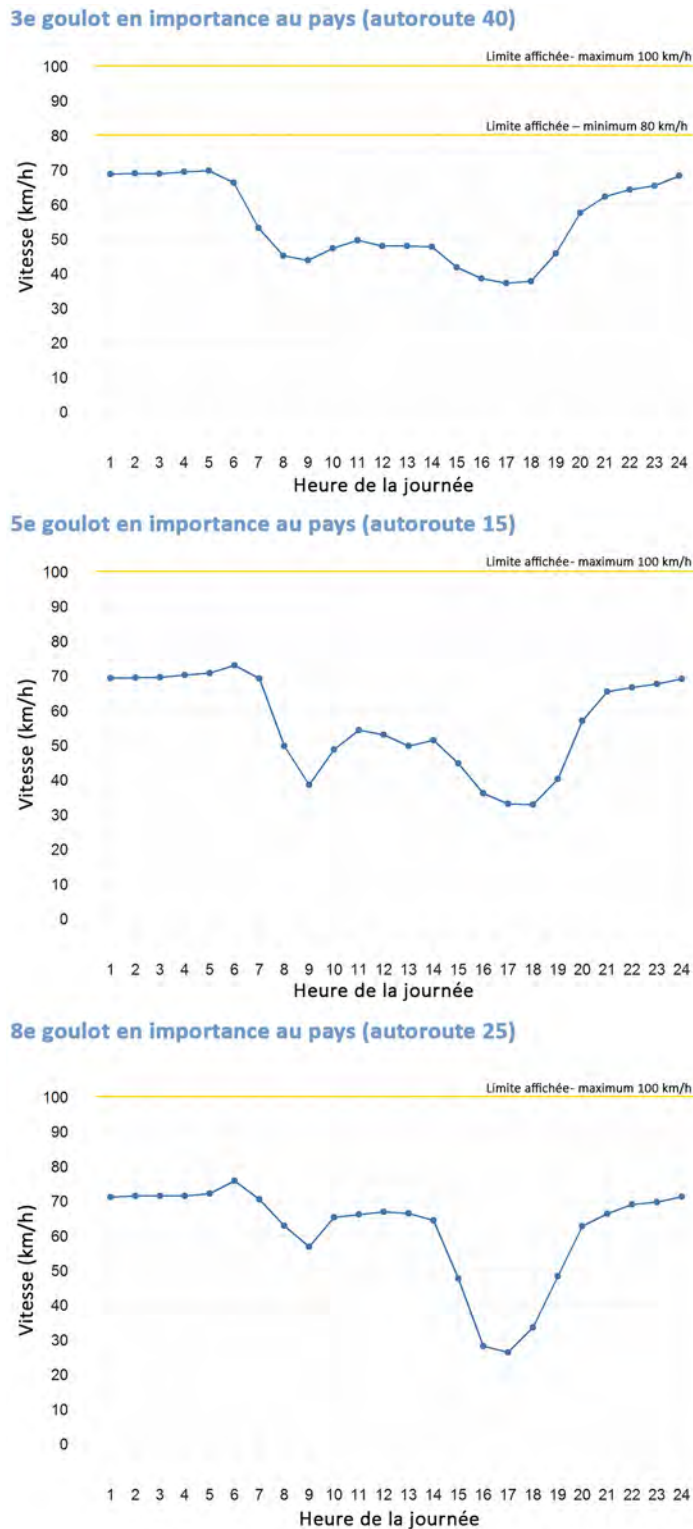
Montréal compte cinq des vingt plus importants goulets d'étranglement autoroutiers au Canada. Le principal concerne une portion de 10 kilomètres de l'autoroute Métropolitaine (autoroute 40), située entre le boulevard Pie-IX et l'autoroute 520. Ce tronçon représente le segment le plus achalandé de la route Transcanadienne et les retards qui s'y accumulent font perdre presque 2 millions d'heures annuellement aux automobilistes, ce qui correspond à environ 45 millions de dollars en coût d'opportunité résultant des heures perdues. Au total, ces automobilistes entraînent la consommation de presque 1,3 million de litres de carburant supplémentaires, ce qui occasionne des émissions de plus de 11 millions de kilogrammes de CO₂.

Figure 11. Principaux points d'engorgement du Grand Montréal



Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCPS.

Figure 12. Profils de vitesse horaire à Montréal (sur 24 h)



Les quatre autres goulots d'étranglement de Montréal sont moins longs (entre 800 m et environ 4 kilomètres), mais ont néanmoins des effets manifestes sur la circulation locale et les retards. Au total, les cinq goulots autoroutiers de Montréal entraînent plus de 3 millions d'heures de retard annuellement, soit environ 75 millions de dollars en heures perdues. Si ces points d'engorgement étaient résorbés, les automobilistes consommeraient presque 7 millions de litres de carburant en moins par année, soit l'équivalent d'environ 140 000 visites à la pompe. Il en résulterait une réduction des émissions de CO2 de 18 000 tonnes annuellement, ce qui correspond au poids d'environ 4 500 éléphants!

Même si les goulots d'étranglement de Montréal se classent généralement derrière ceux de Toronto au chapitre des pires engorgements, il n'en demeure pas moins que les vitesses de déplacement à Montréal sont encore plus faibles qu'à Toronto (voir la figure 12). Par exemple, la vitesse de déplacement moyenne sur l'autoroute Métropolitaine est pratiquement toujours égale ou inférieure à 50 km/h à tout moment de la journée durant les heures ouvrables. De fait, la situation ne varie que très peu sur ce tronçon, qu'il s'agisse de l'avant-midi, de l'heure du midi ou de l'après-midi. Au contraire, on peut pratiquement considérer qu'il s'agit d'une seule et même période de pointe.

D'après notre évaluation, la vitesse en écoulement libre (VEL) ainsi que la vitesse de débit optimal (VDO) sont largement inférieures à Montréal (comparativement à l'autoroute 401, par exemple), notamment à cause des caractéristiques de conception routière, de l'environnement urbain ainsi que d'autres facteurs faisant en sorte que la vitesse maximale à laquelle on peut s'attendre est moindre aux points d'engorgement de Montréal que sur l'autoroute 401. En d'autres termes, puisque les retards sont proportionnels à la vitesse de débit optimal (VDO), ils semblent moins marqués à Montréal qu'à Toronto (mais dans les faits, la réalité des automobilistes montréalais n'est pas plus rose!)

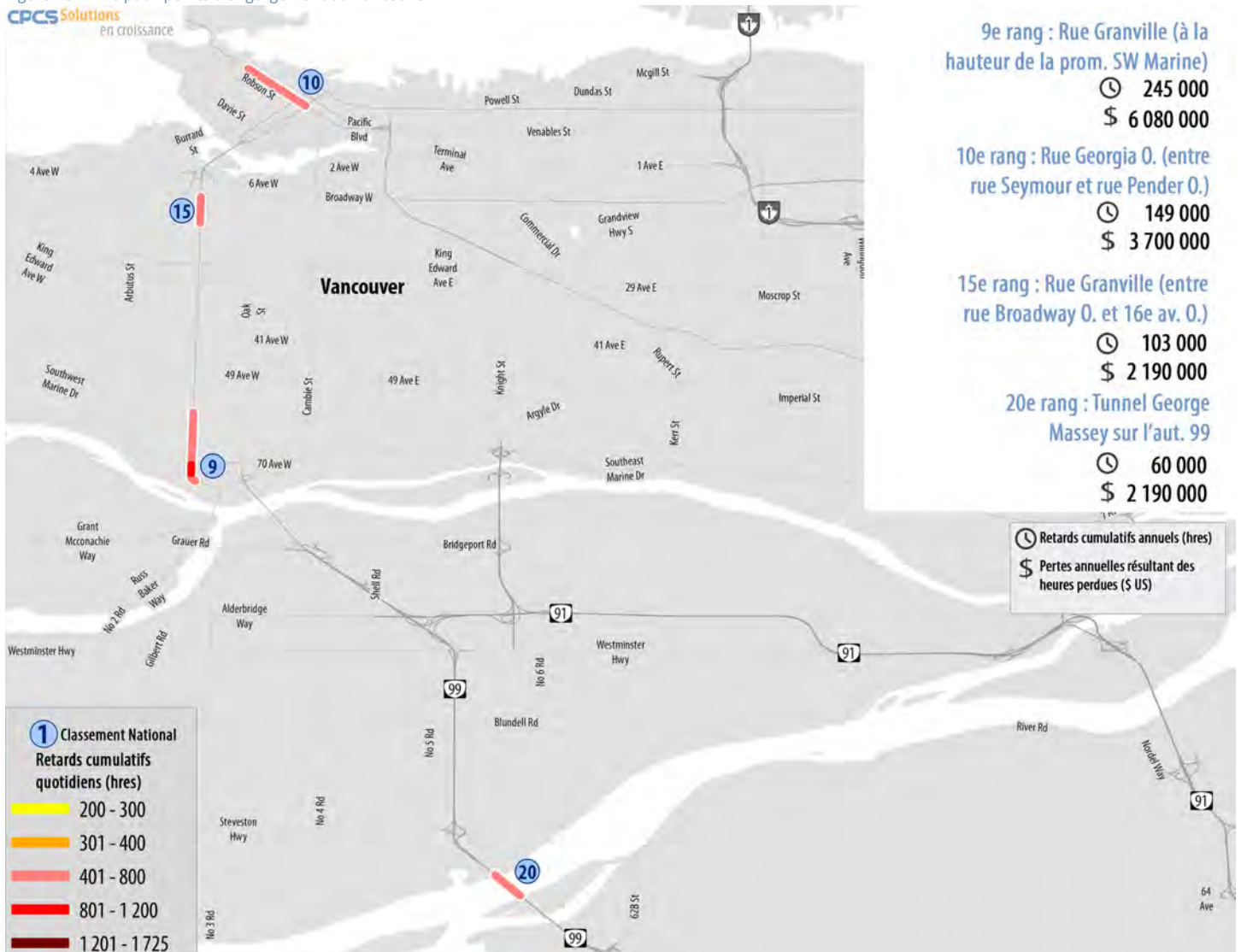
Vancouver

n^{os} 3, 5, 8, 14 et 16

Comme on l'a souligné précédemment, la présente étude se penche principalement sur les routes express. Or, contrairement à Toronto et Montréal, le centre-ville de Vancouver n'est directement desservi par aucune route express. Dans un tel contexte, nous avons décidé d'inclure la portion signalisée de l'autoroute 99 qui traverse le centre-ville de Vancouver.

Deux des quatre plus importants points d'engorgement se trouvent sur la rue Granville (dans la portion signalisée de l'autoroute 99). Le plus long des deux goulots (no 9) s'étend sur environ un kilomètre et demi à la hauteur de la promenade

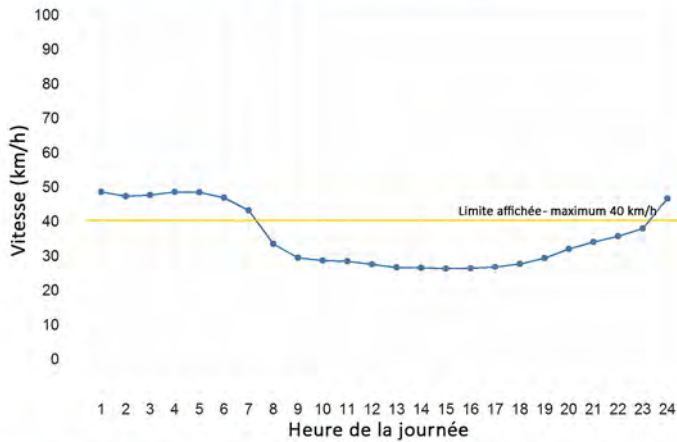
Figure 13. Principaux points d'engorgement du Vancouver



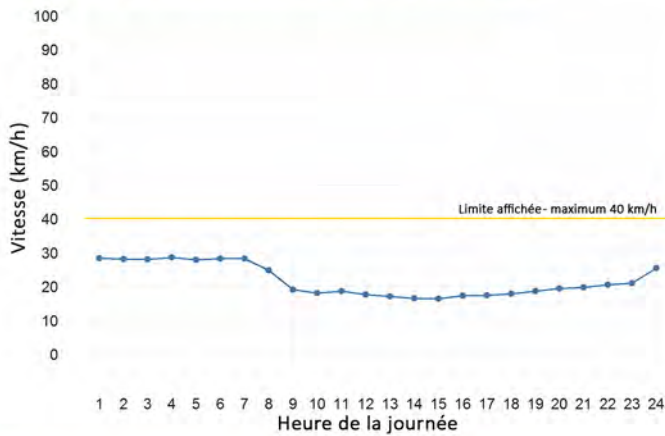
Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCPS.

Figure 14. Profils de vitesse horaire à Vancouver (sur 24 h)

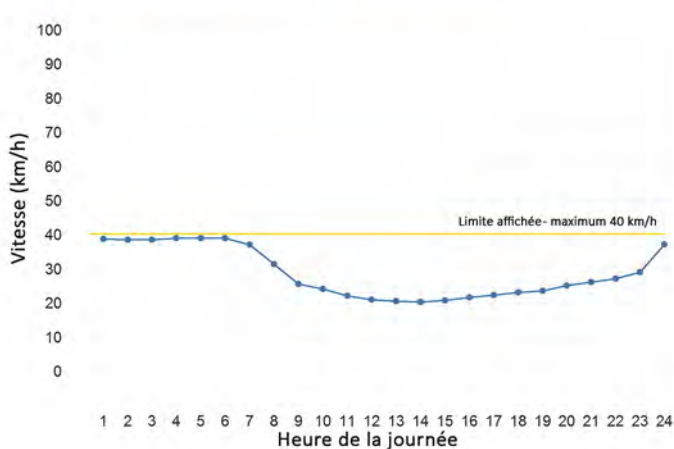
9e goulot en importance au pays (Rue Granville)



10e goulot en importance au pays (Rue Georgia O.)



15e goulot en importance au pays (Rue Granville)



Southwest Marine. Le plus court (no 15) fait à peine un demi-kilomètre et se trouve entre la rue Broadway O. et la 16e avenue O.

Les deux autres goulots d'étranglement de Vancouver sont situés, d'une part, entre la rue Georgia O. et la rue Pender O. (également dans la portion signalisée de l'autoroute 99) et, d'autre part, le long du corridor du tunnel George Massey dans la portion non signalisée de l'autoroute 99 (qui ne détiendrait pas le titre de pire goulot d'étranglement de Vancouver d'après notre analyse, contrairement à ce que certains médias ont laissé entendre récemment).

Comme on l'a déjà expliqué, même s'il s'agit d'une route signalisée, la principale artère desservant le cœur du centre-ville de Vancouver a été retenue pour assurer la comparabilité des résultats par rapport à d'autres grandes villes canadiennes. Toutefois, le débit potentiel est beaucoup plus faible sur ces tronçons ainsi que sur d'autres artères principales par rapport aux autoroutes à accès limité. Par conséquent, les retards cumulatifs estimés pour ces tronçons auraient été beaucoup plus importants si la comparaison avait été établie par rapport au débit potentiel d'une autoroute à accès limité. Ce qui revient à dire que, même si Vancouver se classe derrière Toronto et Montréal au classement des plus importants goulots d'étranglement, il n'en demeure pas moins que les automobilistes qui transitent en direction ou en provenance du centre-ville de Vancouver sont contraints, dans les faits, à des vitesses aussi faibles, voire inférieures, à ce qui existe dans les deux autres villes.

Cette situation se reflète dans l'illustration des profils de vitesse apparaissant à la figure 14. Sur les tronçons touchés par ces goulots d'étranglement, la vitesse de déplacement se chiffre invariablement à 30 km/h ou moins, peu importe l'heure de la journée. Dans le cas de l'étranglement de la rue Georgia O. qui traverse le cœur du centre-ville, la vitesse moyenne de déplacement avoisine les 20 km/h à tout moment durant les heures ouvrables.

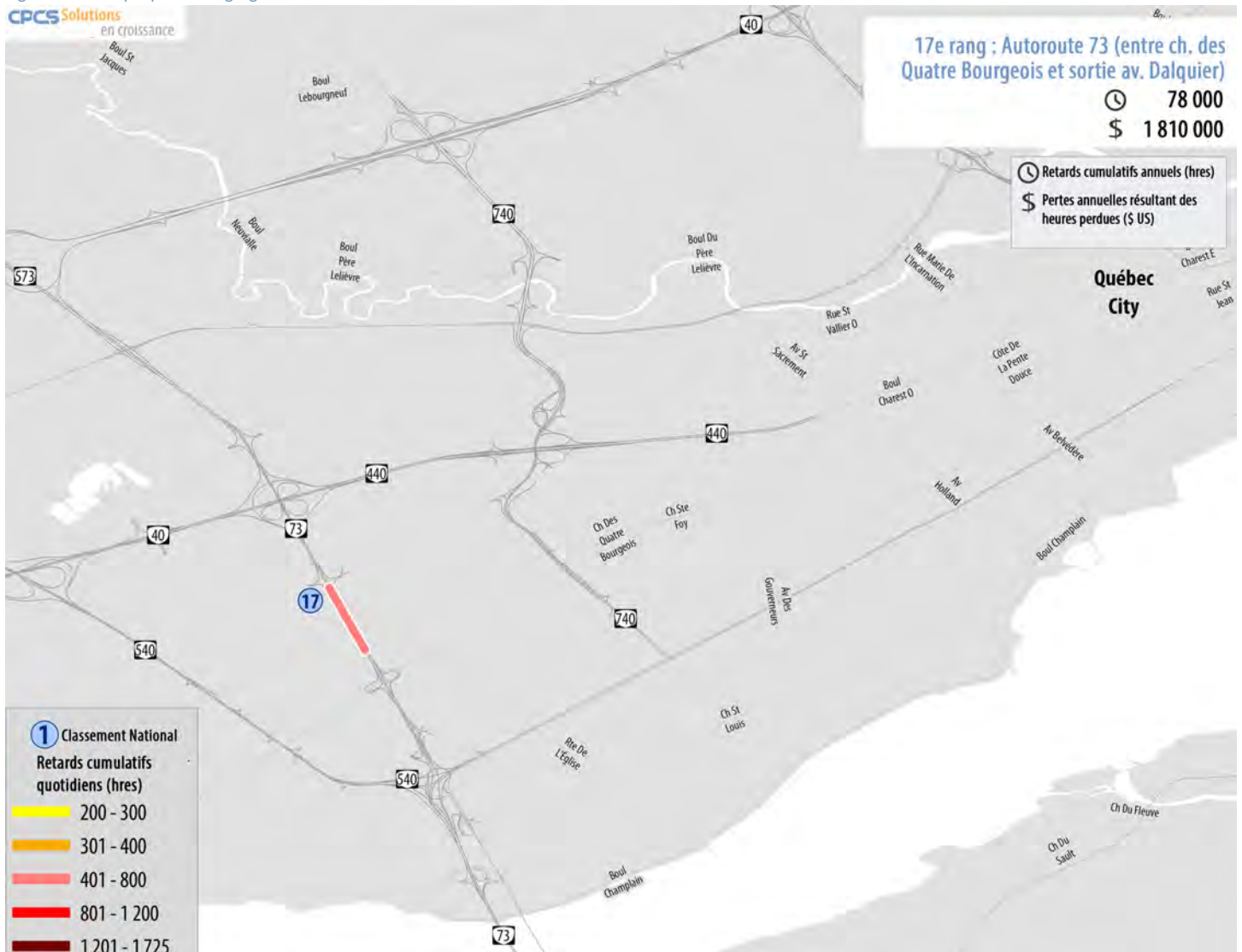
Dans l'ensemble, les quatre kilomètres de congestion importante que totalisent les quatre goulots d'étranglement ciblés à Vancouver entraînent des coûts d'opportunité de plus de 13 millions de dollars pour les automobilistes vancouverois. L'élimination de ces engorgements permettrait de récupérer environ un demi-million d'heures perdues annuellement et d'économiser plus de 1,5 million de litres de carburant par année, soit l'équivalent d'environ 30 000 visites à la pompe. Ces retards occasionnent plus de 4 millions de tonnes d'émissions de CO₂ par année, soit le poids de 2 millions de voitures!

Québec

n^{os} 9, 10, 15 et 20

La ville de Québec est la seule agglomération de taille moyenne au Canada qui comporte un goulot d'étranglement suffisamment important pour figurer au palmarès des vingt plus importantes zones de congestion routière au Canada. Faisant moins d'un kilomètre de long, ce point d'engorgement est situé sur l'autoroute 73, entre le chemin des Quatre Bourgeois et la sortie de l'avenue Dalquier. À lui seul, ce tronçon fait perdre aux automobilistes environ 8 000 heures par année, ce qui représente un coût d'opportunité de 1,8 million de dollars en heures perdues. Si la congestion était résorbée sur ce tronçon, les automobilistes réaliseraient des économies de carburant de plus d'un million de litres par année.

Figure 15. Principal point d'engorgement de Québec



Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCs.

Autres goulots autoroutiers à signaler

Dans d'autres villes, même si les automobilistes sont confrontés à d'importants embouteillages causés par certains goulots d'étranglement, ces tronçons ne sont pas suffisamment importants pour figurer au classement des vingt principaux points d'engorgement autoroutiers. Ces goulots concernent les régions d'Ottawa-Gatineau, de Calgary et d'Edmonton, comme l'illustre le tableau ci-dessous ainsi que les cartes qui suivent.

Figure 16. Autres goulots d'étranglement importants au Canada

Rang	Endroit	Longueur (km)	Retards annuels cumulatifs (en milliers d'heures)	Coût annuel des retards (en millions \$ CA)	Économies potentielles en carburant annuellement (en milliers de litres)	Économies potentielles des émissions (en milliers de kg de CO ₂)
Ottawa-Gatineau	Hwy 417 (entre rue O'Connor et av. Bay-swater)	2,4	127	3,24	277	740
Calgary	Crowchild Trail (entre prom. University N.O. et prom. Memorial N.O.)	1,7	114	3,30	436	1,139
Ottawa-Gatineau	Prom. Vanier (entre aut. 417 et ch. de Montréal)	1,9	106	2,72	449	1,153
Edmonton	Prom. Whitemud (entre aut. 14 et 34e Av. N.O.)	1,2	92	2,65	374	966
Calgary	Crowchild Trail (à la hauteur de la 24e Av. N.O.)	0,6	36	1,04	107	282

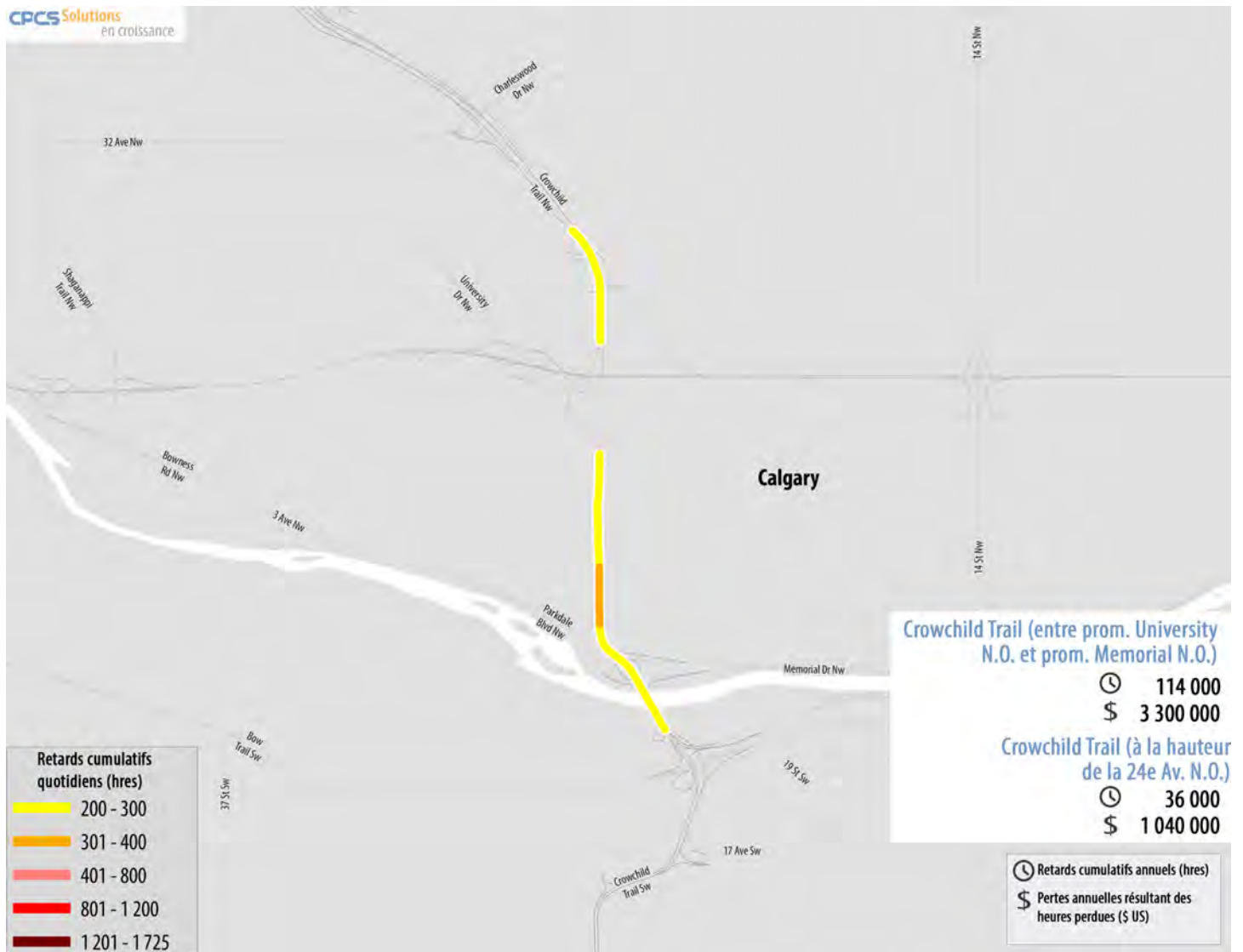
Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCS.

Figure 17. Principal point d'engorgement d'Edmonton



Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCS.

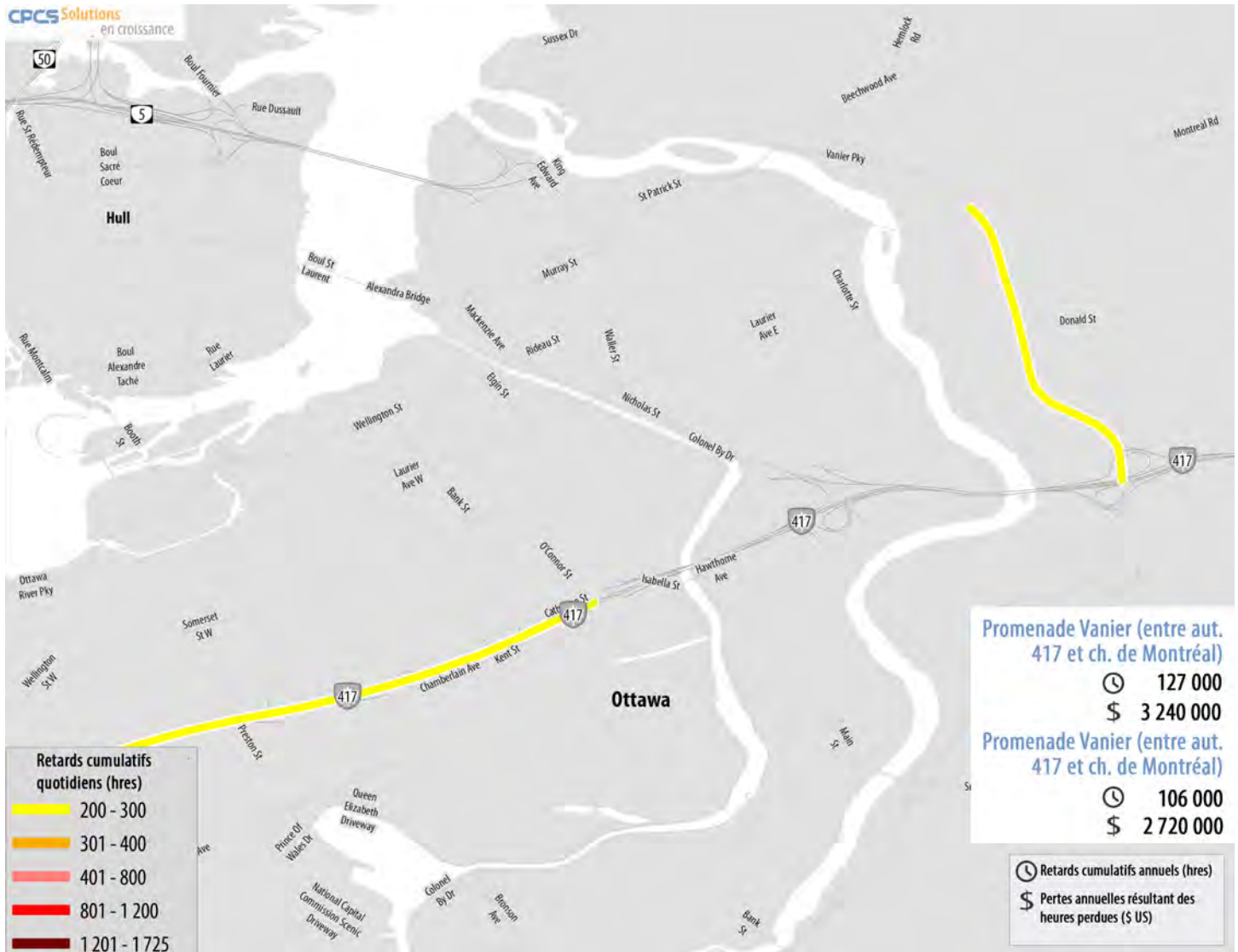
Figure 18. Principaux points d'engorgement de Calgary



Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCS.

Étude nationale canadienne sur les engorgements autoroutiers

Figure 19. Principaux points d'engorgement d'Ottawa



Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCS.

Mesure de la congestion à l'échelle régionale

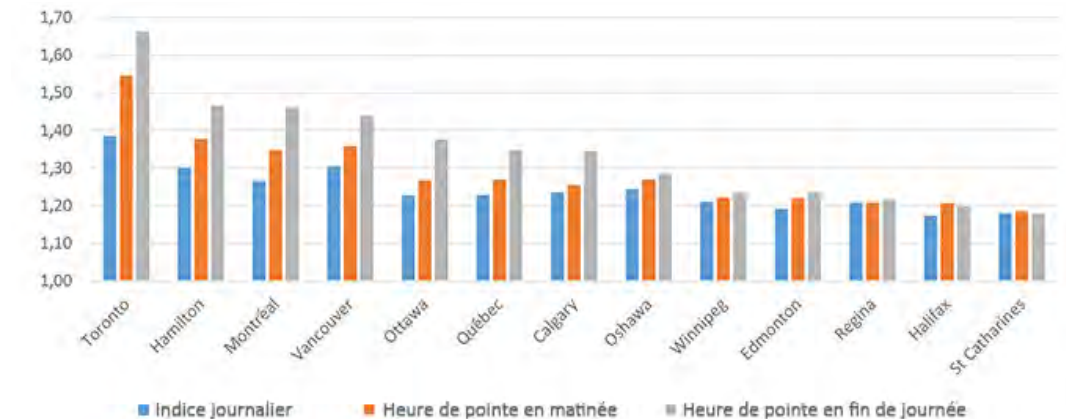
Notre analyse vise essentiellement à déterminer les principaux goulots d'étranglement et s'intéresse, de ce fait, à des tronçons autoroutiers précis plutôt qu'à des valeurs régionales de congestion. Comme on l'a souligné au début du rapport, d'autres études se sont déjà penchées sur la mesure de la congestion dans une perspective régionale. Même si ce n'est pas le but premier de notre étude, les données dont nous disposons permettent néanmoins de mesurer la congestion dans une optique régionale.

Pour ce faire, nous avons calculé l'indice de temps de déplacement (ITD) relativement à chacune des zones urbaines visées par notre ensemble de données. L'ITD correspond au ratio entre le temps de déplacement effectué à un moment déterminé et le temps de déplacement en écoulement libre. Par exemple, s'il faut 45 minutes pour passer du point A au point B en période de pointe le matin, et qu'il en faut 30 pour parcourir le même trajet en écoulement libre, l'ITD se chiffre à $45/30=1,50$. L'ITD peut représenter une moyenne journalière ou encore une période plus restreinte (p. ex. l'heure de pointe en matinée ou en fin de journée).

La mesure de l'ITD diffère en certains points de notre méthode d'analyse des goulots d'étranglement. Ainsi :

- l'analyse des goulots d'étranglement porte sur le niveau de congestion de tronçons autoroutiers ciblés, alors que l'ITD s'intéresse au niveau moyen de congestion à l'échelle régionale;
- la vitesse de référence pour l'analyse des points d'engorgement est fondée sur la vitesse de débit optimal, alors que l'ITD est plutôt fonction de la vitesse en écoulement libre (alors que la VEL est supérieure à la VDO). Par ailleurs, la VEL ayant servi à mesurer l'ITD pour la présente étude repose sur une estimation un peu plus élargie;

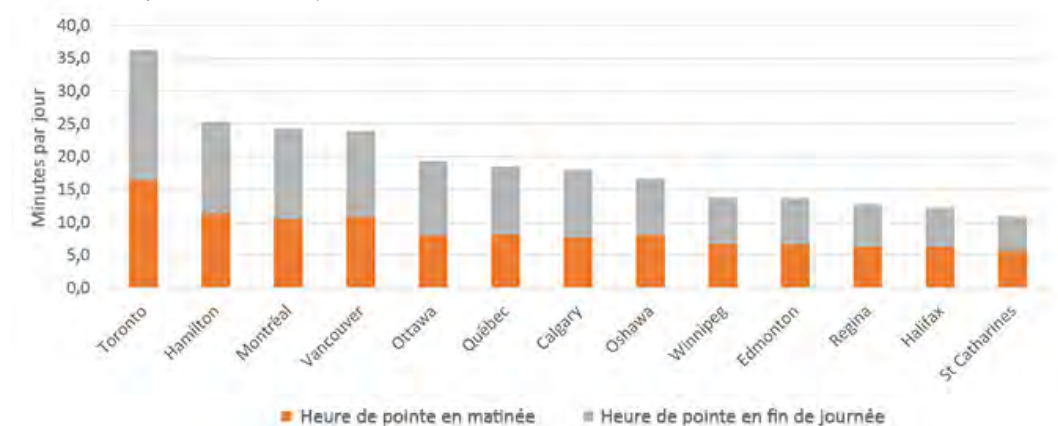
Figure 20. Indices de temps de déplacement en semaine (par région métropolitaine de recensement)



Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCPS.

Les ITD établis pour chacune des RMR visées par notre analyse apparaissent à la figure 21 (en ordre décroissant de l'ITD moyen journalier). Chaque RMR, outre l'ITD moyen journalier, comporte aussi une indication de l'ITD pour l'heure de pointe matinale (de 7 h à 9 h) et de fin de journée (de 16 h à 18 h). Par exemple, l'ITD moyen journalier pour Toronto correspond à 1,39, ce qui signifie qu'un trajet autoroutier à Toronto effectué un jour normal de semaine sera 39 % plus long qu'en écoulement libre. À l'heure de pointe le matin, le même trajet prendrait 55 % plus de temps qu'en écoulement libre, et 66 % plus de temps à l'heure de pointe en fin de journée. Puisque la moyenne journalière résulte d'une moyenne pondérée des débits échelonnés sur une journée entière, les heures de pointe occupent une part prépondérante par rapport aux périodes creuses (ce qui explique que la moyenne journalière se rapproche souvent de l'indice de l'heure de pointe matinale, et parfois des deux indices d'heures de pointe).

Figure 21. Minutes suppl. de déplacement quotidien par rapport à la vitesse en écoulement libre (trajet nominal de 60 min, heures de pointe matin et soir)



Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCS.

Toutefois, la vitesse en écoulement libre n'est pas une vitesse de référence pertinente pour l'estimation des coûts de congestion. Dans l'exemple précédent, un ITD de 1,50 ne signifie pas qu'un trajet qui prend 45 minutes « aurait dû » prendre 30 minutes. Comme on l'a souligné en introduction dans l'exposé des objectifs de cette étude, le degré optimal de congestion varie selon le moment et l'endroit en cause, et est tributaire du coût d'atténuation de la congestion dans une région donnée. Bref, la VEL (et l'ITD corollairement) permet de comparer de manière générale le niveau global de trafic d'une zone urbaine à l'autre, et c'est à ces fins qu'on l'utilise habituellement.

À partir des mêmes données, il est aussi possible d'estimer le temps cumulatif total que les automobilistes ont passé dans la circulation par rapport au temps qu'il leur aurait fallu dans un contexte d'écoulement libre. Pour y parvenir, nous avons multiplié par 250 nos estimations horaires du temps de déplacement net (soit la durée du déplacement réel moins la durée du déplacement en écoulement libre)

pour chacune des journées et sur chaque tronçon autoroutier, où le coefficient de 250 correspond au nombre approximatif de jours de semaine non fériés au cours d'une année. Les résultats sont illustrés à la figure 22. Pour l'ensemble des RMR, les automobilistes ont dû consacrer 125 millions d'heures supplémentaires dans les embouteillages en comparaison du temps qu'il leur aurait fallu en écoulement libre.

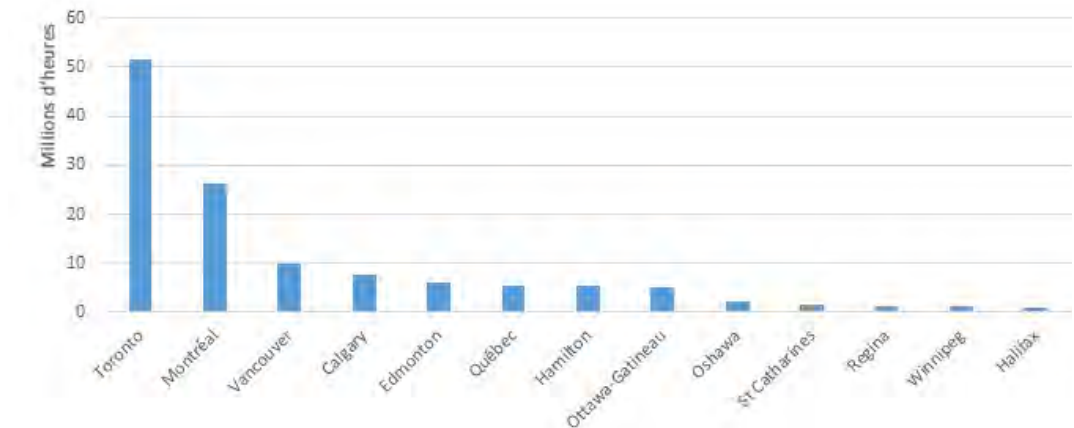
Figure 22. Heures supplémentaires de déplacement annuellement par rapport à la vitesse en écoulement libre

RMR	Nombre d'heures (en millions d'heures)
Toronto	51,6
Montréal	26,3
Vancouver	10,0
Calgary	7,8
Edmonton	6,2
Québec	5,3
Hamilton	5,2
Ottawa-Gatineau	5,2
Oshawa	2,3
St. Catharines	1,5
Regina	1,1
Winnipeg	1,1
Halifax	0,9
Total	124,4

Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCS.

L'ITD peut servir à estimer pour chaque ville le temps éventuellement gagné par un automobiliste qui effectuerait son trajet en écoulement libre (soulignons encore une fois qu'il n'est pas réaliste d'envisager de telles conditions à toute heure de la journée).

Figure 23. Minutes suppl. de déplacement annuellement par rapport à la vitesse en écoulement libre (trajet nominal de 60 min, heures de pointe matin et soir)



Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCS.

Par exemple, s'il faut 75 minutes quotidiennement à un automobiliste moyen pour faire la navette entre la maison et le travail et que l'ITD se chiffre à 1,25 dans cette ville, on peut conclure que son trajet serait raccourci de quinze minutes ($75 / 1,25 = 60$ minutes) en situation d'écoulement libre. Le tableau ci-dessous illustre le nombre de minutes supplémentaires par rapport à un environnement en écoulement libre.

On ne sera pas surpris de constater que l'automobiliste moyen de la région de Toronto cumule le plus de minutes supplémentaires quotidiennement sur la base d'un aller-retour de 60 minutes en écoulement libre. Dans les conditions normales de l'heure de pointe, il lui faudrait 96 minutes pour effectuer un aller-retour d'une durée nominale de 60 minutes (soit 36 minutes supplémentaires au total). La ville de Hamilton (qui fait partie de la RMTH) occupe le deuxième rang, suivie de Montréal et de Vancouver.

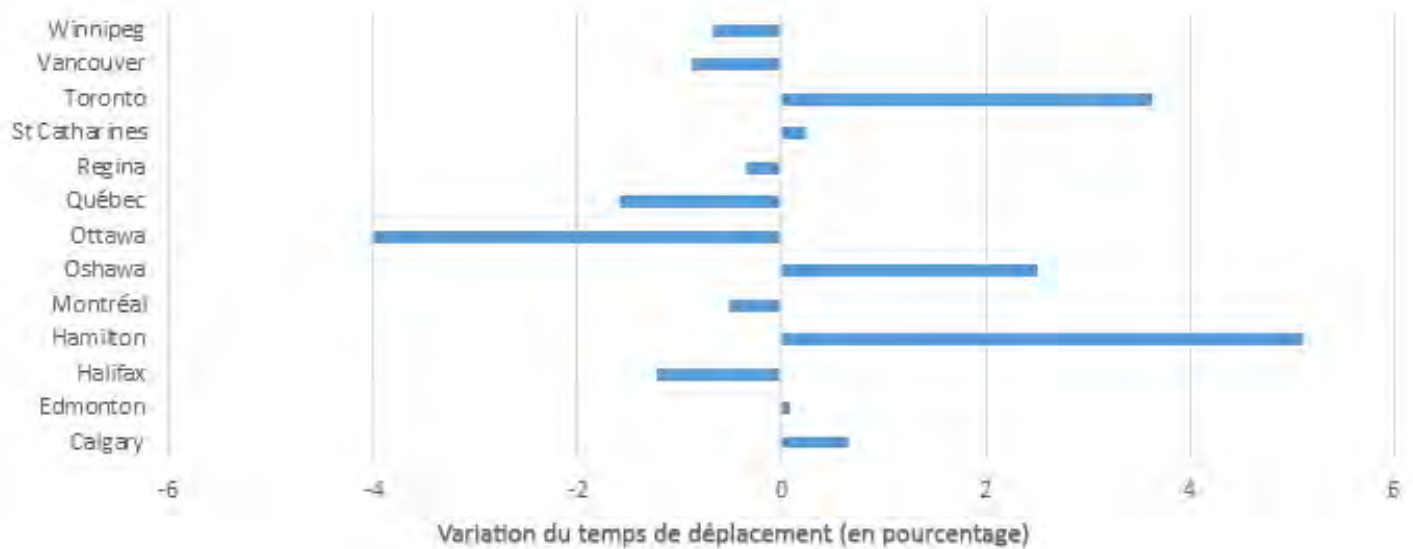
Si les villes de taille moyenne n'apparaissent pas au palmarès des principaux goulots d'étranglement, c'est en partie parce que le débit de la circulation autoroutière y est moins important (rappelons que l'analyse des goulots d'étranglement tient compte à la fois de la vitesse et du débit). Toutefois, comme le montre la figure 23, les automobilistes des villes de taille moyenne sont néanmoins confrontés à d'importants retards si l'on tient compte de la vitesse en écoulement libre. À titre d'exemple, l'automobiliste moyen d'Ottawa devra consacrer 79 minutes en heure de pointe pour parcourir un aller-retour qui lui prendrait 60 minutes en écoulement libre.

Sauf quelques exceptions, la congestion est généralement plus prononcée à l'heure de pointe en fin de journée plutôt qu'en matinée. Cette réalité s'explique en partie par le fait que les automobilistes ne quittent pas tous leur domicile à la même heure le matin (contribuant ainsi à répartir la congestion dans une certaine mesure), ce qui est moins vrai en fin de journée (c'est pourquoi le réseau tend à s'engorger autour de 17 h).

Dans les divers tableaux, les périodes comprises entre 7 h et 9 h et entre 16 h et 18 h ont été retenues comme heures de pointe en matinée et en fin de journée respectivement, ainsi qu'on l'a déjà précisé. Or, avec une telle durée fixe des périodes de pointe appliquée à l'ensemble des zones urbaines, il n'est pas possible de déterminer les variations dans la durée de ces périodes de pointe d'une région à l'autre. Il existe plusieurs moyens d'illustrer la différence entre les différentes zones urbaines à cet égard, notamment en comparant les ITD respectifs pour une heure donnée.

Par exemple, la figure 24 indique la variation de l'ITD dans chacune des zones urbaines en tenant compte de la période de 17 h-18 h et de celle de 18 h-19 h. Si l'ITD est similaire pour la période de 17 h-18 h et celle de 18 h-19 h, c'est que la vitesse de déplacement et le degré de congestion sont les mêmes pour les deux périodes. Toutefois, si l'ITD est plus faible entre 18 h et 19 h qu'entre 17 h et 18 h, on peut en conclure que la congestion se résorbe. Ainsi, les zones urbaines où l'ITD s'avère beaucoup plus faible entre 18 h et 19 h qu'entre 17 h et 18 h connaissent des heures de pointe relativement plus courtes que celles où ce n'est pas le cas.

Figure 24. Variation du temps de déplacement moyen entre la période de 17 h-18 h et celle de 18 h-19 h



Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCS.

Comme le montre la figure 24, la durée moyenne de déplacement dans certaines zones urbaines (notamment à Toronto, à Oshawa et à Hamilton dans la RMTH, ainsi qu'à Calgary) est en réalité plus longue (et la vitesse plus faible) entre 18 h et 19 h qu'entre 17 h et 18 h. Dans ces zones urbaines, il ne fait pas de doute que l'heure de pointe en fin de journée se poursuit jusqu'en début de soirée. Dans d'autres zones urbaines cependant (notamment à Ottawa et, dans une moindre mesure, à Québec et à Halifax), on constate une chute marquée de la durée de déplacement (et donc une augmentation de la vitesse) entre 18 h et 19 h, ce qui donne à penser que la congestion de l'heure de pointe se résorbe plus rapidement dans ces régions.

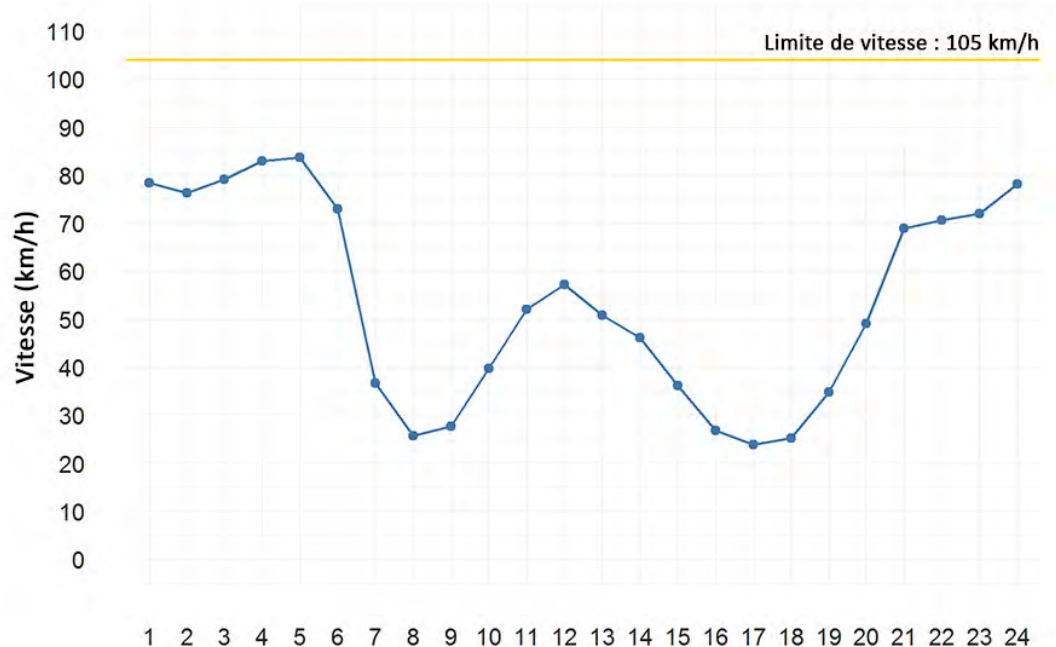
Comparaison avec les principaux goulots autoroutiers aux É.-U.

Comparaison avec les principaux goulots autoroutiers aux É.-U.

En 2015, la firme CPCS a procédé à une analyse concernant les plus importants goulots autoroutiers aux É. U., à partir d'une méthodologie et de sources de données similaires à l'étude canadienne. Avec cette dernière étude, il est désormais possible de comparer les plus importants points d'engorgement de part et d'autre de la frontière.

Une telle analyse comparative révèle que le principal goulot d'étranglement au Canada (soit le tronçon de l'autoroute 401 qui traverse Toronto) figure aussi parmi les dix plus importants goulots autoroutiers au Canada et aux É.-U. Au regard des heures de retard cumulatives, cet étranglement se compare aux pires engorgements de la région métropolitaine de New York. De fait, les seuls goulots autoroutiers qui surpassent celui de Toronto sont situés à New York, à Los Angeles et à Chicago.

Figure 25. Minutes suppl. de déplacement quotidien par rapport à la vitesse en écoulement libre (trajet nominal de 60 min, heures de pointe matin et soir)



Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport à l'échelle locale ou provinciale; analyse par CPCS.

Parallèlement, le principal goulot autoroutier de Montréal se hisse au palmarès canado-américain des 20 plus importants points d'engorgement. Ce tronçon de l'autoroute 40 est comparable aux plus importants étranglements de Boston et figure parmi les pires goulots autoroutiers répertoriés sur la côte Est.

Malgré l'importante congestion que connaissent Toronto et Montréal, c'est à Chicago que se trouve le plus important goulot autoroutier des deux pays, soit sur l'autoroute I90 entre la route Roosevelt et l'avenue Nagle N. La vitesse de

déplacement excessivement lente sur ce tronçon à l'heure de pointe en matinée, à l'heure du midi et en fin de journée est principalement en cause (voir la figure 18). En effet, à l'heure de pointe du matin et de fin de journée, la vitesse de déplacement moyenne chute nettement sous les 30 km/h, alors qu'elle se maintient au mieux entre 40 km/h et 60 km/h en moyenne à l'heure du midi. La vitesse réduite combinée à la longueur du tronçon d'autoroute embouteillé de manière chronique lui valent la palme du pire goulot d'étranglement autoroutier.

Figure 26. Comparaison des principaux points d'engorgement au Canada et aux É.-U., 2015

Rang	RMR	Endroit	Longueur (km)	Retards annuels cumulatifs (en milliers d'heures)	Coût annuel des retards (en millions \$ CA)	Économies potentielles en carburant annuel (en milliers de litres)	Économies potentielles des émissions (en milliers de kg de CO ₂)
1	Chicago	I90 (entre route Roosevelt et av. Nagle N.)	19,3	16 900	543	24 113	60 320
2	Los Angeles	I405 (entre SR22 et I605)	6,6	7 100	248	6 887	16 640
3	Los Angeles	I10 (entre av. Santa Fe et boul. Crenshaw)	11,1	6 900	243	8 448	21 320
4	Los Angeles	I405 (entre boul. Venice et boul. Wilshire)	8,4	6 300	220	7 427	18 200
5	Los Angeles	US101 (entre av. Franklin et boul. Glendale)	7,1	5 400	189	6 668	16 640
6	Los Angeles	I110 (entre boul. Exposition et Stadium Way)	6,9	5 400	188	7 025	17 160
7	Los Angeles	US101 (entre boul. Sepulveda et boul. Laurel Canyon)	6,1	3 600	124	3 966	10 140
8	New York et Union City	Lincoln Tunnel (entre 10e Av. et boul. John F Kennedy)	4,2	3 400	113	6 550	15 860
9	Toronto	Aut. 401 (entre aut. 427 et rue Yonge)	15,3	3 218	82	5 721	15 250

Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport des États américains, des provinces canadiennes ou des entités régionales; analyse par CPCS. (suite à la page suivante)

Étude nationale canadienne sur les engorgements autoroutiers

Figure 26. Comparaison des principaux points d'engorgement au Canada et aux É.-U., 2015 (suite)

Rang	RMR	Endroit	Longueur (km)	Retards annuels cumulatifs (en milliers d'heures)	Coût annuel des retards (en millions \$ CA)	Économies potentielles en carburant annuel (en milliers de litres)	Économies potentielles des émissions (en milliers de kg de CO ₂)
10	New York	I195 (entre I895 et Broadway)	5,0	3 000	106	5 851	14 300
11	Austin	I35 (entre prom. East Riverside et rue Dean Keeton E.)	4,8	3 000	95	6 724	17 420
12	Los Angeles	I5/I10 (entre route. N Mission et US101)	3,2	2 300	81	3 659	9 360
13	San Francisco	I80 (entre US101 et Bay Bridge)	3,1	2 200	76	3 020	7 280
14	Toronto	DVP/404 (entre route Don Mills et av. Finch)	10,5	2 171	56	3 478	9 209
15	Los Angeles	I10 (entre av. La Brea et boul. National)	3,5	2 100	74	2 088	5 200
16	Los Angeles	I5 (entre av. Eastern S. et av. Euclid)	3,2	2 100	73	3 756	9 620
17	Boston	I93 (entre I90 et US1)	3,1	2 100	75	7 498	18 200
18	Montréal	Aut. 40 (entre boul. Pie-IX et aut. 520)	10,6	1 956	46	4 197	10 901
19	Oakland	I80 (entre I580 et av. Ashby)	3,2	1 900	65	2 619	6 500
20	Seattle	I5 (entre rue Madison et sortie 168A)	2,6	1 600	59	2 346	5 980
21	Fort Lee	I95 (entre SR4 et prom. Palisades Interstate)	1,4	1 500	49	3 069	7 540

Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport des États américains, des provinces canadiennes ou des entités régionales; analyse par CPCS. [\(suite à la page suivante\)](#)

Étude nationale canadienne sur les engorgements autoroutiers

Figure 26. Comparaison des principaux points d'engorgement au Canada et aux É.-U., 2015 (suite)

Rang	RMR	Endroit	Longueur (km)	Retards annuels cumulatifs (en milliers d'heures)	Coût annuel des retards (en millions \$ CA)	Économies potentielles en carburant annuel (en milliers de litres)	Économies potentielles des émissions (en milliers de kg de CO ₂)
22	Newark et Kearny	Pulaski Skyway (entre I95 et av. Central)	1,8	1 400	47	3 244	7 800
23	Miami	Palmetto Expy (entre 41st St et Dolphin Expy)	2,7	1 400	39	2 451	6 240
24	New York	I678 (entre boul. Queens et av. Liberty)	2,3	1 400	48	1 942	4 680
25	Houston	I610 (entre av. Richmond et boul. Post Oak)	2,1	1 300	41	1 928	4 940
26	Chicago	I90 (entre I55 et route Pershing O.)	1,9	1 300	41	2 569	6 760
27	Atlanta	I75/I85 (entre prom. Freedom N.E. et av. North N.E.)	2,1	1 200	35	1 486	3 900
28	Houston	I69 (entre rue Hazard et Buffalo Speedway)	2,1	1 100	36	2 321	5 980
29	DC	I395 (entre boul. Washington et prom. George Washington Memorial)	1,8	1 100	35	1 221	2 860
30	Dallas	Woodall Rodgers Freeway	1,8	1 100	34	1 782	4 420
31	Toronto	Gardiner Expressway (entre Kingsway S. et rue Bay)	7,4	1 076	28	1 671	4 447
32	Boston	I93 (entre route Edge Hill et rue West)	1,9	1 000	36	1 373	3 380
33	Los Angeles	I405 (entre boul. Burbank et boul. Ventura)	1,6	1 000	34	1 286	3 120

Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport des États américains, des provinces canadiennes ou des entités régionales; analyse par CPCS. (suite à la page suivante)

Étude nationale canadienne sur les engorgements autoroutiers

Figure 26. Comparaison des principaux points d'engorgement au Canada et aux É.-U., 2015 (suite)

Rang	RMR	Endroit	Longueur (km)	Retards annuels cumulatifs (en milliers d'heures)	Coût annuel des retards (en millions \$ CA)	Économies potentielles en carburant annuel (en milliers de litres)	Économies potentielles des émissions (en milliers de kg de CO ₂)
34	Los Angeles	US101 (entre SR110 et rue Alameda)	1,6	1 000	34	1 644	4 160
35	Montréal	US101 (entre SR110 et rue Alameda)	3,9	812	19	1 653	4 273

Source : Données fournies par la société HERE et les organismes de transport des États américains, des provinces canadiennes ou des entités régionales; analyse par CPCS.

Annexe A – Formules mathématiques

Calcul des retards horaires normalisés

Nous avons calculé les valeurs de retard horaire sur une distance déterminée (heures par mille) pour chacun des tronçons autoroutiers urbains (i) à partir de la relation suivante :

$$\text{Retard } (d_{ji}) = \text{Véhicules par heure}_{ji} * \left(\frac{1}{\text{Vitesse relevée}_{ji}} - \frac{1}{\text{Vitesse de référence}_i} \right)$$

Dans cette formule :

- la **vitesse relevée** correspond au profil de vitesse d'un jour de semaine pour chaque heure (j) de la journée sur chacun des tronçons autoroutiers (i);
- la **vitesse de référence** représente la vitesse de débit optimal (VDO) pour ce tronçon autoroutier (i), soit une vitesse contrefactuelle basée sur des conditions idéales de circulation. Cette variable a été définie pour chacun des tronçons à partir des données relationnelles du Highway Capacity Manual (HCM) publié par le Transportation Research Board;
- le nombre de **véhicules** par heure indique le débit horaire estimé d'après les données précédentes.

La formule ci-dessus est valable SEULEMENT les jours de semaine durant les heures où la vitesse relevée est inférieure à la vitesse de débit optimal (conditions idéales). Autrement dit, le calcul de la congestion ne concerne que les périodes où il y a un ralentissement pour les automobilistes. Lorsque les vitesses relevées sont supérieures à la VDO, il n'y a pas de congestion et les retards pour ces périodes et sur ces tronçons sont nuls (0).

Calcul de la vitesse de débit optimal (VDO)

La vitesse de débit optimal concerne la vitesse à laquelle circulent les véhicules dans un contexte où le débit serait idéal, c'est-à-dire la vitesse permettant à un nombre maximal de véhicules d'emprunter un tronçon routier. On peut imaginer un tronçon autoroutier pratiquement désert où circulent à peine quelques véhicules à la vitesse d'écoulement libre (VEL). À mesure que le nombre de véhicules augmente sur ce tronçon, le débit augmente aussi (soit le nombre de véhicules sur le même tronçon à un moment déterminé), mais la vitesse commence à diminuer en raison des changements de voie, de la distance qui fluctue entre les véhicules et d'autres facteurs de conception routière ou liés au comportement des automobilistes. Or, suivant l'augmentation du nombre de véhicules qui s'intègrent dans la circulation autoroutière, le débit finit par atteindre un seuil théorique : la vitesse des véhicules à ce point précis du processus représente la vitesse de débit optimal (VDO). Au-delà d'un tel seuil, les véhicules supplémentaires qui se joignent à la circulation contribuent à réduire la vitesse, ce qui se traduit par des ralentissements et de la congestion. Par contre, les ralentissements ne sont pas nécessairement synonymes

d'embouteillages ou de situations « pare-chocs à pare-chocs ».

Même si, dans les faits, la vitesse de référence que constitue la VDO est inférieure à la VEL, elle est plus représentative de la capacité réelle d'une autoroute, ce qui en fait une référence plus juste pour l'estimation des retards causés par la congestion. En présumant d'un débit constant de véhicules circulant à ces vitesses, la VDO comme vitesse de référence tend à donner des estimations plus modérées de la congestion. En d'autres termes, les retards estimés pour chacune des heures sont éventuellement sous-estimés.

Calcul de la VDO (en mi/h)

$$VDO_i = 39 + 0.2 * VEL_i$$

Dans cette formule :

la **VEL** représente la vitesse en écoulement libre équivalant au 95e percentile de la vitesse moyenne horaire répartie sur une journée en semaine. Puisque les vitesses horaires résultent elles-mêmes d'une moyenne, la VEL qui en résulte est en réalité inférieure à la valeur réelle du 95e percentile. Grosso modo, notre méthode de calcul de la VEL correspond à la vitesse moyenne d'un véhicule durant l'heure offrant les meilleures conditions de la journée (ou l'heure suivante au classement), ce qui correspond généralement à une heure durant la nuit ou à l'aube alors que le débit est faible.

Classement des points d'engorgement

Nous avons établi le classement des goulots d'étranglement d'après les valeurs de retard cumulatif quotidien (exprimées en heures), qui est la somme des retards estimés pour toutes les heures et pour l'ensemble des véhicules qui s'intègrent dans un embouteillage et en ressortent au cours d'une journée de semaine représentative (excluant les jours fériés).

Pour obtenir les valeurs de retard cumulatif quotidien (en heures) à partir des valeurs de retard horaire sur une distance déterminée (en heures par mille, comme ci-dessus), nous avons procédé en quatre étapes.

1. Rajustement de la valeur de retard quotidien – Dans un premier temps, nous avons calculé les valeurs de retard quotidien sur une distance déterminée (heures/km) pour tous les tronçons autoroutiers urbains (i).

$$\text{Retard quotidien } (D_i) = \sum_{j=1}^{24} \text{Retard}(d_{ji})$$

2. Analyse de contiguïté – Nous avons ensuite défini le goulot d'étranglement comme étant un groupe de tronçons autoroutiers contigus (i) pour lesquels la valeur de retard quotidien dépasse un certain seuil. Dans le cas des plus importants goulots d'étranglement, le seuil de retard quotidien a été fixé à 400 heures/km, en

fonction de la ventilation des valeurs (D_i) pour l'ensemble des tronçons autoroutiers ayant des valeurs de retard non nulles. Au fil de nos analyses itératives, nous avons constaté qu'en fixant le seuil à 300 heures/km, le classement des principaux goulots d'étranglement restait inchangé, malgré l'ajout de quelques nouveaux tronçons adjacents. Par conséquent, le seuil de 400 heures/km nous a semblé être un point de rupture approprié. Le seuil retenu correspond à la valeur du 90^e percentile, ce qui signifie que les tronçons faisant partie de la tranche supérieure de 10 % des tronçons autoroutiers les plus congestionnés ont été retenus au classement national des points d'engorgement. Si deux étranglements étaient situés à moins de 0,5 km l'un de l'autre, ils ont été considérés comme un seul et même corridor (incluant la portion située entre les deux). NOTA : la règle de 0,5 km ne s'applique pas lorsque deux goulots d'étranglement appartenant à deux autoroutes distinctes sont situés à proximité l'un de l'autre dans une zone d'échangeur.

3. Pondération en fonction de la distance – La valeur de retard cumulatif quotidien pour chaque point d'engorgement représente la somme de produits de la valeur de retard quotidien (D_i) et de la distance des tronçons (i) pour un goulot d'étranglement donné.

$$\text{Retard cumulatif quotidien}_A = \sum_{i=1}^n \text{Retard quotidien}(D_i) * \text{Distance}_i$$

Dans cette formule :

la variable (i) représente un tronçon autoroutier faisant partie du goulot d'étranglement A, et la variable (n) renvoie au nombre de tronçons dans ce même goulot. La valeur ainsi obtenue tient compte de la longueur du goulot et du débit envisageable dans ce goulot d'étranglement au cours d'une période de 24 heures. La longueur de l'embouteillage (en kilomètres) pour le goulot d'étranglement A correspond au coefficient (L_A), soit :

$$\text{Longueur de l'embouteillage}(L_A) = \sum_{i=1}^n \text{Distance}_i$$

4. Classement national – Pour cette dernière étape, nous avons établi un classement de tous les points d'engorgement retenus au terme de l'analyse de contiguïté (étape 2), à partir des valeurs de retard cumulatif quotidien (en heures) obtenues à la troisième étape. Nous avons convenu de fixer le seuil de retard cumulatif quotidien à 240 heures (soit environ 60 000 heures annuellement) pour la ventilation des plus importants goulots d'étranglement. Le produit de la dernière étape donne lieu à la liste définitive des 20 plus importants goulots d'étranglement reprise dans le rapport.

Calcul des retombées éventuelles de l'atténuation de la congestion

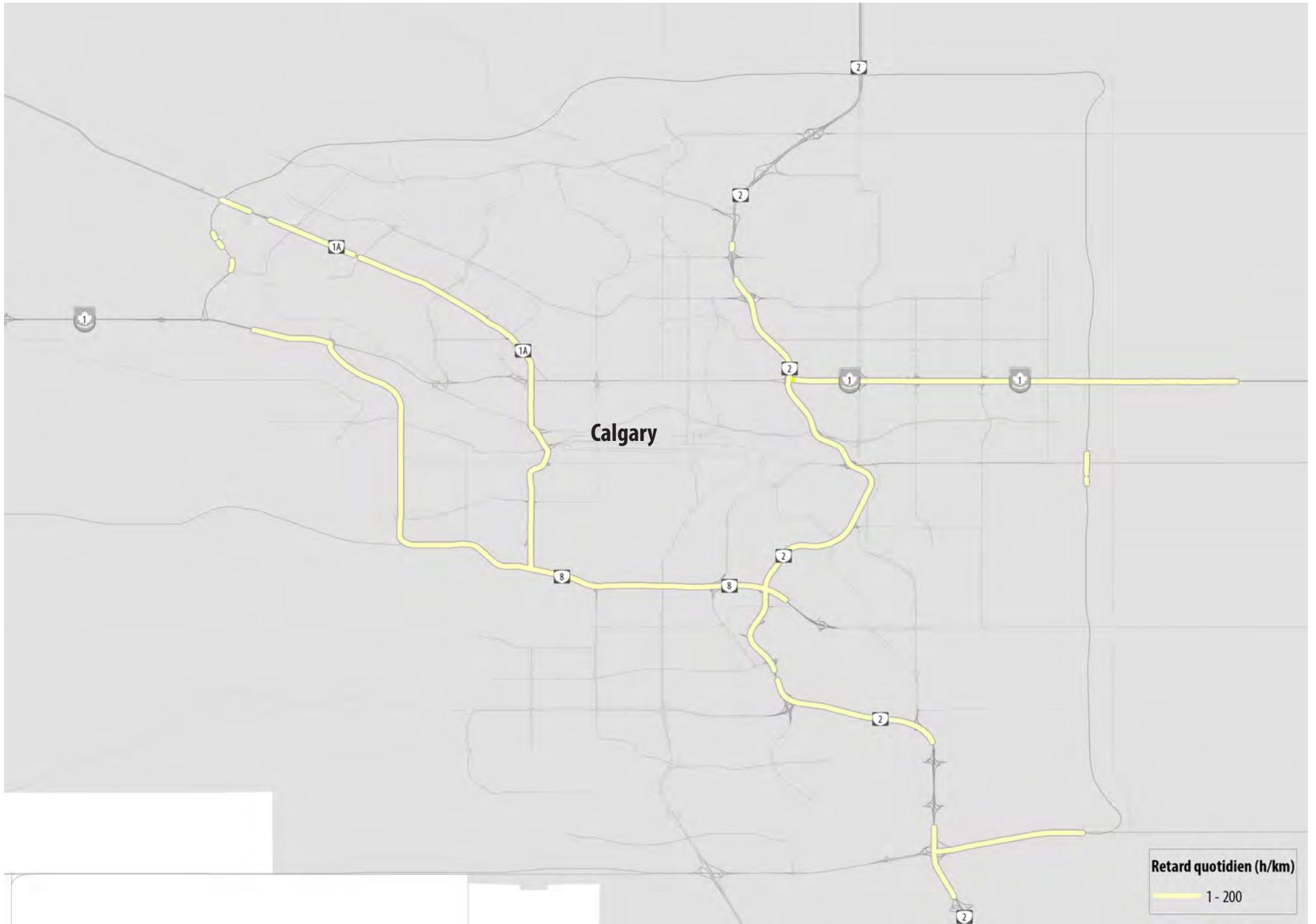
Nous avons évalué la quantité excédentaire de carburant imputable à la congestion

ainsi que les économies potentielles en carburant (litres) à partir des données relationnelles publiées par le Oak Ridge National Laboratory [6] concernant la vitesse des véhicules (kilomètres à l'heure, km/h) et les économies en carburant (kilomètres par litre, mi/gal). Ces données relationnelles sont fondées sur des essais en laboratoire et sur des données d'observation d'un vaste échantillon de véhicules. Leur portée se limite à la portion excédentaire de consommation de carburant qui résulte du ralentissement des véhicules en situation de congestion routière.

Nous avons ensuite calculé la réduction éventuelle d'émissions atmosphériques (kg de CO₂) à partir des paramètres standards publiés par Environnement Canada [7].

Annexe B – Cartes illustrant les retards pour l'ensemble des RMR

Les cartes suivantes montrent les retards dans chaque RMR en fonction de nos estimations des valeurs de retard cumulatif quotidien (en heures) par kilomètre sur les portions du réseau autoroutier qui font l'objet de notre analyse. Comme on l'a souligné dans l'exposé de la méthodologie, le retard cumulatif repose à la fois sur les données de vitesse et de débit du trafic. Par conséquent, puisque les cartes suivantes reflètent la situation sur certains tronçons autoroutiers où la vitesse réduite touche un nombre important d'automobilistes, elles se distinguent d'autres cartes illustrant seulement la vitesse.

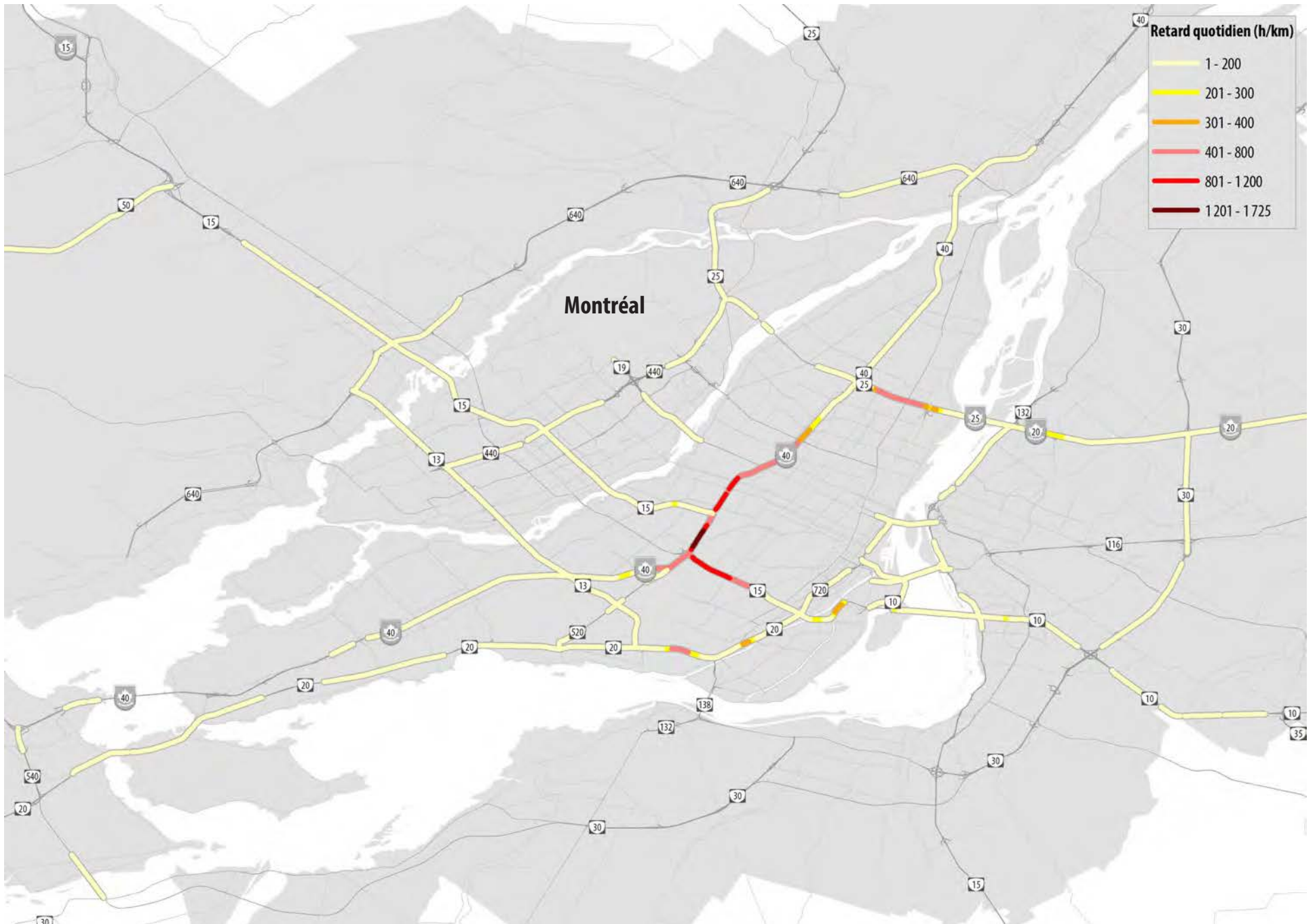


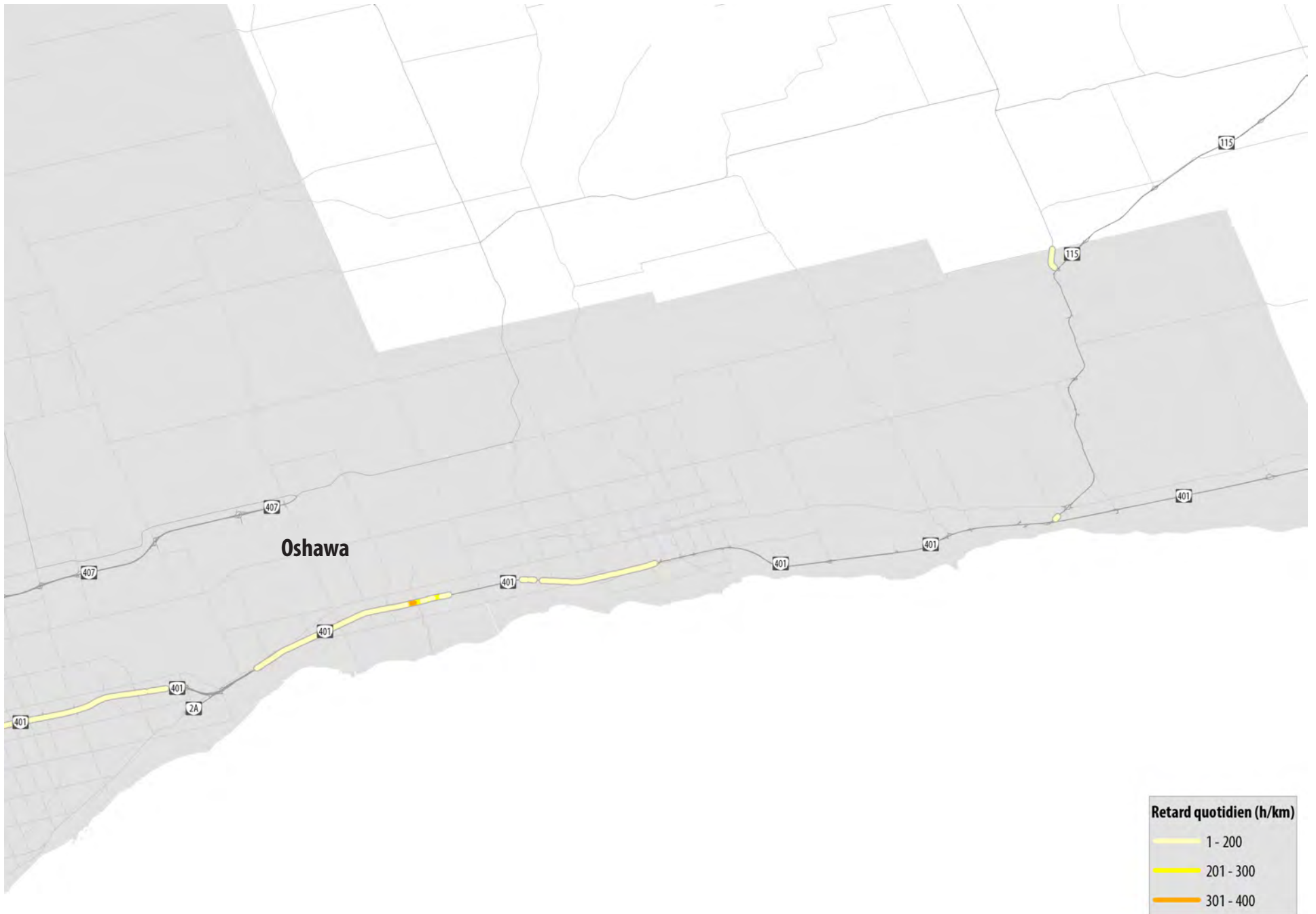






Étude nationale canadienne sur les engorgements autoroutiers





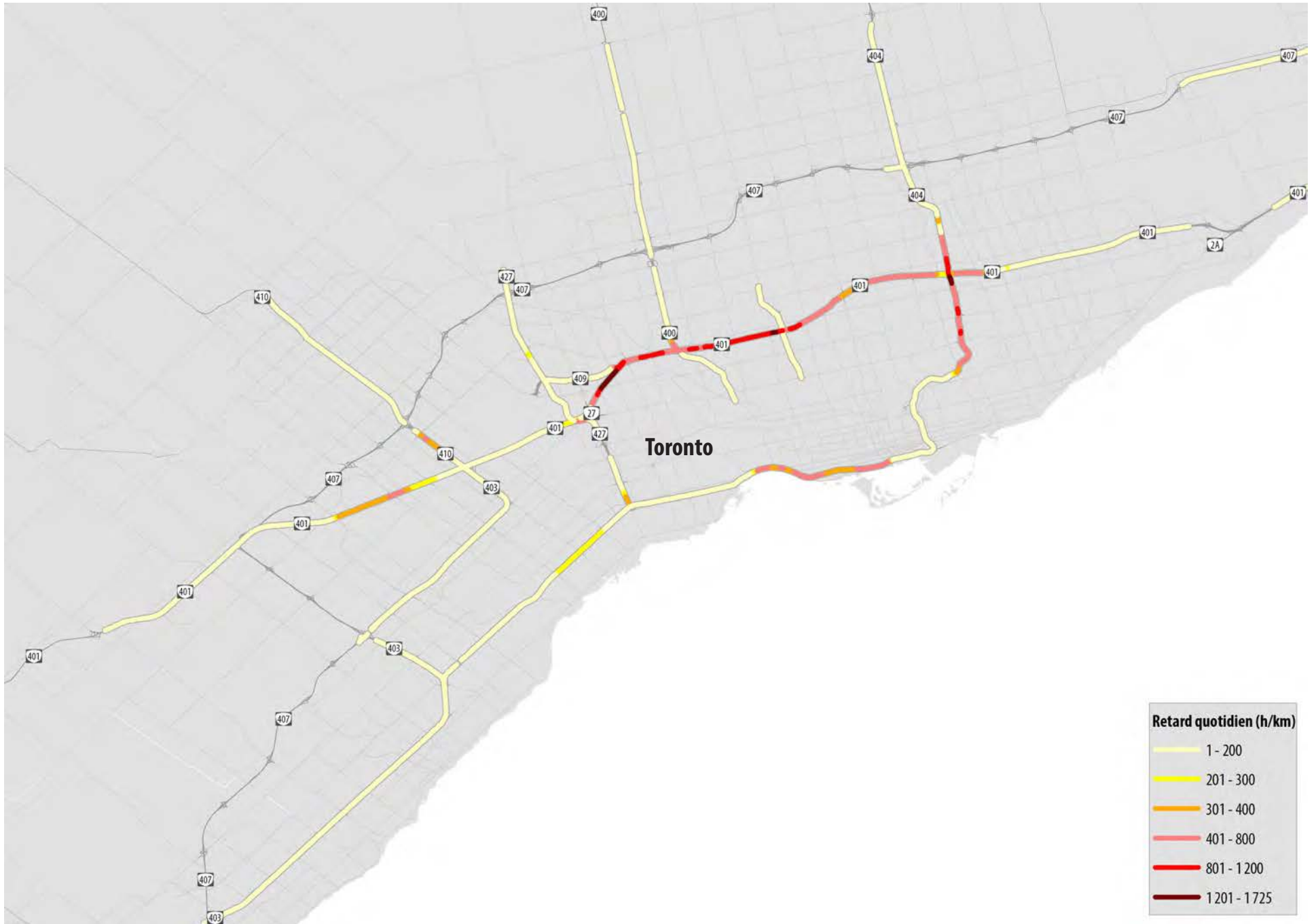




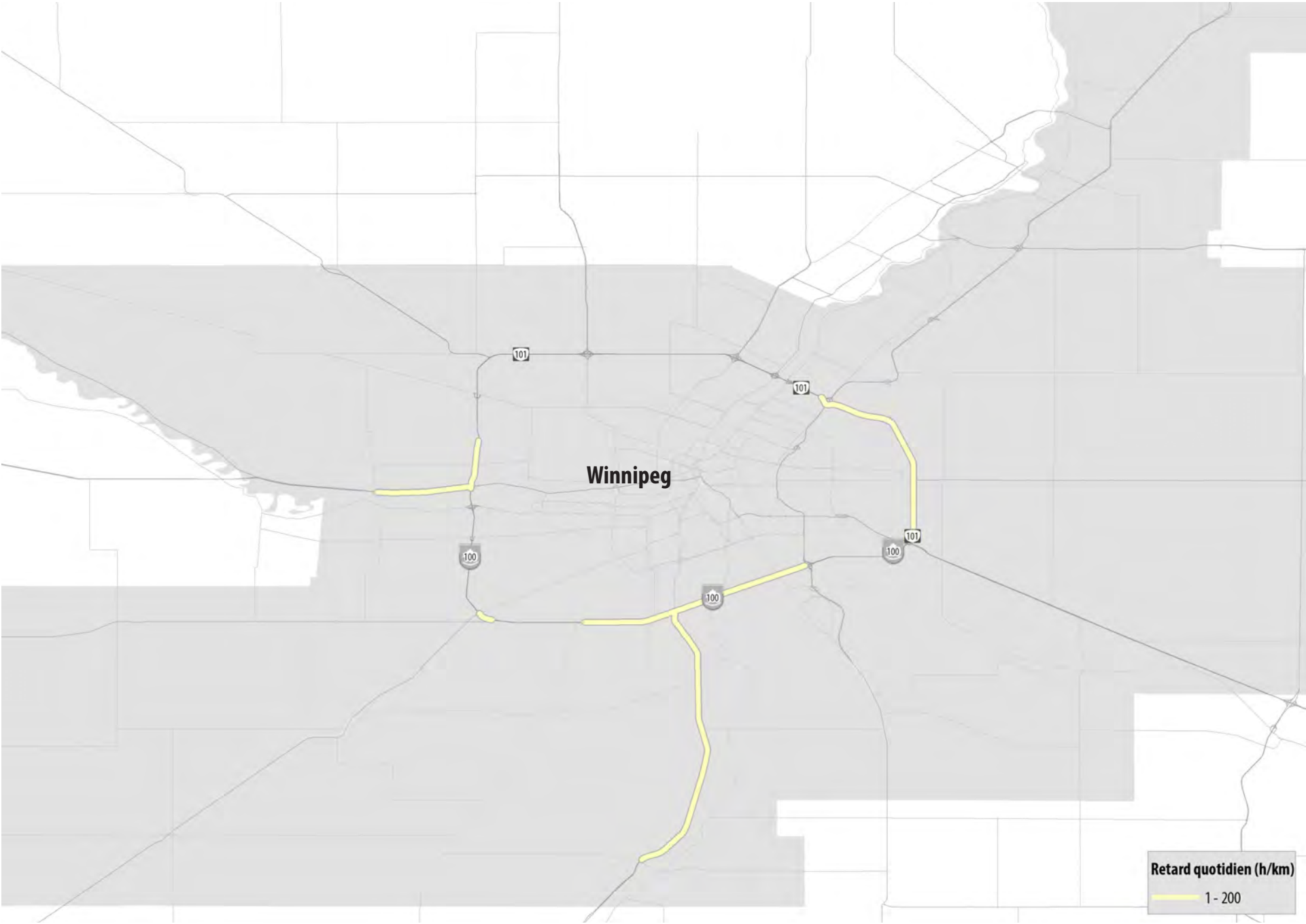




Étude nationale canadienne sur les engorgements autoroutiers

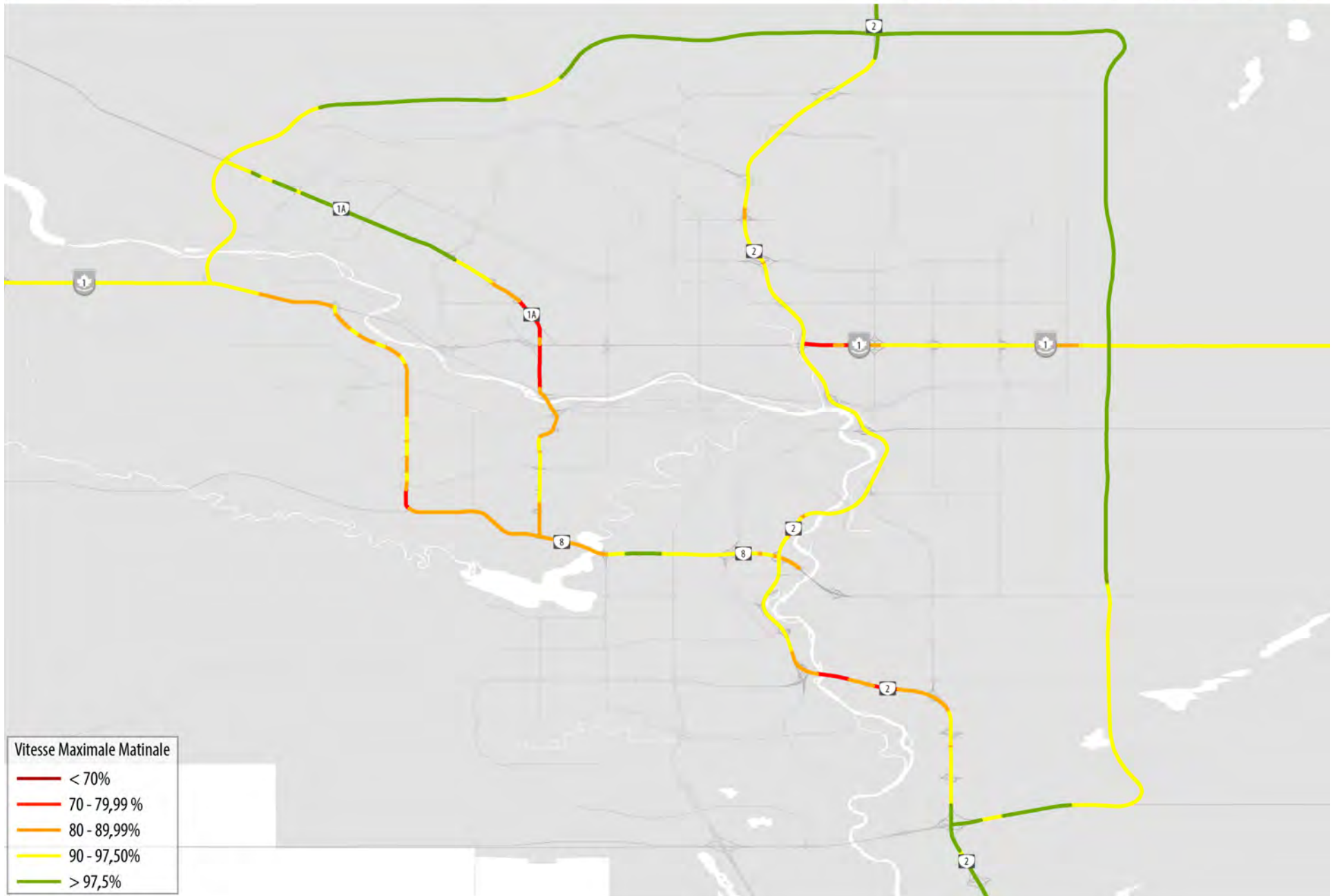


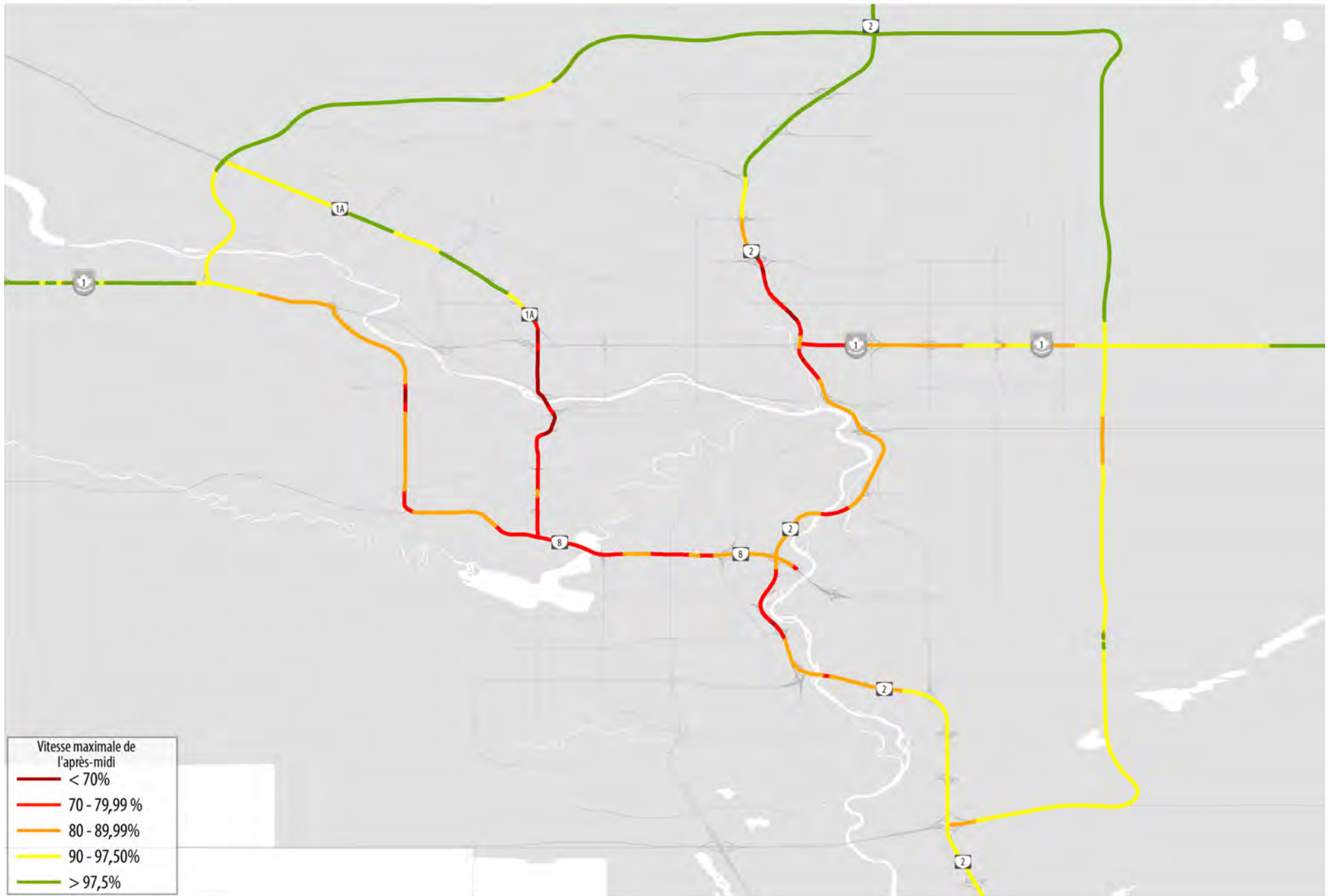


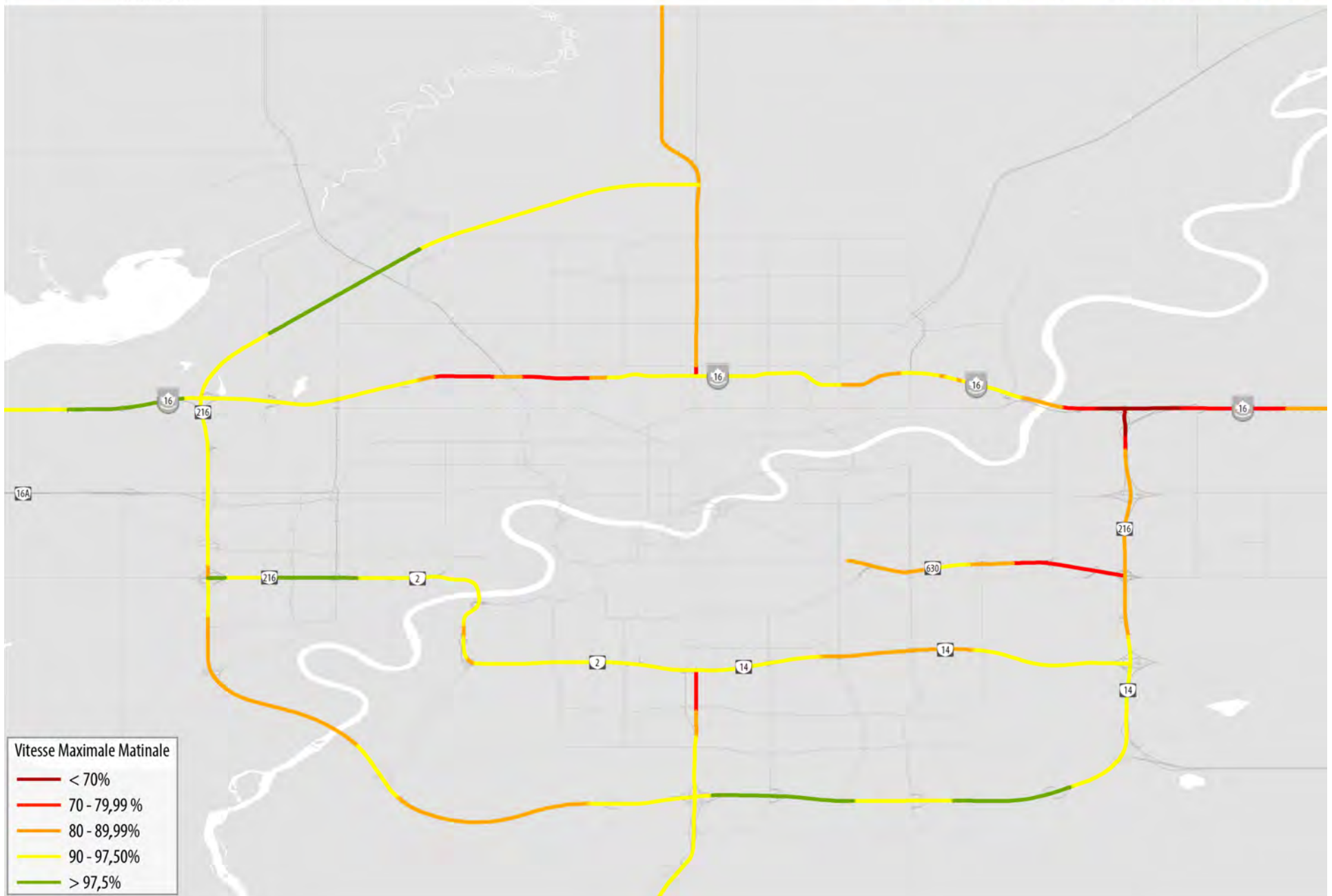


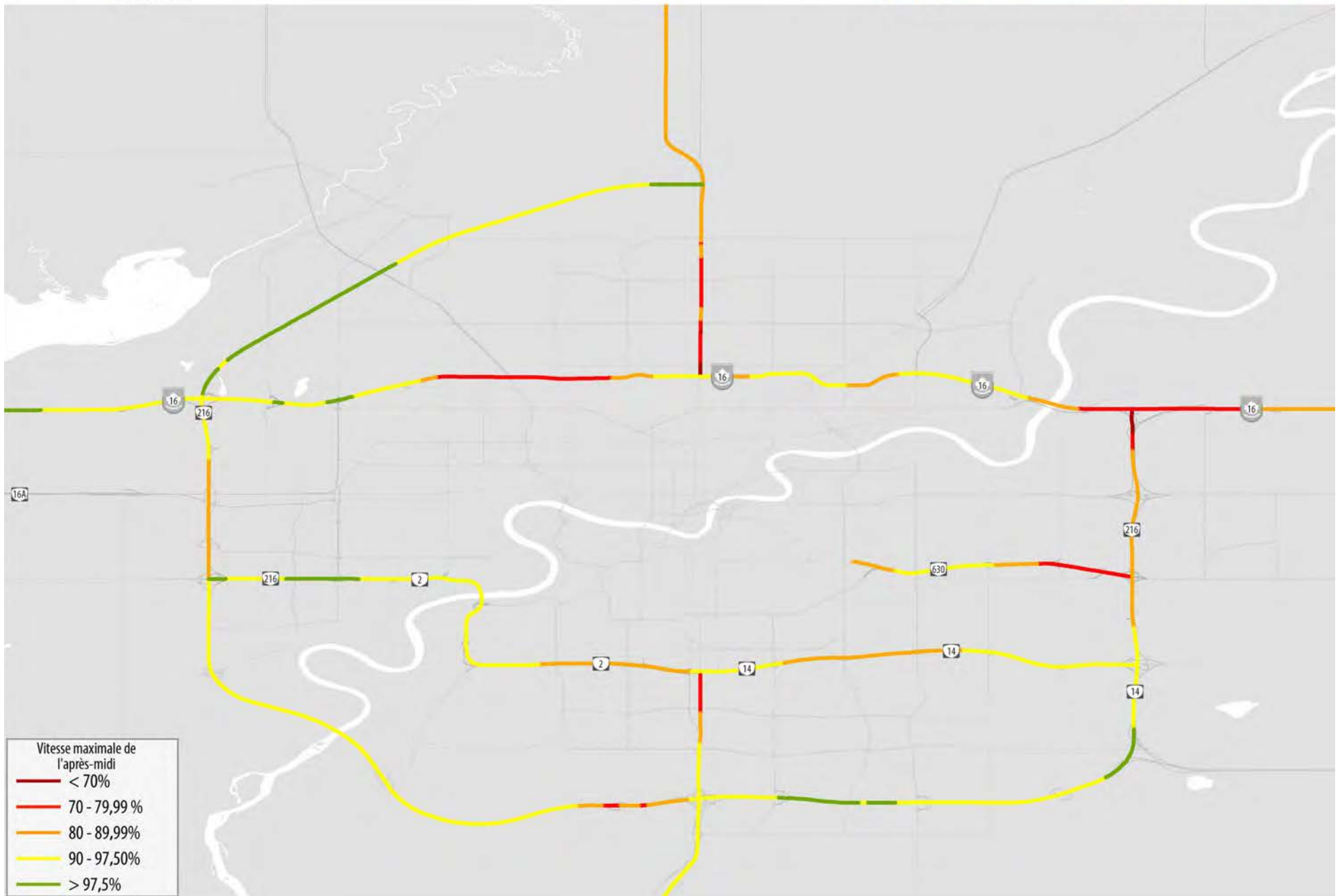
Annexe C – Cartes des ratios vitesse/écoulement libre

Les cartes suivantes illustrent les vitesses moyennes de déplacement à l'heure de pointe en matinée ainsi qu'en fin de journée en comparaison de la vitesse en écoulement libre dans chaque RMR.

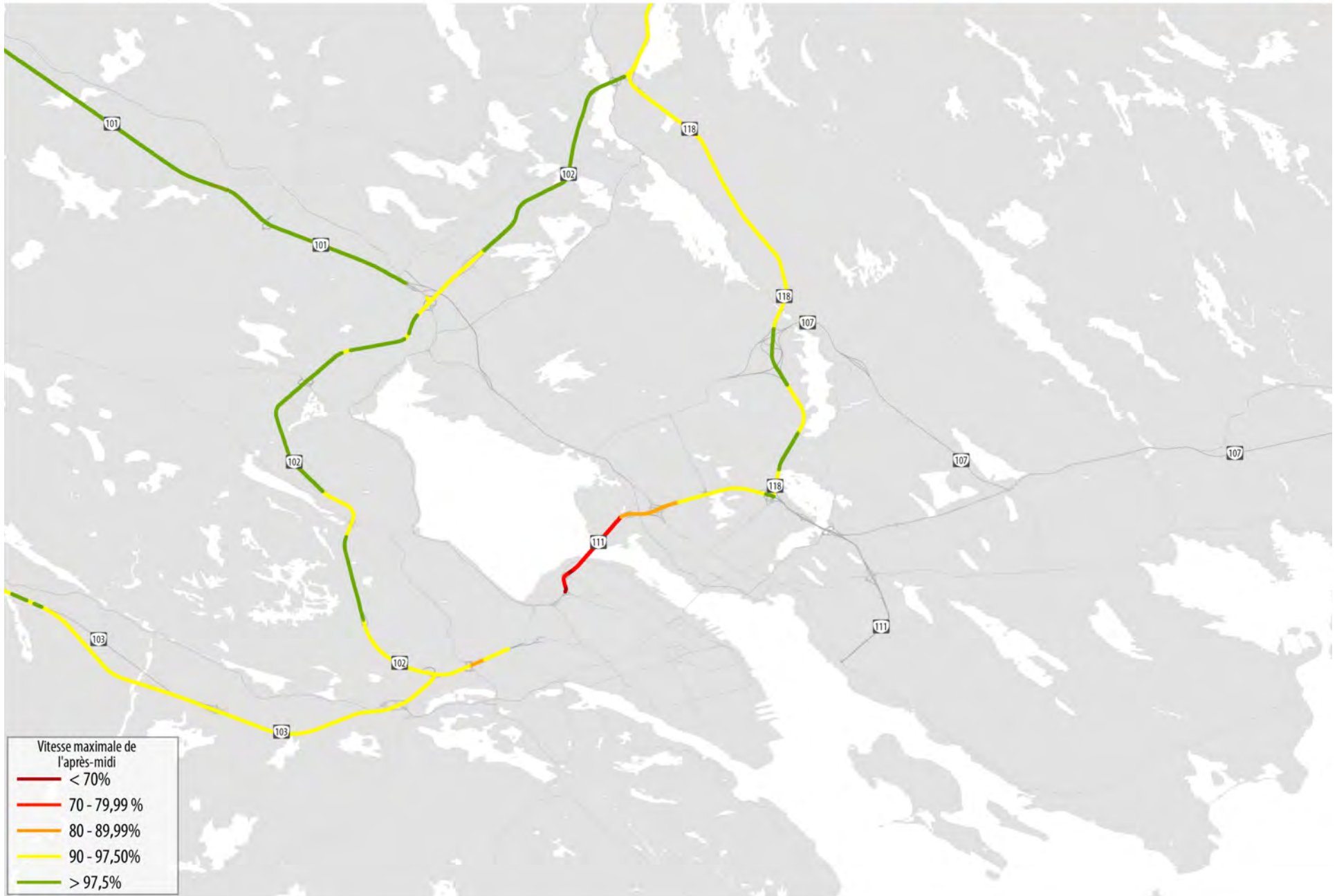






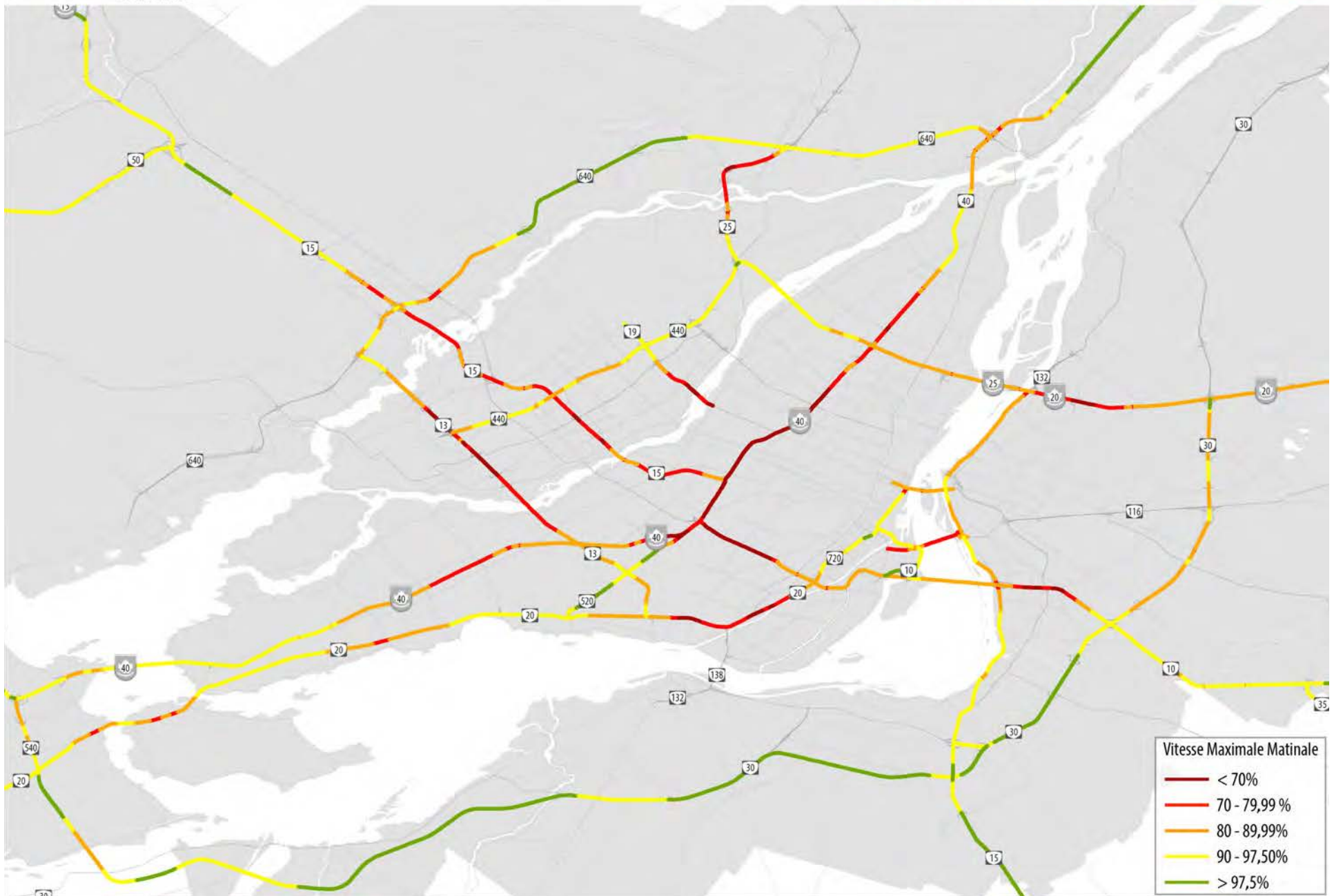


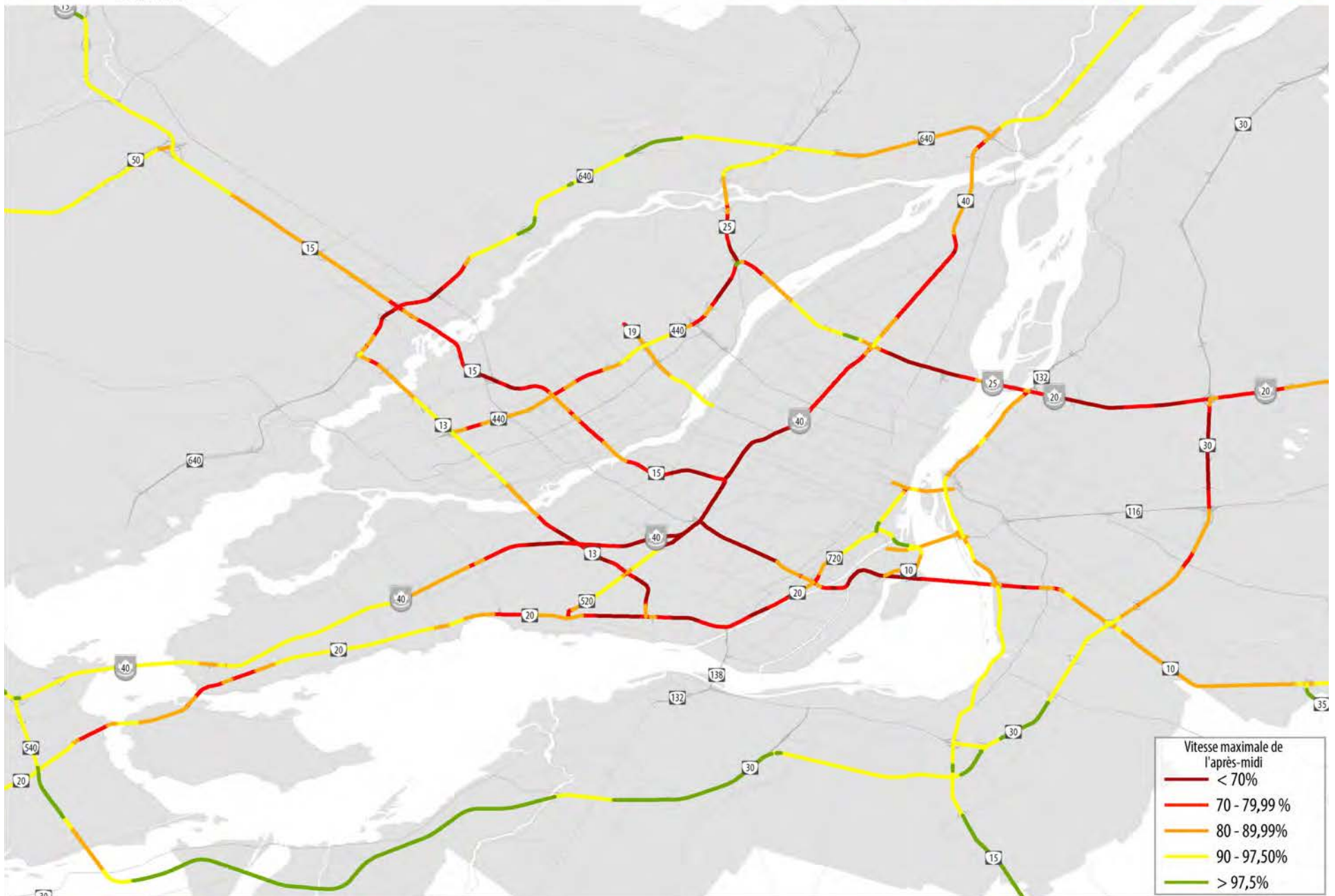






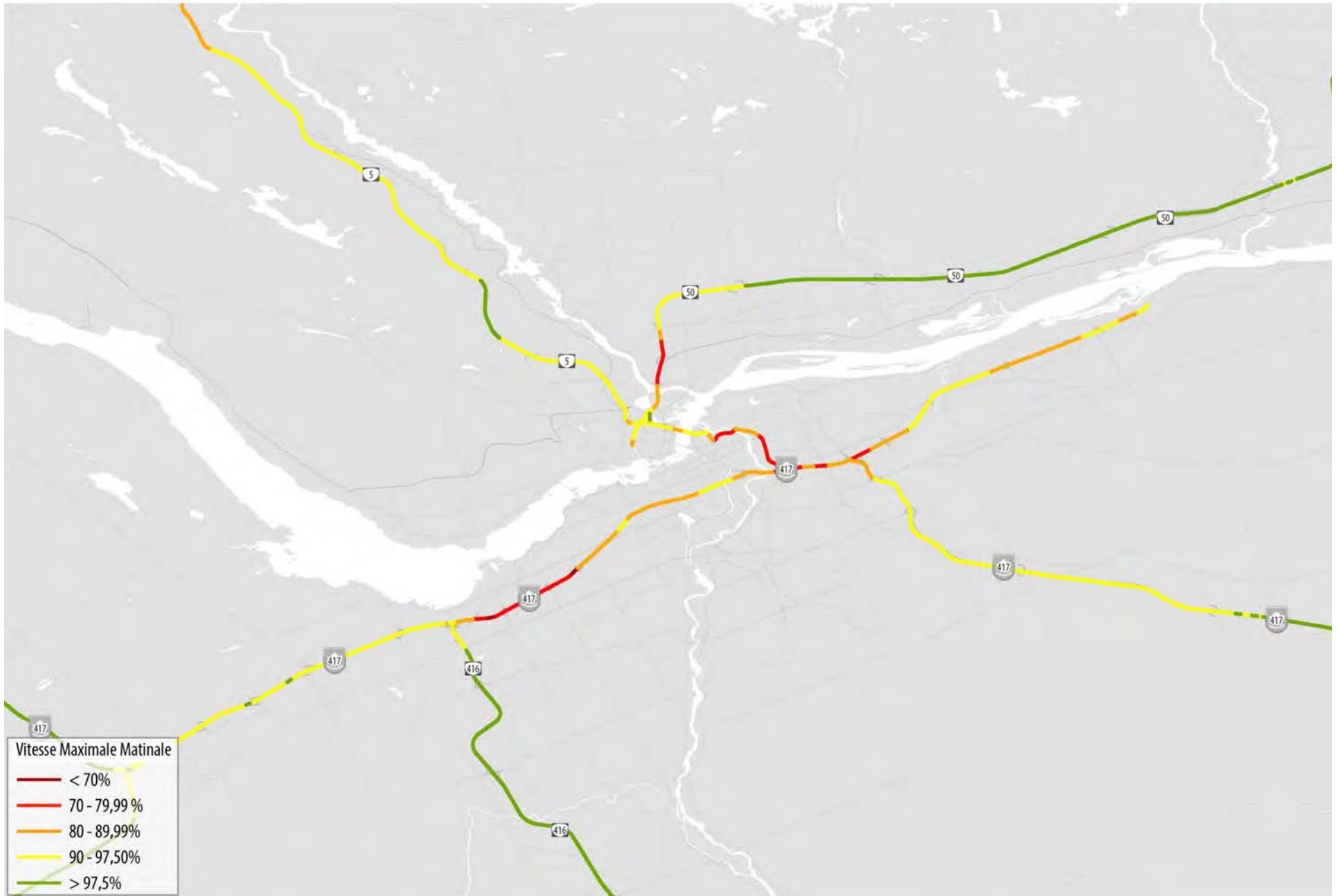


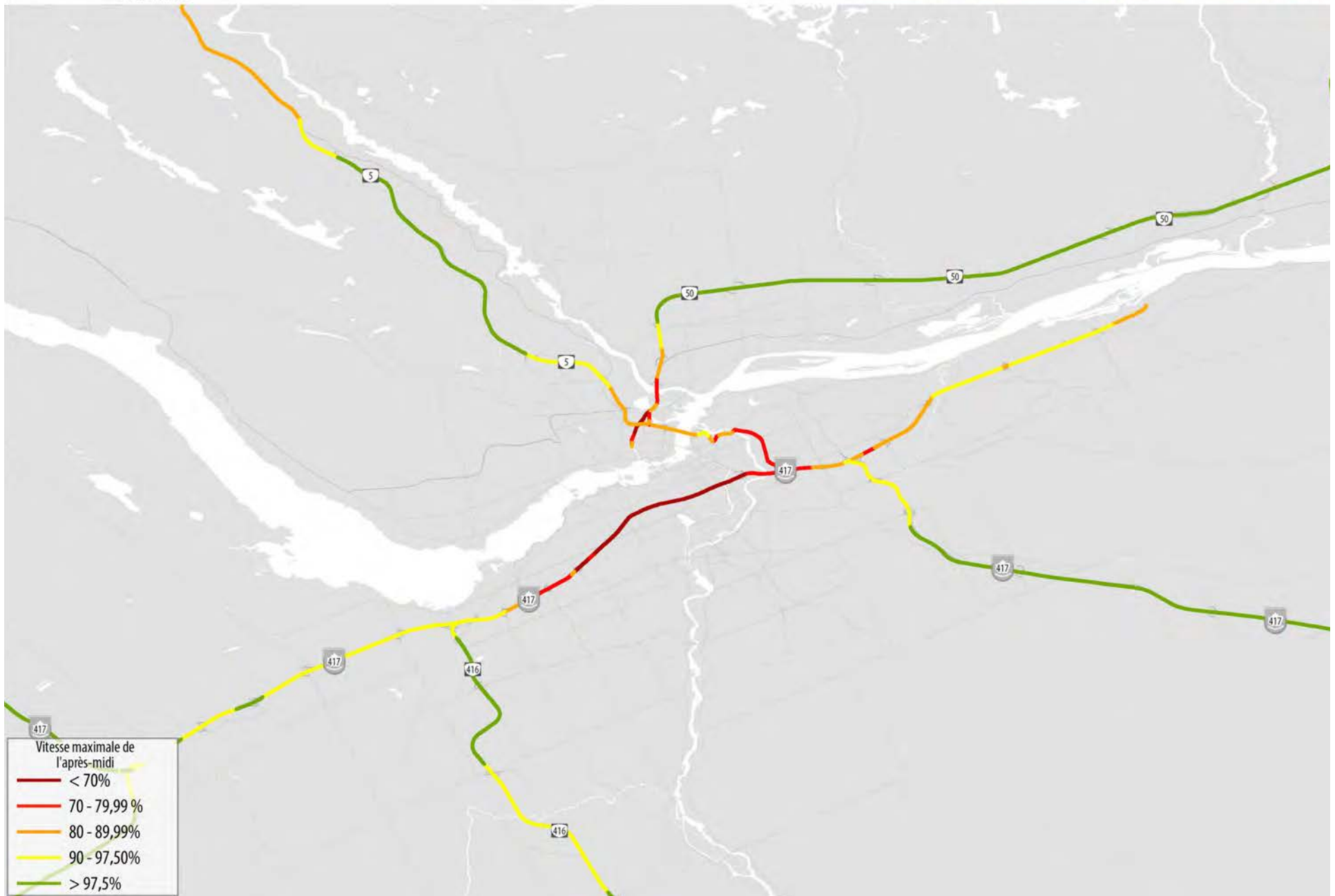




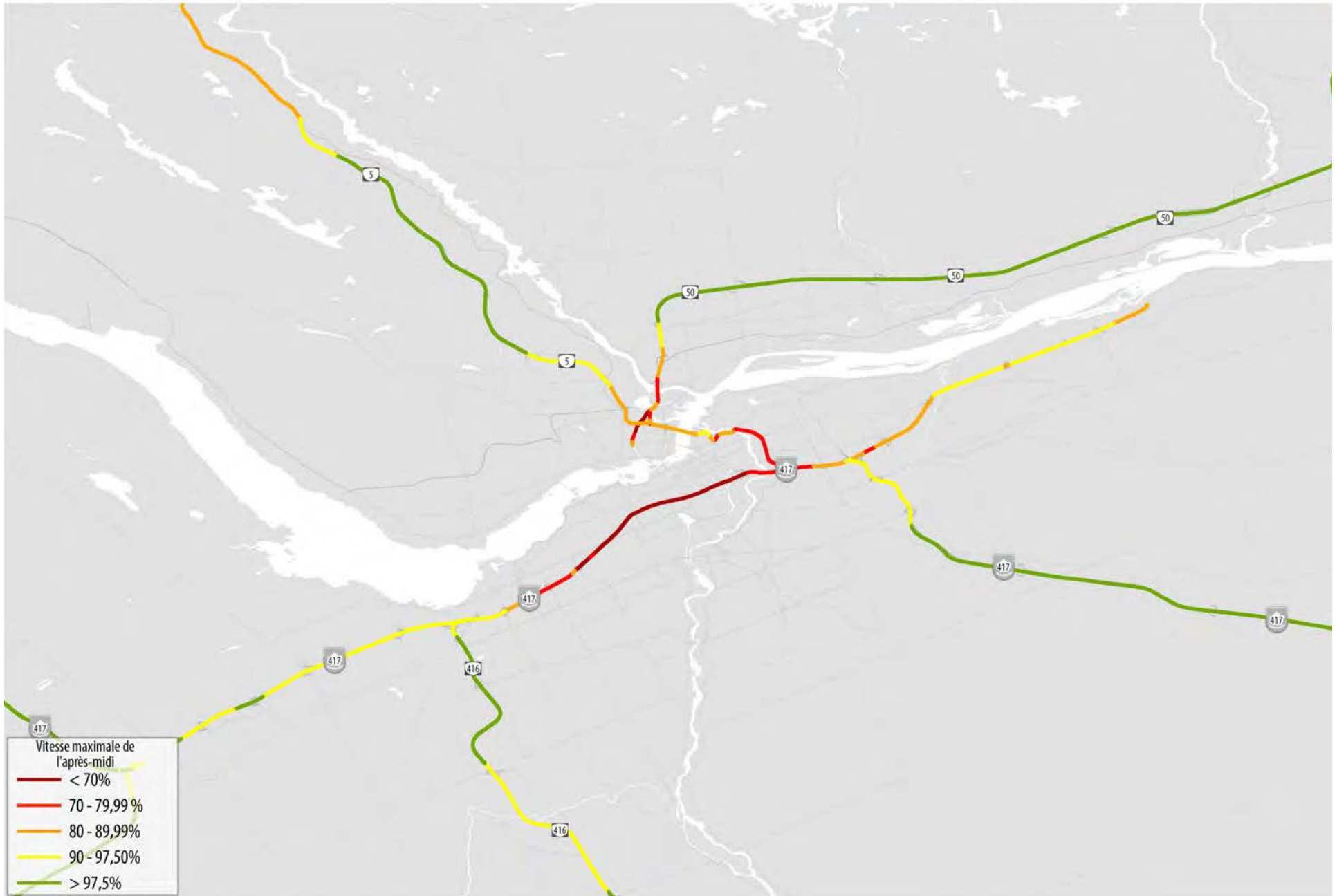












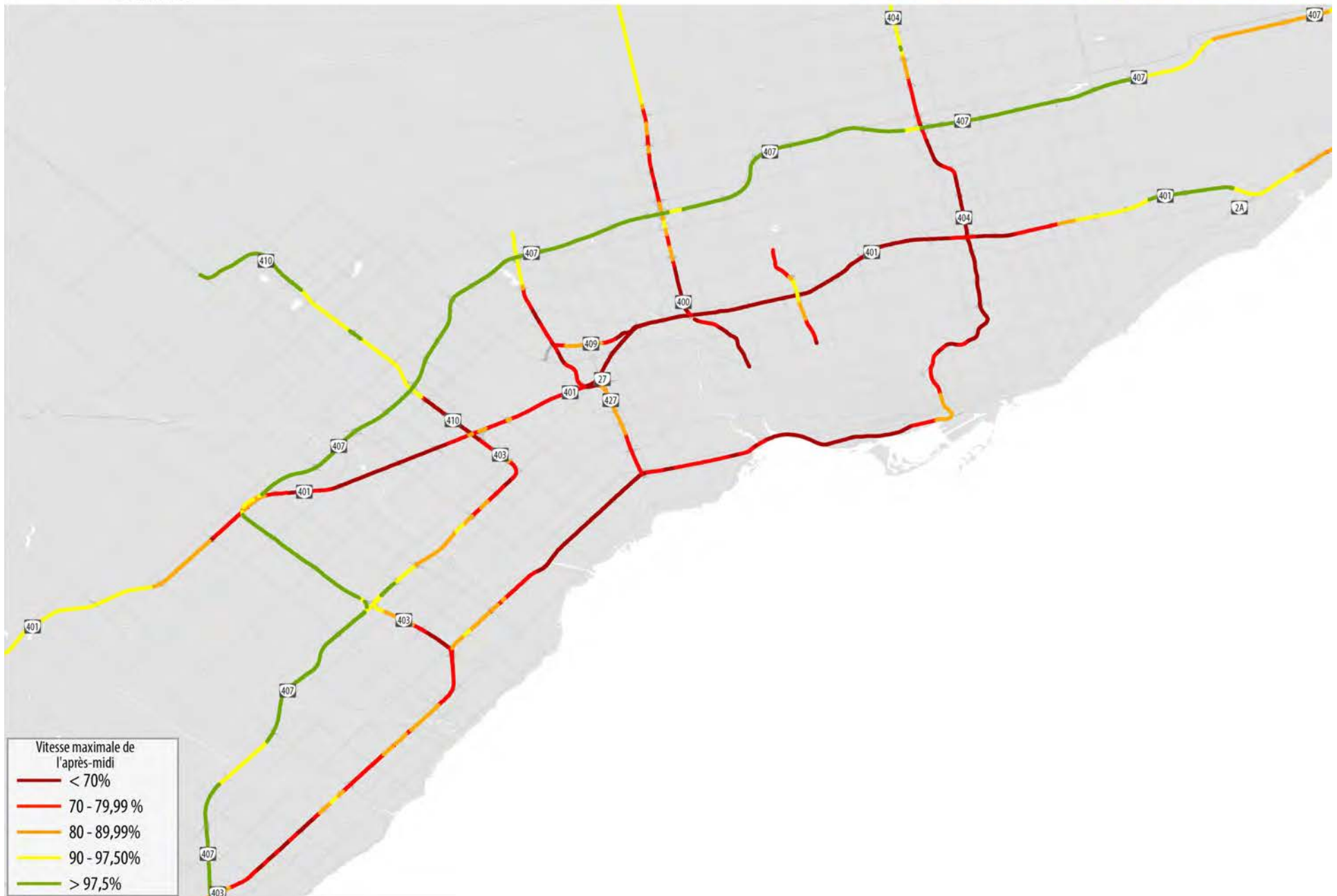


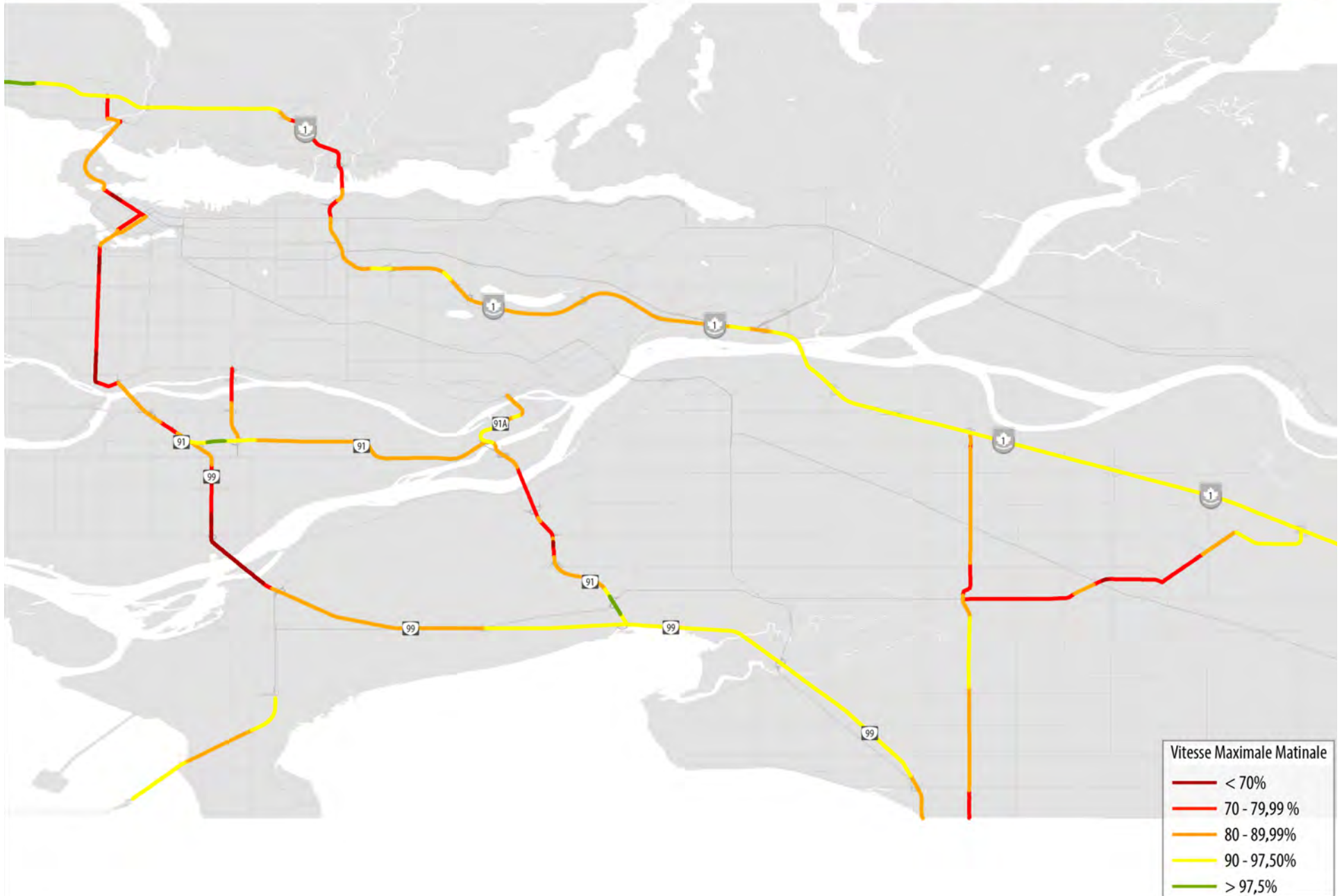


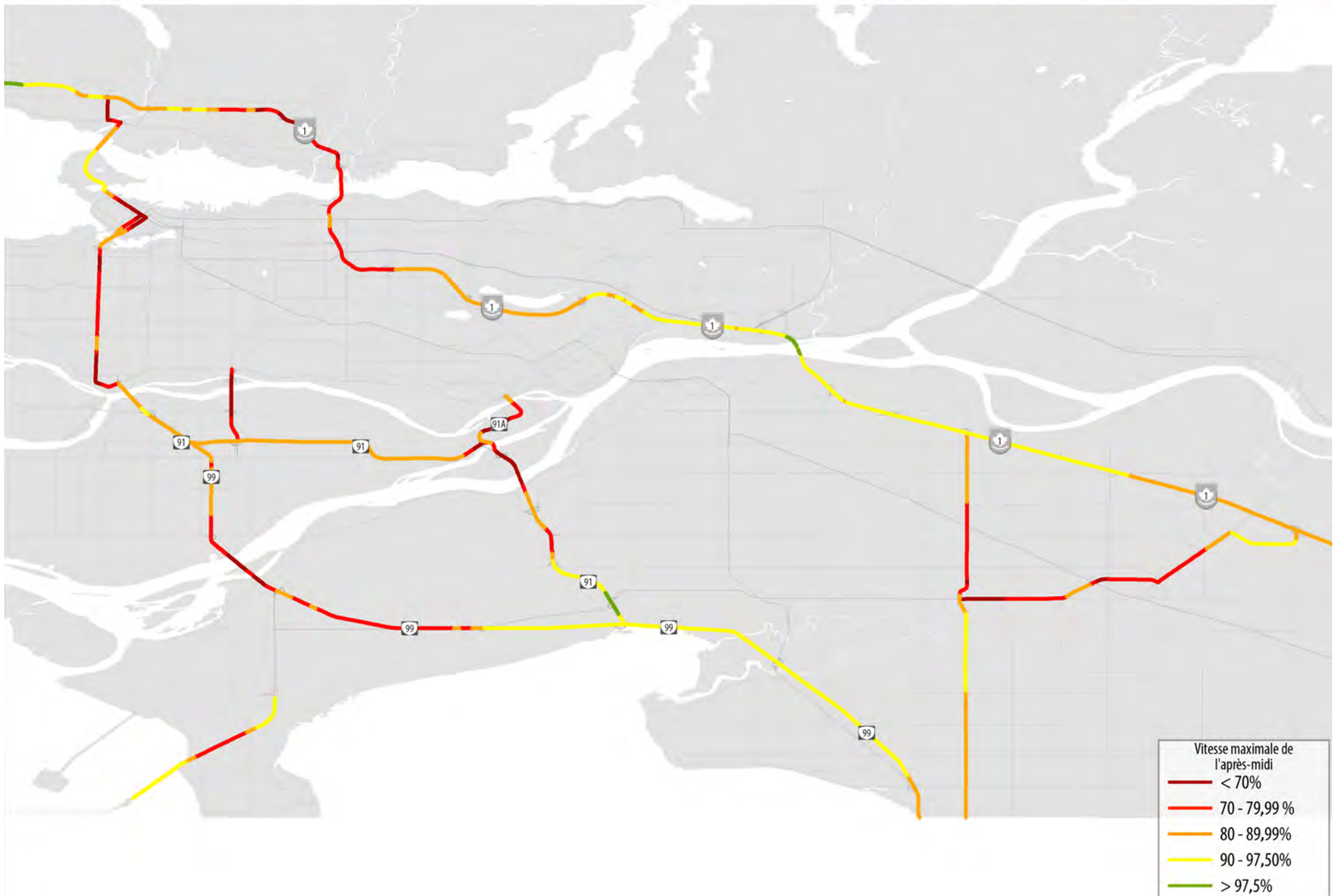


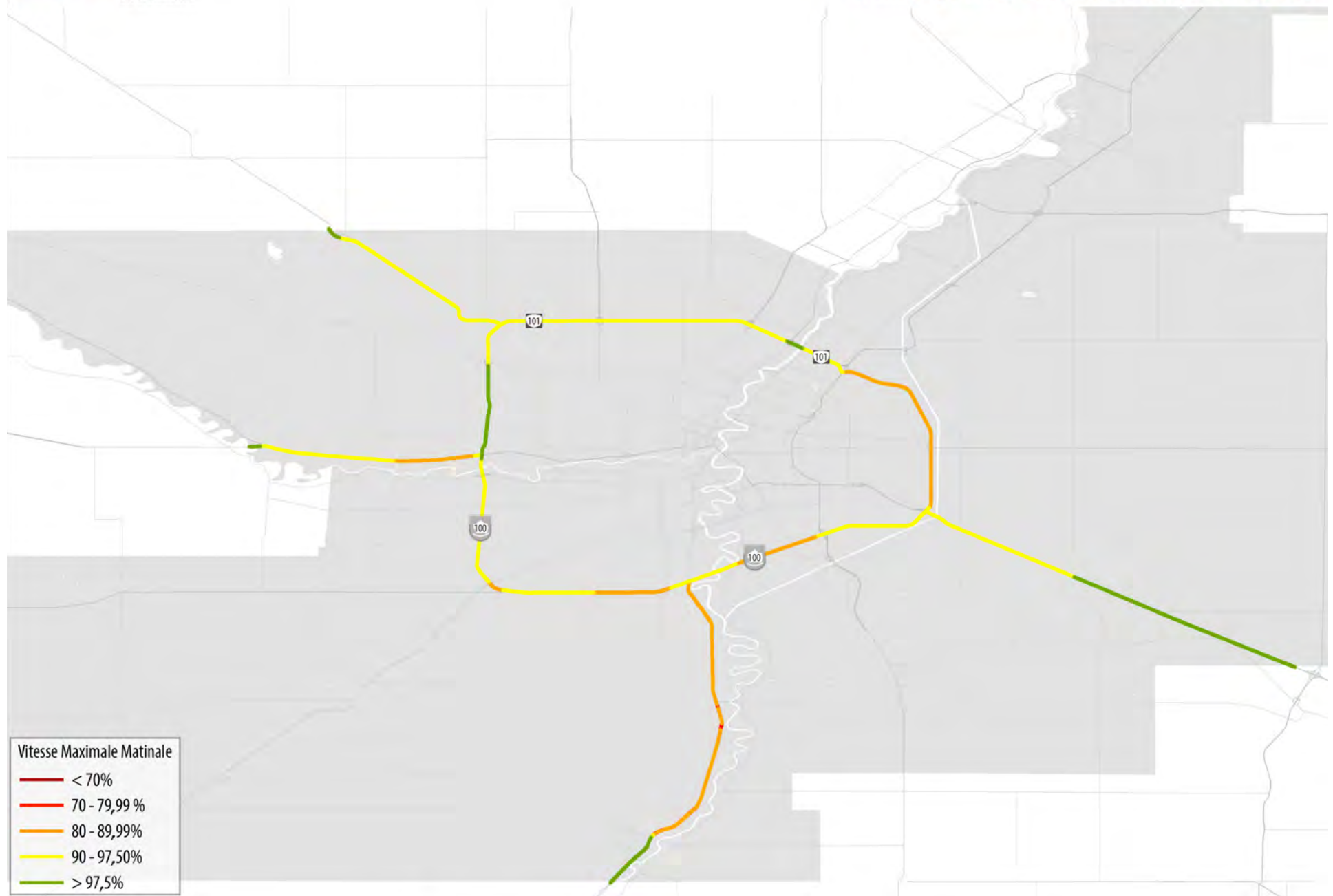


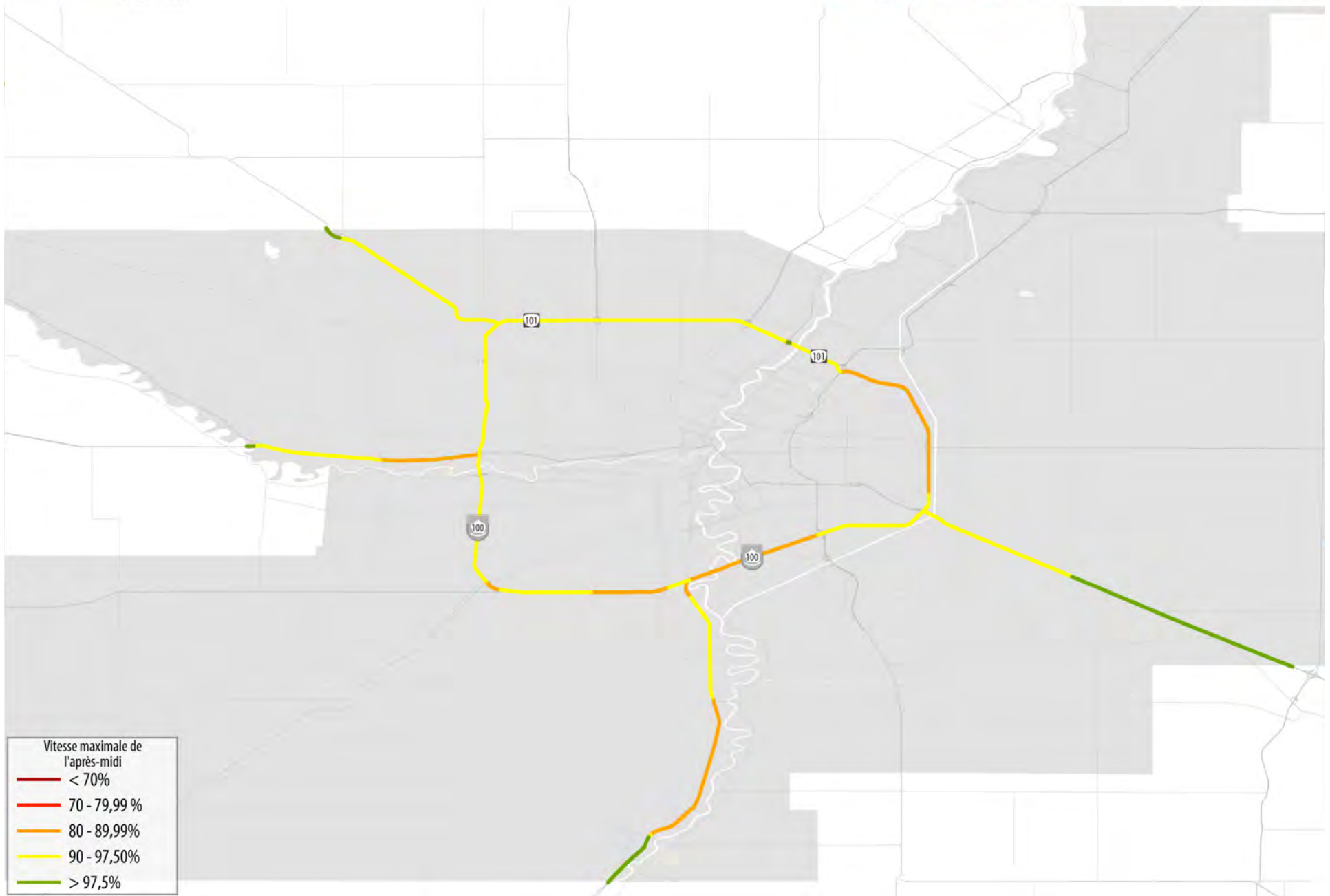












Bibliographie

- [1] Tom Tom, "Tom Tom Traffic Index: Measuring Congestion Worldwide," [Online]. Available: https://www.tomtomb.com/en_ca/trafficindex/.
- [2] Texas A&M Transportation Institute and INRIX, "Urban Mobility Scorecard," 2015. [Online]. Available: <http://mobility.tamu.edu/ums/>. [Accessed July 2016].
- [3] American Highway Users Alliance, "Unclogging America's Arteries: Prescriptions for Healthier Highways," Washington DC, 2015.
- [4] Federal Highway Administration (FHWA), "Urban Congestion Trends," US Department of Transportation, Washington DC, 2012.
- [5] Federal Highway Administration (FHWA), "Describing the Congestion Problem," US Department of Transportation, Washington DC, 2016.
- [6] Oak Ridge National Laboratory, "Transportation Energy Data Book: Chapters 4 and 5," 2015.
- [7] Environment Canada, "National Inventory Report 1990- 2006: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada," 2008.
- [8] HDR, "Costs of Road Congestion in the Greater Toronto and Hamilton Area," Metrolinx, Toronto, 2008.