



**Modèle exploratoire sur
l'utilisation du réseau routier
à l'échelle du Québec**

**SOCIOÉCONOMIE
DES TRANSPORTS**



**ÉTUDES ET RECHERCHES
EN TRANSPORT**

**Modèle exploratoire sur
l'utilisation du réseau routier
à l'échelle du Québec**

**SOCIOÉCONOMIE
DES TRANSPORTS**

André Babin

ÉTUDES ET RECHERCHES
EN TRANSPORT

MODÈLE EXPLORATOIRE SUR L'UTILISATION DU RÉSEAU ROUTIER À L'ÉCHELLE DU QUÉBEC

André Babin, Direction de la planification
ministère des Transports du Québec

Novembre 2006

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports du Québec et a été financée par la Direction de la planification.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports du Québec.

Collaborateurs

Louis Rousseau
Pierre Tremblay, ing.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec, 2006
ISBN-13 : 978-2-550-48410-3 (version imprimée)
ISBN-10 : 2-550-48410-X (version imprimée)
ISBN-13 : 978-2-550-48411-0 (PDF)
ISBN-10 : 2-550-48411-8 (PDF)

Titre et sous-titre du rapport Modèle exploratoire sur l'utilisation du réseau routier à l'échelle du Québec		N° du rapport Transports Québec RTQ-06-06	
		Date de publication du rapport (Année – Mois) 2006-11	
Titre du projet de recherche Développement méthodologique d'un modèle d'affectation de la demande routière sur le réseau supérieur pour l'ensemble du territoire québécois		N° du contrat (RRDD-AA-CCXX) S. O.	N° de projet ou dossier S. O.
Responsable de recherche André Babin	Date du début de la recherche Janvier 2004	Date de fin de la recherche Avril 2006	
Auteur(s) du rapport André Babin			
Chargé de projet, direction André Babin, direction de la planification		Coût total de l'étude S. O.	
Étude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme) Service de la modélisation des systèmes de transport Direction de la planification Direction générale des politiques et de la sécurité en transport Ministère des Transports		Étude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme) <i>Préciser DRE ou autre direction du MTQ</i> S. O.	
Problématique Connaître les flux routiers actuels et prévisibles est essentiel à la préparation des projets et des politiques de transport. Bien que le Ministère dispose depuis longtemps de modèles de transport pour ses grands centres urbains, il n'a aucun outil lui permettant de simuler les flux de la circulation interurbaine sur le réseau supérieur québécois selon une approche systémique et intégrée. Un tel outil constituerait un atout majeur pour faire face à ses besoins toujours plus pointus en matière d'analyse environnementale et économique.			
Objectifs L'étude vise à jeter les fondations, sur une base d'abord exploratoire, d'un modèle d'utilisation du réseau routier à l'échelle du Québec. Il fait appel à une modélisation explicite du chargement des réseaux (offre) à partir d'une estimation matricielle (origine-destination) de la demande en transport dérivée d'ensembles de données existants. Il tient compte de deux classes de véhicules – les automobiles et les camions – et il est orienté vers la représentation des volumes quotidiens de circulation, sans prise en considération des effets de la congestion.			
Méthodologie Le volet « offre » du modèle correspond à la version 3 du réseau modélisé multimodal du Québec (RMMQ), conçu par l'équipe de recherche, et intègre les données sur les comptages routiers et les limites de vitesse provenant respectivement des systèmes ministériels CIR et GLV. La « demande » en transport est dérivée des données de Statistique Canada sur le navettage, de l'Enquête routière nationale (1999) sur le camionnage, ainsi que des enquêtes origine-destination disponibles pour les régions urbaines de Montréal, Québec, Sherbrooke, Gatineau-Ottawa et Trois-Rivières. Un processus d'ajustement sur les comptages est appliqué à travers le processus d'affectation routière pour synthétiser les matrices de déplacements.			
Résultats et recommandations Malgré la simplicité relative de l'exercice, les résultats paraissent cohérents et vraisemblables. En particulier, l'exercice a permis d'établir un bilan sur les gaz à effet de serre (GES) qui se compare bien avec les estimations nationales disponibles. Plusieurs éléments méritent encore d'être examinés pour bonifier méthodologiquement le modèle (ex. : représentativité temporelle, découpage territorial, déplacements associés au tourisme et au commerce intérieur, etc.), lequel devra de toute façon être actualisé pour exploiter des données disponibles les plus récentes.			
Mots-clés Modèle de transport, réseau routier, affectation des déplacements, déplacements interurbains, GES.	Nombre de pages 133 pages	Nombre de références bibliographiques S. O.	Langue du document ☒ Français ☐ Anglais Autre (spécifier) :

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	11
2. LA REPRÉSENTATION DU RÉSEAU ROUTIER.....	13
2.1 Le réseau et le découpage territorial RMMQ	13
2.2 Les vitesses du système GLV	17
2.3 Les comptages routiers	20
3. DEMANDE DE TRANSPORT POUR LES VÉHICULES ROUTIERS	25
3.1 Données de navettage Lieu de domicile – Lieu de travail	25
3.2 Les enquêtes Origine-Destination régionales.....	35
3.3 Patron des déplacements automobiles pour motifs « Travail et Autre »	37
3.4 L'Enquête sur le camionnage de 1999	40
4. MODÈLE D'AJUSTEMENT ET D'AFFECTATION	43
4.1 Ajustement de la demande automobile pour motifs « Travail et Autre »	45
4.2 Estimation d'une demande automobile pour motif « Tourisme »	47
4.3 Affectation des camions sur le réseau routier.....	55
5. RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION.....	61
5.1 Données globales sur les déplacements.....	61
5.2 Véhicules simulés sur le réseau routier	68
5.3 Les véhicules-kilomètres dans la région de Montréal.....	76
5.4 Le bilan annuel des gaz à effet de serre (GES)	79
5.4.1 Méthode du kilométrage par tranche de vitesse.....	79
5.4.2 Méthode des taux moyens d'émission	84
6. CONCLUSION	87
ANNEXE A : MÉTADONNÉES RELATIVES AU RÉSEAU CODIFIÉ	93
ANNEXE B : MÉTADONNÉES RELATIVES AU DÉCOUPAGE ZONAL ...	105
ANNEXE C : L'APPROCHE PAR GRADIENT RELATIF POUR LE PROBLÈME D'AJUSTEMENT DE MATRICE O-D SUR LES CHEMINS LES PLUS COURTS	111
ANNEXE D : MÉTADONNÉES ASSOCIÉES AUX RÉSULTATS DE SIMULATION	123

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Distribution des liens directionnels du RMMQ_v3	16
Tableau 2	Vitesse par défaut (km/h) selon le milieu et la classe de route...	19
Tableau 3	Longueur (km) de liens routiers selon la classe de route et la source de données pour les vitesses.....	20
Tableau 4	Inventaire des liens selon la base d'estimation du débit journalier moyen annuel par direction.....	22
Tableau 5	Distribution mensuelle des comptages journaliers moyen directionnels.....	23
Tableau 6	Nombre d'observations expansionnées retenues, selon le mode de transport.....	30
Tableau 7	Nombre de déplacements automobiles quotidiens selon le motif, pour les enquêtes Origine-Destination régionales et selon la question LDR/LDT de Statistiques Canada.....	37
Tableau 8	Les déplacements automobiles quotidiens dont le motif est « Travail ou Autre » pour l'ensemble du territoire du Québec	39
Tableau 9	Origines et destinations, sur une base hebdomadaire, des déplacements de camions dont l'itinéraire passe sur le territoire québécois	41
Tableau 10	Catégorisation des déplacements automobiles quotidiens dont le motif est « Travail ou Autre » selon l'origine et la destination sur le territoire du Québec	51
Tableau 11	Nombre de véhicules selon le type au Canada en 2004	56
Tableau 12	Nombres de déplacements véhiculaires estimés par le modèle.	63
Tableau 13	Comparaison statistique des comptages et des volumes simulés pour les automobiles selon le type de route	68
Tableau 14	Comparaison statistique des comptages et des volumes simulés pour les camions selon le type de route	68
Tableau 15	Les indicateurs d'utilisation du réseau routier pour les automobiles et les camions; journée estimée de 2001	71
Tableau 16	Les vitesses moyennes (km/h) estimées sur le réseau routier...	72
Tableau 17	Comparaison des véhicules-km estimés par le MOTREM et le RMMQ pour la région de Montréal.....	78
Tableau 18	Véhicules-km interzonaux et taux d'émission de GES utilisés ...	80
Tableau 19	Véhicules-km et émissions de GES basées sur la vitesse	83
Tableau 20	Estimation des taux moyens d'émission de GES à partir des données canadiennes de 1995.....	85
Tableau 21	Véhicules-km et émissions de GES basés sur des taux moyens	85

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Différence de résolution du réseau entre les échelles régionale et nationale	14
Figure 2	Centroïdes et zones du découpage territorial pour le sud du Québec	15
Figure 3	Centroïdes et zones dans la région de Montréal	15
Figure 4	Liens routiers et services traversiers dans le RMMQ_v3.....	17
Figure 5	Calcul de distance et de vitesse sur un lien.....	18
Figure 6	Localisation des 2330 stations de comptages retenues du système CIR	21
Figure 7	Relation entre les comptages directionnels 24h et la moitié du DJMA	24
Figure 8	Découpage du Québec en SR et SDR de 2001	29
Figure 9	Découpage de la région de Montréal en SR et SDR de 2001	29
Figure 10	Découpage de territoire hors Québec en SDR de 1996	30
Figure 11	Découpages en SR, SDR et en zones du RMMQ pour la région de Montréal	32
Figure 12	Découpage en SDR de Statistiques Canada 1996 hors Québec (Ontario et provinces de l'Ouest) et correspondance avec les nœuds du RMMQ	33
Figure 13	Découpage en SDR de Statistiques Canada 1996 hors Québec (Nouveau-Brunswick et provinces maritimes) et correspondance avec les nœuds du RMMQ	34
Figure 14	Découpage des territoires des cinq enquêtes Origine-Destination régionales dans le système de zones du modèle RMMQ.....	36
Figure 15	Exemples de chemins les plus courts en temps	44
Figure 16	Comparaison des volumes simulés à partir de la demande initiale automobile et des comptages automobiles	45
Figure 17	Comparaison des volumes simulés à partir de la demande ajustée automobile et des comptages automobiles	46
Figure 18	Localisation des sites touristiques selon la base de données SDD du ministère du Tourisme.....	47
Figure 19	Répartition de la population 2001 par zone du RMMQ et seuils retenus.....	49
Figure 20	Répartition de l'attraction touristique 2003 par zone du RMMQ et seuils retenus.....	50
Figure 21	Comparaison des comptages résiduels positifs avec les volumes simulés ajustés des automobiles pour motif Tourisme. 53	
Figure 22	Comparaison entre les volumes simulés pour la demande automobile ajustée finale et les comptages automobiles.....	54
Figure 23	Répartition des volumes simulés automobiles finaux selon le motif par rapport aux comptages automobiles.....	55

Figure 24	Comparaison des comptages résiduels positifs camions avec les volumes simulés ajustés des autres camions	57
Figure 25	Comparaison entre les volumes simulés de camions et les comptages quotidiens de camions.....	58
Figure 26	Répartition des volumes simulés de camions selon la catégorie, par rapport aux comptages camions.....	59
Figure 27	Distribution géographique des déplacements intrazonaux automobiles	64
Figure 28	Distribution géographique des origines de déplacements interzonaux automobiles	65
Figure 29	Distribution du nombre de déplacements interzonaux automobiles selon la distance routière et selon le motif	65
Figure 30	Distribution en pourcentage des déplacements interzonaux automobiles selon la distance routière et selon le motif	66
Figure 31	Distribution du nombre de déplacements interzonaux automobiles selon la vitesse et selon le motif.....	66
Figure 32	Distribution en pourcentage du nombre de déplacements interzonaux automobiles selon la vitesse et selon le motif	67
Figure 33	Les volumes automobiles sur le réseau routier; jour moyen de 2001.....	73
Figure 34	Les volumes camions sur le réseau routier (1/10 de l'échelle des volumes automobiles); jour moyen de 2001	73
Figure 35	Distribution des auto-km selon le motif et la vitesse sur chaque lien	74
Figure 36	Répartition en pourcentage des auto-km selon le motif et la vitesse sur chaque lien	74
Figure 37	Répartition des véhicule-km selon la vitesse sur chaque lien et le type de véhicule	75
Figure 38	Répartition en pourcentage des véhicule-km selon la vitesse sur chaque lien et le type de véhicule.....	76
Figure 39	Le réseau routier modélisé dans le modèle régional de Montréal en superposition au réseau RMMQ	77
Figure 40	Couverture du territoire de la région de Montréal et extraction des liens du RMMQ	78

1. INTRODUCTION

De plus en plus, les différentes instances gouvernementales ont besoin, pour les exercices de planification des transports, de disposer de données structurées sur les flux de transport aux échelles interurbaine et nationale. Alors que le Ministère dispose déjà d'outils avancés et d'une solide expérience en matière de modélisation des transports urbains¹, le champ de la modélisation des flux routiers à l'échelle du territoire québécois demeure quant à lui largement en friche, compte tenu en particulier de la difficulté associée à la connaissance de la demande origine-destination à une telle échelle géographique.

Néanmoins, la connaissance des flux routiers actuels et prévisibles constitue un intrant fondamental au processus de préparation des projets de transport, autant sur le plan des études d'opportunité que sur celui de l'analyse conceptuelle des solutions et des études d'impacts environnementaux. La capacité de simuler, selon une approche systémique et intégrée, les flux de circulation attendus sur les nouveaux éléments envisagés pour le réseau n'existe pas actuellement au Ministère, en dehors des grands centres urbains.

Une autre catégorie de besoin concerne les macroanalyses de transport où des bilans doivent être estimés à l'échelle de l'ensemble du réseau stratégique du Ministère. On pense ici notamment aux évaluations énergétiques et environnementales, incluant la problématique spécifique des gaz à effet de serre (GES) et l'évaluation spatialisée de mesures qui en visent la réduction. D'autres analyses, à caractère cette fois économique, tireraient avantage d'une plateforme de modélisation intégrée des flux routiers, par exemple pour l'estimation de bilans de la consommation routière en termes de véhicules-kilomètres ou encore pour des analyses liées aux coûts de transport ou à l'évaluation de mécanismes de financement.

La mise sur pied d'un modèle de simulation des flux routiers à l'échelle panquébécoise répondrait donc à des besoins fort concrets, autant au sein du Ministère que chez ses partenaires gouvernementaux, mais elle constitue un défi méthodologique considérable dont l'aspect le plus important est lié à la rareté des données décrivant la demande en transport. Toutefois, l'existence de quelques banques de données offrant des éclairages fragmentaires sur la demande en transport ainsi que les progrès récents en matière de géomatique et de spatialisation de ces données nous ont permis d'envisager, sur une base exploratoire, la création d'un modèle sur l'utilisation du réseau routier pour l'ensemble du territoire du Québec.

¹ Voir le site Internet du Ministère pour un survol de ses pratiques en la matière : <http://www.mtq.gouv.qc.ca/fr/modes/modelisation/index.asp>

Ainsi, nous disposons de nombreux comptages de circulation, sur l'ensemble du territoire québécois, produits par le Ministère et emmagasinés par le système CIR-6002. Sur le plan de la demande en transport, nous disposons des données de recensement de Statistique Canada, et plus particulièrement celles issues des questions sur les déplacements entre les lieux de domicile et les lieux de travail. Nous disposons également d'enquêtes origine-destination régionales sur les déplacements de personnes au sein de nos cinq principales agglomérations urbaines : Montréal, Québec, Sherbrooke, Gatineau-Ottawa et Trois-Rivières.

En termes de représentation de l'offre de transport, nous disposons depuis peu du modèle RMMQ (réseau modélisé multimodal du Québec), lequel a été mis au point à l'interne et a permis déjà la production et la diffusion large de données de distances et temps routiers entre toutes les localités québécoises².

Ces composantes ont donc été mises à profit afin de concevoir, sur une base d'abord exploratoire, un modèle relativement simple sur l'utilisation du réseau routier à l'échelle du territoire du Québec. C'est ce modèle qui est présenté ici. Il fait appel à une approche de modélisation explicite du chargement des réseaux (offre) à partir d'une estimation matricielle (origine-destination) de la demande en transport. Il tient compte de deux classes de véhicules, les automobiles et les camions, et il est orienté vers la représentation des volumes quotidiens de circulation, sans prise en considération des effets de la congestion.

Le présent document décrira successivement les données et traitements ayant conduit à la modélisation de l'offre (chapitre 2) et de la demande (chapitre 3). La méthode d'affectation et d'ajustement des données de la demande sera ensuite présentée (chapitre 4), ainsi que les résultats généraux du modèle (chapitre 5) et leur validation sommaire (chapitre 6). La conclusion précisera les raffinements souhaitables et les prochaines étapes de notre démarche vers un modèle d'analyse panquébécois de l'utilisation du réseau routier.

² Voir : <http://www.mtg.gouv.qc.ca/fr/information/distances/index.asp>

2. LA REPRÉSENTATION DU RÉSEAU ROUTIER

Tout modèle de simulation des déplacements sur les réseaux de transport repose d'abord sur une représentation de l'offre de transport et du territoire à l'étude. Diverses données viennent ensuite caractériser le réseau routier ainsi que son utilisation.

Le ministère des Transports dispose depuis peu d'un modèle décrivant, à l'échelle panquébécoise, le réseau routier supérieur. Ce modèle, appelé RMMQ – réseau modélisé multimodal du Québec – et maintenant dans sa version 3³, a été mis au point à l'interne et a permis déjà la production et la diffusion large de données portant sur les distances et les temps routiers entre toutes les localités québécoises⁴.

Le modèle RMMQ repose sur un découpage territorial complet du Québec à l'échelle municipale, et même inframunicipale dans les grandes agglomérations. La caractérisation des liens du réseau routier s'alimente principalement de trois systèmes ministériels. La codification géométrique du réseau routier repose d'abord sur le système BGR-6025 (base géographique routière) qui inventorie l'ensemble des routes du Québec. Le modèle intègre ensuite les limites de vitesse consignées au système GLV-6014 (gestion des limites de vitesse) pour caractériser les liens routiers et exploite exhaustivement les données de comptage issues du système CIR-6002 (information sur la circulation routière) pour dégager le portrait statistique de l'utilisation du réseau.

Ce chapitre décrit les diverses constituantes du modèle d'offre routière associées au RMMQ.

2.1 Le réseau et le découpage territorial RMMQ

Le réseau modélisé multimodal du Québec, le RMMQ, vise, à terme, la représentation de l'ensemble des réseaux supérieurs de transport sur tout le territoire québécois, incluant au premier chef le réseau stratégique national. Dans sa troisième version, le RMMQ intègre toutes les composantes routières ainsi que les traversiers. Les réseaux ferroviaire, maritime et aérien seront intégrés dans des versions ultérieures.

³ RMMQ v3, édition de mai 2004.

⁴ Voir : <http://www.mtg.gouv.qc.ca/fr/information/distances/index.asp>

Comme dans tout modèle de transport, les réseaux sont codifiés sous forme de nœuds représentant les intersections et de liens (arcs) directionnels représentant les segments routiers. Compte tenu du contexte d'utilisation de ce modèle et de sa grande couverture géographique, le réseau demeure jusqu'à un certain point schématique. Ainsi, les échangeurs autoroutiers n'y sont représentés que par un nœud (voir figure 1).

Ce modèle comprend non seulement le réseau routier et les traversiers, mais également un découpage géographique du territoire du Québec. Chaque zone de ce découpage représente une municipalité, sauf en milieu urbain où les plus grosses municipalités sont découpées en quartiers ou arrondissements. Chaque zone est connectée au réseau à partir d'un nœud qui en représente le centroïde; il s'agit du point central de gravité du bassin démographique de la zone.

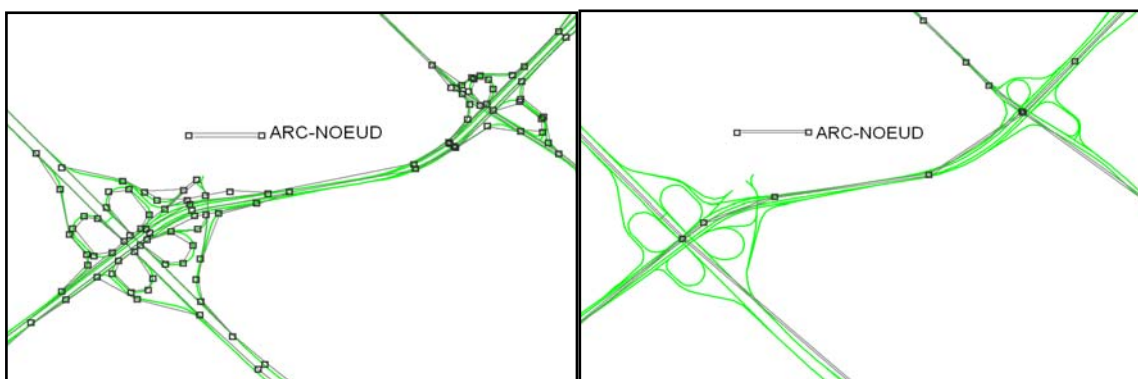


Figure 1 Différence de résolution du réseau entre les échelles régionale et nationale

La figure 2 montre le découpage du territoire du Québec en zones ainsi que les centroïdes qui y sont associés (les points). La figure 3 montre le même découpage, agrandi pour la région de Montréal; on constate que les grandes municipalités comme Montréal, Laval et Longueuil sont découpées en quartiers ou arrondissements.

Mentionnons que le découpage du territoire du Québec est une structure en mosaïque qui englobe non seulement ses portions terrestres, mais également les grands plans d'eau qui en font partie. Des 1642 zones découpant le territoire du Québec, il y a 58 zones qui représentent les grands plans d'eau et totalisent 158 201 km². La surface terrestre des 1584 autres zones représente 1 552 652 km². Parmi ces zones, 1545 sont accessibles par réseau routier ou traversier; elles couvrent une surface d'environ 899 000 km², incluant le territoire desservi de la baie James.

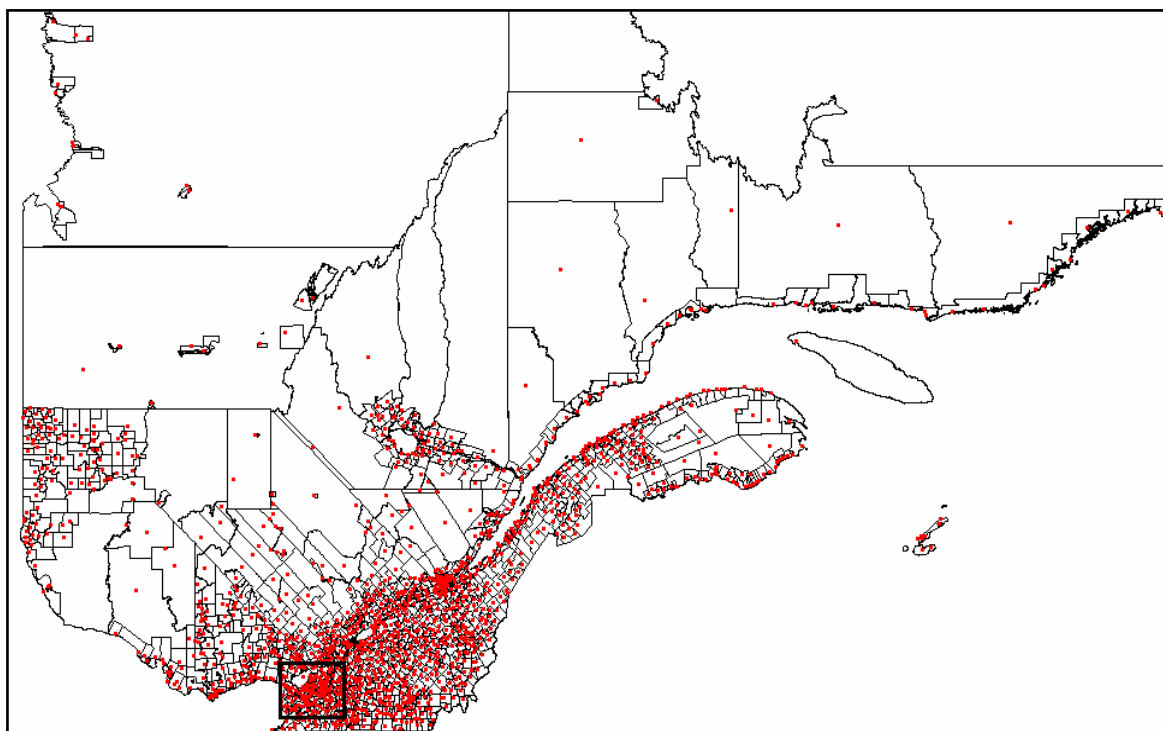


Figure 2 Centroïdes et zones du découpage territorial pour le sud du Québec

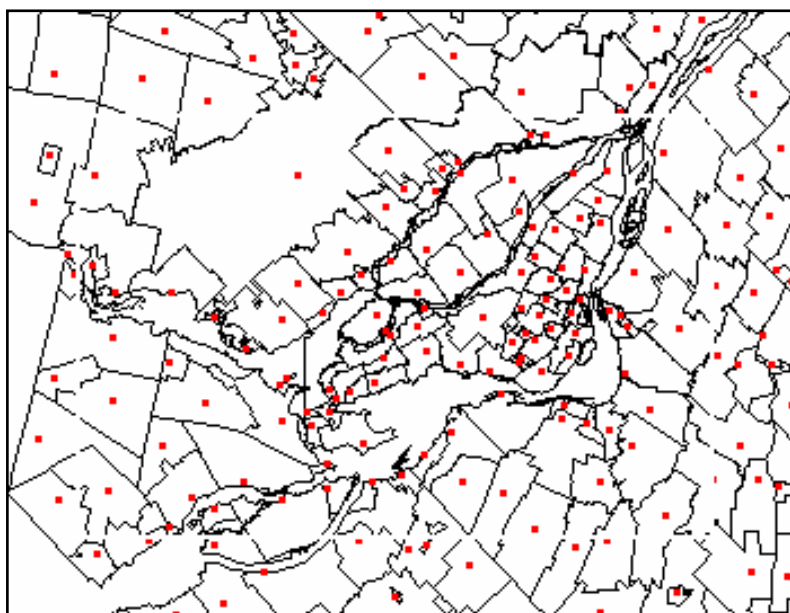


Figure 3 Centroïdes et zones dans la région de Montréal

Les centroïdes sont reliés au réseau routier au moyen de liens d'accès appelés « connecteurs ». Le réseau RMMQ v3 compte 31 590 nœuds dont 1624 centroïdes parmi lesquels 1545 sont reliés au réseau routier par des liens d'accès.

La distribution des 77 198 liens directionnels, selon leur classe fonctionnelle, est présentée au tableau 1. Signalons que la longueur de réseau donnée ici est directionnelle. Comme les liens du RMMQ sont, par convention, bidirectionnels, on peut estimer que le réseau codifié représente environ 69 700 km de réseau bidirectionnel.

Tableau 1 Distribution des liens directionnels du RMMQ_v3

Type de lien	Nombre de liens	Longueur km
Autoroute	2 564	4 345
Route nationale	9 688	19 354
Route régionale	7 468	12 240
Route collectrice	9 810	15 601
Route locale	41 440	68 846
Chemin forestier	2 648	13 976
Traversier	206	2 998
Connecteur	3 374	2 025
Total	77 198	139 386

La figure 4 montre la densité du réseau codifié pour la partie sud du Québec; on y voit en bleu les trajets des traversiers.

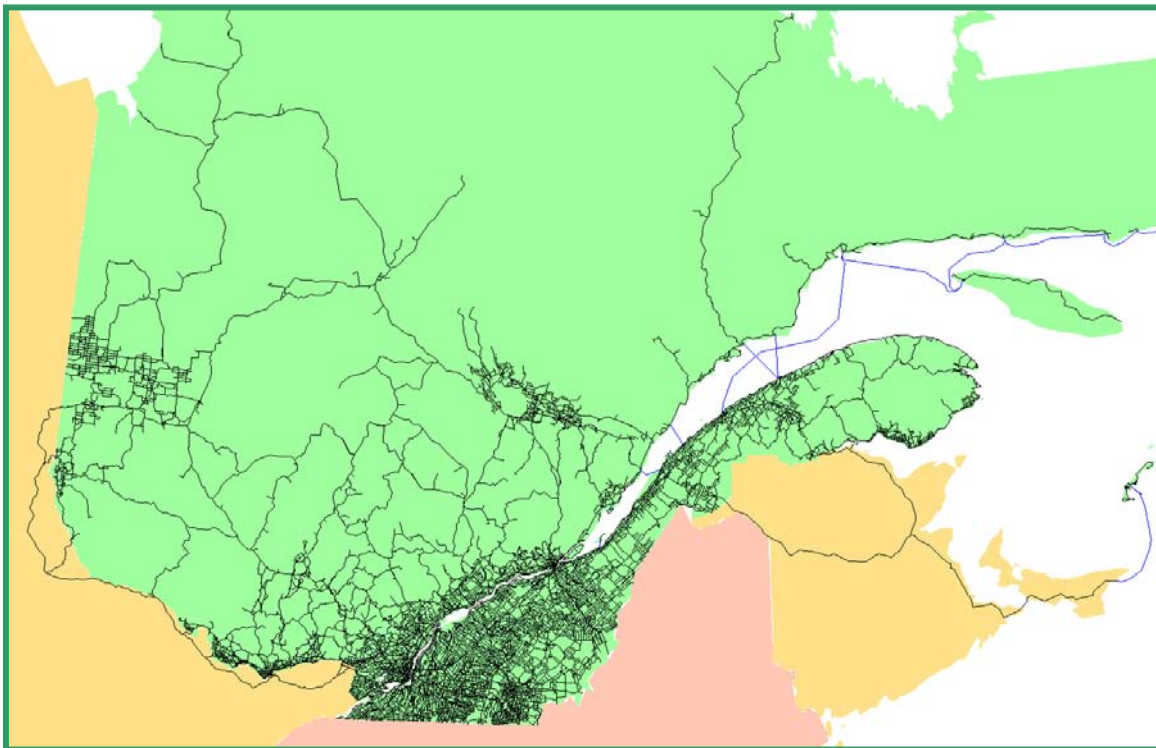


Figure 4 Liens routiers et services traversiers dans le RMMQ_v3

On trouvera aux annexes A et B une description détaillée des métadonnées ainsi que plusieurs informations complémentaires concernant respectivement le réseau codifié et le découpage territorial du RMMQ v3.

2.2 Les vitesses du système GLV

Les vitesses sur les liens routiers du RMMQ v3 sont tirées pour la plupart des limites de vitesse consignées au système GLV-6014 du ministère des Transports. Pour les chemins forestiers, les données de vitesse proviennent du ministère des Ressources naturelles (MRN).

L'extraction des limites de vitesse du système GLV-6014 a été faite le 5 juin 2003. Un segment de route avec une limite de vitesse est défini par un marqueur RTSC (route-tronçon-section-chaînage) de début, un marqueur RTSC de fin et par la valeur de cette vitesse.

Puisque, pour la plupart des liens directionnels du RMMQ, il existe une équivalence avec la BGR sous forme de RTSC-début, RTSC-fin et direction (1 = sens du chaînage des RTS, 2 = sens inverse), il est possible d'en dériver une vitesse pondérée applicable, connaissant les longueurs de chaque RTS. La figure 5 présente les principales notions qui conduisent à ce calcul.

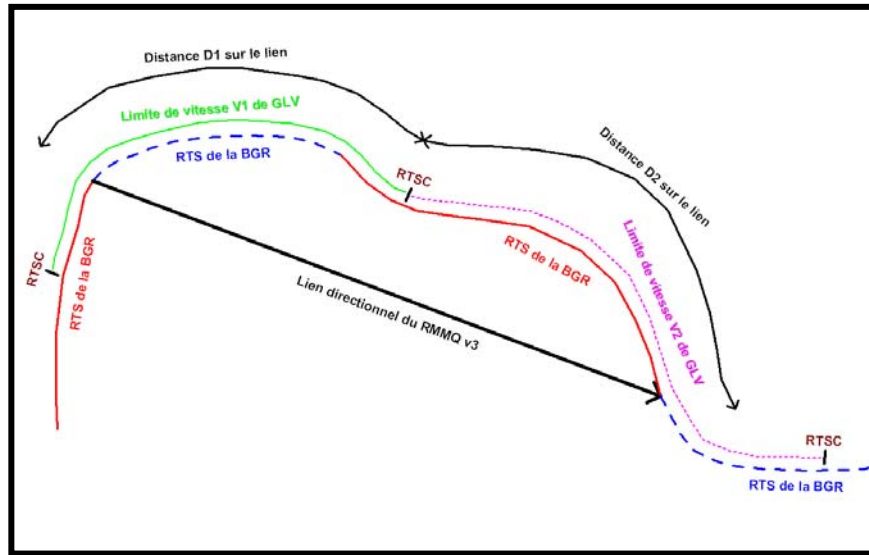


Figure 5 Calcul de distance et de vitesse sur un lien

En obtenant la série de limites de vitesse ainsi que les distances associées pour le parcours d'un lien directionnel du RMMQ – il n'y a souvent qu'une seule limite de vitesse – on peut évaluer la vitesse résultante sur le lien. Posons n le nombre de segments avec limites de vitesse connues, avec V_i et D_i respectivement la limite de vitesse en km/h et la distance correspondante en km pour $i = 1, n$.

Nous avons par construction que :

$$\sum_{i=1}^n D_i = \text{la longueur de parcours sur le lien du RMMQ v3.}$$

Alors V , la vitesse résultante sur le lien, est :

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{\sum_{i=1}^n \frac{D_i}{V_i}}$$

Il appert que si $n = 1$, alors on a $V = V_1$.

Dans le cas des chemins forestiers, on a utilisé les vitesses du MRN – selon les données fournies en janvier 2004 – lorsque cela était possible. Dans de rares cas, on a obtenu pour certaines routes municipales les limites de vitesse directement de la part des municipalités.

Finalement, dans les cas où nous ne pouvions disposer des vitesses, il a fallu les estimer. Une série de valeurs par défaut ont été établies selon la classe fonctionnelle du lien et le type de milieu où il se situe, tel qu'il est résumé au tableau 2. Les différents milieux urbains sont qualifiés ici selon une cote allant de 1 à 6, selon qu'il s'agit d'un milieu très dense, où les frictions sont nombreuses, ou d'un milieu très peu dense où les interférences avec les abords routiers sont minimales⁵.

Puisque chaque lien du réseau a été caractérisé quant à ses proportions dans chacun des types de milieu⁶, nous pouvons, sur la base de vitesses par défaut (voir tableau 3.4), évaluer la vitesse sur le lien.

Tableau 2 Vitese par défaut (km/h) selon le milieu et la classe de route

	Zone urbaine 1	Zone urbaine 2	Zone urbaine 3	Zone urbaine 4	Zone urbaine 5	Zone urbaine 6	En région
Autoroute	70	80	90	90	100	100	100
Nationale	60	60	60	70	80	85	90
Régionale	55	60	60	70	75	80	90
Collectrice	55	55	55	60	70	75	80
Locale	50	50	50	60	70	75	75
Forestière	50	50	50	50	60	70	70
Accès	10	15	20	20	25	30	30

Il est à noter que tous les liens d'accès (attribut du lien TYP = 99) ont une vitesse par défaut calculée selon la précédente méthode. Le tableau 3 résume, pour l'ensemble des liens routiers du RMMQ v3, les sources utilisées pour codifier les vitesses utilisées ensuite pour la modélisation des temps de parcours.

⁵ Voir l'annexe A pour plus de détails.

⁶ La proportion de la longueur du lien sous chacune des six densités urbaines est notée par les variables pzurb1 à pzurb6. La proportion du lien en milieu « région » se calcule donc ainsi : $1 - (pzurb1 + pzurb2 + pzurb3 + pzurb4 + pzurb5 + pzurb6)$.

Tableau 3 Longueur (km) de liens routiers selon la classe de route et la source de données pour les vitesses

	Municipalités	GLV	MRN	Défaut	Total
Autoroute		3 936		409	4 345
Nationale		16 669		2 685	19 354
Régionale	12	10 832		1 396	12 240
Collectrice		14 841		761	15 601
Locale	537	428	1 299	66 582	68 846
Forestière		3 092	5 322	5 561	13 976
Accès				2 025	2 025
Total	549	49 797	6 621	79 420	136 388

2.3 Les comptages routiers

Un attribut fondamental des liens, dans le contexte du présent exercice, est la mesure statique de leur utilisation en termes de débit routier. C'est cette mesure que nous tenterons de reproduire à l'aide d'une matrice synthétique de demande entre les paires de zones origine-destination. Un ensemble de comptages de volumes horaires, avec les statistiques associées, a été extrait du système ministériel CIR-6002 le 10 mars 2003.

Le fichier des comptages horaires extraits a une taille d'environ 400 Mo. Les comptages sont associés à des stations de collecte avec une indication sur la direction de la route pour laquelle le comptage est effectué. Cette direction fait référence au système de représentation géomatique des routes (BGR, version de janvier 2003) selon la notion de route-tronçon-section (RTS) où la direction 1 est celle du sens de chaînage de la polyligne et la direction 2 en est le sens inverse.

Chaque station de comptage est localisée sur un marqueur RTSC (route-tronçon-section-chaînage) où le chaînage est la longueur à parcourir à partir du début de la polyligne dans le sens du chaînage de celle-ci. En mettant en relation ces données avec des informations sur les liens du RMMQ v3, on peut associer les comptages journaliers moyens de véhicules, par mois, sur un bon nombre de liens.

Dans la présente exploration, seules sont considérées les années 2000, 2001 et 2002 pour lesquelles les extractions de volumes de véhicules portaient sur chaque jour de comptage complet. On s'en est tenu ici à ces seules années compte tenu que les estimations de la demande reposeront en grande partie sur des données issues du Recensement de 2001. Des moyennes de débits journaliers par direction et par mois ont ainsi été compilées.

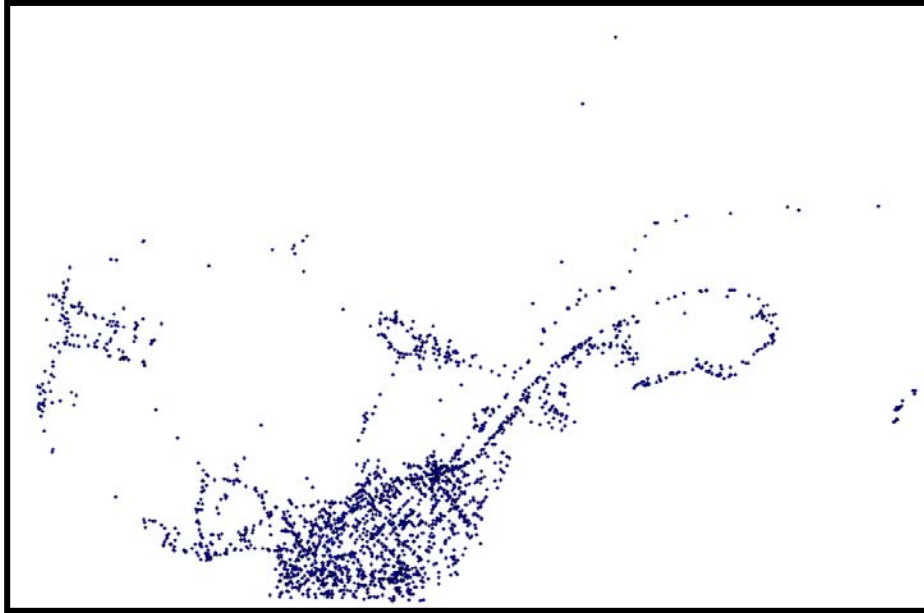


Figure 6 Localisation des 2330 stations de comptages retenues du système CIR

La moyenne de ces 12 débits journaliers – un par mois – a ensuite été utilisée comme estimateur du débit journalier moyen de véhicules par direction de circulation, sur la base annuelle. Nous disposons ainsi de 4659 comptages directionnels de véhicules représentatifs d'une journée moyenne des années 2000 à 2002, dont le tableau 4 résume la base d'estimation.

Le tableau 5 montre la répartition des comptages journaliers mensuels disponibles selon le mois de l'année. On voit une forte concentration de ces relevés durant les mois estivaux. On calcule néanmoins, aux fins du présent exercice exploratoire, le comptage de référence annuel de chaque lien comme étant la moyenne des comptages mensuels disponibles. C'est donc dire qu'en moyenne un comptage journalier annuel pour un lien repose sur seulement 2,4 mois de relevés (11 326/4659). Ceci introduit certainement un biais, mais il demeure difficile à contourner à ce stade-ci de la démarche exploratoire.

Signalons par ailleurs que l'hypothèse d'utiliser intégralement les données de DJMA – débits journaliers moyens annuels – déjà produites et diffusées par le MTQ a dû être écartée, du moins à cette étape-ci, car notre exercice se doit de différencier les flux selon les directions de circulation. La figure 7 montre la relation entre les comptages directionnels retenus sur chacun des liens routiers avec la valeur correspondant à 50 % du DJMA pour le même élément routier. Bien qu'une forte corrélation soit évidente entre les deux estimateurs, il demeure un nombre significatif de liens pour lesquels des différences importantes apparaissent. Une recherche plus poussée ainsi que des traitements appropriés seraient nécessaires avant d'exploiter directement les données de DJMA.

Tableau 4 Inventaire des liens selon la base d'estimation du débit journalier moyen annuel par direction

Nombre de mois avec comptage	Année 2000	Année 2001	Année 2002	Total
1	341	463	446	1 250
2	759	946	900	2 605
3	151	122	157	430
4	16	8	42	66
5	9	14	5	28
6	2	0	6	8
7	8	2	4	14
8	0	6	0	6
9	0	2	0	2
10	5	2	2	9
11	2	1	4	7
12	33	50	151	234
Total	1 326	1 616	1 717	4 659

Le fichier de certaines statistiques associées aux stations de comptage est également extrait du système CIR-6002, en particulier le pourcentage de camions : PVEHLO. Ce taux moyen de camions sur l'ensemble des véhicules n'est pas directionnel et est fourni sur une base annuelle.

En posant que le comptage des véhicules 24 heures d'un jour moyen de l'année est la variable COMPTE, alors nous déduisons que :

Automobiles 24 h = COMPTE * (100 % - PVEHLO)

Camions 24 h = COMPTE * PVEHLO

On aurait pu n'extraire que les comptages classifiés et obtenir directement des volumes d'autos et de camions. Cependant, le nombre de comptages classifiés n'est pas très élevé et on aurait eu très peu de comptages par rapport aux 4659 comptages directionnels de véhicules disponibles. Par ailleurs, les comptages non classifiés se font souvent sur une plus longue période de temps, nous permettant d'avoir des moyennes sur 24 heures plus élevées. On a donc préféré exploiter des comptages globaux de véhicules et leur appliquer une statistique sur le pourcentage de camions.

Tableau 5 Distribution mensuelle des comptages journaliers moyen directionnels

Mois	N ^{bre} comptages 24 h moyens
Janvier	266
Février	264
Mars	281
Avril	577
Mai	1 378
Juin	1 615
Juillet	1 396
Août	1 725
Septembre	1 643
Octobre	1 279
Novembre	607
Décembre	295
Total	11 326

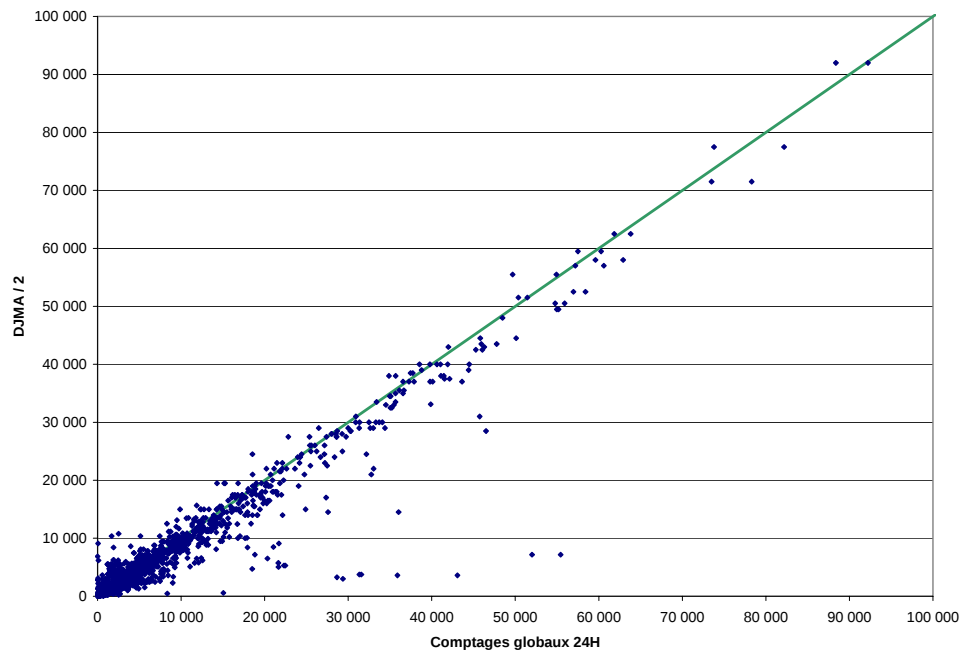


Figure 7 Relation entre les comptages directionnels 24h et la moitié du DJMA

3. DEMANDE DE TRANSPORT POUR LES VÉHICULES ROUTIERS

Si les comptages de circulation fournissent un portrait très factuel des flux sur les réseaux, cela n'est pas suffisant pour soutenir des analyses de planification où doivent être évalués des projets de nouvelles infrastructures ou encore des mesures visant à agir sur la demande. Il faut pour cela connaître les points d'origine et de destination des déplacements observés ainsi que certaines caractéristiques de ceux-ci, dont, en plus du mode utilisé et de l'heure de passage, leur motif. Cet élément devient crucial dans les analyses économiques où il faut distinguer les déplacements discrétionnaires des personnes des déplacements à valeur économique élevée comme ceux associés aux activités de travail, de commerce et d'affaires.

Les modèles de simulation des flux de transport emploient une représentation de la demande en transport basée sur des tableaux matriciels où les déplacements sont comptabilisés par paires origine-destination; c'est ce qu'on appelle des « matrices O-D ». Dans la présente application, les origines et destinations correspondent aux zones municipales et inframunicipales décrites à la section 2.1.

Le problème qui nous occupe ici consiste à estimer les matrices de demande à partir d'informations partielles sur les patrons de déplacements. Deux sources principales de données sont mises à contribution : les données de navettage issues du recensement et les données de déplacements issues des enquêtes origine-destination régionales réalisées dans chacune des cinq grandes régions urbaines du Québec.

3.1 Données de navettage *Lieu de domicile – Lieu de travail*

Le Ministère dispose, à travers un consortium d'achat de données associées au lieu de travail⁷, d'une banque de données spécialisée dérivée du Recensement de 2001 de Statistique Canada. En particulier, cette banque comporte des tableaux comptabilisant, sous forme de matrice O-D, les associations entre les lieux de résidence et les lieux de travail (LDR/LDT)⁸ pour un échantillon de 20 % des personnes recensées⁹. Il s'agit d'une information sommaire caractérisant le lieu habituel de travail au moment du recensement, ainsi que le mode de transport usuel pour accomplir le déplacement de navettage, le cas échéant.

⁷ Consortium québécois de données sur le lieu de travail [MTQ-MAMR-ISQ], Recensement 2001, Statistique Canada.

⁸ On s'y réfère régulièrement en anglais par l'acronyme POR/POW (*Place of Residence/Place of Work*).

⁹ On fait état ici des données échantillon tirées des « questionnaires longs » du recensement, remplis par un ménage sur cinq.

La banque de données contient un référencement géographique de ces lieux selon différents niveaux de détail géographique. Au premier chef on trouve les régions métropolitaines de recensement (RMR) et les agglomérations de recensement (AR), puis viennent les subdivisions de recensement (SDR), correspondant aux municipalités de 2001, et finalement les secteurs de recensement (SR). Une des difficultés réside dans le fait qu'à l'intérieur des RMR et des AR les SR sont des entités géographiques normalement plus fines que les SDR, alors qu'à l'extérieur des RMR et des AR c'est l'inverse.

On a procédé à l'extraction des cas où soit le domicile soit le lieu de travail (ou les deux) est localisé dans la province du Québec.

De cette extraction, un traitement particulier a été fait pour isoler les cas où le domicile ou bien le lieu de travail est localisé dans la partie ontarienne du territoire d'enquête origine-destination de l'Outaouais, c'est-à-dire dans l'agglomération d'Ottawa. On verra plus loin qu'une autre source de données est utilisée dans les régions urbaines.

Les cas improbables où le domicile est dans une province de l'Atlantique alors que le lieu de travail est dans une province à l'ouest du Québec – ou bien l'inverse, c.-à-d. le domicile à l'ouest du Québec et le lieu de travail dans une province de l'Atlantique – n'étaient pas documentés dans les tableaux qui nous ont été rendus disponibles et n'ont donc pas été pris en considération. Il s'agit de cas théoriques et certainement très marginaux qui feraient appel à des déplacements de longue distance qui traverseraient tout le territoire du Québec.

Les informations se présentent sous différents niveaux de précision géographique, compte tenu de l'application des règles d'arrondissement aléatoire de Statistique Canada¹⁰. Ainsi, une observation constituée d'une paire domicile-lieu de travail va se trouver dans plusieurs niveaux de compilation, parmi tous les niveaux possibles :

- RMR/RMR
- RMR/AR et AR/RMR
- RMR/SDR et SDR/RMR
- RMR/SR et SR/RMR
- AR/SDR et SDR/AR
- AR/SR et SR/AR
- SDR/SDR
- SR/SR
- SDR/SR et SR/SDR

¹⁰ Ainsi, les données sur le lieu de travail comportent non seulement une pondération (décompte des ménages x poids des ménages), mais aussi un arrondissement aléatoire à un des nombres entiers voisins finissant par 0 ou 5.

Le choix du niveau de résolution géographique se fait selon la règle suivante :

- lorsque le domicile est à l'intérieur d'une RMR ou d'une AR, on prend son SR, sinon on prend son SDR;
- lorsque le lieu de travail est à l'intérieur d'une RMR ou d'une AR, on prend son SR, sinon on prend son SDR.

On se trouve donc à la fin avec une compilation de paires domicile-lieu de travail selon la combinaison offrant le maximum de précision géographique parmi les suivantes :

- SDR/SDR
- SR/SR
- SDR/SR ou SR/SDR

Il faut toutefois reconnaître que cette stratégie de recherche de précision géographique a comme pendant l'introduction d'une marge d'erreur qui peut devenir importante sur les quantités de déplacement estimées, à cause de l'effet d'arrondi qui devient prédominant et même perturbateur dans le cas des petits nombres. Différentes techniques permettraient de minimiser cet inconvénient dans une version ultérieure du modèle, notamment en exploitant des compilations spéciales du recensement basées sur les zones de planification (ZP) établies par le consortium d'achat.

Le territoire du Québec est donc découpé en un système alliant des SR – à l'intérieur des RMR et des AR – et des SDR – dans les autres cas. Les figures 8 et 9 montrent ce découpage où les régions en rouge sont les territoires des RMR et des AR – découpage en SR – et les régions en vert sont découpées selon les SDR. Signalons que, sur le territoire du Québec, les SR et SDR sont définis sur la base du Recensement de 2001, alors que les SDR hors Québec le sont sur celle de Statistique Canada 1996 (figure 10).

Les observations retenues pour une paire domicile-lieu de travail sont classifiées selon les principaux modes de transport utilisés. Nous avons considéré les données de la table suivante de Statistique Canada : « Navettage-Subdivisions de recensement : mode de transport (9) pour la population active occupée de 15 ans et plus ayant un lieu habituel de travail, Recensement de 2001 - données-échantillon (20 %) »¹¹.

¹¹ Il s'agit plus précisément des fichiers suivants de Statistique Canada : QC-T14A.ivt, QC-T14B.ivt et QC-T14C.ivt.

Le tableau 6 résume le nombre d'observations étendues, selon le mode de transport, aux cas où le domicile ou le lieu de travail est localisé sur le territoire du Québec ou dans la région d'Ottawa, territoire de l'enquête origine-destination 1995.

Pour le présent exercice, on ne retiendra que les déplacements faits sous l'un des modes assimilables à la présence sur le réseau routier d'un véhicule particulier, soit : conducteur d'un véhicule motorisé, passager d'un taxi et conducteur d'une motocyclette. Les déplacements de passagers sont tenus à l'écart, car seuls les conducteurs « génèrent » la présence d'un véhicule, lequel on ne veut compter qu'une fois.

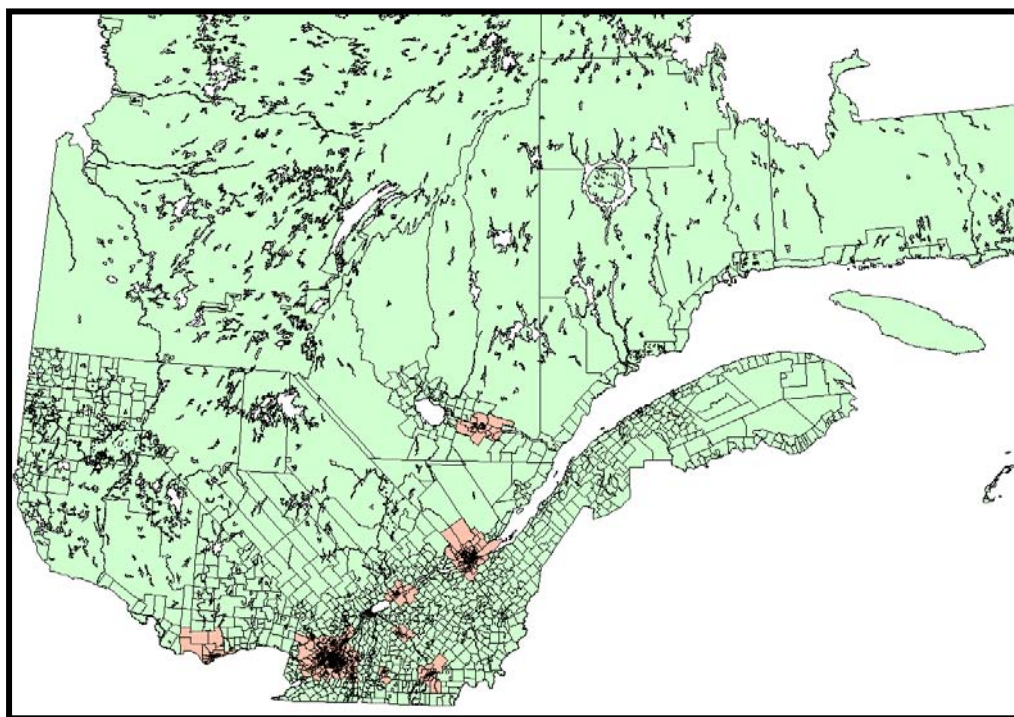


Figure 8 Découpage du Québec en SR (rouge) et SDR (vert) de 2001

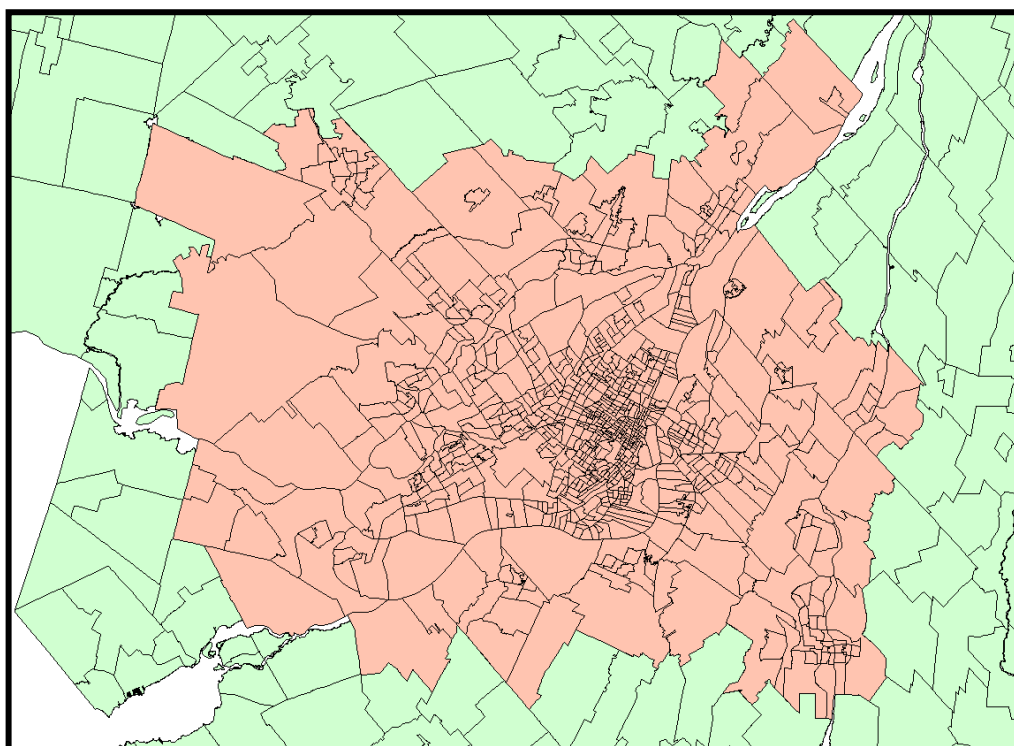


Figure 9 Découpage de la région de Montréal en SR (rouge) et SDR (vert) de 2001

Tableau 6 Nombre d'observations expansionnées retenues, selon le mode de transport

Mode de transport	Nombre d'observations
Conducteur de véhicule automobile	2 419 605
Passager d'automobile	190 740
Passager en transport en commun	488 550
Conducteur de motocyclette	3 210
Passager de taxi	5 515
Autre ¹²	14 660
TOTAL	3 122 280

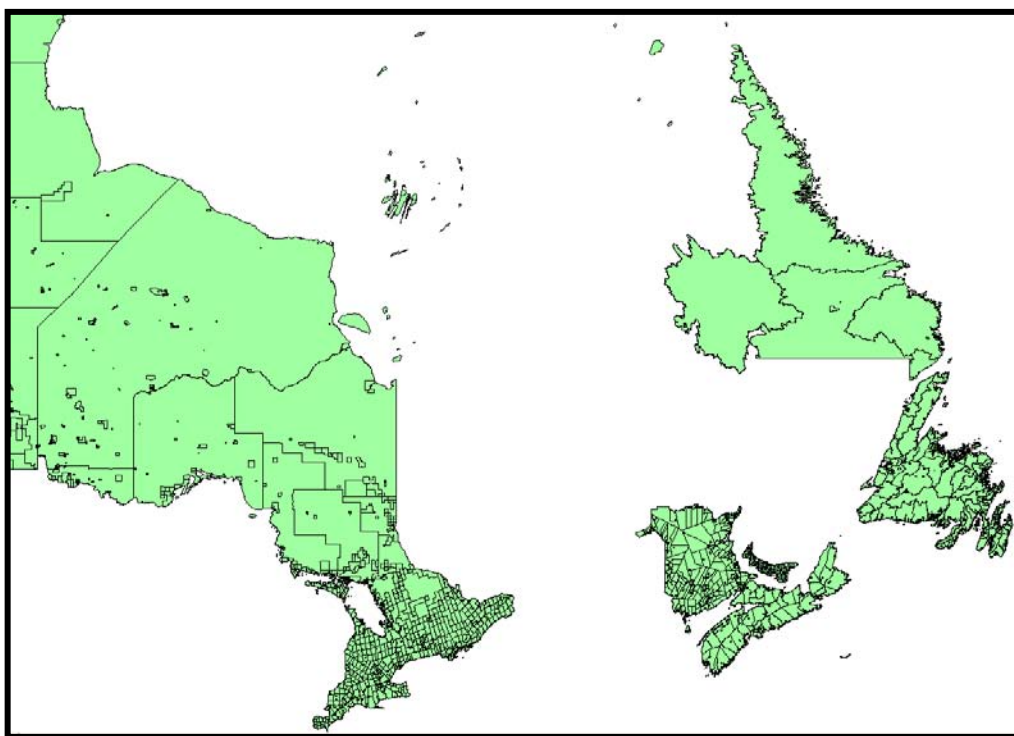


Figure 10 Découpage du territoire hors Québec en SDR de 1996

¹² Selon la définition de Statistique Canada, cela exclut la bicyclette et la marche.

Nous allons supposer, sur une base d'analyse journalière (24 heures), que chaque navette domicile-travail représente deux déplacements de véhicules automobiles :

- un déplacement du domicile vers le lieu de travail; et
- un deuxième déplacement (retour) du lieu de travail vers le domicile.

Voilà qui va définir les déplacements automobiles quotidiens pour motif Travail, associés aux questions LDR/LDT du Recensement de 2001 de Statistique Canada.

On obtient ainsi en tout 4 856 660 déplacements de véhicules automobiles, pour motif Travail ou pour retour du lieu de travail au domicile, sur une base quotidienne, dont 4 428 100 ont pour origine ou pour destination le territoire du Québec. Il reste donc 428 560 déplacements réalisés complètement hors du territoire québécois, plus particulièrement dans la partie ontarienne du territoire de l'enquête origine-destination 1995 de Hull-Ottawa¹³. Cette information sera mise plus loin en relation avec les résultats de l'enquête O-D urbaine.

Nous avons établi une correspondance entre les SR/SDR du territoire du Québec avec le découpage territorial définissant le RMMQ v3. Les SDR hors Québec sont mis en correspondance avec quelques nœuds du réseau situés aux limites du territoire du Québec. La figure 11 illustre le découpage de la région de Montréal selon, en rose, les SR de Statistique Canada (2001) et en vert les municipalités périphériques (SDR); les traits bleus correspondent aux zones du RMMQ.

¹³ Depuis la réorganisation municipale de janvier 2001, il faut parler de la région de Gatineau-Ottawa.

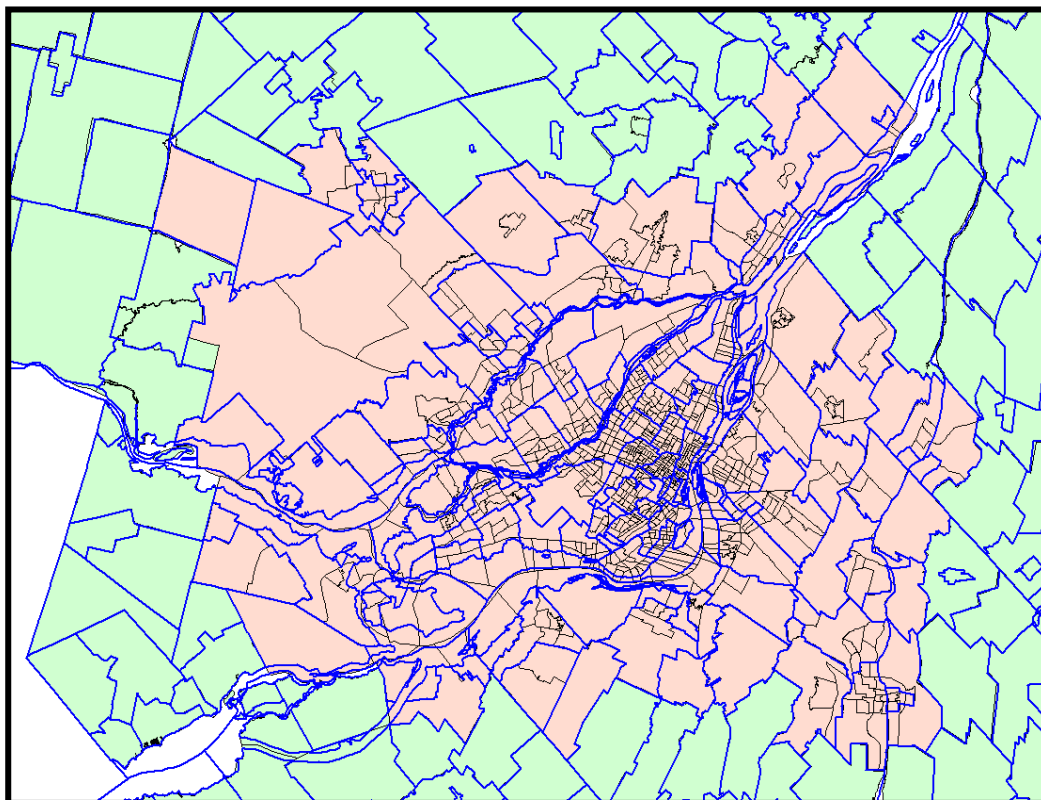


Figure 11 Découpage en SR (rose), SDR (vert) et en zones du RMMQ (bleu) pour la région de Montréal

De façon générale, nous pouvons dire qu'en région le découpage en SDR est équivalent au découpage des zones du RMMQ. Dans les grandes agglomérations urbaines, en termes géographiques, le découpage du RMMQ se situe entre le découpage en SR (plus précis) et le découpage en SDR (plus agrégé).

Les figures 12 et 13 montrent la correspondance entre les SDR hors Québec et certains nœuds du réseau RMMQ; ceux-ci, marqués d'un carré gris foncé, s'associent à des bassins de SDR. La plupart de ces nœuds se trouvent sur des routes côtoyant les frontières du Québec, qui sont aussi utilisées pour se déplacer entre des localités québécoises.

La figure 12 montre les tronçons de routes de l'Ontario qui ont été retenus, notamment les routes numérotées 11 (140 km), 17 (330 km), 34, 58, 63 (50 km), 65, 66, 417 (150 km), 624 et 653. Ce sont donc les nœuds localisés sur ces routes qui sont associés aux SDR hors Québec pour l'Ontario et les provinces de l'Ouest.

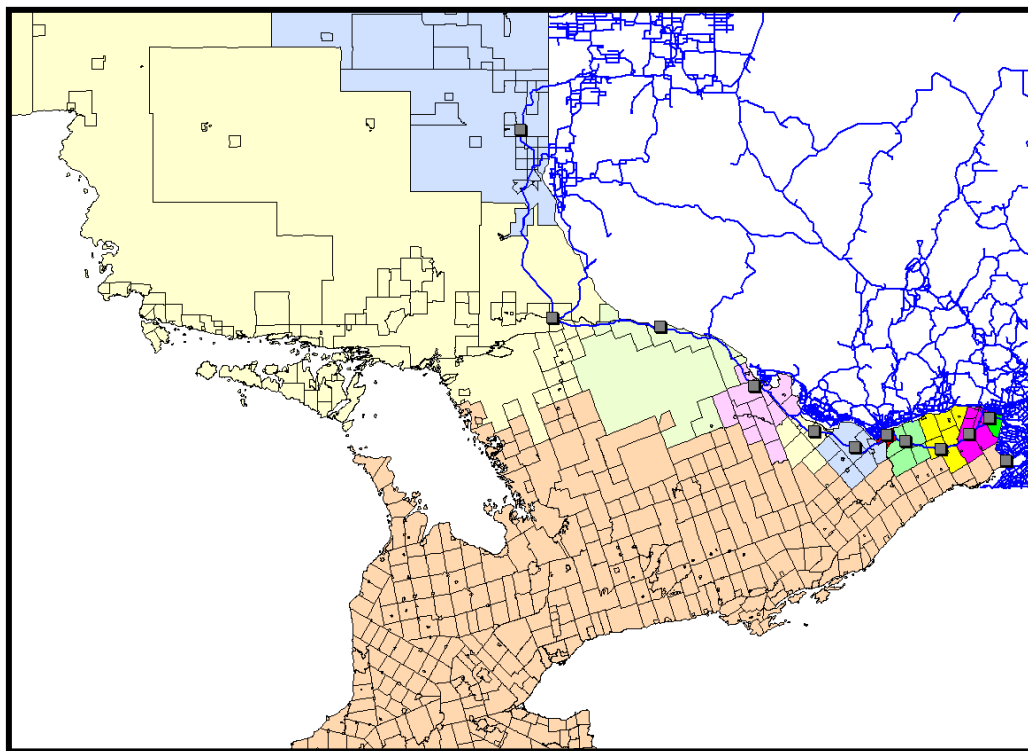


Figure 12 Découpage en SDR de Statistiques Canada 1996 hors Québec (Ontario et provinces de l'Ouest) et correspondance avec les nœuds du RMMQ

La figure 13 montre la même chose pour les provinces de l'Atlantique, notamment les routes numérotées 2 (75 km), 8, 11 (300 km), 15, 16, 108 (150 km) et 134 pour le Nouveau-Brunswick ainsi que la route numérotée 1 (75 km) pour l'Île-du-Prince-Édouard.

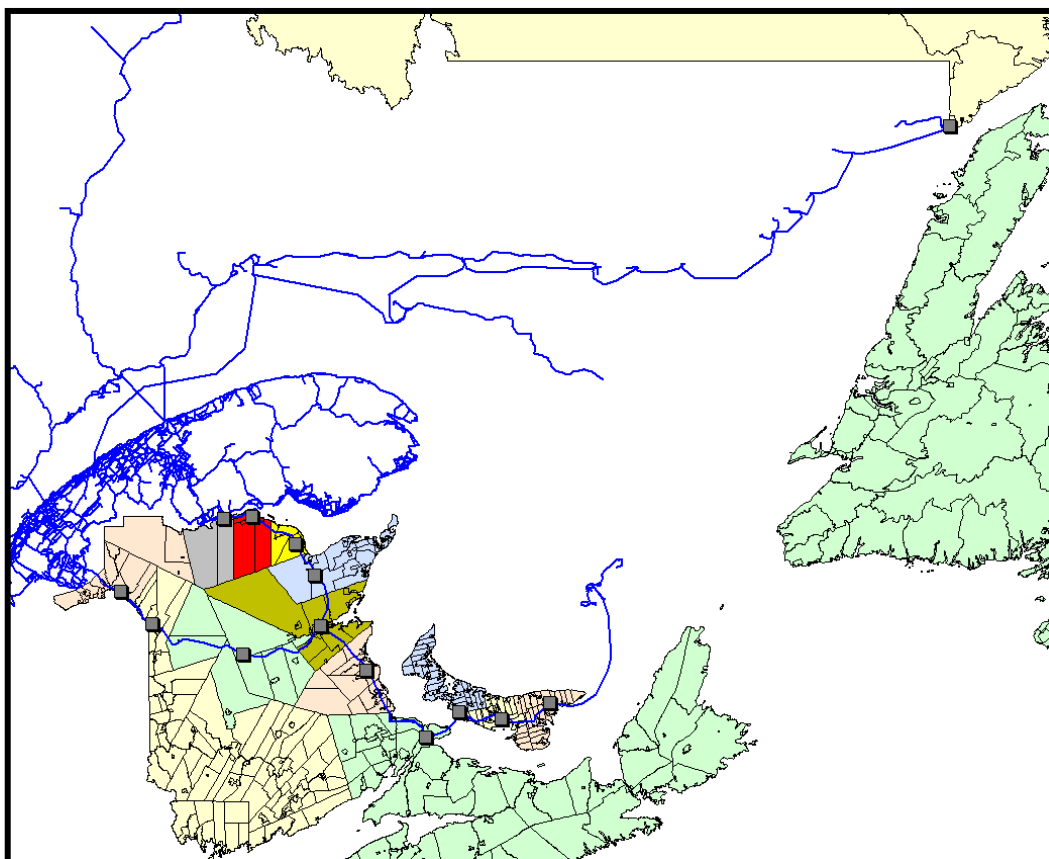


Figure 13 Découpage en SDR de Statistiques Canada 1996 hors Québec (Nouveau-Brunswick et provinces maritimes) et correspondance avec les nœuds du RRMQ

3.2 Les enquêtes Origine-Destination régionales

Les enquêtes origine-destination régionales sont des enquêtes de grande envergure, réalisées par entrevues téléphoniques auprès des ménages, permettant de décrire les déplacements des personnes pour l'ensemble d'une grande région urbaine, pour un jour ouvrable typique, la plupart du temps à l'automne¹⁴. Le Ministère disposait notamment, au moment du présent exercice, des ensembles de données associés à:

- l'enquête origine-destination de Hull-Ottawa 1995 (HUL95);
- l'enquête origine-destination de la région de Montréal 1998 (MTL98);
- l'enquête origine-destination de la région de Trois-Rivières 2000 (TRV00);
- l'enquête origine-destination de la région de Québec 2001 (QUE01);
- l'enquête origine-destination de la région de Sherbrooke 2003 (SHB03).

On a donc extrait de ces cinq banques de données les déplacements correspondant à une journée ouvrable typique des résidents de ces territoires, pour les modes de transport automobile (conducteur), motocyclette (conducteur) et taxi (passager). On ne va distinguer parmi ces déplacements que deux motifs : le motif Travail et le motif Autre – on verra plus loin comment le motif *Retour au domicile* sera traité dans les enquêtes origine-destination. Nous voulons comparer les nombres de déplacements de véhicules pour le motif Travail obtenus des enquêtes origine-destination avec ceux que nous avons estimés sur la base des données lieu de résidence-lieu de travail de Statistique Canada pour les territoires concernés.

Signalons qu'à part l'enquête origine-destination d'Hull-Ottawa 1995, toutes les autres enquêtes origine-destination nous ont permis de reconnaître les municipalités hors territoire qui correspondent à des origines ou destinations de déplacements effectués par les résidents. Cela nous donne un patron des déplacements de véhicules dont le motif est autre que le travail et qui est géolocalisable dans le système de zones du RMMQ.

Puisque les enquêtes origine-destination régionales distinguent le motif Retour au domicile des autres motifs, il faut pouvoir retracer spécifiquement le motif du déplacement Aller correspondant afin de dresser un parallèle avec les données de déplacement domicile-travail de Statistique Canada.

¹⁴ Voir : <http://www1.mtq.gouv.qc.ca/fr/services/documentation/statistiques/enquetes/index.asp>

Chaque déplacement fait partie d'une chaîne des déplacements effectués par une personne. De façon générale, le premier déplacement de la chaîne a pour origine le domicile de la personne et le dernier déplacement de cette chaîne constitue un retour au domicile. Pour tout déplacement dont le motif est le retour au domicile (un déplacement en bout de chaîne), on examine les déplacements situés en amont dans sa chaîne. Si on y trouve un déplacement dont le motif est le travail, alors le déplacement de retour au domicile se voit associé à l'activité Travail aux fins du présent modèle. Si on n'y trouve pas de déplacement pour le motif Travail, alors le déplacement de retour au domicile est associé au motif Autre.

Le découpage des territoires des enquêtes origine-destination régionales est très détaillé (voir figure 14) et est constitué d'entités géographiques appelées « zones d'analyse transport » (ZAT). Les ZAT respectent non seulement les limites des municipalités, mais également celles des secteurs inframunicipaux correspondant à des quartiers ou arrondissements pour les grandes villes. Le découpage du territoire québécois dans le modèle RMMQ étant inspiré de ces découpages en secteurs municipaux et inframunicipaux, il devient donc aisé d'établir des clés d'équivalence entre les systèmes de zones des enquêtes origine-destination régionales et le système de zones du RMMQ.

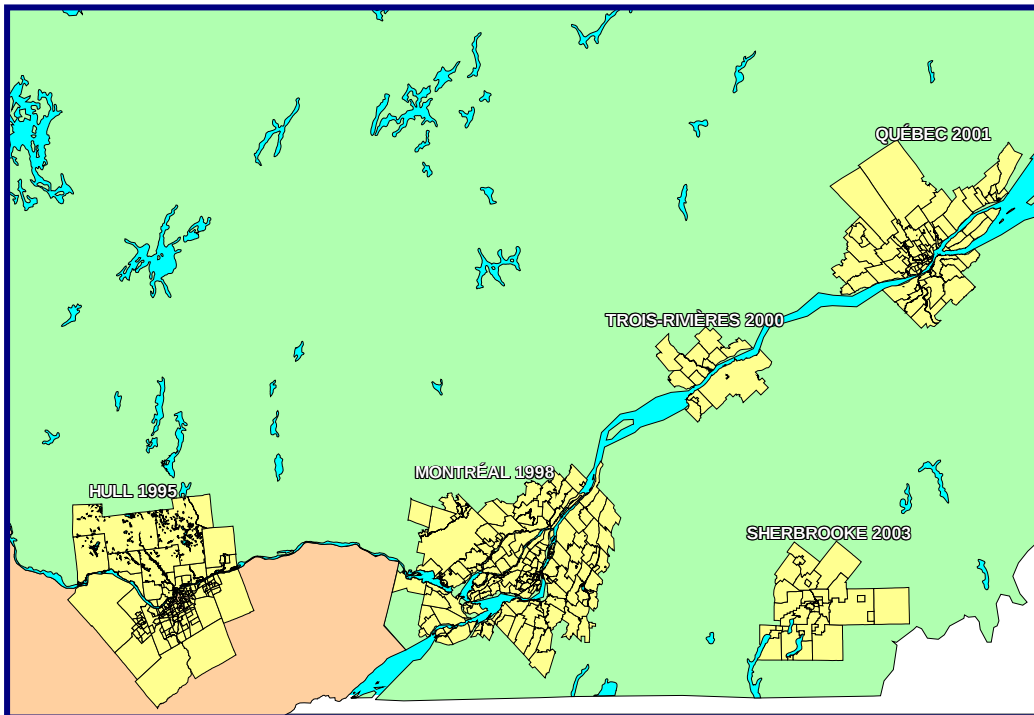


Figure 14 Découpage des territoires des cinq enquêtes Origine-Destination régionales dans le système de zones du modèle RMMQ

3.3 Patron des déplacements automobiles pour motifs « Travail et Autre »

Le tableau 7 résume le nombre des déplacements automobiles estimés, sur une base quotidienne (jour ouvrable typique), pour chacune des cinq enquêtes origine-destination régionales, selon les métamotifs Travail et Autre – qui incluent les retours au domicile respectivement associés. Le tableau montre également les estimations correspondantes, basées sur les données associées à la question lieu de résidence-lieu de travail (LDR/LDT) de Statistique Canada pour les domiciles sis dans les territoires d'enquêtes O-D. Dans ce dernier cas, seuls ont été retenus les déplacements dont l'origine ou bien la destination est localisée dans le territoire de l'enquête origine-destination régionale considérée.

Tableau 7 Nombre de déplacements automobiles quotidiens selon le motif, pour les enquêtes Origine-Destination régionales et selon la question LDR/LDT de Statistiques Canada

DÉPLACEMENTS AUTOMOBILES 24 HEURES MOTIF TRAVAIL				
Territoire	STAT. CAN. intrazoneaux ³	Enquête O-D intrazoneaux ³	STAT. CAN. interzoneaux ⁴	Enquête O-D interzoneaux ⁴
HUL95 QC ¹	20 200	21 394	219 800	123 337
MTL98	304 740	333 843	1 726 040	1 511 298
TRV00	38 730	35 889	60 200	47 825
QUE01	57 540	65 435	420 730	372 330
SHB03	22 410	20 037	109 620	83 785
TOTAL	443 620	476 598	2 536 390	2 138 575
HUL95 HQC ²			428 560	342 818
DÉPLACEMENTS AUTOMOBILES 24 HEURES MOTIF AUTRE				
HUL95 QC ¹		84 760		158 240
MTL98		1 013 446		1 493 150
TRV00		89 069		66 565
QUE01		187 269		456 909
SHB03		64 022		148 431
TOTAL		1 438 566		2 323 294
HUL95 HQC ²				697 832

Note 1 : concerne les déplacements provenant ou se destinant à la partie québécoise du territoire.

Note 2 : concerne les déplacements complètement hors du Québec (intrazoneaux + interzoneaux)

Note 3 : déplacements provenant et se destinant à la même zone dans le système de zones du RMMQ

Note 4 : déplacements provenant et se destinant à des zones différentes dans le système du RMMQ

Signalons qu'on doit distinguer ici les déplacements intrazonaux des déplacements interzonaux. En effet, ce ne sont que ces derniers qui pourront être affectés par modélisation sur le réseau routier du RMMQ qui ne s'intéressera alors qu'à l'estimation des flux aux échelles régionale et interurbaine.

On constate, au tableau 7, une certaine corrélation entre les deux sources de données pour les déplacements associés au travail. Notons cependant que tous ces éléments se rapportent à des moments différents dans le temps – le printemps 2001 pour Statistique Canada et différents automnes entre 1998 et 2003 pour les enquêtes O-D. Dans le cas des déplacements intrazonaux, on voit des variations oscillant entre -11 % (Sherbrooke : SHB03) et 14 % (Québec : QUE01). Pour les déplacements interzonaux, ce sont des variations de -12 % à -24 %, hormis le cas spécial de la région outaouaise, où on se situe à -28 % pour tout le territoire (HUL95) et à -44 % pour la portion québécoise du territoire.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer pourquoi les données de Statistique Canada produisent un nombre plus élevé de déplacements automobiles à motif Travail pour 24 heures que les enquêtes origine-destination. Celles-ci se font à l'automne, et la plupart sur des années différentes de celle du recensement de Statistique Canada qui a eu lieu au printemps 2001, donc avec des variations de population et de taux de chômage. On a supposé, dans le cas des données de Statistique Canada, que tous les travailleurs sont à temps plein (5 jours par semaine) alors que les enquêtes origine-destination révèlent une activité d'emploi moins soutenue, avec une probabilité pouvant atteindre 20 % de non-réalisation d'un déplacement de travail, sur une base quotidienne, pour les travailleurs adultes.

Puisque, contrairement aux enquêtes origine-destination, les données de Statistique Canada portent sur tout le territoire québécois et sur une même année, nous retiendrons donc comme base d'estimation, pour le motif Travail, les déplacements automobiles quotidiens dérivés de la question LDR/LDT du Recensement 2001 de Statistique Canada pour lesquels l'origine ou la destination est localisée sur le territoire de la province de Québec. Par contre, nous exploiterons les informations découlant des enquêtes origine-destination régionales pour les déplacements automobiles quotidiens à motif Autre. En effet, c'est la seule source de données complémentaires dont nous disposons. Le tableau 8 rappelle les nombres de déplacements automobiles qui seront retenus pour l'ensemble du territoire du Québec afin de dresser une première estimation de la demande potentielle d'un jour ouvrable typique.

Cette demande en déplacements se traduit sous la forme de 46 966 paires origine-destination actives dans le système de zones du RMMQ, intégrant les 8 189 960 déplacements. Il est à remarquer que des 4 856 660 déplacements retenus à la section 3.1 (question LDR/LDT de Statistique Canada), 428 560 concernent des déplacements touchant la partie ontarienne du territoire de l'enquête origine-destination d'Hull-Ottawa.

Tableau 8 Les déplacements automobiles quotidiens dont le motif est Travail ou Autre pour l'ensemble du territoire du Québec

NATURE DES DÉPLACEMENTS	TYPES DE DÉPLACEMENTS	NOMBRE DE DÉPLACEMENTS
Intrazonaux	Territoires des enquêtes O-D : motif Travail	443 620
	Hors des territoires des enquêtes O-D : motif Travail	630 330
	Territoires des enquêtes O-D : motif Autre	1 438 566
	Sous-total	2 512 516
Interzonaux	Territoires des enquêtes O-D : motif Travail	2 536 390
	Hors des territoires des enquêtes O-D : motif Travail	817 760
	Territoires des enquêtes O-D : motif Autre	2 323 294
	Sous-total	5 677 444
Total des déplacements		8 189 960

À ce stade-ci, il nous manque les déplacements automobiles quotidiens effectués pour les motifs autres que le travail (motif Autre) par les résidents du Québec domiciliés en dehors des cinq grandes agglomérations couvertes par les enquêtes origine-destination régionales. De plus, le motif Autre ne tient pratiquement pas compte des déplacements de nature touristique puisque la majorité de ces déplacements sont faits durant l'été, alors que les enquêtes origine-destination sont faites à l'automne. De plus, celles-ci ne sont réalisées qu'auprès des résidents des logis permanents situés sur les différents territoires, ce qui exclut d'emblée tous les pensionnaires d'établissements hôteliers ou encore ceux qui pratiquent le camping ou résident temporairement chez des parents ou des amis.

Considérant que les déplacements interzonaux quotidiens à motif Travail des résidents hors territoire des enquêtes origine-destination représentent 32,2 % (= 817 760/2 536 390) des déplacements des résidents des cinq régions urbaines, on pourrait estimer, en employant ce même ratio, à 749 055 le nombre des déplacements interzonaux quotidiens pour motif Autre, pour les résidents hors territoire des enquêtes O-D.

La population estimée par le Recensement de 2001 de Statistique Canada est de 4 906 010 personnes sur les territoires couverts par les cinq enquêtes origine-destination régionales – partie québécoise pour l'enquête O-D d'Hull-Ottawa. Elle est de 2 331 470 personnes pour le reste du territoire québécois. Ceci nous conduit à un ratio de 47,5 % entre les populations hors territoire et celles des cinq agglomérations urbaines, alors qu'on estimait à 32,2 % le ratio de leurs déplacements interzонаux à motif Travail.

L'explication première de ces différences entre les ratios se trouve dans la définition des zones selon le système du RMMQ. En effet, en milieu urbain, les zones sont beaucoup plus petites parce que plus denses en termes de population. Par contre, en région, soit en dehors des territoires des enquêtes origine-destination, les zones couvrent de bien plus grandes surfaces. Il est alors normal d'y trouver un faible ratio de déplacements interzонаux – des déplacements qui ne sont pas internes à une zone. En contrepartie, on y trouve un plus fort ratio du côté des déplacements intrazонаux, soit 142 % (= 630 330/443 620) pour les déplacements à motif Travail.

3.4 L'Enquête sur le camionnage de 1999

L'Enquête sur le camionnage de 1999¹⁵ permet de dresser un portrait de l'activité du camionnage de longue distance au Québec. Cette collecte de données, réalisée en bordure des routes, s'inscrit dans une vaste enquête pancanadienne parrainée par le Conseil canadien des administrateurs de transport motorisé (CCATM). Elle a été réalisée grâce à une collaboration entre Transports Québec, Transports Canada et les autres provinces et territoires canadiens. Sous la coordination de la Eastern Border Transportation Coalition (EBTC) et de la Federal Highway Administration (FHWA), les États du Maine, du Vermont, de New York, du Michigan, du Minnesota et de Washington ont participé financièrement à l'enquête dans le but d'accroître l'échantillon de camions interceptés aux frontières canado-étatsuniennes.

Au Québec, 16 800 véhicules lourds ont été interceptés à l'un des 51 sites d'enquête établis en bordure des routes québécoises. À ce nombre s'ajoutent 7900 observations provenant de camions interceptés ailleurs au Canada et dont on sait que le déplacement s'est effectué en partie sur les routes du Québec. Après validation, la taille de l'échantillon utilisable pour l'analyse des déplacements interurbains de véhicules lourds qui s'effectuent sur les routes du Québec s'élève à 20 101 observations.

¹⁵ Un portrait partiel du camionnage interurbain, basé sur l'Enquête routière nationale de 1999 (ERN-99) [*National Roadside Survey*, ou **NRS-99**, en anglais], a été mis à profit. L'enquête ne couvre cependant que les véhicules les plus lourds et les déplacements de plus de 80 km. Voir <http://www.mtq.gouv.qc.ca/fr/camionnage/enquete1999.asp> pour plus d'information.

Signalons que le Ministère a fourni un effort considérable pour valider les données provenant de l'enquête. Pas moins de la moitié des observations ont nécessité des corrections; ce travail de validation et la taille importante de l'échantillon contribuent à la fiabilité des résultats.

L'enquête fournit des données factuelles concernant les itinéraires empruntés par les camionneurs, les lieux d'origine et de destination, le poids et la configuration du camion, la nature de son chargement, le type de véhicule et ses équipements, la catégorie de transporteur, etc. Les informations sur les déplacements sont à tel point précises qu'en plus de permettre de bien saisir les mouvements de camions entre le Québec et les provinces et les États qui sont ses partenaires économiques elles permettent de décrire les mouvements interrégionaux sur le territoire québécois.

Environ 240 000 déplacements interurbains de camions lourds s'effectuaient sur les routes du Québec pendant une semaine d'automne en 1999. Environ 130 000 (54 %) desservaient le marché intérieur du Québec, c'est-à-dire qu'ils avaient le Québec à la fois comme origine et comme destination du déplacement.

L'itinéraire de chaque camion a été décortiqué en une série de déplacements dont les points de départ et les points d'arrivée sont arrimés au système de zones décrit au chapitre 3 et à certains nœuds du réseau routier – les points d'entrée et de sortie du territoire du Québec et les sites d'enquête sur le territoire. Le modèle de déplacement des camions de longue distance (75 % des véhicules interceptés sont des camions semi-remorques et articulés) du CCATM est alors représenté par une matrice de déplacements appliquée sur une base journalière et non hebdomadaire.

Le tableau 9 présente la répartition, par origines et destinations, des déplacements de camions dont une partie ou la totalité de l'itinéraire passe par le Québec. Les données sont appliquées sur une base hebdomadaire.

Tableau 9 Origines et destinations, sur une base hebdomadaire, des déplacements de camions dont l'itinéraire passe sur le territoire québécois

ORIGINE	DESTINATION			
	Québec	Canada hors Québec	États-Unis	TOTAL
Québec	130 049	30 624	20 692	181 365
Canada hors Québec	33 846	3 451	968	38 264
États-Unis	19 158	753	272	20 184
TOTAL	183 053	34 828	21 932	239 812

Derrière les 239 812 itinéraires de camions qui passent en partie ou en totalité sur le territoire du Québec sur une base hebdomadaire, on trouve 543 321 segments de déplacements reliant leurs points clés – minimalement, chaque observation comporte une paire origine-destination segmentée en deux trajets, en amont et en aval du poste d'enquête où a été intercepté le camion. De tous ces sous-déplacements, 519 017 empruntent le réseau routier du Québec, les quelque 24 305 autres segments s'effectuant sur les réseaux routiers des autres provinces ou sur celui des États-Unis.

Comme le présent exercice s'intéresse à l'estimation des flux routiers sur une base quotidienne, une hypothèse grossière sera faite en divisant simplement par 7 la demande hebdomadaire de camionnage lourd. Ceci n'est pas en soi problématique puisque, plus loin, ces flux seront localement remis à l'échelle des comptages réels, par ajustement systématique. La matrice des déplacements 24 h pour les camions lourds effectuant des déplacements de longue distance qui sera utilisée dans le présent modèle compte donc 74 145 déplacements interzonaux s'effectuant au Québec, lesquels découpent les 34 259 itinéraires de ces camions passant en partie ou en totalité au Québec.

4. MODÈLE D'AJUSTEMENT ET D'AFFECTION

Le but visé par le présent exercice est d'obtenir sur tout le réseau routier représenté dans le modèle RMMQ des flux d'automobiles et de camions représentatifs d'un jour ouvrable typique de l'année.

Pour y arriver, nous disposons de comptages qui nous donnent les débits d'automobiles et de camions pour un jour moyen de l'année, et ce, sur un petit nombre de liens routiers directionnels. Nous avons aussi à notre disposition un patron de demande automobile potentielle pour les motifs Travail et Autre (hormis le tourisme), pour un jour ouvrable typique. Cette demande automobile est incomplète. Il y manque les déplacements automobiles pour motif Autre des résidents hors des territoires des enquêtes origine-destination urbaines ainsi que tous les déplacements automobiles associés au motif Tourisme.

La présente démarche consiste dans un premier temps à « ajuster » la demande automobile préalablement estimée pour les motifs Travail et Autre au chapitre 3, en se servant des comptages globaux disponibles. Là où les volumes simulés ne suffisent pas à atteindre ces comptages globaux, les différences seront comblées par des déplacements pour motif Tourisme. C'est donc à partir des résiduels des comptages sur ces volumes des déplacements automobiles Travail + Autre simulés que sera ajustée une matrice gravitaire initiale basée sur la population et l'attrait touristique.

Pour les camions, on commence par affecter la demande obtenue de l'Enquête routière nationale 1999 concernant les camions lourds de longue distance et ensuite on applique le modèle d'ajustement matriciel à partir du patron de demande des déplacements automobiles à motif Travail comme étape initiale, en se servant des comptages résiduels des camions – comptage des camions moins les volumes simulés des camions de l'enquête ERN-99. Malgré de sérieuses limitations, cette façon de faire constitue en première expérimentation la seule approche envisageable pour estimer rapidement les flux de camions.

Le principe d'affectation de la demande véhiculaire porte sur le chargement des déplacements d'une paire origine-destination de zones sur les liens du réseau composant le chemin le plus court en temps entre celles-ci. La figure 15 montre, à titre d'exemple, une arborescence de chemins les plus courts en temps, basée sur le village de Saint-Alexis-des-Monts.

Pour des problèmes de grande taille, tel celui traité ici, on utilise le programme **vlsPath** de la suite ABCtools¹⁶. Dans le cas du réseau du RMMQ et à partir des limites de vitesse associées aux liens routiers, une affectation de la demande automobile sur les chemins les plus courts en temps pour les 45 725 paires origine-destination interzonales prend environ 5 minutes de temps d'exécution sur un ordinateur personnel muni d'un processeur de 2,5 GHz et de 1 Go de mémoire RAM.

Le modèle d'ajustement de la demande sur des comptages est décrit mathématiquement à l'annexe C. Le programme **vlsDemAdj**, de la même suite ABCtools, nous permet de traiter ce genre de problème sur des réseaux de grande taille où le sous-problème à résoudre demeure celui des chemins les plus courts. Un ajustement d'une matrice de l'ordre de 45 725 paires origine-destination sur le réseau du RMMQ, avec 20 itérations, requiert entre 60 et 90 minutes de temps d'exécution.

Le modèle d'ajustement fait en sorte qu'à partir d'une matrice initiale de demande (ou d'un ensemble de paires O-D) le nombre de déplacements présent dans chaque cellule non nulle (paire O-D avec demande) est altéré à chaque itération. Cette variation de la demande est déterminée pour faire en sorte qu'à chaque pas de l'application, c'est à dire à chaque chargement de la matrice de demande sur le réseau, la somme des différences absolues entre les volumes simulés et les comptages sur les liens diminue. On a ainsi des volumes simulés qui se rapprochent de plus en plus des comptages, jusqu'à l'atteinte d'une convergence satisfaisante.

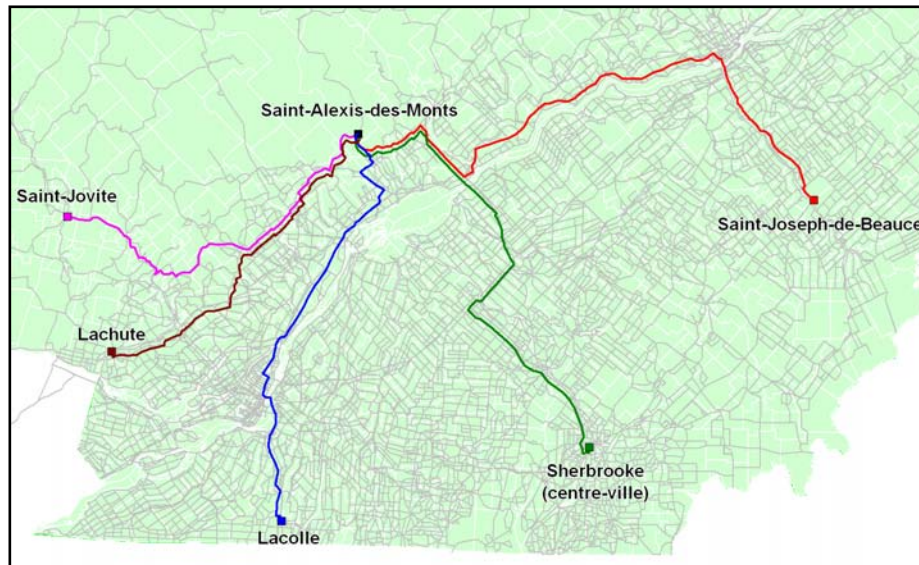


Figure 15 Exemples de chemins les plus courts en temps entre Saint-Alexis-des-Monts et certaines municipalités

¹⁶ ABCtools est une collection de programmes spécialisés de recherche opérationnelle pour le traitement des problèmes de réseaux conçue par l'auteur, André Babin.

4.1 Ajustement de la demande automobile pour motifs « Travail et Autre »

L'exercice d'ajustement de la demande automobile pour motifs Travail et Autre est nécessaire pour effectuer la comparaison de cette demande initiale avec les comptages automobiles. La figure 16 montre la comparaison entre les volumes simulés avec la demande initiale et les comptages automobiles, pour chacun des postes de comptage. On obtient un coefficient de corrélation atteignant 78 %, lequel laisse largement place à une amélioration du modèle.

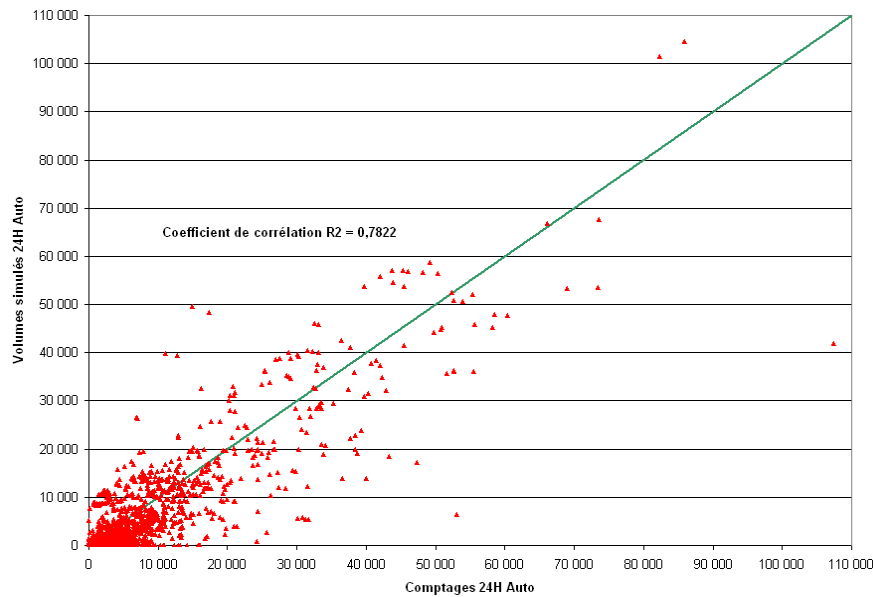


Figure 16 Comparaison des volumes simulés à partir de la demande initiale automobile et des comptages automobiles

La demande initiale est constituée des déplacements automobiles quotidiens avec motifs Travail et Autre. On applique le modèle d'ajustement sur les comptages automobiles pour 20 itérations à partir de cette matrice initiale.

Établissons que la matrice automobile initiale est la somme de la demande automobile initiale avec motif Travail et motif Autre, c'est-à-dire :

$$D_{initiale} = D_{initiale}^{Travail} + D_{initiale}^{Autre}$$

et que le résultat du modèle d'ajustement nous conduit à la matrice ajustée $D_{ajustée}$.

Le chargement de cette matrice automobile ajustée sur le réseau routier nous donne alors les volumes simulés suivants : $V_{ajusté}$

Nous estimons la demande ajustée par motifs de la façon suivante :

$$D_{ajustée}^{Travail} = \left(D_{ajustée} / D_{initiale} \right) \cdot D_{initiale}^{Travail}$$

$$D_{ajustée}^{Autre} = \left(D_{ajustée} / D_{initiale} \right) \cdot D_{initiale}^{Autre}$$

Il est à noter que les demandes ajustées par motifs peuvent être chargées sur le réseau routier, nous donnant alors les volumes simulés suivants :

$$V_{ajusté}^{Travail} \text{ et } V_{ajusté}^{Autre}$$

Puisque le type de chargement de la demande sur le réseau routier se fait au moyen des chemins les plus courts en temps, nous avons l'égalité suivante :

$$V_{ajusté} = V_{ajusté}^{Travail} + V_{ajusté}^{Autre}$$

La figure 17 présente l'effet de l'ajustement de la matrice automobile initiale en comparant les volumes simulés avec la demande ajustée et les comptages automobiles. On obtient un coefficient de corrélation de 95 %, beaucoup plus satisfaisant.

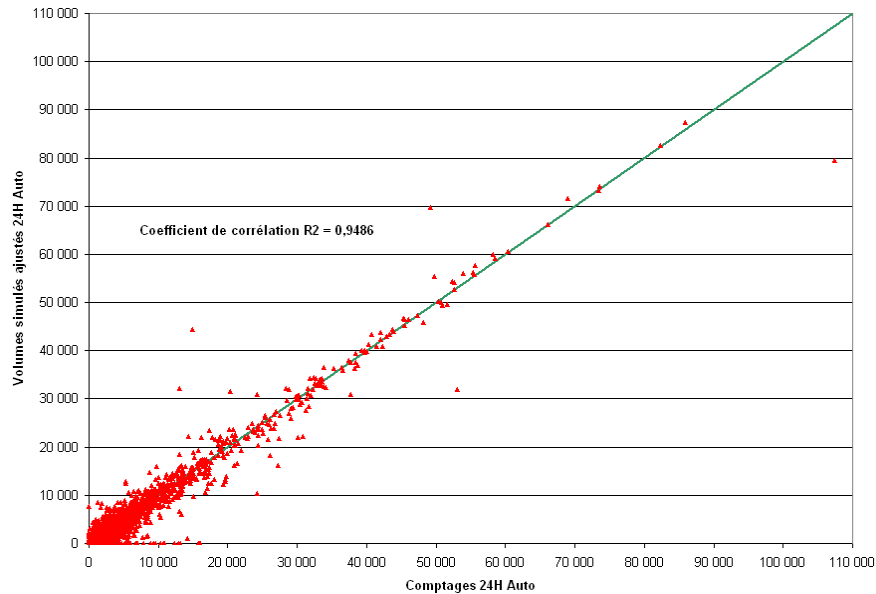


Figure 17 Comparaison des volumes simulés à partir de la demande ajustée automobile et des comptages automobiles

4.2 Estimation d'une demande automobile pour motif « Tourisme »

L'écart résiduel des résultats simulés par rapport aux comptages pourrait être associé pour une certaine part à des déplacements de nature touristique, pour lesquels les patrons de demande ne sont pas révélés par les sources décrites au chapitre 3.

Nous disposons des données du Système de distribution de la destination (SDD) du ministère du Tourisme du Québec, en date du 20 mai 2003. Cette base de données est constituée de 11 735 enregistrements géolocalisés concernant les établissements et les attractions à caractère touristique (voir figure 18). Il a alors été possible de comptabiliser le nombre de ces sites touristiques par zone du système de zones du RMMQ. Comme nous ne disposons pas à ce stade d'informations nous permettant de pondérer ces établissements en termes d'attractivité touristique, seul leur nombre net dans chaque zone est utilisé comme indicateur d'attractivité relative.

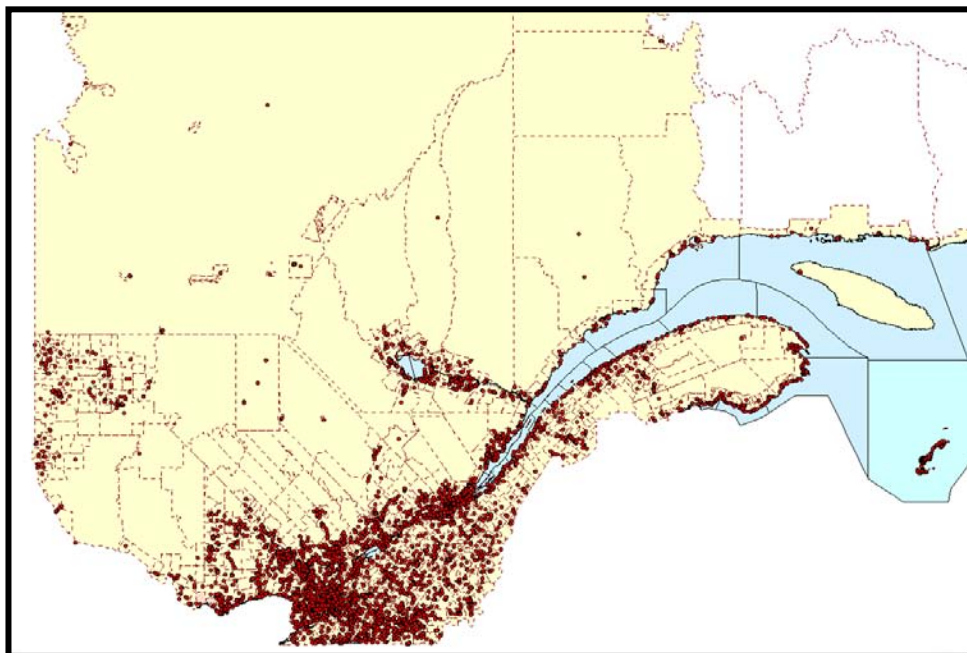


Figure 18 Localisation des sites touristiques selon la base de données SDD du ministère du Tourisme

Nous disposons par ailleurs des chiffres de population pour 2001 dans le système de zones du RMMQ. Nous avons ainsi des éléments suffisants pour composer une matrice gravitaire touchant le tourisme québécois intérieur. Malgré que ceux-ci puissent être d'une certaine importance, les déplacements automobiles faits par des non-résidents du territoire québécois ne sont pas pris en considération dans le présent exercice.

Nous devons tenir compte des déplacements automobiles pour motif Autre, inclus à la section 4.1, pour les résidents des territoires des enquêtes origine-destination régionales. Le territoire du Québec sera donc séparé en deux sous-territoires : les grandes agglomérations couvertes par les enquêtes origine-destination régionales (Montréal, Québec, Sherbrooke, Trois-Rivières et Hull-Ottawa) et le territoire résiduel. Il y a 328 zones du système du RMMQ couvrant les territoires des enquêtes O-D urbaines et 1296 zones hors de ces territoires.

Afin de ne pas créer trop de cellules avec des nombres de déplacements insignifiants, il est préférable de limiter le nombre de paires O-D qui seront mises en jeu dans la matrice gravitaire pour estimer la demande pour motif Tourisme. Il a été décidé de considérer le potentiel d'une paire O-D selon sa population et son attrait touristique au moyen de seuils différenciés selon que les zones concernées sont dans une grande agglomération ou non. Nous voulons établir ces seuils en fixant un maximum de 100 zones sur les territoires des grandes agglomérations et autant de zones hors de ces territoires pour la population. Nous fixons également un maximum de 100 zones attractives sur le plan touristique dans les territoires des enquêtes O-D et deux fois plus de zones (c.-à-d. un maximum de 200 zones) hors de ces territoires pour l'attraction touristique.

Les figures 19 et 20 montrent les seuils retenus qui satisfont aux précédentes contraintes sur les nombres de zones concernées dans la matrice gravitaire. Notons qu'il existe un maximum de 2 635 752 paires O-D interzonales possibles (soit $1624 * 1623$). Avec un nombre de 200 zones pour les populations et de 300 zones pour l'attraction touristique, on vise comme ordre de grandeur environ 60 000 paires O-D utiles.

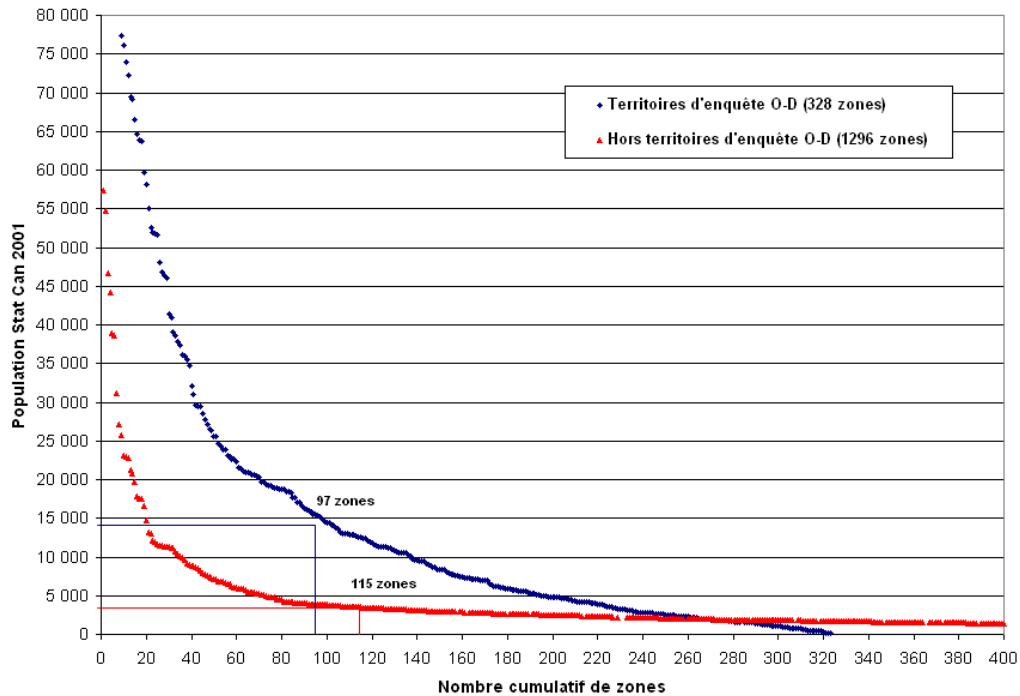


Figure 19 Répartition de la population 2001 par zone du RMMQ et seuils retenus

Les seuils retenus sont donc de 15 000 pour la population d'une zone en territoire d'enquête O-D et de 3 500 pour la population d'une zone hors territoire d'enquête O-D. Dans le cas de l'attraction touristique, nous considérons le seuil de 10 attraites touristiques pour toutes les zones.

Le potentiel de chaque paire de zones (zone d'origine et zone de destination) s'estime alors par la population de la zone d'origine multipliée par le nombre d'attraites touristiques de la zone de destination. Ce potentiel doit être normalisé, et nous voulons également favoriser les déplacements pour les zones sises en dehors des territoires des enquêtes O-D régionales.

Nous utilisons donc les seuils retenus pour normaliser le potentiel évoqué des cellules de la matrice gravitaire. De plus, nous limitons le potentiel des paires de zones à l'intérieur d'un même territoire d'enquête O-D régionale, en imposant un potentiel maximal de une paire.

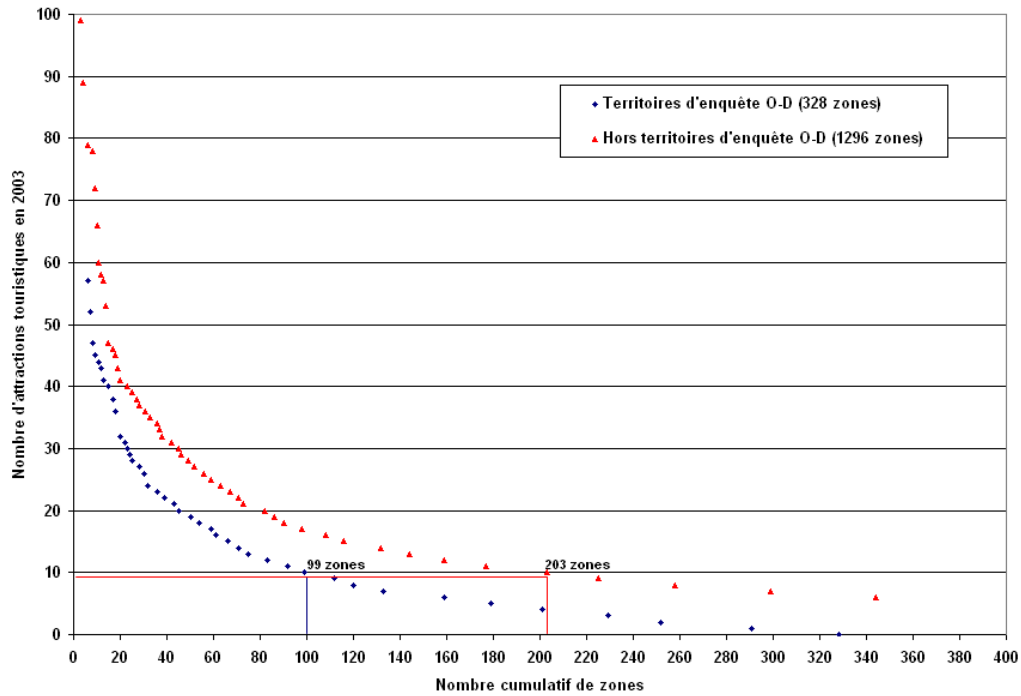


Figure 20 Répartition de l'attraction touristique 2003 par zone du RRMQ et seuils retenus

Considérons la matrice gravitaire montrée au tableau 10 en termes de répartition des zones d'origine et des zones de destination selon les territoires touchés; on y trouve cinq cas représentés par les variables G_{00} , G_{11} , G_{12} , G_{21} et G_{22} suivant la localisation de la zone d'origine et celle de la zone de destination.

Tableau 10 Catégorisation des déplacements automobiles quotidiens
dont le motif est Travail ou Autre
selon l'origine et la destination sur le territoire du Québec

Zones d'origine	Zones de destination					
	Territoire Montréal	Territoire Québec	Territoire Sherbrooke	Territoire Trois- Rivières	Territoire Outaouais	Hors territoires d'enquêtes O-D
Territoire Montréal	G ₀₀	G ₁₁	G ₁₁	G ₁₁	G ₁₁	G ₁₂
Territoire Québec	G ₁₁	G ₀₀	G ₁₁	G ₁₁	G ₁₁	G ₁₂
Territoire Sherbrooke	G ₁₁	G ₁₁	G ₀₀	G ₁₁	G ₁₁	G ₁₂
Territoire Trois- Rivières	G ₁₁	G ₁₁	G ₁₁	G ₀₀	G ₁₁	G ₁₂
Territoire Outaouais	G ₁₁	G ₁₁	G ₁₁	G ₁₁	G ₀₀	G ₁₂
Hors territoires d'enquêtes OD	G ₂₁	G ₂₁	G ₂₁	G ₂₁	G ₂₁	G ₂₂

La formulation en G_{rs} du tableau ci-dessus s'applique à une paire de zones origine-destination (i, j) et s'énonce comme suit :

$$G_{rs}^{ij} = \begin{cases} 0 & \text{si } P_i A_j < SP_r SA_s \\ \text{.....MAX [1, (P}_i A_j) / (SP_r SA_s)] & \text{si } P_i A_j \geq SP_r SA_s \end{cases}$$

où on a :

P_i = population de la zone i

A_j = nombre d'attractions touristiques de la zone j

SP_r = seuil sur la population dans le cas r

SA_s = seuil sur le nombre d'attractions touristiques dans le cas s

et :

SP_0 = infini

SA_0 = infini

SP_1 = 15 000

SA_1 = 10

SP_2 = 3500

SA_2 = 10

On notera donc que $G_{rs}^{ij} = 0$ ou 1; en particulier, on a $G_{00}^{ij} = 0$ pour le cas où la zone i et la zone j sont sur un même territoire d'enquête O-D régionale. La construction des déplacements automobiles 24 heures à partir de la matrice gravitaire se fait de façon symétrique en considérant que le déplacement de la zone i à la zone j implique également un déplacement de la zone j à la zone i. C'est donc dire que pour chaque paire (i, j) on prend la valeur initiale suivante :

$$G_{rs}^{ij} + G_{sr}^{ji}$$

Il y a 56 352 paires (i, j) pour lesquelles on a $G_{rs}^{ij} > 0$, et la somme des valeurs G_{rs}^{ij} de ces paires totalise 393 282. Par contre, nous avons 101 865 paires (i, j) pour lesquelles $G_{rs}^{ij} + G_{sr}^{ji} > 0$ et dont la somme est le double de la précédente somme, à savoir 786 565.

On lance le modèle d'ajustement de cette matrice gravitaire initiale $G_{rs}^{ij} + G_{sr}^{ji}$ sur les comptages résiduels positifs obtenus en faisant la différence des comptages avec les volumes simulés ajustés des déplacements automobiles quotidiens pour motifs Travail et Autre, avec 50 itérations :

$$\begin{array}{ll} C^{\text{autos}} - V_{\text{ajusté}} & \text{pour } C^{\text{autos}} > V_{\text{ajusté}} \\ 0 & \text{sinon} \end{array}$$

Nous obtenons, après ajustement, 357 538 déplacements pour ces 101 865 paires O-D, dont plusieurs ont de très petites valeurs. Après élimination de ces très petites valeurs pour certaines paires, nous considérons avoir 356 936 déplacements automobiles 24 heures pour motif Tourisme, qu'on trouve sous

la forme de la matrice $D_{\text{ajustée}}^{\text{Tourisme}}$. La figure 21 montre les volumes automobiles simulés pour motif Tourisme $V_{\text{ajustée}}^{\text{Tourisme}}$, en comparaison avec les comptages résiduels positifs.

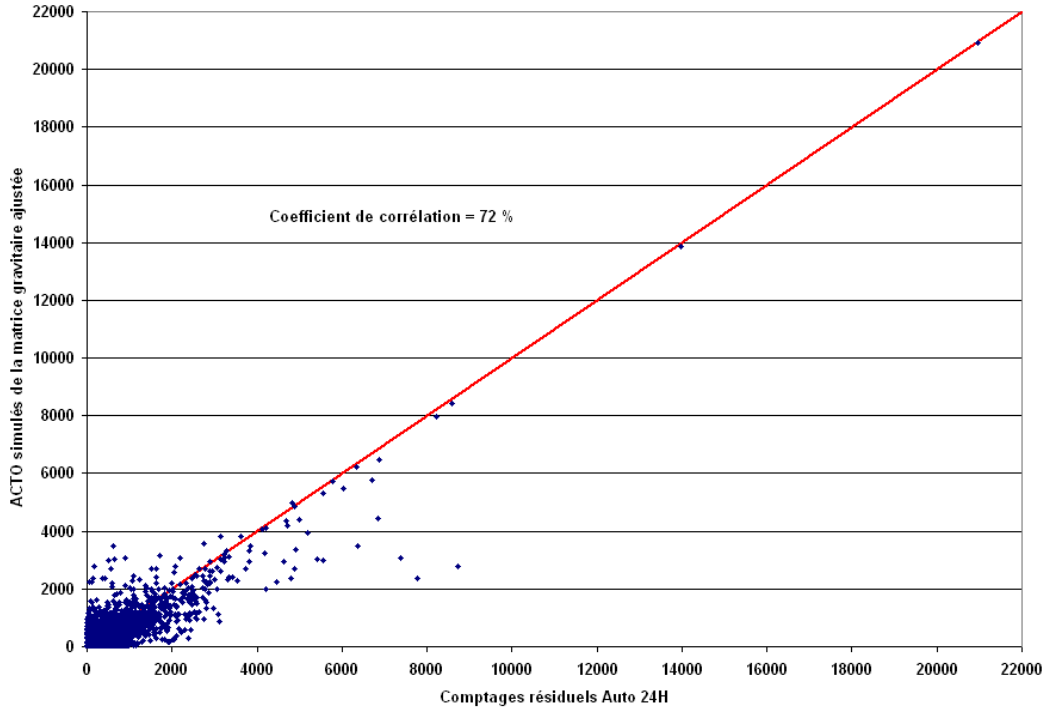


Figure 21 Comparaison des comptages résiduels positifs avec les volumes simulés ajustés des automobiles pour motif Tourisme

On constate un coefficient de corrélation de 72 % entre les volumes automobiles simulés pour motif Tourisme et les comptages automobiles résiduels positifs. Dans ces circonstances, on peut considérer comme fort acceptable cette estimation.

Si on reprend l'ensemble des déplacements automobiles quotidiens pour motifs Travail, Autre et Tourisme, on obtient maintenant une matrice globale des déplacements automobiles dont chaque partie a été séquentiellement ajustée :

$$D^{Autos} = D_{ajustée}^{Travail} + D_{ajustée}^{Autre} + D_{ajustée}^{Tourisme}$$

Il nous faut finalement ajuster globalement la matrice D^{Autos} sur les comptages automobiles en appliquant le modèle d'ajustement durant 20 itérations pour

obtenir la matrice Autos ajustée finale D_{finale}^{Autos} ainsi que les volumes autos

simulés à partir de cette matrice V_{finale}^{Autos} . La détermination des matrices autos finales par motifs se fait selon la règle :

$$D_{finale}^{Travail} = (D_{finale}^{Autos} / D_{ajustée}^{Autos}) \cdot D_{ajustée}^{Travail}$$

$$D_{finale}^{Autre} = (D_{finale}^{Autos} / D_{ajustée}^{Autos}) \cdot D_{ajustée}^{Autre}$$

$$D_{finale}^{Tourisme} = (D_{finale}^{Autos} / D_{ajustée}^{Autos}) \cdot D_{ajustée}^{Tourisme}$$

En affectant chacune de ces matrices on obtient les volumes simulés finaux sur les liens, de telle sorte que

$$V_{finale}^{Autos} = V_{finale}^{Travail} + V_{finale}^{Autre} + V_{finale}^{Tourisme}$$

La figure 22 compare les volumes simulés V_{finale}^{Autos} sur le réseau routier aux comptages automobiles. À ce stade, on obtient un coefficient de corrélation de 95 % et une configuration très semblable à celle de la figure 17.

La figure 23 nous montre plus précisément les volumes simulés par motifs. Il appert que les volumes automobiles pour motif Travail sont les plus gros, comme on s'y attendait, suivis des volumes pour motif Autre et finalement, en moindre importance, des volumes pour motif Tourisme.

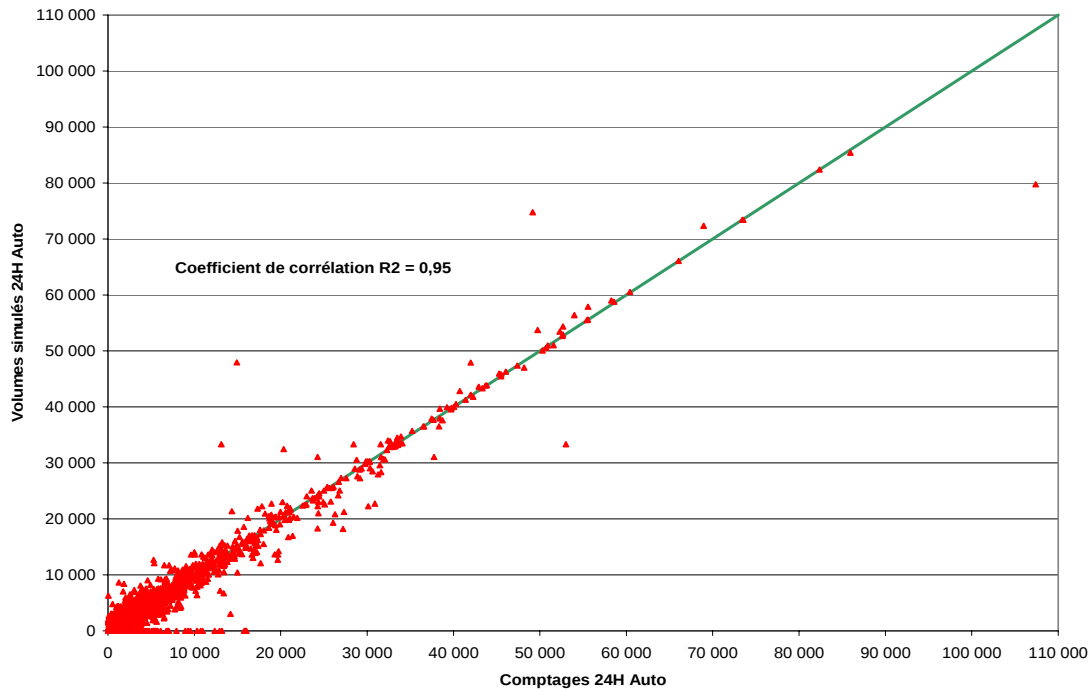


Figure 22 Comparaison entre les volumes simulés pour la demande automobile ajustée finale et les comptages automobiles

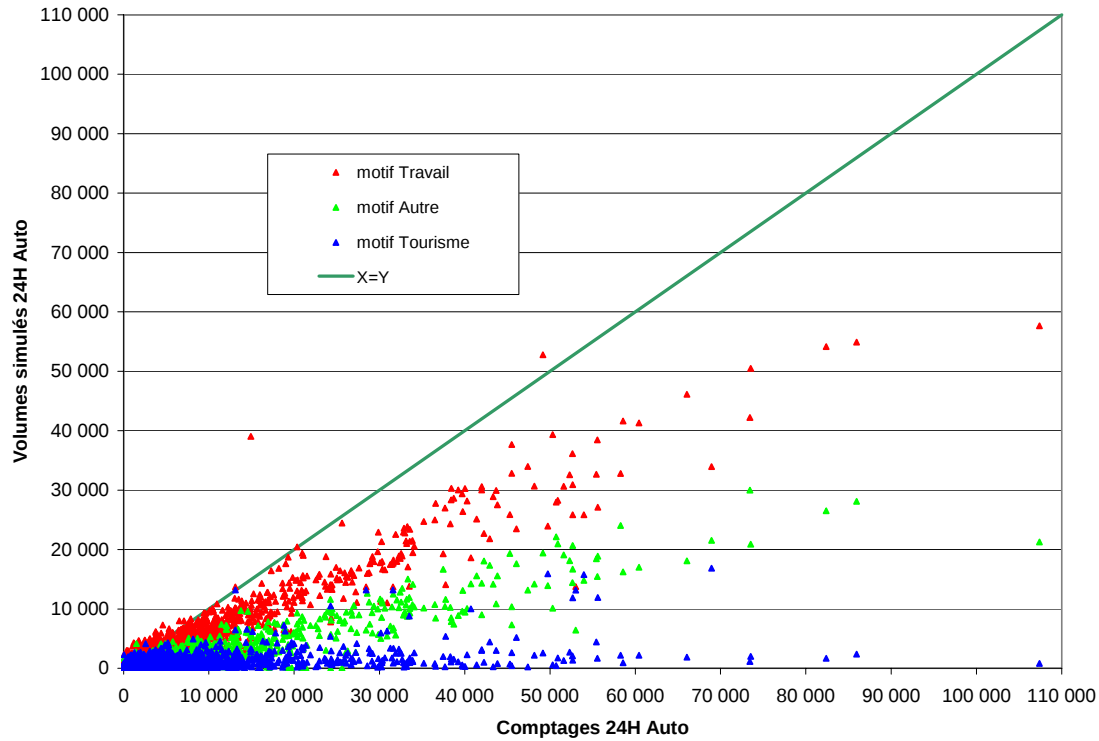


Figure 23 Répartition des volumes simulés automobiles finaux selon le motif par rapport aux comptages automobiles

4.3 Affectation des camions sur le réseau routier

Tel qu'expliqué à la section 3.4, nous basons cette portion de l'analyse sur le modèle de déplacements des camions associé à l'ERN-99, à travers lequel nous devons tirer une estimation sur une base quotidienne plutôt qu'hebdomadaire. Rappelons que les camions couverts par cette enquête sont des véhicules lourds, pour la plupart des camions semi-remorques, effectuant des trajets de longue distance, soit d'au moins 80 km.

Ainsi, nous utilisons la matrice $D^{Camions-lourds}$ qui correspond à la matrice de camions lourds longue distance 24 heures et est égale à 1/7 de la matrice O-D de camions hebdomadaire de l'ERN de 1999. C'est cette matrice que nous affectons sur le réseau routier du RMMQ pour obtenir les volumes simulés de camions lourds longue distance $V^{Camions-lourds}$.

Pour les autres camions, nous utilisons la matrice initiale des déplacements automobiles pour motif Travail afin d'obtenir un patron de base que nous remettons à l'échelle du nombre estimé de camions composant le parc de véhicules. Le tableau 11 présente à cette fin les nombres de véhicules¹⁷ au Canada en 2004 selon une catégorisation qui nous permet d'estimer un facteur de pondération des camions par rapport aux véhicules légers ou aux automobiles (3,5 % $\approx$ 618 585/17 692 903).

Tableau 11 Nombre de véhicules selon le type au Canada en 2004

Voitures	9 765 170
Familiales	305 342
Fourgonnettes	2 867 369
Véhicules utilitaires sport	1 328 556
Camionnettes <i>pick-ups</i> (jusqu'à 4,5 tonnes)	3 426 466
TOTAL véhicules légers	17 692 903
Camions semi-remorques (4,5 tonnes à 14,9 tonnes)	11 970
Camions semi-remorques (15 tonnes et plus)	163 568
TOTAL camions semi-remorques	175 538
Camions porteurs (jusqu'à 4,5 tonnes)	36 975
Camions porteurs (4,5 tonnes à 14,9 tonnes)	251 896
Camions porteurs (15 tonnes et plus)	113 083
TOTAL camions porteurs	401 954
Camionnettes <i>pick-ups</i> (4,5 tonnes à 14,9 tonnes)	41 093
TOTAL camions	618 585

On lance le modèle d'ajustement de la matrice initiale suivante :

$$D_{initiale}^{AutresCamions} = 0,035 * D_{initiale}^{Travail}$$

sur les comptages résiduels positifs obtenus en faisant la différence des comptages des camions avec les volumes simulés des déplacements quotidiens des camions de l'ERN-99, avec 50 itérations :

$$C^{camions} - V^{camion-lourd} \quad \text{pour } C^{camions} > V^{camion-lourd} \\ 0 \quad \text{sinon}$$

La présente démarche pour le cas des autres camions consiste donc à obtenir

une demande ajustée synthétique $D_{ajustée}^{AutresCamions}$ qui ne sert qu'à estimer les volumes sur les routes de ces camions en $V_{ajustée}^{AutresCamions}$.

¹⁷ STATISTIQUE CANADA, *Enquête sur les véhicules au Canada : annuelle*, table « Estimation du total au Canada du nombre de véhicules faisant partie du champ d'enquête selon le type de véhicule et le type de carrosserie du véhicule », 2004, n° 53-223-XIF.

Nous avons la matrice synthétique ajustée comptant 340 786 déplacements pour 45 703 paires O-D. La figure 24 montre les volumes simulés des autres camions en comparaison avec les comptages résiduels positifs.

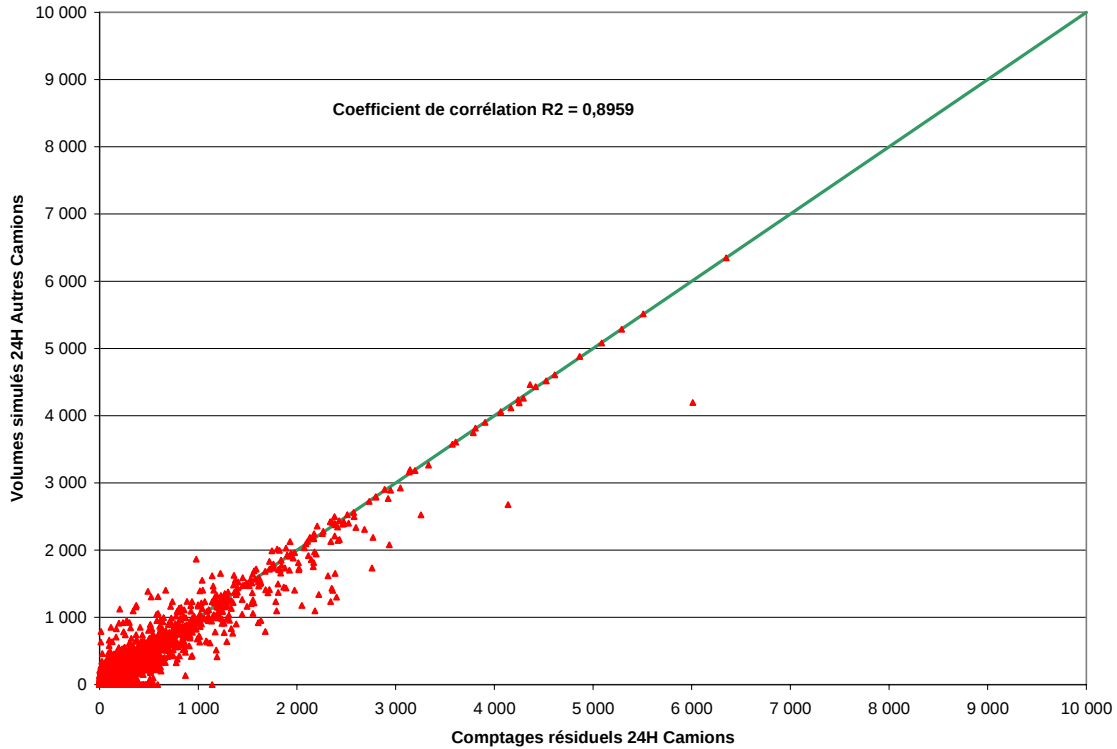


Figure 24 Comparaison des comptages résiduels positifs camions avec les volumes simulés ajustés des autres camions

Nous pouvons composer dès lors les volumes de camions sur les routes comme suit :

$$V^{Camions} = V^{Camions-lourds} + V^{AutresCamions}_{ajustée}$$

La figure 25 montre la comparaison entre les volumes simulés et les comptages de camions, laquelle représente un très acceptable coefficient de corrélation de 95 %. Cela nous permet de dire que les volumes simulés de camions sont assez proches des comptages pour qu'ils puissent être utilisés à des fins d'estimation sur l'ensemble du réseau routier.

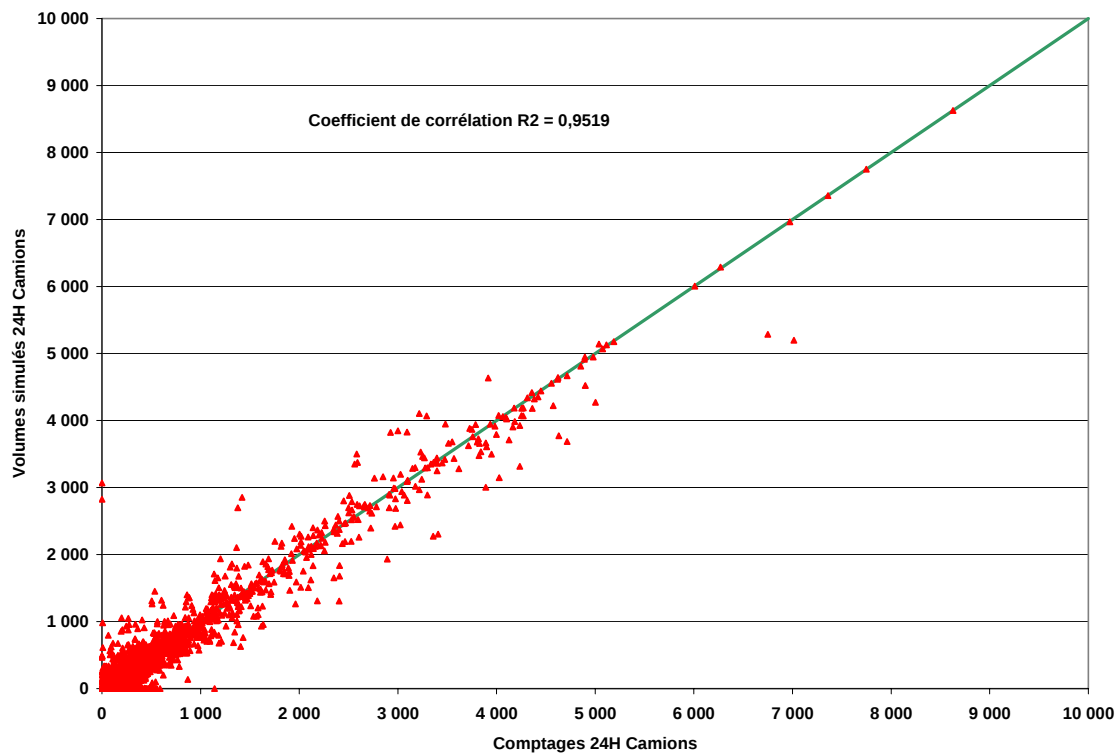


Figure 25 Comparaison entre les volumes simulés de camions et les comptages quotidiens de camions

La figure 26 montre comment les volumes des deux types de camions (camions lourds de longue distance et autres camions) se répartissent auprès de chacune des 4658 stations de comptage de camions.

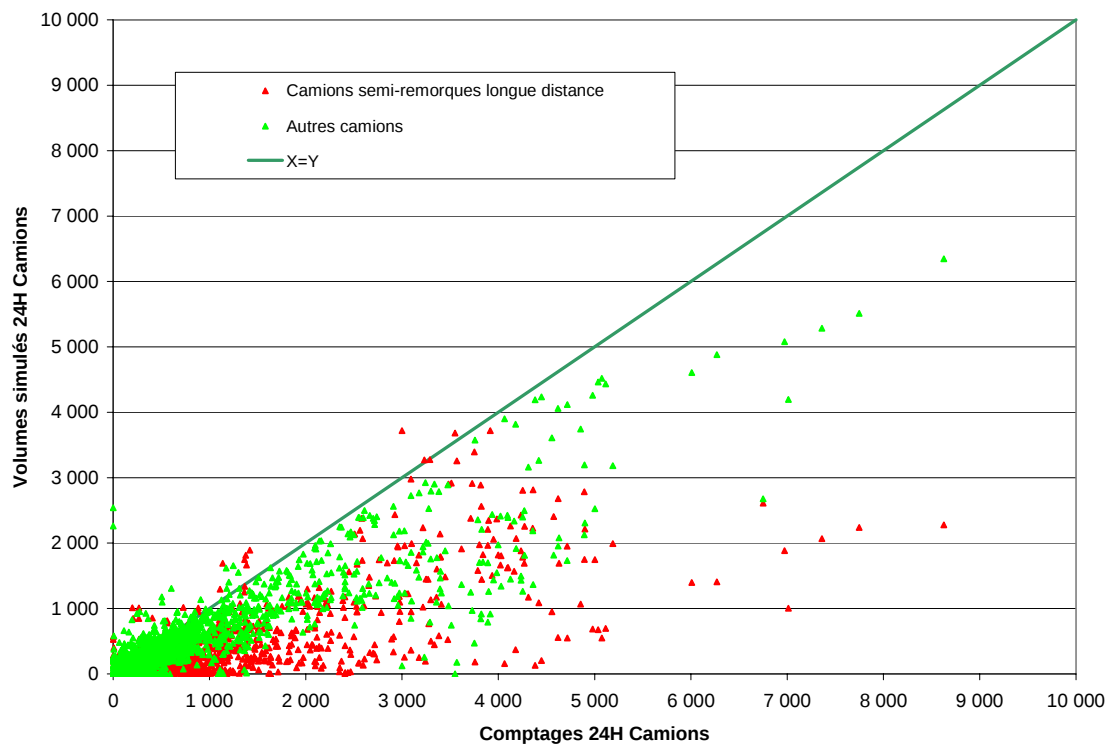


Figure 26 Répartition des volumes simulés de camions selon la catégorie, par rapport aux comptages camions

5. RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION

On examine dans ce chapitre diverses compilations illustrant les résultats de l'exercice de modélisation et permettant d'en dégager une validation empirique. On discute d'abord de la production globale de déplacements révélée par le modèle pour ensuite se pencher sur les statistiques d'utilisation du réseau routier.

On compare plus loin les estimations produites par le présent modèle pan-qubécois avec celles beaucoup plus raffinées issues du modèle régional de la région de Montréal. Finalement, on examinera le bilan des gaz à effet de serre que permet de dégager le présent modèle, par rapport à d'autres sources de données.

On trouvera par ailleurs, à l'annexe D, une description détaillée des métadonnées décrivant les fichiers de résultats issus du présent exercice de modélisation.

5.1 Données globales sur les déplacements

Pour la demande en transport, nous avons tenté d'estimer les déplacements sur le réseau routier supérieur du Québec, et ce, à l'échelle nationale. Nous avons obtenu sur une base quotidienne des déplacements automobiles globalement ajustés pour motifs Travail et Autre et estimés pour motif Tourisme ainsi que des déplacements globalement ajustés pour les camions lourds longue distance et synthétiques pour les autres camions. Nous avons ainsi été en mesure d'estimer, globalement, les flux de véhicules sur le réseau.

Nous faisons une différence entre les déplacements interzonaux et les déplacements intrazonaux. Les déplacements interzonaux sont ceux pour lesquels la zone d'origine du déplacement est différente de la zone de destination dans le système zonal du RMMQ. Ce sont les déplacements interzonaux qui sont chargés sur le réseau routier et nous donnent les volumes de véhicules sur ce réseau. Le chargement de ces déplacements se fait sur la base du chemin le plus court en temps, découlant généralement des vitesses affichées sur les routes.

Le tableau 12 résume les nombres de déplacements estimés par le présent modèle. Sur un total quotidien de plus de 9 millions de déplacements de véhicules, près de 6,9 millions sont interzonaux et peuvent donc être affectés sur le réseau routier modélisé. Il est à noter que le nombre de déplacements automobiles pour motifs Travail et Autre, qui était initialement de 5 677 444, est passé après l'ajustement global sur les comptages à 6 193 642 ($= 3\,854\,060 + 2\,339\,582$).

Un document de la SAAQ¹⁸, produit pour 2001, fournit différentes estimations au regard du parc de véhicules québécois. On y indique que les véhicules de promenade (3 569 352), les automobiles et camions légers utilisés à des fins institutionnelles, professionnelles ou commerciales (450 357) et les taxis (8048) représentent le parc automobile, auquel on ajoute les camions et tracteurs routiers (107 149). Il s'agit donc de 4 027 757 véhicules légers et de 107 149 camions lourds au Québec en 2001.

Cela veut dire que, sur une base quotidienne et en négligeant les véhicules immatriculés en dehors du Québec, chaque véhicule automobile du parc québécois effectue en moyenne 2,2 déplacements ($= 9\,011\,589 / 4\,027\,757$). Ce ratio se situe dans un ordre de grandeur très vraisemblable.

Pour le cas des camions, les déplacements obtenus pour produire les volumes simulés de camions sur le réseau routier nous donnent 3,9 déplacements intermunicipaux par camion ($= 418\,365 / 107\,149$). On sait que les déplacements synthétiques des camions autres que lourds ne doivent pas être considérés comme reflétant la vraie nature de la demande en camionnage, à cause du phénomène des tournées et des voyages à vide. De plus, un certain nombre de camions circulant au Québec sont immatriculés ailleurs et, bien sûr, nous n'avons pas pris en considération les déplacements intrazonaux. Malgré tout, le nombre moyen de déplacements par camion estimé ici est d'un ordre de grandeur très plausible.

¹⁸ SOCIÉTÉ DE L'ASSURANCE AUTOMOBILE DU QUÉBEC, *Dossier statistique : Bilan 2001 des taxis, des autobus et des camions et tracteurs routiers*, novembre 2002, tableau 1.1, page 25.

Tableau 12 Nombres de déplacements véhiculaires estimés par le modèle

Classe des déplacements :	Déplacements 24 heures
Autos ajustés motif Travail interzonaux	3 854 060
Autos ajustés motif Autre interzonaux	2 339 582
Autos estimés motif Tourisme interzonaux	299 510
Total autos interzonaux :	6 493 151
Autos motif Travail intrazonaux	1 073 280
Autos motif Autre intrazonaux	1 445 158
Autos motif Tourisme intrazonaux	n.d.
Total Autos motif Travail	4 927 340
Total Autos motif Autre	3 784 740
Total Autos motif Tourisme	299 510
Total autos :	9 011 589
Camions synthétiques interzonaux	418 365
Camions intrazonaux	n.d.
Total véhicule :	9 429 954

La figure 27 montre la répartition géographique des déplacements automobiles intrazonaux, la surface des cercles étant en proportion du nombre de ces déplacements intrazonaux, alors que la figure 28 montre la distribution géographique des origines (ou des destinations, par symétrie) des déplacements automobiles interzonaux.

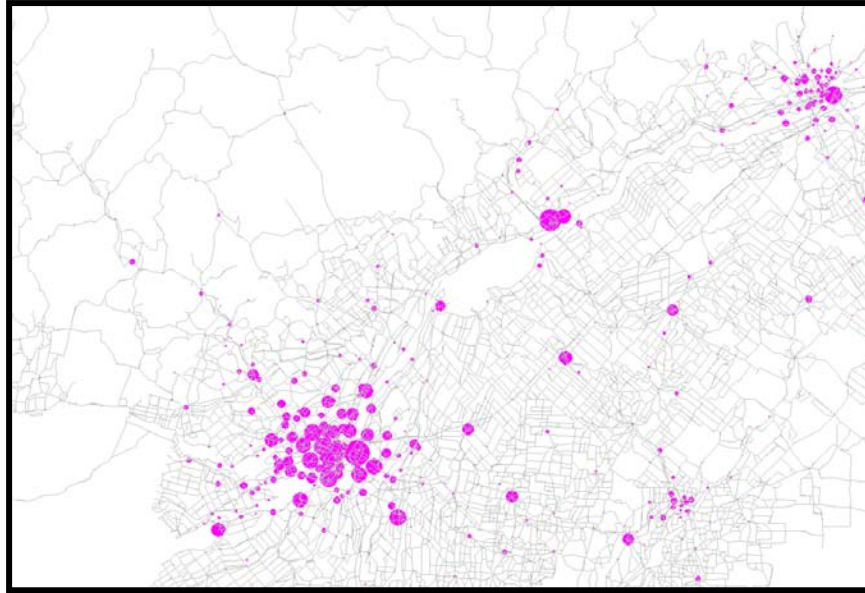


Figure 27 Distribution géographique des déplacements intrazonaux automobiles

On a calculé la distance et le temps de l'itinéraire du chemin le plus court en temps pour toutes les paires origine-destination comportant des déplacements automobiles. Sur la base de ces temps et distances, les figures 29 et 30 présentent la distribution des nombres de déplacements automobiles interzonaux selon leur distance routière et motif. Sur ces figures, les distances routières présentées sur l'axe des abscisses sont les valeurs médianes des intervalles de distances considérés. Ainsi, 12,5 km représente l'intervalle de 0 à 25 km, 50 km représente celui de 25 à 75 km, 100 km représente celui de 75 à 125 km, etc.

Dans le cas de la figure 30, chaque ensemble de déplacements par motifs est considéré indépendamment et représente 100 %. Ainsi, 85 % de tous les déplacements automobiles pour motif Autre se font sur une distance routière moyenne de 12,5 km (entre 0 et 25 km), alors que 65 % de tous les déplacements automobiles pour motif Travail se font dans cette même plage de distance. Il n'y a que 15 % de tous les déplacements automobiles pour motif Tourisme dans cette classe de distance routière, ce qui est raisonnable.

Si on regarde du côté des vitesses moyennes interzonales au lieu des distances routières, on obtient les graphiques présentés aux figures 31 et 32. Chaque vitesse représente un intervalle; par exemple, 5 km/h désigne l'intervalle entre 2,5 km/h et 7,5 km/h, et 10 km/h l'intervalle entre 7,5 et 12,5 km/h. Il en sera ainsi pour tous les graphiques qui suivront et qui portent sur les vitesses.

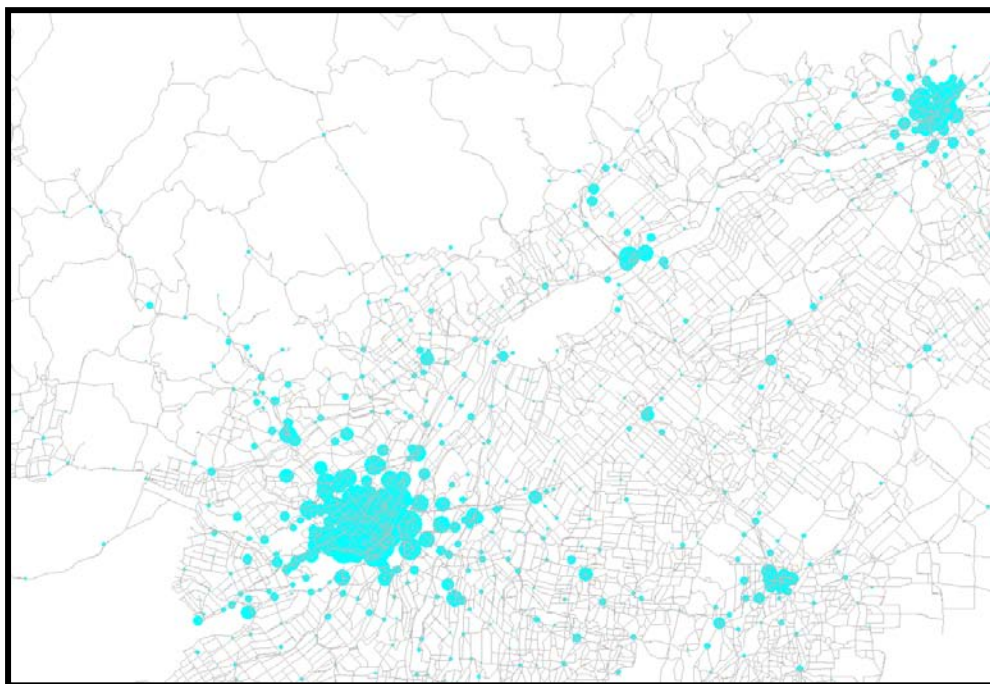


Figure 28 Distribution géographique des origines de déplacements interzonaux automobiles

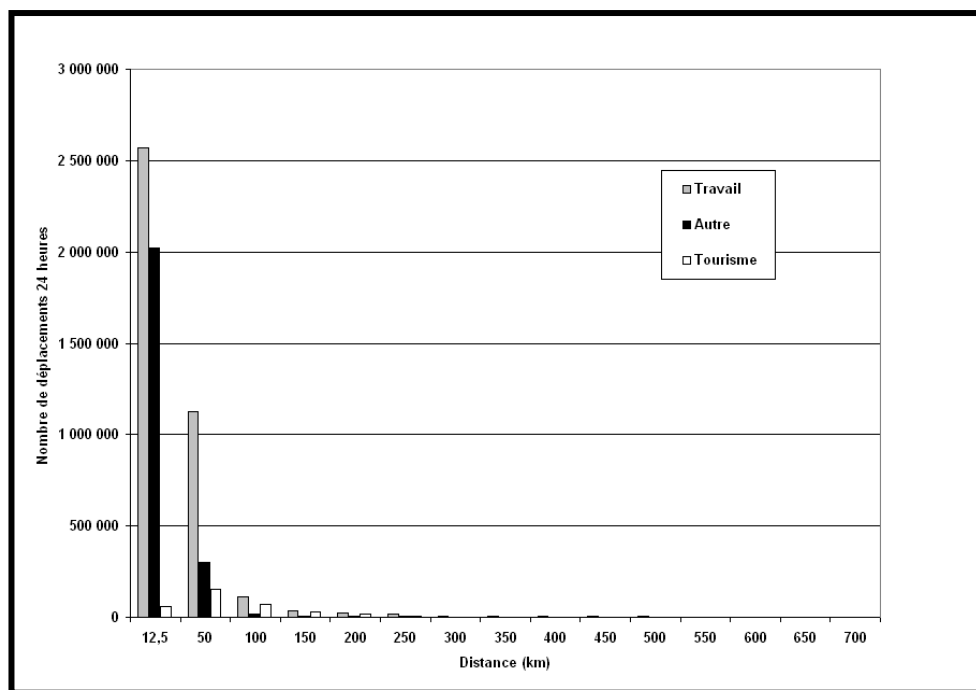


Figure 29 Distribution du nombre de déplacements interzonaux automobiles selon la distance routière et selon le motif

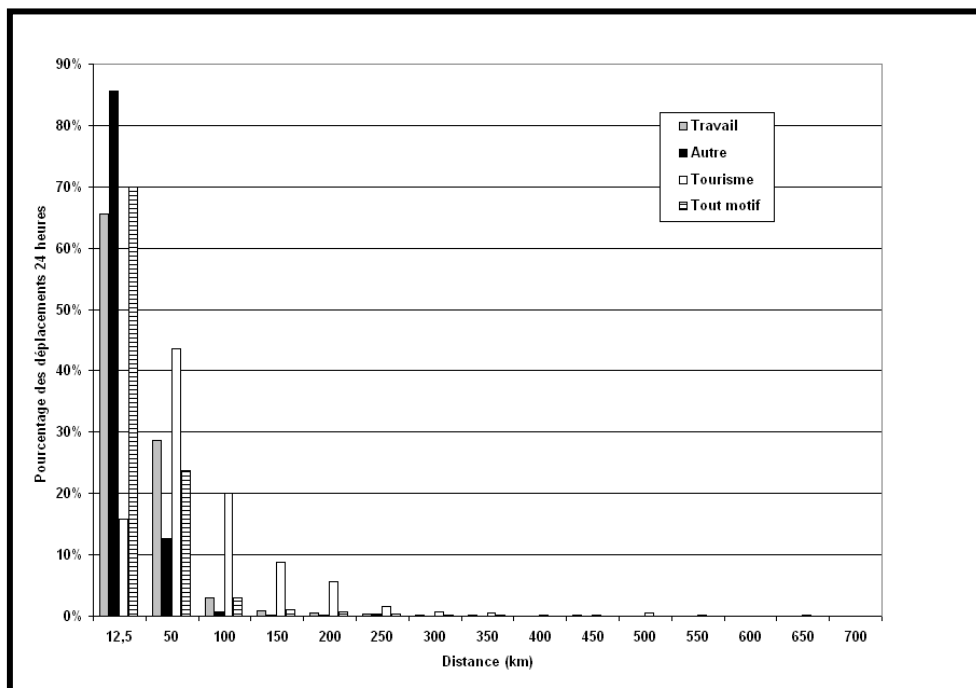


Figure 30 Distribution en pourcentage des déplacements interzonaux automobiles selon la distance routière et selon le motif

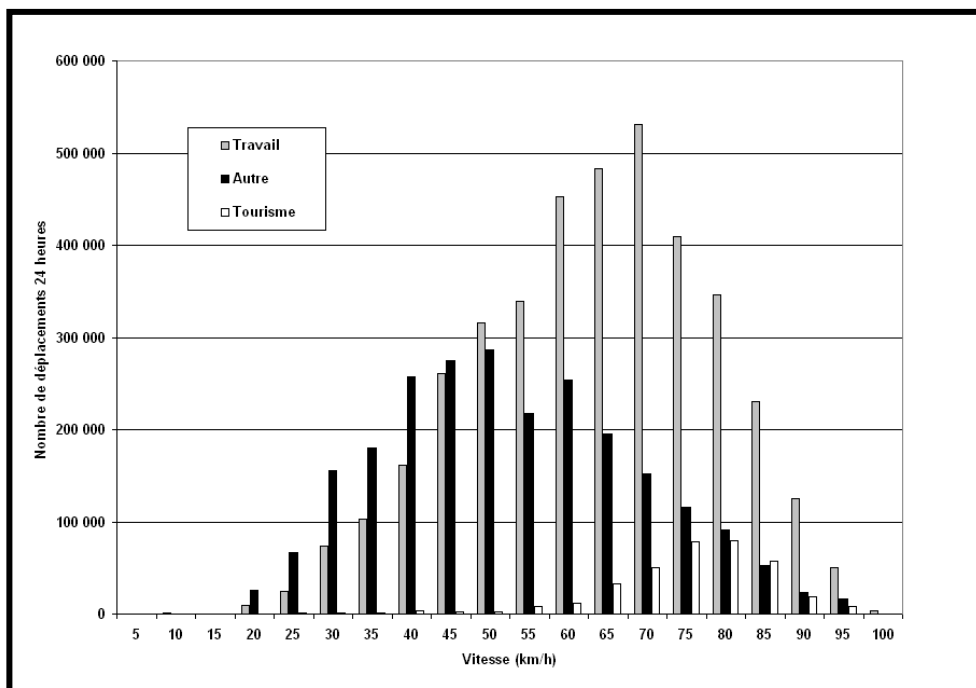


Figure 31 Distribution du nombre de déplacements interzonaux automobiles selon la vitesse et selon le motif

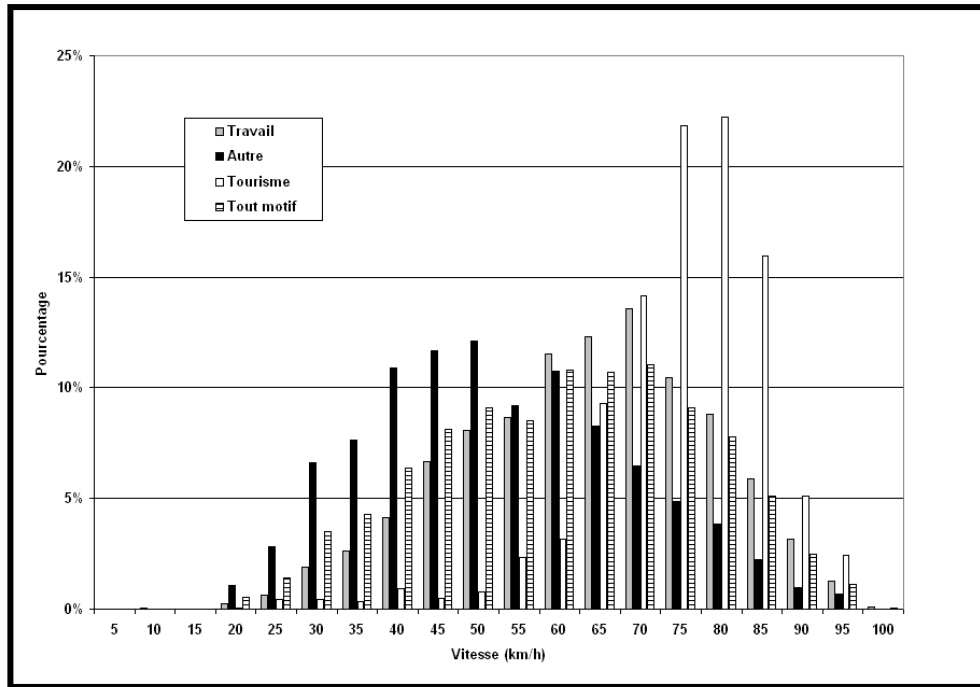


Figure 32 Distribution en pourcentage du nombre de déplacements interzonaux automobiles selon la vitesse et selon le motif

Les figures 31 et 32 nous montrent la répartition respectivement en nombre absolu et en pourcentage des déplacements automobiles interzonaux par motifs, selon la vitesse moyenne de parcours – le ratio de la distance de l'origine à la destination du déplacement sur le temps – suivant des tranches de vitesse de 5 km/h. La vitesse moyenne d'un déplacement automobile interzonal pour motif Autre est de 61 km/h, suivi du motif Travail avec 71 km/h et pour terminer du motif Tourisme avec 74 km/h. Ces vitesses sont le reflet cohérent des distances moyennes que nous obtenons pour les déplacements automobiles interzonaux, soit 16,6 km (motif Autre), 28,9 km (Travail) et 94,4 km (Tourisme). Il est à noter que, dans le cas du tourisme, nous avons exclu potentiellement plusieurs déplacements de courte distance émanant des territoires des enquêtes O-D urbaines, car nous considérons plutôt que ces déplacements y sont effectués sous le motif Loisir (des enquêtes O-D urbaines) qui est amalgamé au motif Autre dans le présent modèle.

5.2 Véhicules simulés sur le réseau routier

Les volumes de véhicules simulés sur le réseau routier sont comparés aux comptages selon le type de route concerné. Les tableaux 13 et 14 montrent les statistiques associées respectivement aux automobiles et aux camions pour les volumes simulés et pour les comptages.

Soit V_i le volume simulé et C_i le comptage pour les liens $i = 1, n$; l'erreur moyenne est la moyenne des différences en absolu entre le volume simulé et le comptage :

$$\text{Erreur moyenne} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |V_i - C_i|$$

Tableau 13 Comparaison statistique des comptages et des volumes simulés pour les automobiles selon le type de route

Type de route	Comptage moyen	Volume simulé moyen	Nombre de comptages	Erreur moyenne
Autoroute	16 469	16 481	513	1 598
Nationale	3 136	2 925	1 336	768
Régionale	1 982	1 831	1 077	585
Collectrice	1 029	810	1 644	503
Locale	1 092	670	58	655
Forestière	93	109	29	117
Total	3 550	3 373	4 657	718

Tableau 14 Comparaison statistique des comptages et des volumes simulés pour les camions selon le type de route

Type de route	Comptage moyen	Volume simulé moyen	Nombre de comptages	Erreur moyenne
Autoroute	1 857	1 869	511	213
Nationale	346	326	1 336	88
Régionale	197	179	1 077	73
Collectrice	90	72	1 644	55
Locale	80	43	58	59
Forestière	34	12	29	26
Total	382	367	4 657	86

Les deux précédents tableaux révèlent que plus les volumes simulés de véhicules sont petits, plus l'imprécision augmente, et cela va dans le sens de la hiérarchie du réseau routier. Ainsi, pour l'autoroute, l'erreur moyenne sur les comptages est de 9,7 % (1598/16 469) pour les automobiles et de 11,5 % (213/1857) pour les camions, alors que pour les routes nationales on passe respectivement à 24,5 % et à 25,4 %. On a encore 29,5 % pour les automobiles et 37 % pour les camions dans le cas des routes régionales. Pour les routes collectrices et les routes locales, on avoisine les 50 %.

L'estimation de la consommation routière s'exprime en véhicules-kilomètres et en véhicules-heures. Dans le cas des volumes simulés sur le réseau routier modélisé, donc associés aux déplacements interzonaux, le calcul se fait sur l'ensemble des liens L :

$$\begin{aligned} auto - km &= \sum_{l \in L} Auto_l \cdot Longueur_l \\ camion - km &= \sum_{l \in L} Camion_l \cdot Longueur_l \\ auto - h &= \sum_{l \in L} Auto_l \cdot Longueur_l / Vitesse_l \\ camion - h &= \sum_{l \in L} Camion_l \cdot Longueur_l / Vitesse_l \end{aligned}$$

Dans le cas des déplacements intrazonaux, que nous n'affectons par sur le réseau, une estimation mérite tout de même d'être faite. On y procède en établissant une distance intrazonale représentative de chaque zone de l'ensemble Z.

Définissons le rayon d'un cercle de surface équivalente à la zone z comme le terme « Rayon_z » et l'ensemble des liens d'accès à une zone z comme « A_z ». Puisque les zones ont des dimensions qui varient énormément et puisque le réseau routier parcourt ces territoires, nous devons estimer la longueur du déplacement intrazonal typique en deux parties. La longueur du déplacement intrazonal Longueur_z sera composée d'une distance d'accès au réseau DistAccès_z et d'une distance sur le réseau routier DistRoute_z pour la zone z :

$$\begin{aligned} Longueur_z &= DistAccès_z + DistRoute_z = Rayon_z \\ DistAccès_z &= Minimum(Rayon_z, Maximum_{l \in A_z}(Longueur_l)) \\ DistRoute_z &= Rayon_z - DistAccès_z \end{aligned}$$

On calcule la vitesse moyenne d'accès au réseau routier pour la zone z , $VitesseAccès_z$, comme le rapport entre les autos-km et les autos-h, pour l'ensemble des liens d'accès A_z . On supposera que la vitesse d'un déplacement intrazonal sur la portion routière est de 50 km/h :

$$VitesseAccès_z = \left(\sum_{l \in A_z} Auto_l \cdot Longueur_l \right) / \left(\sum_{l \in A_z} Auto_l \cdot Longueur_l / Vitesse_l \right)$$

La vitesse moyenne $Vitesse_z$ du déplacement intrazonal pour la zone z est une pondération des deux précédentes vitesses :

$$Vitesse_z = (DistAccès_z \cdot VitesseAccès_z + DistRoute_z \cdot 50) / (DistAccès_z + DistRoute_z)$$

Pour les déplacements intrazonaux, nous avons :

$$auto - km = \sum_{z \in Z} Auto_z \cdot Longueur_z$$

$$auto - h = \sum_{z \in Z} Auto_z \cdot Longueur_z / Vitesse_z$$

Le tableau 15 présente les différentes statistiques à l'égard de l'utilisation du réseau routier. Signalons que les données sont présentées en deux colonnes, selon qu'on retient l'ensemble du réseau représenté au RMMQ ou qu'on en retire les quelques tronçons routiers hors Québec ainsi que les segments de traversiers.

On estime ainsi, pour un jour moyen de 2001, une consommation de 171 786 522 autos-km et de 17 122 152 camions-km sur le réseau routier du Québec. Si on applique ces indicateurs au parc automobile correspondant, on trouve un kilométrage moyen annuel de 15 570 km ($= 365 \cdot 171\,786\,522 / 4\,027\,757$) pour les automobiles et de 58 330 km ($= 365 \cdot 17\,122\,152 / 107\,149$) pour les camions. Dans les deux cas, il s'agit d'indicateurs plausibles.

Tableau 15 Les indicateurs d'utilisation du réseau routier pour les automobiles et les camions; journée estimée de 2001

Indicateur	Réseau complet RMMQ	Réseau routier québécois ¹⁹
Autos-km intrazonaux	10 143 587	10 143 587
Autos-km Travail	108 145 313	102 226 558
Autos-km Autre	37 253 367	36 766 980
Autos-km Tourisme	25 571 432	22 485 106
Autos-km Total	181 113 699	171 786 522
Camions-km	18 970 201	17 122 152
Véhicules-km	200 083 900	188 908 674
Autos-h intrazonaux	234 922	234 922
Autos-h Travail	1 508 268	1 444 255
Autos-h Autre	614 334	609 061
Autos-h Tourisme	319 153	285 289
Autos-h Total	2 676 678	2 573 527
Camions-h	240 003	219 879
Véhicules-h	2 916 681	2 793 406

Le tableau 16 montre les vitesses moyennes obtenues selon le rapport des véhicules-kilomètres (véh-km) sur les véhicules-heures (véh-h). On constate de légères variations des vitesses moyennes selon le motif de déplacement. En particulier, les déplacements intrazonaux étant des déplacements de petite distance, ils ont une vitesse moyenne beaucoup plus faible que les déplacements interzonaux. Les camions ont des vitesses moyennes de déplacement supérieures aux automobiles, compte tenu qu'ils se concentrent beaucoup plus sur le réseau supérieur où les vitesses permises sont plus élevées.

¹⁹ Routes hors Québec et traversiers exclus.

Tableau 16 Les vitesses moyennes (km/h) estimées sur le réseau routier

Indicateur	Réseau complet RMMQ	Réseau routier québécois
Vitesse autos Total	67,7	66,8
Vitesse autos déplacements interzonaux	70,0	69,0
Vitesse autos déplacements intrazonaux	43,2	43,9
Vitesse autos Travail	71,7	70,8
Vitesse autos Autre	60,6	60,4
Vitesse autos Tourisme	80,1	78,8
Vitesse camions déplacements interzonaux	79,0	77,9
Vitesse pour l'ensemble des véhicules	68,6	67,6

Les figures 33 et 34 montrent respectivement les volumes quotidiens d'automobiles et de camions sur le réseau routier, à l'aide de traits dont l'épaisseur est proportionnelle au flux. Comme l'échelle utilisée pour les flots de camions à la figure 34 est 1/10 de celle pour les flots d'automobiles de la figure 33, on s'aperçoit que les camions sont, en proportion, plus nombreux sur les autoroutes que les automobiles.

Les figures 35 et 36 montrent la distribution des autos-km et leur répartition en pourcentage selon la vitesse donnée sur chaque lien routier du RMMQ et selon le motif pour 2001. Dans le cas présent, les liens d'accès sont inclus et seules les routes du Québec ont été retenues.

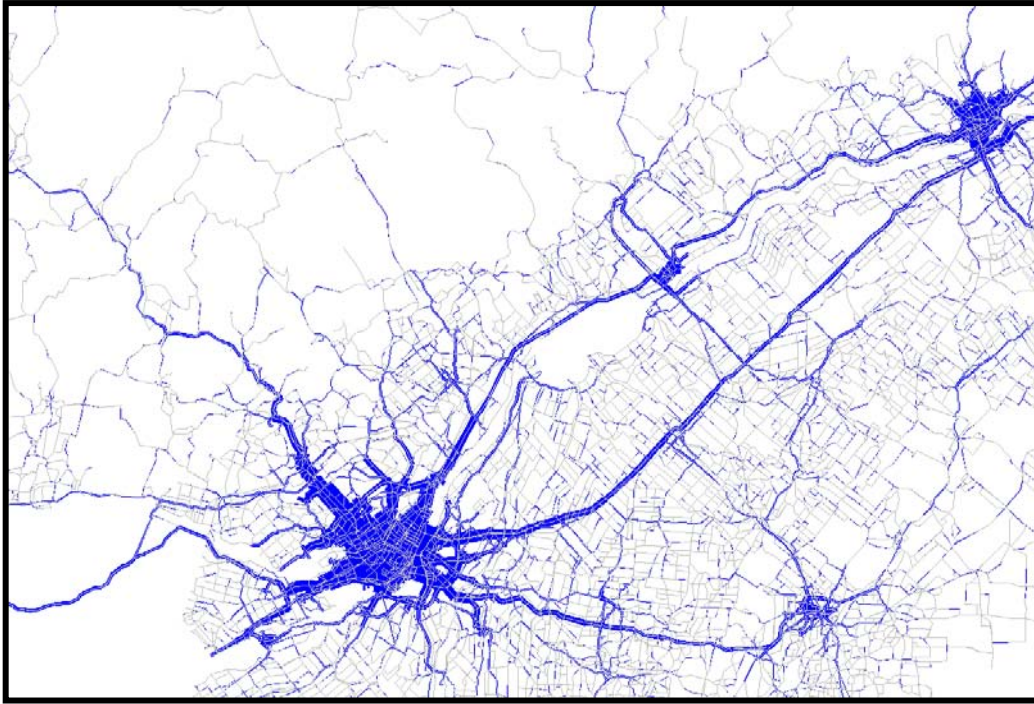


Figure 33 Les volumes automobiles sur le réseau routier; jour moyen de 2001

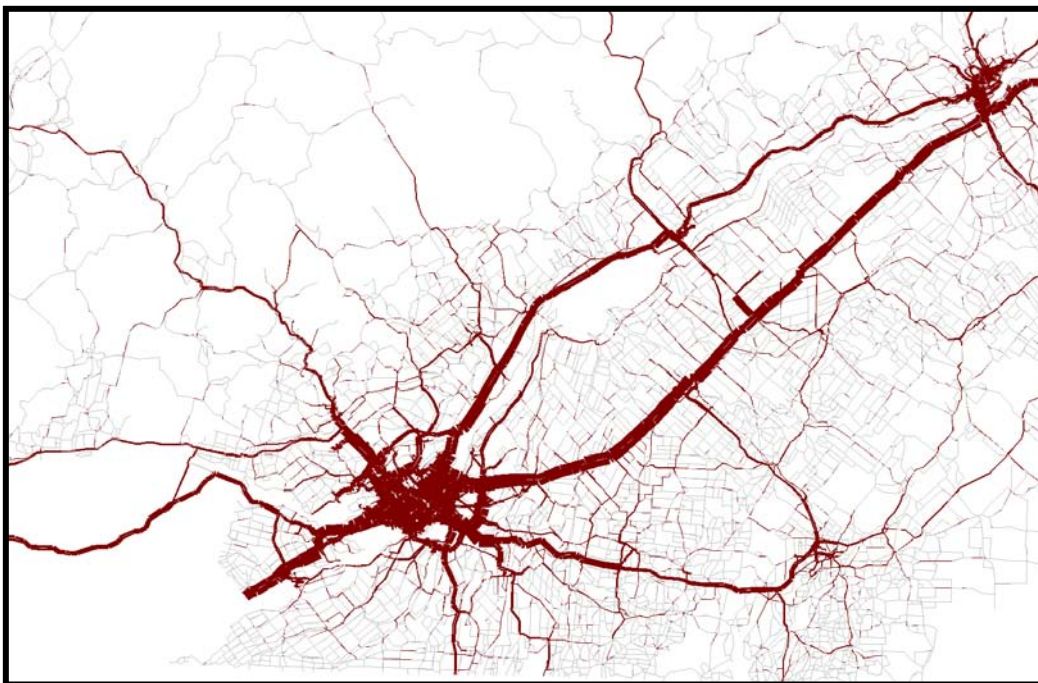


Figure 34 Les volumes camion sur le réseau routier (1/10 de l'échelle des volumes automobiles); jour moyen de 2001

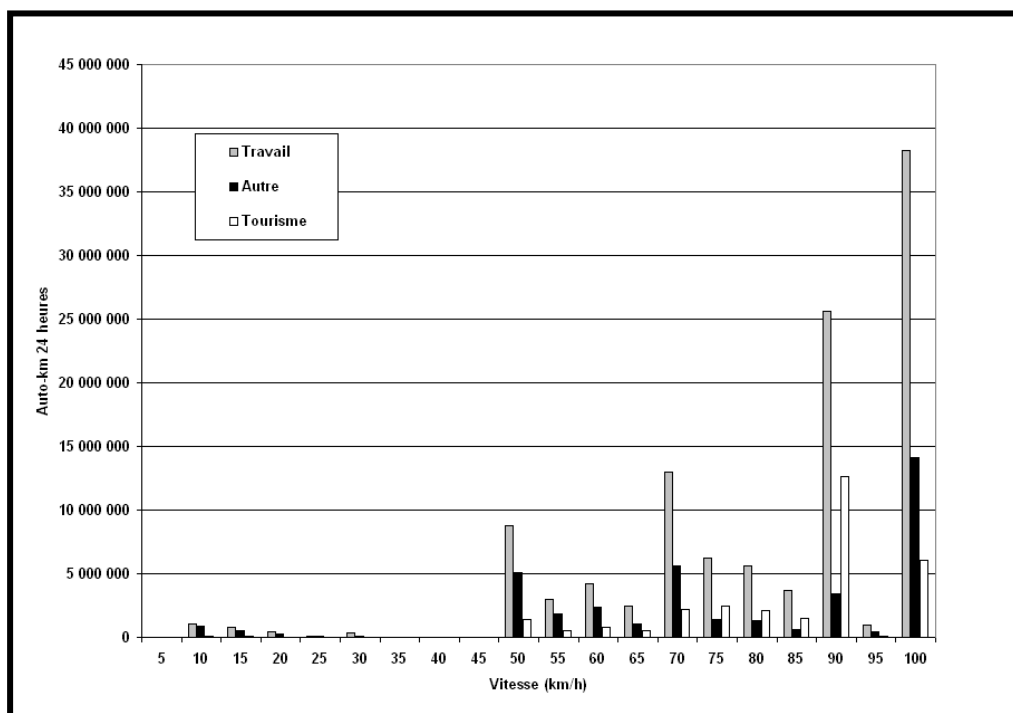


Figure 35 Distribution des auto-km selon le motif et la vitesse sur chaque lien

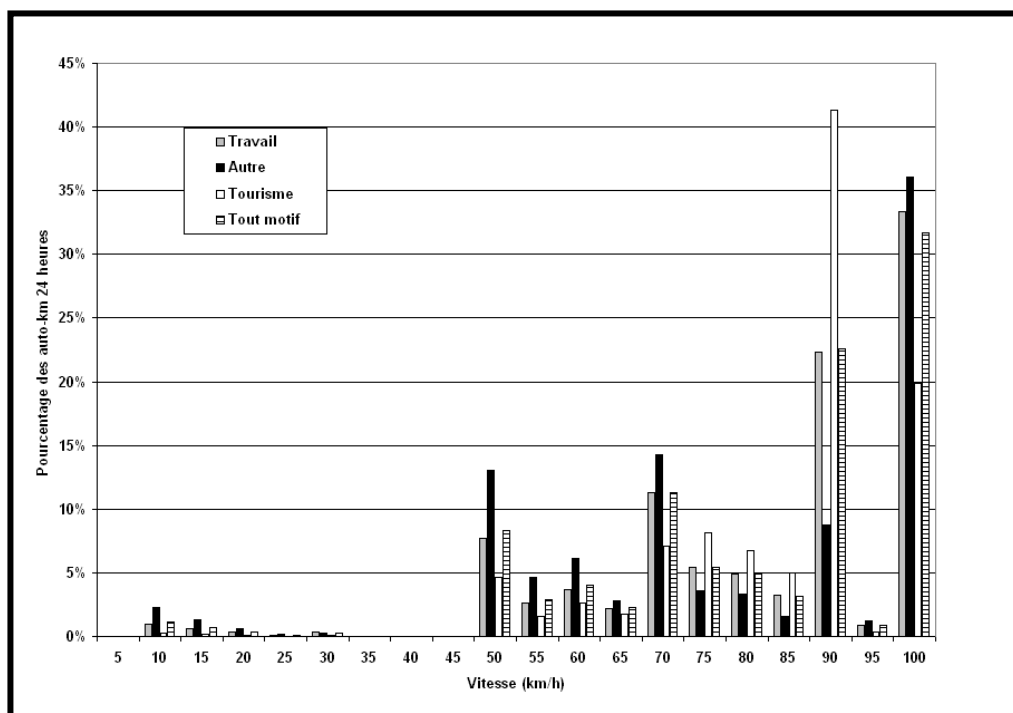


Figure 36 Répartition en pourcentage des auto-km selon le motif et la vitesse sur chaque lien

Finalement, les figures 37 et 38 montrent la distribution des véhicules-km et leur répartition en pourcentage selon la vitesse pratiquée sur chaque lien routier, selon le type de véhicule (auto ou camion), toujours pour une journée moyenne de 2001. Dans le cas présent, les liens d'accès sont inclus et seules les routes du Québec ont été retenues.

Il ressort clairement que les camions se déplacent davantage sur les autoroutes que les automobiles puisque, toute proportion gardée, il y a plus de camions-km dans les tranches de vitesse entre 90 et 100 km/h que dans les tranches inférieures à 90 km/h où se concentrent davantage les automobiles-km.

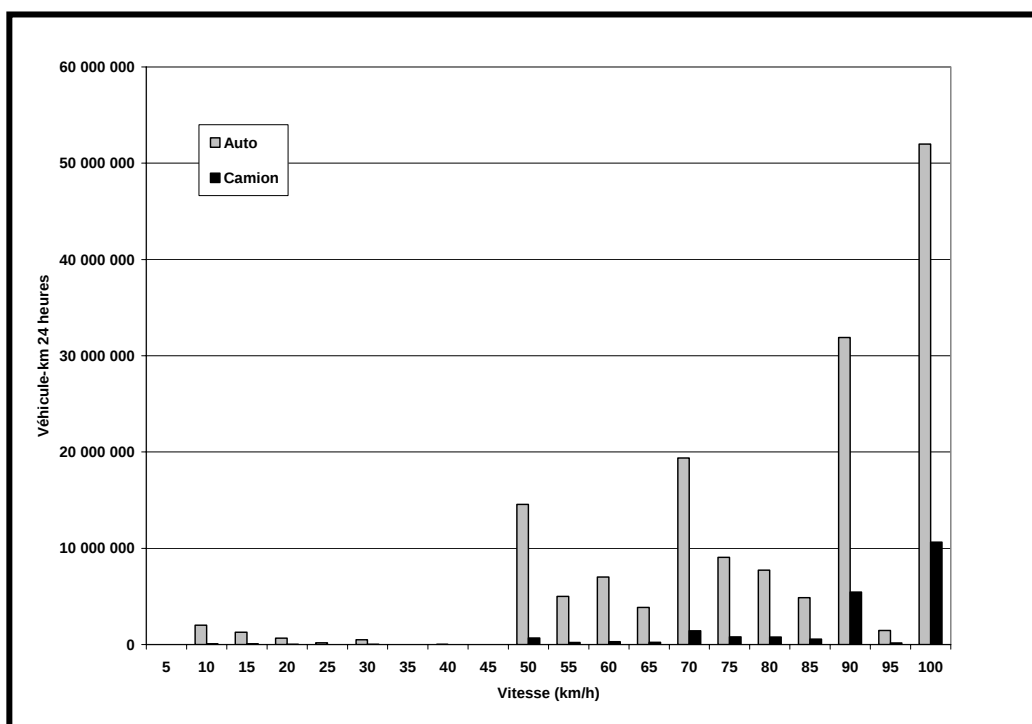


Figure 37 Répartition des véhicule-km selon la vitesse sur chaque lien et le type de véhicule

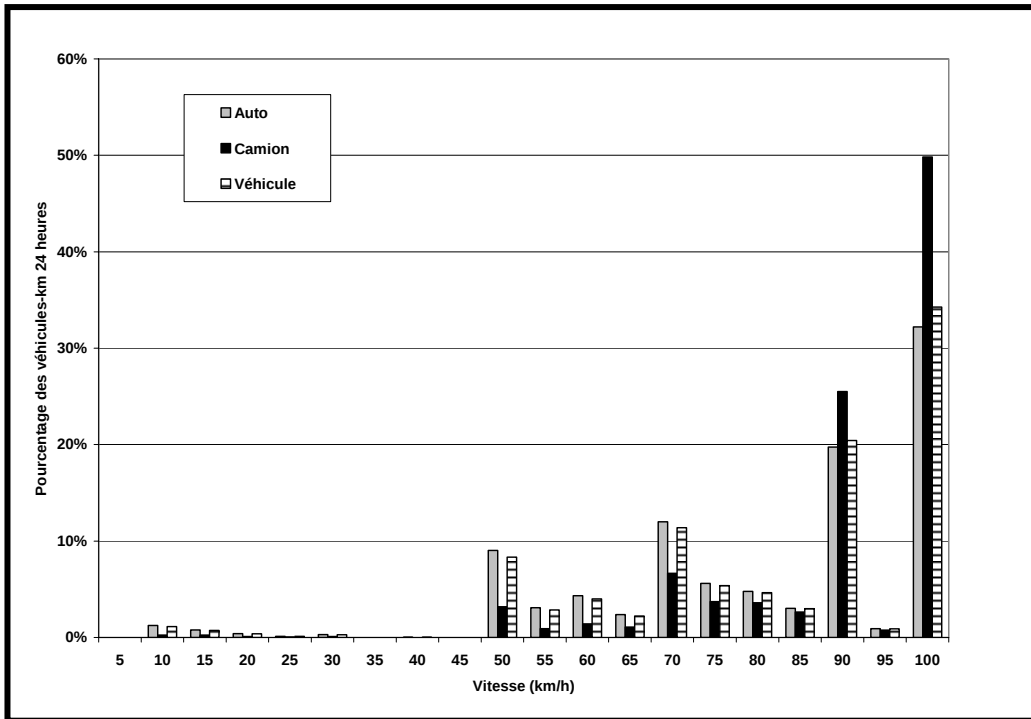


Figure 38 Répartition en pourcentage des véhicules-km selon la vitesse sur chaque lien et le type de véhicule

5.3 Les véhicules-kilomètres dans la région de Montréal

Afin de contrôler la performance du présent modèle, il est possible d'en comparer les résultats en termes de véhicules-km estimés avec ceux obtenus par le modèle régional de Montréal (MOTREM) pour un jour ouvrable moyen d'automne en 1998.

Le modèle régional de Montréal traite des matrices de demande pour chaque période d'un jour ouvrable moyen d'automne, soit la période de pointe du matin (6 h à 9 h), la période hors pointe du jour (9 h à 15 h 30), la période de pointe du soir (15 h 30 à 18 h 30), la période hors pointe du soir (18 h 30 à 24 h) et la période de nuit (0 h à 6 h). Les matrices sont affectées sur le réseau routier à l'aide d'un algorithme prenant en considération les effets de la congestion dans la recherche des chemins les plus courts.

La figure 39 illustre le réseau routier modélisé dans le MOTREM (en noir) par rapport aux liens pris en considération dans le RMMQ (en orange). On comprend facilement la différence de résolution géographique lorsqu'on sait que le MOTREM se base sur un découpage en 1425 zones, alors que le RMMQ couvre le même territoire avec seulement 168 zones. Une autre différence fondamentale entre les deux modèles réside dans le niveau de résolution temporelle; alors que le RMMQ est limité à l'estimation des conditions journalières moyennes, le MOTREM différencie les périodes de la journée et simule explicitement les effets de la congestion routière.

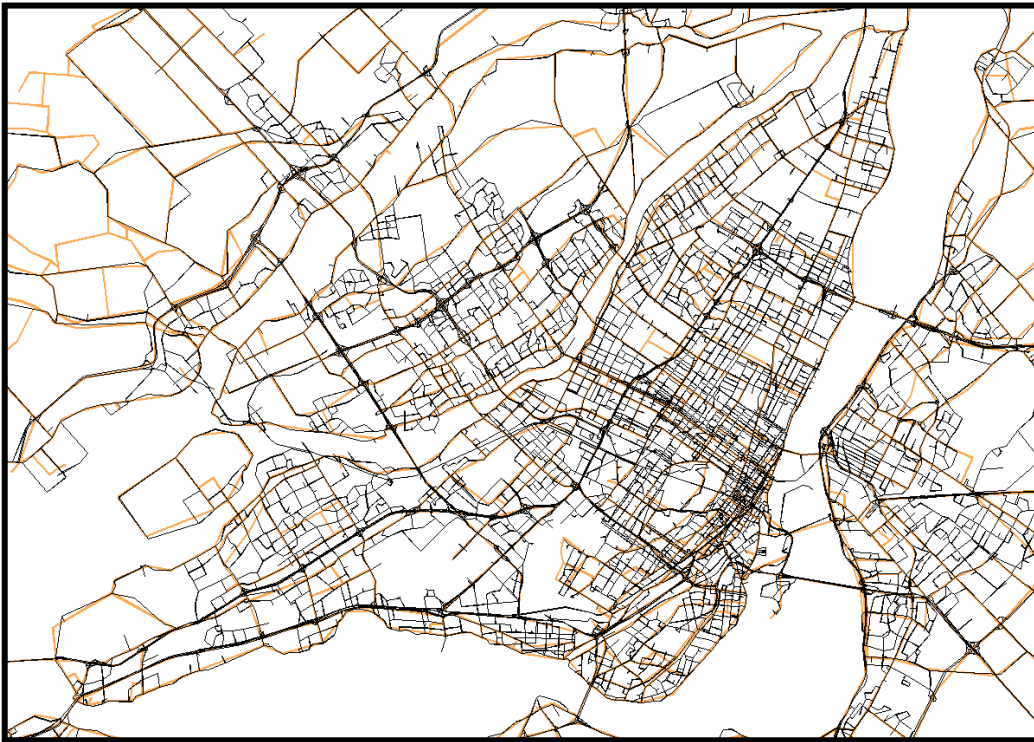


Figure 39 Le réseau routier modélisé dans le modèle régional de Montréal (trait noir) en superposition au réseau RMMQ (trait orange)

Nous avons ensuite extrait les liens du réseau routier RMMQ compris dans le territoire couvert par le MOTREM et l'enquête origine-destination de Montréal 1998 (figure 40) afin de compiler des statistiques pour un territoire équivalent.

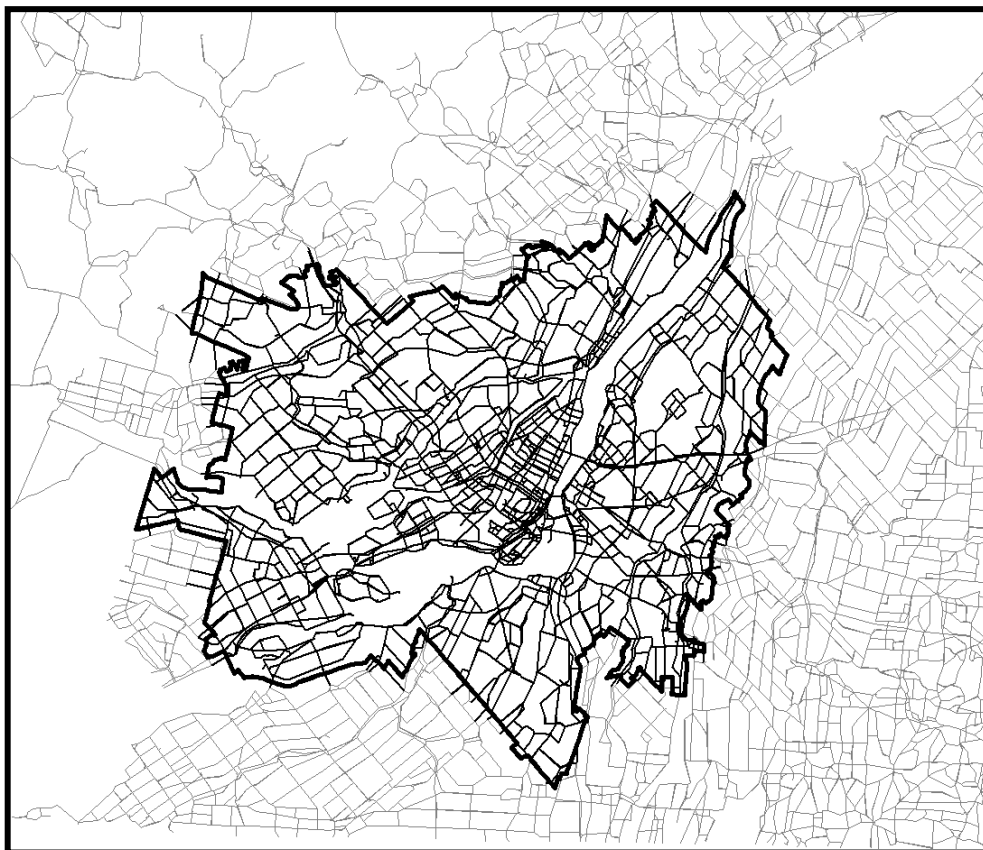


Figure 40 Couverture du territoire de la région de Montréal (limites en trait gras noir) et extraction des liens du RMMQ (en noir sur le territoire et en gris hors territoire)

Les statistiques de véhicules-km ont donc été comptabilisées, selon les deux modèles, pour la région de Montréal. Le tableau 17 présente les comparaisons des véhicules-km entre les deux modèles pour le territoire de la région de Montréal.

Tableau 17 Comparaison des véhicules-km estimés par le MOTREM et le RRMQ pour la région de Montréal

Indicateur	MOTREM 1998	RMMQ 2001
Autos-km (24 h)	72 121 689	69 605 811
Camions-km (24 h)	5 827 480	5 600 669

Tant pour les automobiles que pour les camions, la comparaison montre une adéquation tout à fait satisfaisante, quoique le modèle « national » RMMQ semble produire une légère sous-estimation (environ 4 %) et qu'il reflète en principe une situation de trois ans plus jeune.

5.4 Le bilan annuel des gaz à effet de serre (GES)

Nous comparons dans cette section le bilan annuel des gaz à effet de serre (GES) produit par le ministère de l'Environnement du Québec²⁰ aux estimations faites à partir de notre modèle « national ». Nous allons utiliser deux méthodes aux fins d'estimation. Selon une des deux méthodes, il s'agit essentiellement d'appliquer aux véhicules-km simulés sur le réseau routier panquébécois des taux d'émission selon les vitesses dérivés du modèle d'émission des polluants développé sur la base du progiciel Mobile6.2C pour l'application du modèle régional de Montréal. Cette première méthode nécessite l'obtention de véhicules-km par vitesses sur le réseau routier.

Une deuxième méthode consiste à appliquer simplement des taux moyens d'émission de GES sur les véhicules-km totaux obtenus.

Les émissions de GES attribuables au transport routier se situent à 28,33 Mt (mégatonnes métriques) en 2000, selon les estimations produites par le ministère de l'Environnement du Québec.

5.4.1 Méthode du kilométrage par tranche de vitesse

Nous allons considérer les autos-km des déplacements d'automobiles interzonaux, les camions-km des déplacements de camions interzonaux et les autos-km des déplacements d'automobiles intrazonaux, pour lesquels nous avons des vitesses associées. Par ailleurs, nous utiliserons les taux de base de l'année 2000 des émissions de GES, selon la vitesse, issus du modèle d'émission de polluants Mobile6.2C version 4, intégré au MOTREM.

À cet égard, nous simplifions en composant des taux de GES à partir du modèle Mobile6.2C-MOTREM pour les véhicules légers (automobiles) et pour les camions en considérant une répartition de 42 % dans l'utilisation de l'autoroute versus le reste du réseau routier – c'est le ratio des véhicules-km autoroute versus le reste du réseau :

$$\text{Taux [Véh,Vitesse]} = 42 \% * \text{Taux}_{\text{autoroute}} [\text{Véh,Vitesse}] + 58 \% * \text{Taux}_{\text{artère}} [\text{Véh,Vitesse}]$$

Nous avons donc compilé par vitesses en tranches de 5 km/h les autos-km et les camions-km tirés du modèle RMMQ. Le tableau 18 présente ces compilations ainsi que les taux kilométriques d'émission de GES²¹, en grammes, pour les véhicules automobiles et les camions, selon la vitesse moyenne de circulation, par tranches de 5 km/h.

²⁰ ENVIRONNEMENT QUÉBEC, *Inventaire québécois des gaz à effet de serre 1990-2000*, septembre 2002.

²¹ Les gaz à effet de serre (GES) produits par les véhicules sont composés du CO₂, du CH₄ et du N₂O, tous exprimés en CO₂ équivalent en termes d'effet de serre.

À partir du tableau 18, nous avons pu calculer les taux moyens (pondérés) suivants pour les déplacements interzonaux : 214 g/km pour l'automobile et 549 g/km pour le camion.

Tableau 18 Véhicules-km interzonaux et taux d'émission de GES utilisés

Vitesse	Autos-km tous motifs	Taux GES autos (g/km)	Camions-km	Taux GES camions (g/km)
5	9 201	1 075	1 793	2 130
10	2 010 527	560	103 984	1 132
15	1 279 313	430	74 798	944
20	649 593	356	37 838	807
25	182 793	313	10 476	733
30	491 357	288	37 125	675
35	0	267	0	657
40	26 067	253	1 462	639
45	6 791	241	226	611
50	14 557 164	229	920 541	580
55	5 005 247	220	299 161	579
60	7 000 256	214	423 602	549
65	3 851 207	211	270 319	527
70	19 385 437	209	1 483 667	533
75	9 057 978	203	830 922	541
80	7 719 981	197	708 468	526
85	4 871 985	199	506 534	519
90	31 894 220	204	4 304 557	532
95	1 473 606	210	111 015	544
100	52 005 923	219	6 995 665	600

De façon générale, le calcul en Mt annuel des GES se fera sur la base suivante à partir des véhicules-km:

$$\begin{aligned}
 \text{GES 24 heures (g)} &= \text{véhicules-km} \times \text{taux GES kilométrique (g/km)} \\
 \text{GES année (Mt)} &= 365 \text{ jours/an} \times \text{GES 24 heures (g)} / 10^{12} \text{ g/Mt}
 \end{aligned}$$

En ce qui concerne les véhicules affectés sur le réseau routier de notre modèle (le tableau 18), le calcul des GES est le suivant :

GES 24 heures (g) véhicules interzonaux =

$$\sum_{Vitesse=5}^{100} [(autoskm[Vitesse] \cdot Taux[auto, Vitesse]) + (camionskm[Vitesse] \cdot Taux[camion, Vitesse])]$$

Nous obtenons une émission globale de 16,33 Mt de GES attribuable aux véhicules interzonaux simulés dans notre modèle, lesquels représentent 161 478 645 autos-km et 17 122 152 camions-km pour 24 heures (tableau 18).

Il y manque cependant des déplacements de véhicules, et nous allons maintenant évaluer ces véhicules-km manquants (sur la base 24 h) qui correspondent aux déplacements intrazonaux. En ce qui concerne ceux des automobiles, nous les avons pour le motif Travail et en partie pour le motif Autre – seulement sur les territoires des enquêtes O-D régionales. La section 5.2 explique comment nous avons estimé les distances de ces déplacements. Il nous manque donc les déplacements automobiles intrazonaux pour le motif Autre à l'extérieur des territoires des enquêtes O-D régionales ainsi que les déplacements de camions intrazonaux.

Notons qu'il n'y a pas de déplacements automobiles intrazonaux pour motif Tourisme.

Aux fins du présent exercice, nous considérons le territoire du Québec en deux parties : le milieu urbain constitué des cinq territoires des enquêtes O-D régionales et le milieu dit « des régions » pour le reste du territoire.

Les déplacements automobiles intrazonaux pour motif Travail sur tout le territoire et pour motif Autre en milieu urbain nous donnent 10 143 587 autos-km journaliers. Et puisque la vitesse moyenne avoisine 45 km/h (43,2 km/h selon le tableau 16), nous prenons le taux de GES conséquent, soit 241 g/km (tableau 18), ce qui nous donne une émission annuelle de 0,89 Mt (mégatonnes) de GES.

L'estimation des autos-km pour les déplacements automobiles intrazonaux pour motif Autre en région est plus délicate. Nous devons cerner deux aspects : une augmentation du nombre des déplacements intrazonaux au détriment des déplacements interzonaux pour les zones en région qui sont de plus grande superficie qu'en milieu urbain et, conséquemment, une augmentation de la distance moyenne du déplacement intrazonal. Nous avons les nombres de déplacements automobiles intrazonaux pour motif Travail tant en milieu urbain qu'en région, ce qui nous permet d'estimer le premier aspect. Et avec les autos-km pour les déplacements automobiles intrazonaux à motif Travail en région, nous pouvons déterminer une distance moyenne des déplacements automobiles intrazonaux dans ce type de milieu.

Estimation des autos-km intrazonaux pour motif Autre en région =

N^{bre} de déplacements intrazonaux pour motif Autre en milieu urbain * (N^{bre} de déplacements automobiles intrazonaux pour motif Travail en région / N^{bre} de déplacements automobiles intrazonaux pour motif Travail en milieu urbain) * (Autos-km intrazonaux pour motif Travail en région / N^{bre} de déplacements automobiles intrazonaux pour motif Travail en région) =

$$1\,445\,158 * (629\,660 / 443\,620) * (4\,298\,368 / 629\,660) = 14\,002\,572 \text{ autos-km}$$

En considérant toujours le taux de 241 g/km (pour une vitesse de 45 km/h) pour ces automobiles, nous obtenons 1,23 Mt de GES provenant des déplacements automobiles intrazonaux pour motif Autre en région.

Il reste à évaluer les camions-km intrazonaux. Pour cela nous sommes contraints de nous baser sur les comportements automobiles :

Estimation des camions-km intrazonaux =

camions-km interzonaux.* (autos-km intrazonaux/autos-km interzonaux) =

$$17\,122\,152 * (24\,146\,160 / 161\,478\,645) = 2\,560\,303 \text{ camions-km}$$

Maintenant, nous prenons pour les camions le taux de 611 g/km en GES (à une vitesse de 45 km/h - voir le tableau 18), ce qui nous donne 0,57 Mt annuel de GES.

Il nous reste à évaluer également les kilométrages effectués hors Québec pour les résidents, car les estimations du MRN ne tiennent pas compte du territoire du réseau routier – puisque ces estimations sont basées sur la consommation d'énergie.

Grâce au tableau 15, nous avons directement une estimation par différence sur les kilométrages interzonaux, soit les autos-km et camions-km effectués hors Québec par les résidents : 9 491 467 autos-km et 1 848 049 camions-km. Du tableau 18 nous calculons des taux moyens d'émissions pour les déplacements interzonaux automobiles et camions qui sont respectivement de 219 g/km et 553 g/km de GES. Cela nous permet d'estimer les émissions annuelles de GES pour les automobiles hors Québec des résidents à 0,76 Mt et pour les camions à 0,37 Mt.

Tableau 19 Véhicules-km et émissions de GES basées sur la vitesse

Type de déplacement	Véhicules-km 24 h	GES Mt annuel
Autos intrazonaux motif Travail milieu urbain	1 474 800	0,13
Autos intrazonaux motif Travail milieu région	4 298 368	0,38
Autos intrazonaux motif Autre milieu urbain	4 370 419	0,38
*Autos intrazonaux motif Autre milieu région	14 002 572	1,23
Autos interzonaux au Québec	161 478 645	12,88
**Autos interzonaux hors Québec	9 491 467	0,76
*Camions intrazonaux	2 560 303	0,57
**Camions interzonaux au Québec	17 122 152	3,45
Camions interzonaux hors Québec	1 848 049	0,37
TOTAL	216 646 776	20,16

* véh-km estimés

** émission GES moyenne

Comme le montre le tableau 19, nous obtenons ainsi une estimation de 20,2 Mt GES sur une base annuelle suivant cette première méthode. Nous sommes dans un ordre de grandeur comparable aux 28,33 Mt estimées par le ministère de l'Environnement, avec une sous-estimation d'environ 30 % qui peut s'expliquer notamment par :

- le manque de prise en considération des conditions de congestion en périodes de pointe des jours ouvrables pour les grands centres urbains, qui fait en sorte d'augmenter la consommation de carburant, et donc les émissions de GES;
- le manque de prise en considération de la vitesse réelle de circulation des véhicules sur les autoroutes pour estimer les taux de GES au profit d'une vitesse moyenne de déplacement – nous ne débordons jamais de 100 km/h alors que, sur le réseau autoroutier, il n'est pas rare de voir des vitesses « moyennes » de 110 et même 120 km/h;
- le manque de prise en considération des conditions climatiques ou saisonnières qui occasionnent une augmentation de la consommation de carburant, et donc des émissions de GES – la climatisation dans les véhicules, le fonctionnement du moteur pour réchauffer l'habitacle du véhicule, etc.

5.4.2 Méthode des taux moyens d'émission

Cette deuxième méthode est plus simple. Elle n'utilise que le kilométrage global des véhicules sur lequel on applique des taux moyens d'émission de GES qui tiennent alors compte de toutes les conditions dans lesquelles il y a émission de GES.

Nous nous basons sur des données canadiennes globales sur le parc de véhicules pour dériver ces taux moyens d'émission de GES, lesquels seront appliqués aux véhicules-km du tableau 19. Les données canadiennes de 1995 nous permettant d'estimer ces taux moyens d'émission de GES proviennent d'un document fédéral²².

Les données canadiennes considèrent les types de véhicules suivants : voitures légères à essence, camions légers à essence, véhicules lourds à essence, motocyclettes, voitures légères à carburant diesel, camions légers à carburant diesel et véhicules lourds à carburant diesel. Les statistiques tirées du document portent sur le nombre de véhicules du parc canadien, le kilométrage annuel moyen ainsi que le taux de consommation de carburant. Ces données se trouvent dans les six premières lignes et les trois premières colonnes du tableau 20.

Du document en question, à la page B-3 de l'annexe B, nous avons retenu les informations suivantes nous permettant de compléter le tableau 20 pour l'agrégation des deux grandes classes de véhicules, véhicules légers et camions, ainsi que le calcul des taux moyens d'émission de GES :

« 20 % du kilométrage effectué par les camions légers à essence, et la totalité du kilométrage effectué par les camions légers diesels, visent le transport des marchandises.

« Les coefficients d'émission moyens combinés de CO₂, de N₂O et de CH₄ pour l'essence routière et le carburant diesel routier, exprimés en mégatonnes d'équivalent-CO₂ par gigalitre, sont les suivants :

« Émissions de GES provenant de l'essence : 2,72 Mt/GL

« Émissions de GES provenant du carburant diesel : 2,75 Mt/GL. »

²² *Table des transports : Processus national sur les changements climatiques*, « Document général sur les changements climatiques », décembre 1998, annexe B, tableau B2. Référence Internet : <http://www.transportcanada.ca/programs/environment/climatechange/francais/changeclimat/journeaux/frenchfound1.pdf>

Tableau 20 Estimation des taux moyens d'émission de GES à partir des données canadiennes de 1995

1995 CANADA	N^{bre} véhicules	Km-an/véhicule	litres/100 km	GES g/km
Voitures légères essence	11 900 000	18 000	10,6	288
Camions légers essence	3 950 000	17 000	14,3	389
Véhicules lourds essence	150 000	13 000	40,1	1 091
Motocyclettes	348 000	3 000	7,2	196
Voitures légères diesel	120 000	18 000	14,6	402
Camions légers diesel	91 000	23 000	18,6	512
Véhicules lourds diesel	373 000	72 000	39,0	1 073
TOTAL	16 932 000	18 631	12,4	383
Véhicules légers	15 528 000	17 460	11,3	309
Camions	1 404 000	31 573	23,9	840
TOTAL	16 932 000	18 631	12,4	383

Du tableau 20 il ressort que le taux moyen d'émission de GES pour l'automobile est de 309 g/km alors que, pour le camion, il est de 840 g/km. En appliquant ces taux aux kilométrages précédemment obtenus, nous pouvons calculer les émissions de GES présentées au tableau 21.

Tableau 21 Véhicules-km et émissions de GES basés sur des taux moyens

Types de déplacements	Véhicules-km 24 h	GES Mt annuel
Autos intrazonaux 24 h	24 146 160	2,72
Autos interzonaux 24 h au Québec	161 478 645	18,20
Autos interzonaux 24 h hors Québec	9 491 467	1,07
Camions intrazonaux 24 h	2 560 303	0,78
Camions interzonaux 24 h au Québec	17 122 152	5,25
Camions interzonaux 24 h hors Québec	1 848 049	0,57
Total	216 646 776	28,59

Bien que nous ayons utilisé des taux moyens d'émission de GES de 1995 pour l'ensemble du Canada, il appert que l'estimation globale annuelle de 28,6 Mt de GES tombe pile sur les estimations du ministère de l'Environnement du Québec avec ses 28,33 Mt.

6. CONCLUSION

Les résultats nous semblent intéressants et prometteurs. Malgré la simplicité relative de l'exercice, les résultats produits apparaissent cohérents et vraisemblables considérant les données de comptage de circulation sur lesquelles ils sont ajustés. Néanmoins, plusieurs éléments mériteraient d'être davantage explorés pour bonifier le présent modèle.

D'emblée, il faut reconnaître que plusieurs des ensembles de données sur lesquels s'assoit le présent exercice ont déjà vieilli. Pour l'essentiel, ce travail a été réalisé à partir de 2004, sur la base de données datant de 2003 ou d'avant. Depuis lors, plusieurs banques de données, au Ministère comme ailleurs, ont évolué et il y aura avantage à en tirer parti.

Passons ici en revue quelques-unes des limitations constatées et des pistes d'amélioration envisageables.

- Le réseau routier codifié sous le RMMQ (version 3 ici) devrait bien sûr être actualisé, même si cet exercice n'aurait sans doute qu'un impact marginal sur la représentation de l'accessibilité interzonale. Ce travail requiert un important travail d'interfaçage avec la BGR²³ ministérielle et l'adjonction, souvent manuelle, de plusieurs attributs routiers nécessaires à la modélisation de la circulation.
- En lien avec l'actualisation du réseau, la mise à jour des données des limites de vitesse, à partir du système GLV²⁴ ministériel, pourrait apporter des gains intéressants puisque cette banque de données a connu une mise à jour significative dans les dernières années.
- Les données de comptage routier connaissent aussi une évolution continue au sein du système CIR²⁵ ministériel. Il demeure cependant que les arrimages avec la BGR ne sont pas toujours faciles et nécessitent des validations *ad hoc*; nous fondons à cet égard beaucoup d'espoir sur l'intégration prochaine de cette banque de données dans le système SIG²⁶ ministériel.

²³ BGR : base géographique routière

²⁴ GLV : gestion des limites de vitesse

²⁵ CIR : données de circulation

²⁶ SIG : système d'information géographique

- Un autre élément à examiner concerne la définition temporelle de l'objet de la modélisation des flux routiers. Pour le présent exercice exploratoire, cette question ne s'est pas posée de façon précise, puisque nous n'avons utilisé que la notion de « jour moyen ». Mais celui-ci cache plusieurs phénomènes de variabilité hebdomadaire (fins de semaine) et saisonnière. Devrait-on viser explicitement la reproduction des débits de jour moyen annuel (DJMA)? Comment alors se raccrocher aux données des enquêtes origine-destination régionales, qui représentent un jour ouvrable type d'automne, et aux données sur le lieu de résidence-lieu de travail habituel issues du recensement, qui ne sont représentatives que de la semaine même du recensement (mai 2001 ici)?
- Si on décide de s'orienter sur la notion de jour moyen annuel et qu'on veut exploiter les données de débits routiers associées au DJMA, il faudrait examiner comment elles doivent être décomposées selon la direction, en particulier à l'intérieur des agglomérations urbaines où le réseau n'est pas toujours symétrique.
- Tel que nous l'avons signalé à la section 3.1, une évaluation de l'opportunité d'ajuster le découpage territorial employé dans le modèle RMMQ devrait être faite, en lien avec la définition des zones de planification (ZP) déjà utilisées pour la conduite des prévisions démographiques par le Ministère. L'intérêt découle ici du fait que les données de recensement étant compilées par Statistique Canada directement dans le découpage ZP, les inconvénients liés aux arrondissements sont minimisés. Il faut toutefois comprendre que la modélisation de l'affectation des déplacements sur les réseaux requiert une finesse géographique afin d'en maximiser la représentativité spatiale et de minimiser les flux intrazonaux qui échappent, par définition, au processus de chargement. On fait face ici à une recherche de compromis entre la précision géographique et la précision numérique.
- Évidemment, les enquêtes origine-destination régionales connaissent aussi des cycles de mise à niveau. Depuis l'exercice décrit ici, nous disposons maintenant de nouvelles données pour les régions de Montréal (2003) et de l'Outaouais (2005). Une nouvelle enquête O-D aura lieu à l'automne 2006 dans l'agglomération de Québec.
- Toujours au chapitre des enquêtes O-D régionales se pose la question de la segmentation des motifs de déplacement. Doit-on agréger tous les motifs autres que le travail dans une seule catégorie Autre? Devrait-on distinguer les déplacements associés à des motifs de loisirs pour se rapprocher de la notion des déplacements de tourisme, susceptibles d'exister à l'échelle interurbaine? Comment doit-on traiter les déplacements d'affaires, lesquels n'ont rien à voir avec le navettage domicile-travail traité à la question traitant des LDR/LDT du recensement?

- On déplore aussi de sérieuses limitations dans la connaissance des déplacements de camions; seul un portrait partiel est disponible avec l'Enquête routière nationale 1999, pour les déplacements interurbains (longue distance) de camions lourds. Il faut réaliser que cette enquête, qui devrait se répéter en 2006, ne couvre que certains corridors interrégionaux québécois et laisse échapper beaucoup d'activités de camionnage dans les régions-ressources et au sein même des grandes agglomérations urbaines.
- Les deux précédents constats nous amènent naturellement à souhaiter utiliser d'autres sources de données, pour peu qu'elles existent, pour dépeindre les flux de déplacements de nature touristique ou commerciale – véhicules légers ou camions, incluant les déplacements dits d'affaires. De fait, il n'existe pas d'ensembles de données permettant de dresser un tel portrait systématique sur le réseau supérieur québécois. Il existe par contre de multiples enquêtes locales, dites « au bord de route », réalisées à travers le Québec, généralement dans des contextes d'évaluation de projets, et ce, par divers intervenants. Même si ces enquêtes ne touchent généralement pas les corridors les plus importants en matière de volume routier à cause des difficultés de réalisation et des enjeux de sécurité, elles permettraient sans doute d'en apprendre beaucoup sur l'utilisation du réseau régional du MTQ, pour peu qu'on parvienne à les recenser et à en intégrer les contenus dans une structure unifiée de données. Il s'agit là d'un travail très exigeant qu'il faudrait avoir le courage et les moyens d'entreprendre.
- On devrait revoir la composition de la matrice gravitaire initiale automobile pour motif Tourisme en considérant d'autres variables relatives au tourisme afin de mieux pondérer l'attractivité relative des divers pôles, notamment à l'aide d'indicateurs d'hébergement, de fréquentation et de capacité d'accueil dans chaque région touristique, etc. En cette matière, le problème de la saisonnalité doit être pris en considération pour tendre vers la notion de « jour moyen annuel ».
- Que ce soit pour la couverture des déplacements de nature touristique ou ceux de nature commerciale, il est indispensable d'étendre le processus d'estimation de la matrice aux territoires voisins du Québec afin d'inclure les mouvements interprovinciaux ou internationaux avec les États-Unis. Encore là, il faudrait disposer d'enquêtes en bordure de route pour bien comprendre les patrons de ces flux.

- Il y aurait lieu de revoir l'approche d'estimation des déplacements de camions autres que ceux de l'Enquête routière nationale. Les camions lourds de longue distance sont relativement bien cernés avec cette enquête, mais ce n'est pas le cas des autres camions de portée plus locale pour lesquels, à défaut de mieux, nous avons utilisé comme base initiale le patron révélé par la matrice des déplacements automobiles pour motif Travail. Seules des enquêtes en bordure de route sont susceptibles d'apporter des éclairages partiels ici, afin d'alimenter un modèle de génération et de distribution gravitaire qui pourrait ensuite être étendu à l'ensemble du territoire.
- Enfin, notre exercice de modélisation ne produit aucune estimation des déplacements de camions associés au transport de marchandises sur les routes d'accès aux ressources (chemins forestiers et miniers). Il s'agit là d'une composante moins cruciale pour l'analyse de la demande sur le réseau supérieur du Ministère, mais elle revêt une importance plus concrète dès qu'on s'intéresse de façon plus globale aux impacts environnementaux des transports et à l'évaluation de stratégies multimodales de déplacements.

Les prochaines étapes dans notre démarche de modélisation des flux routiers à l'échelle nationale dépendront en large partie de l'intérêt qui sera manifesté envers le présent exercice. La mise au point d'une plateforme de modélisation robuste et fiable pour l'analyse à l'échelle du Québec de la demande intermunicipale en matière de déplacements routiers nous semble possible, dans l'optique où on doit accepter d'emblée qu'il s'agira d'un processus long et évolutif qui devra tirer parti de façon continue des ensembles de données devenant disponibles et des composantes méthodologiques qui peuvent être affinées.

Un tel outil permettrait l'évaluation de différentes politiques de gestion de l'offre et de la demande en transport à l'échelle du Québec, dont, par exemple, une politique sur la réduction des vitesses permises. Dans un tel cas, l'outil pourrait aider à l'évaluation de certains impacts environnementaux comme la réduction des émissions de GES par les véhicules, et certains impacts sur la sécurité comme la réduction du nombre et de la gravité des accidents, dans la mesure où quelques statistiques globales sur les taux d'accidents pourraient être mises en relation avec le reste du modèle de simulation.

L'objectif du présent exercice était de démontrer la faisabilité d'un tel outil et de sensibiliser les lecteurs à sa pertinence. Nous croyons que la démonstration réalisée ici est concluante, mais il demeure qu'elle doit être considérée comme exploratoire et que les résultats obtenus représentent une situation *ad hoc* et éminemment perfectible. Bien sûr, ceci n'empêchera pas à court terme leur utilisation, de façon éclairée, en soutien à certains exercices de planification. Pour rendre un tel outil opérationnel et fiable, des efforts considérables devront cependant y être consacrés, autant sur le plan de la collecte des données que sur celui du développement des programmes informatiques de traitement qui la sous-tendent. De même, les mécanismes permettant d'assurer l'arrimage « en continu » de l'outil avec les divers ensembles ministériels de données situés en amont du modèle seront à mettre au point, à partir de l'architecture émergente entourant la gestion des banques de données organisationnelles et du système ministériel SIG.

Métadonnées relatives au réseau codifié

Le réseau modélisé multimodal du Québec (RMMQ) résulte d'un développement continu sur plusieurs années, pour aboutir à la présente version 3.

Une première version, en 2001, avait été construite à l'échelle des municipalités, sans raffinement au niveau inframunicipal dans les grandes agglomérations. Le réseau était aussi plus agrégé, avec 36 628 liens et 17 442 nœuds – dont 1486 centroïdes municipaux. La deuxième version introduisait les secteurs inframunicipaux et intégrait plusieurs nouvelles routes secondaires. On y trouvait 76 412 liens et 31 310 nœuds, dont 1626 centroïdes. Alors que la version 1 du RMMQ couvrait environ 35 150 km de route, la version 2 en intégrait environ 65 960.

De plus, un constat sur la première version du réseau routier nous avait conduits à corriger la distance pour plusieurs liens (environ 10 %) où la prise en considération des chaînages de début et de fin était inadéquate. Cette lacune pouvait contribuer à l'introduction d'imprécisions significatives sur les parcours de faible longueur.

Dans sa version 3, le RMMQ comporte 77 198 liens et 31 590 nœuds, dont 1624 centroïdes, pour une couverture totale d'environ 69 693 km de route bidirectionnelle.

Les tables de données

Dans la perspective de l'élaboration d'un réseau multimodal pour l'ensemble du Québec, une structure de données intégrée a été mise en place, sous forme de tables géomatiques (sous MapInfo) afin de recevoir les différentes composantes du RMMQ. Le tableau A.1 répertorie les tables de données selon qu'elles sont complétées ou qu'elles restent à compléter.

Attributs particuliers du réseau routier

Trois attributs très importants ont été ajoutés au réseau routier arc-nœud de la version initiale. Il s'agit de la vitesse [_speed], du ou des numéros de route [_rout1, _rout2 et _rout3] et de l'indicateur du sous-réseau de camionnage [_camok]. Plusieurs programmes et traitements ont permis de compléter ces trois attributs, tel que nous l'avons résumé ci-après.

Vitesse

Pour la modélisation à l'échelle nationale, les temps de parcours sur le réseau routier sont estimés sur la base de la vitesse affichée (c.-à-d. limite de vitesse). Il s'agit d'une vitesse théorique, représentative de conditions d'écoulement qui ne tiennent pas compte des effets de la congestion et des ralentissements qu'ils peuvent induire. Le RMMQ v3 exploite le système ministériel de gestion des limites de vitesse, GLV-6014, en date du 5 juin 2003.

Tableau A.1 Liste des tables de données constituant le RMMQ

Nom de la table		Contenu
Complété	centrconnok	Connecteurs reliant les centroïdes de zones au réseau routier et dont les objets géomatiques sont des LINE
	centroïdes	Centroïdes des zones (municipalités ou secteurs municipaux) dont les objets géomatiques sont des POINT
	passniv	Passages à niveau entre le réseau routier et le réseau ferroviaire dont les objets géomatiques sont des POINT
	qt17ok	Réseau routier, avec référencements RTSC, dont les objets géomatiques sont des PLINE. Ce réseau provient initialement de la BGRQ version 3; divers travaux de validation et de correction ont été requis pour assurer la consistance topologique du réseau routier.
	rails7ok	Réseau ferroviaire dont les objets géomatiques sont des PLINE. Le réseau ferroviaire inclut les gares et les cours de triage sous forme de points dans les PLINE.
À compléter	railconn	Connecteurs entre les centroïdes des gares ou des cours de triage et le réseau routier dont les objets géomatiques sont des LINE
	railcentr	Centroïdes (points de PLINE de railconn) représentant les gares ou les cours de triage pour le réseau ferroviaire et dont les objets géomatiques sont des POINT
	maritime	Réseau maritime (traversiers et routes maritimes pour transport des marchandises) dont les objets géomatiques sont des PLINE
	marconn	Connecteurs entre les centroïdes des ports ou des quais et le réseau routier dont les objets géomatiques sont des LINE
	marcentr	Centroïdes (points de PLINE de marconn) représentant les ports ou les quais pour le réseau maritime et dont les objets géomatiques sont des POINT
	aerien	Réseau aérien (transport des personnes et des marchandises) dont les objets géomatiques sont des PLINE
	aeroconn	Connecteurs entre les centroïdes des aéroports ou des pistes et le réseau routier dont les objets géomatiques sont des LINE
	aerocentr	Centroïdes (points de PLINE de aeroconn) représentant les aéroports ou les pistes pour le réseau aérien et dont les objets géomatiques sont des POINT

Comme les limites de vitesse du système GLV sont fournies sur la base des RTSC (avec chaînage-début et chaînage-fin), il arrive quelquefois qu'un lien est composé de deux parties de RTS, et donc de deux limites de vitesse différentes. Dans ce cas, la vitesse résultante est calculée en pondérant les deux limites de vitesse par la distance respective (Dist1 et Dist2) des deux segments RTSC chaînage-début-chaînage fin :

$$\text{Vitesse_résultante} = (\text{Dist1} + \text{Dist2}) / (\text{Dist1}/\text{Vitesse1} + \text{Dist2}/\text{Vitesse2})$$

$$\text{Longueur_du_lien} = \text{Dist1} + \text{Dist2}$$

Pour la partie du réseau constituée des chemins forestiers et d'accès aux ressources, on s'est basé sur les données du ministère des Ressources naturelles (MRN), desquelles on a tiré les attributs de vitesse lorsqu'ils étaient disponibles – données de janvier 2004. Pour les routes du Grand Nord (Baie James), on se base sur les vitesses fournies par la Société de développement de la Baie-James.

Pour les liens résiduels, dans les cas où on ne disposait pas d'information sur la vitesse, ni avec GLV ni avec le MRN, on a attribué une limite de vitesse par défaut suivant le type de lien (classification de la route) et le type de milieu urbain traversé²⁷ :

Tableau A.2 Vitesses par défaut (km/h)

	Zone urbaine 1	Zone urbaine 2	Zone urbaine 3	Zone urbaine 4	Zone urbaine 5	Zone urbaine 6	En région
<i>Autoroute</i>	70	80	90	90	100	100	100
<i>Nationale</i>	60	60	60	70	80	85	90
<i>Régionale</i>	55	60	60	70	75	80	90
<i>Collectrice</i>	55	55	55	60	70	75	80
<i>Locale</i>	50	50	50	60	70	75	75
<i>Forestière</i>	50	50	50	50	60	70	70
<i>Accès</i>	10	15	20	20	25	30	30

²⁷ Sur la base des densités urbaines consignées comme attributs de liens « pzurb1 à pzurb6 » (voir tableau xx).

Numéro de route

Un programme a permis d'extraire les numéros de route à partir du R des RTS de la table géomatique initiale qt17ok pour les mettre dans les attributs _rout1, _rout2 et _rout3 (en ordre numérique croissant). Un travail manuel intensif a été nécessaire pour valider et corriger les routes numérotées dans le réseau RMMQ v1, chaque route numérotée ayant été vérifiée.

Réseau de camionnage

Afin de mieux contrôler l'estimation des matrices de demande pour le camionnage, la codification sur chaque lien routier d'un attribut indiquant les restrictions applicables au camionnage (variable _camok) a été complétée à partir de l'information déjà présente à la BGN. Il s'agit d'un indicateur désignant le type de circulation pour les camions lourds de la façon suivante :

- 1 permission de circuler sans restriction;
- 2 permission de circuler avec certaines restrictions;
- 3 aucune circulation permise pour les camions lourds, sauf pour livraison locale.

Services de traversiers

Les services de traversiers doivent être considérés comme une extension indissociable du réseau routier lui-même. Les services réguliers de traversiers²⁸ ont donc été codifiés comme une classe de liens particuliers du réseau routier. Sur la base du temps connu de traversée (à l'horaire), on a pu, suivant la longueur du trajet du traversier, déduire sa vitesse de croisière. On a aussi pu compléter, pour les traversiers, l'attribut de restriction du camionnage, le cas échéant. Le tableau A.3 dresse la liste des services de traversiers qui sont retenus dans le RMMQ.

Tableau A.3 Services de traversiers pris en compte dans le RMMQ

<i>N^o</i>	<i>ORIGINE</i>	<i>DESTINATION</i>
1	Notre-Dame-des-Sept-Douleurs	L'Île-Verte
2	Rimouski	Sept-Îles
3	Sept-Îles	Port-Menier
4	Port-Menier	Havre-Saint-Pierre
5	Havre-Saint-Pierre	Natashquan
7	Natashquan	Kegaska
8	Kegaska	La Romaine
9	La Romaine	Harrington Harbour
10	Harrington Harbour	Chevery
11	Harrington Harbour	Tête-à-la-Baleine
12	Tête-à-la-Baleine	La Tabatière

²⁸Pour plus de renseignements sur les services de traversiers, y compris l'horaire et la tarification, voir le site de la [Société des traversiers du Québec](http://www.traversiers.gouv.qc.ca) : [\[http://www.traversiers.gouv.qc.ca\]](http://www.traversiers.gouv.qc.ca)

13	La Tabatière	Saint-Augustin
14	Saint-Augustin	Blanc-Sablon
16	Baie-Sainte-Catherine	Tadoussac
17	Cap-aux-Meules	L'Île-d'Entrée
18	Cap-aux-Meules	Souris (I.P.E.)
19	Matane	Godbout
20	Matane	Baie-Comeau
21	Trois-Pistoles	Les Escoumins
22	Saint-Siméon	Rivière-du-Loup
23	Saint-Joseph-de-la-Rive	L'Île-aux-Coudres
24	Montmagny	L'Île-aux-Grues
26	Lefavre (Ontario)	Montebello
27	Pointe-Fortune	Carillon
29	Cumberland	Masson-Angers
30	Sorel	Saint-Ignace-de-Loyola
51	La Tabatière	Chevery

Variables décrivant le réseau routier

Le réseau de base RMMQ v3 est un réseau de format Emme/2 représenté sous deux tables MapInfo : les nœuds et les liens. Les nœuds sont représentés par des objets POINT, tel qu'il est résumé au tableau A.4.

Même si on établit par convention que tous les liens sont bidirectionnels, le réseau du RMMQ v3 est représenté par une table MapInfo de liens dont chaque enregistrement correspond à un lien directionnel constitué d'un objet graphique LINE (tableau A.5). Les liens des deux directions sont séparés par un décalage (*offset*) de 5 mètres à partir de l'axe joignant les deux nœuds du lien. Les différentes couleurs associées aux liens (objets LINE) correspondent aux différents types de liens, tel qu'il est indiqué.

Tableau A.4 Table des nœuds « nœuds_rmmqv2 »

Variable	Type	Longueur	Description
NODE	Decimal	6,0	Numéro du nœud
CENTR	Char	1	Est un centroïde : oui = 1, non = 0
UL1	Decimal	10,3	Attribut de l'utilisateur (libre)
UL2	Decimal	10,3	Attribut de l'utilisateur (libre)
UL3	Decimal	10,3	Attribut de l'utilisateur (libre)
LAB	Char	4	Étiquette
_version	Integer		Indique le numéro de version du RMMQ (1, 2 ou 3) à partir de laquelle le nœud a été introduit.

Tableau A.5 Table des liens « liens_rmmqv3 »

Variable	Type	Longueur	Description
INODE	Decimal	5,0	Numéro du nœud initial du lien
JNODE	Decimal	5,0	Numéro du nœud terminal du lien
LEN	Decimal	6,2	La longueur du lien en kilomètres, arrondie à 10 m près
MOD	Char	30	Les modes permis sont « a » pour les automobiles et « c » pour les camions (selon _camok).
TYP	Decimal	3,0	Le type de lien : 11 : autoroute (en rouge) 21 : route nationale (en jaune) routes nécessairement numérotées, constituant les grands axes interrégionaux, et celles reliant entre elles les agglomérations principales (25 000 habitants et plus) 31 : route régionale (en vert) routes reliant les agglomérations secondaires (de 5000 à 25 000 habitants) entre elles et aux agglomérations principales 41 : route collectrice (en gris foncé) routes reliant les petites agglomérations (moins de 5000 habitants) à celles qui sont plus importantes 51 : route locale (en gris pâle) routes reliant les petites agglomérations entre elles et permettant l'accès à la propriété rurale 61 : chemin de terre ou chemin forestier (en brun) routes non pavées ayant pour vocation de conduire à des zones d'exploitation forestière ou minière, à des installations hydro-électriques ou à des zones de récréation et de conservation 71 : traversier (en bleu) routes maritimes pour les traversiers considérés 99 : connecteur (en rose foncé) lien permettant de connecter un centroïde au réseau
LAN	Decimal	3,1	Nombre de voies pour le lien
VDF	Decimal	4,0	Numéro de la fonction Volume/Délai
UL1	Decimal	8,2	Attribut de l'utilisateur (nombre de liens sortant du nœud)

Variable	Type	Longueur	Description
UL2	Decimal	8,2	Attribut de l'utilisateur (nombre de liens entrant au nœud)
UL3	Decimal	8,2	Attribut de l'utilisateur (libre)
_rout1	Integer		Numéro de la route, s'il existe (entre 1 et 999); dans le cas où il y a plusieurs numéros de route passant par le lien (un maximum de 3 numéros), _rout1 contient le numéro le plus petit.
_rout2	Integer		Numéro de la route, s'il existe (entre 1 et 999); dans le cas où il y a plusieurs numéros de route passant par le lien, _rout2 contient le deuxième numéro en ordre croissant.
_rout3	Integer		Numéro de la route, s'il existe (entre 1 et 999); dans le cas où il y a plusieurs numéros de route passant par le lien, _rout3 contient le numéro le plus grand.
_camok	Integer		Attributs désignant le type de circulation pour les camions lourds : 1 permission de circuler sans restriction; 2 permission de circuler avec certaines restrictions; 3 circulation non permise, sauf pour livraison locale.
_speed	Decimal	10,2	Vitesse basée sur les limites de vitesse en km/h; <i>La vitesse est une moyenne pondérée des différentes limites de vitesse observées sur les sous-segments du lien et est calculée de telle sorte qu'elle correspond au temps nécessaire pour parcourir le lien en respectant toutes les limites de vitesse sur celui-ci.</i>
_srcsp	Small Integer		Sources pour l'estimation de la vitesse _speed 1 Limite de vitesse municipale obtenue de façon ponctuelle. 2 Limite de vitesse obtenue par le système GLV du MTQ. 3 Limite de vitesse obtenue par le système GLV du MTQ pour une partie du lien seulement, complétée par la vitesse par défaut pour l'autre partie du lien. 4 Vitesse obtenue sur les chemins forestiers par le MRN, secteur Forêt. 5 Vitesse obtenue par défaut selon un modèle simple tenant compte du type de route (TYP) et de la distribution de la densité urbaine sur le lien (pzurb1,

Variable	Type	Longueur	Description
			6 pzurb2, pzurb6). 7 Vitesse obtenue sur la base du temps de traversier selon son horaire et la distance à parcourir.
_jurid	Small Integer		Compétence dont relève la route et localisation provinciale 0 : compétence inconnue 1 : compétence MTQ (MTQ avant 93.04.01) 2 : compétence MTQ (municipale avant 93.04.01) 3 : compétence MTQ (MRN avant 93.04.01) 4 : compétence MRN (municipale avant 93.04.01) 5 : compétence municipale (MTQ avant 93.04.01) 6 : compétence municipale (municipale avant 93.04.01) 7 : compétence fédérale 20 : territoire de l'Ontario 30 : territoire du Nouveau-Brunswick 40 : territoire de l'Île-du-Prince-Édouard Les liens dont la valeur de _jurid est comprise entre 0 et 7 sont localisés sur le territoire du Québec.
_version	Integer		Indique le numéro de version du RMMQ (1, 2 ou 3) où le lien a été introduit.
pzurb1	Decimal	5,2	Proportion du lien qui passe par un milieu de densité urbaine noté 1 (très dense) : agrégation d'îlots du Recensement de 2001 de densité 1000 hab+/km ² .
pzurb2	Decimal	5,2	Proportion du lien qui passe par un milieu de densité urbaine noté 2 (assez dense) : agrégation d'îlots du Recensement de 2001 de densité 400 à 999 hab/km ² .

Variable	Type	Longueur	Description
pzurb3	Decimal	5,2	Proportion du lien qui passe par un milieu de densité urbaine noté 3 (moyen dense) : zones urbaines BNDT50K (moins les couches de densité 1 et 2). <i>La couche de Zones_urbaines de la BNDT fédérale représente des zones de densité plus élevée. Ces zones doivent comporter une surface minimale de 90 000 mètres carrés d'un seul tenant et mesurant au moins 300 mètres de longueur en général et 100</i>
			<i>mètres pour les parcs de maisons mobiles. L'âge de la donnée varie selon l'âge de chacun des feuillets BNDT utilisés.</i>
pzurb4	Decimal	5,2	Proportion du lien qui passe par un milieu de densité urbaine noté 4 (léger dense) : tampon de 500 m autour de la couche de densité 1 (moins les couches de densité 1 à 3).
pzurb5	Decimal	5,2	Proportion du lien qui passe par un milieu de densité urbaine noté 5 (peu dense) : tampon de 500 m autour de la couche de densité 2 (moins les couches de densité 1 à 4).
pzurb6	Decimal	5,2	Proportion du lien qui passe par un milieu de densité urbaine noté 6 (périphérique) : tampon de 100 m autour des bâtiments (surtout résidentiels) de la BNDT50K (moins les couches de densité 1 à 5). <i>Il est à noter que la proportion du lien en milieu rural est la valeur résiduelle qui se calcule comme :</i> $1 - (pzurb1 + pzurb2 + pzurb3 + pzurb4 + pzurb5 + pzurb6).$
proporGravier	Decimal	5,2	Proportion du lien, en termes de longueur, qui est en gravier. La plupart des liens sont à 100 % (entièrement en gravier) ou bien à 0 % (entièrement pavé). <i>Une extraction sur les RTSC du système 12 du MTQ, en date du 19 septembre 2003, a permis d'évaluer le présent attribut.</i>

Métadonnées relatives au découpage zonal

Le système zonal utilisé dans le cadre du RMMQ v3 couvre l'ensemble du territoire du Québec et correspond à un découpage dont les zones sont les municipalités, en dehors des grandes régions urbaines, et sont des secteurs inframunicipaux dérivés des enquêtes origine-destination²⁹ réalisées dans les régions urbaines de Montréal (14 secteurs municipaux sur l'île, 8 pour Laval et 7 pour Longueuil), Québec (11 secteurs), Gatineau (4 secteurs) et Sherbrooke (7 secteurs).

Deux tables, sous format MapInfo, sont utilisées pour représenter le découpage territorial en secteurs municipaux à l'échelle de 1:250 000 [zones_rmmqv3] et les centroïdes de ces mêmes secteurs municipaux [centroïdes_rmmqv3]. Les centroïdes représentent le centre de gravité démographique de la zone correspondante.

Chaque zone qui peut être atteinte par le réseau routier (incluant les traversiers) voit son centroïde y être branché par un lien dit « connecteur d'accès ». Ainsi, sur les 1560 entités municipales officielles du Québec en date de janvier 2000, 1486 peuvent être atteintes par le réseau routier et traversier. Comme certaines de ces municipalités sont à leur tour redécoupées en zones inframunicipales, le RMMQ comporte finalement 1545 secteurs municipaux, chacun associé à un centroïde.

Les tableaux B.1 et B.2 présentent respectivement le contenu des tables décrivant les zones et leurs centroïdes, à l'intérieur du modèle RMMQ v3.

Tableau B.1 Table des zones « zones_rmmqv3 »

Variable	Type	Longueur	Description
Centroïde	Small integer		Numéro de la zone
Zone_Nom	Char	65	Nom de la zone
Type	Char	3	Type de territoire : EAU territoire aquatique IM territoire de niveau inframunicipal MUN territoire de niveau municipal TNO territoire non organisé
Eau	Small integer	10,3	Indicateur de territoire aquatique (lorsque = 1)

²⁹Voir <http://www.mtq.gouv.qc.ca/fr/services/documentation/statistiques/enquetes>

Tableau B.2 Table des centroïdes « centroïdes_rmmqv3 »

Variable	Type	Longueur	Description
ZT_SM	Char	6	N° de zone (série 1nnnn) ou de Secteur municipal (série 2nnnnn)
Centroide	Integer		Représente le numéro unique de centroïde (zone) et s'associe au champ « NODE » de la table « nœuds_rmmqv2 » (avec le champ CENTR = *) ainsi qu'au champ « Centroide » de la table « zones_rmmqv3 ».
SectMun_code	Char	8	Code de secteur ou municipalité. Formé de la concaténation de Mun_code (5 car) + le numéro du secteur municipal (2 car) ou « 00 » en suffixe lorsqu'un secteur municipal correspond intégralement à une municipalité.
Nom_localité	Char	55	Nom de la localité correspondant au centroïde utilisé (selon le fichier des localités de la BGN du MTQ en mars 1998) pour représenter la zone
Mun_code	Char	6	Code municipal de l'entité source (âge variable, le maximum étant l'an 2000, c.-à-d. l'année de la dernière révision générale du système zonal)
Nom_mun	Char	45	Nom de la municipalité dans laquelle s'inscrit le centroïde (voir champ Mun_code ci-dessus pour détails.)
Desg_mun	Char	4	Désignation officielle de la municipalité Cité = C Canton = CT Canton unis = CU Établissement indien = EI Municipalité = M Territoire non organisé = NO Paroisse = P Réserve indienne = R Territoire inuit = TI Terre de catégorie 1-A ou 1-AN = TR Ville = V Village cri = VC Village naskapi = VK Village = VL Village nordique = VN
REG_CODE	Char	2	Code de la région administrative (01 à 17) en date de la dernière mise à jour générale du système zonal
region_sm	Char	3	Indique de quel modèle régional provient le découpage de secteur municipal utilisé :

Variable	Type	Longueur	Description
			Hul = Outaouais Mtl = Montréal Que = Québec Shb = Sherbrooke
Longitude	Float		Longitude (Nad83) en degrés décimaux du centroïde
Latitude	Float		Latitude (Nad83) en degrés décimaux du centroïde
Nom_unique	Char	55	Nom de municipalité [désignation municipale] - secteur municipal (lorsque différent du nom de municipalité). Ce nom est unique pour chacun des centroïdes.
sectmun	Integer		Indique si le centroïde représente toute une municipalité (= 0) ou bien (= 1) un secteur municipal (niveau inframunicipal)
LabelU_Jan2003	Char	65	Libellé unique du nom de localité (municipalités ou secteurs municipaux) aux fins d'affichage et de requêtes [voir tableau B.3.]

Dans le but de faciliter l'utilisation du système, une convention est employée afin de fournir un libellé unique pour chaque entité géographique présente (variable LabelU_Jan2003). Ainsi, la dénomination des localités commence toujours par le nom officiel de la municipalité en vigueur au premier janvier 2003. Celui-ci est suivi d'éléments d'information additionnels dans les deux cas suivants :

- lorsqu'il peut y avoir confusion entre deux localités ou plus de même appellation;
- lorsqu'il s'agit d'un secteur municipal (c. à-d. un découpage inframunicipal).

Il arrive qu'une ville compte plusieurs secteurs dont l'un, habituellement le plus peuplé, est issu d'une ancienne municipalité de même nom que la nouvelle ville. C'est alors le centre de cette ancienne municipalité qui est associé au nom de la nouvelle ville et qui est utilisé aux fins du calcul des temps et distances vers celle-ci.

Tableau B.3 Convention pour le libellé des noms de localités

Exemple de libellé	Précision ajoutée
Alma	<aucune précision ajoutée>
Alma (Delisle)	Ancienne municipalité
Saint-Hyacinthe (Sainte-Rosalie, ville)	Ancienne municipalité et désignation municipale
Saint-Hyacinthe (Sainte-Rosalie, paroisse)	Ancienne municipalité et désignation municipale
Québec (Charlesbourg–Henri-Bourassa)	Ancienne municipalité et secteur municipal
Québec (Charlesbourg–Le Plateau)	Ancienne municipalité et secteur municipal
Granby, canton	Désignation municipale
Granby, ville	Désignation municipale
Montréal (centre-ville)	Secteur municipal
Montréal (Côte-des-Neiges)	Secteur municipal
L'Ange-Gardien [Capitale-Nationale]	Région administrative
L'Ange-Gardien [Outaouais]	Région administrative
Macamic	<aucune précision ajoutée>
Macamic (Colombourg)	Ancienne municipalité
Macamic (paroisse)	Désignation municipale
Saint-Siméon [Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine]	Région administrative
Saint-Siméon (paroisse) [Capitale-Nationale]	Désignation municipale et région administrative
Saint-Siméon (village) [Capitale-Nationale]	Désignation municipale et région administrative

L'approche par gradient relatif pour le problème d'ajustement de matrice O-D sur les chemins les plus courts

1. Introduction

Il s'agit essentiellement de trouver une matrice O-D pour laquelle les flots affectés sur les chemins les plus courts d'un réseau sont les plus près possible des comptages disponibles pour un sous-ensemble de liens de ce réseau. Souvent, c'est une matrice initiale sur laquelle on souhaite faire un ajustement pour que les flots affectés soient plus près des comptages, tout en conservant le modèle de la matrice initiale.

Nous reprenons essentiellement l'approche par gradient pour le problème de l'ajustement de matrice O-D de Heinz Spiess³⁰ que nous adaptons pour le cas particulier de l'affectation d'une matrice O-D sur les chemins les plus courts d'un réseau. Spiess a conçu l'approche dans le cas plus général d'une affectation à l'équilibre d'une matrice O-D.

Nous utilisons donc la même notation que celle employée par Spiess et nous adaptons la solution analytique itérative dans le contexte spécial de l'affectation sur les chemins les plus courts. Ces ajustements permettront de programmer le traitement approprié pour résoudre ce type de problème sur de très grands réseaux (problèmes de grande taille).

2. Approche par gradient relatif

Le problème en question peut être formulé comme un cas d'optimisation où la fonction objective à minimiser est la mesure de la distance entre les flots affectés et les flots observés (comptages) :

$$\min Z(g) = \frac{1}{2} \sum_{a \in A} (v_a - \hat{v}_a)^2 \quad (1)^{31}$$

sujet à

$$v = \text{affectation}(g) \quad (2)$$

³⁰ HEINZ SPIESS, *A gradient approach for the O-D matrix adjustment problem*, May 1990.

³¹ La numérotation des équations dans cette annexe suit celle qui est présentée dans le texte de Spiess.

Nous avons $\hat{A}$ le sous-ensemble des liens pour lesquels existent les flots observés $\hat{v}_a$, alors que pour tous les liens, v_a représente le flot affecté sur le lien et que v représente le vecteur de tous les flots affectés sur les liens; par ailleurs, g est la matrice O-D, un vecteur de paires O-D avec la demande associée à chaque paire.

Le terme « affectation() » représente la procédure par laquelle la demande O-D g est affectée sur le réseau, produisant ainsi le vecteur des flots sur les liens v . Dans le cas présent, nous examinons l'affectation sur les chemins les plus courts. Lorsque l'affectation considérée est une affectation à l'équilibre, on a normalement, pour une paire O-D donnée, plusieurs chemins avec une répartition de la demande de la paire O-D sur ces chemins. Pour l'affectation sur les chemins les plus courts, il n'y a qu'un seul chemin pour une paire O-D, sur lequel passe toute la demande de la paire. Le flot affecté sur un lien v_a est alors la somme de toutes les demandes O-D dont les chemins les plus courts passent par ce lien.

Le problème de l'estimation de la matrice, tel qu'il est formulé en (1), admet habituellement un nombre infini de solutions optimales, c.-à-d. des matrices possibles de demande qui, dans leurs affectations sur le réseau, reflètent très bien les flots observés.

La méthode du gradient nous permet de partir d'une matrice initiale et de trouver une solution au problème (1) tout en ne nous éloignant pas trop de la matrice initiale. Cette méthode suit toujours la direction la plus propice à réduire la fonction objective et nous assure de ne pas dévier plus que nécessaire de la solution de départ.

Dans le cas le plus simple, quand on prend le gradient directement par rapport aux variables g , la méthode du gradient peut se formuler comme suit :

$$\begin{aligned} \hat{g}_i & \text{ pour } l = 0 \\ g_i^{l+1} & = \\ g_i^l - \lambda^l \left[\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \right]_{g_i^l} & \text{ pour } l = 1, 2, 3, \end{aligned} \quad (3)$$

où λ^l doit être assez petit pour s'assurer que le chemin suivi par g^l est suffisamment près du chemin du vrai gradient. Il est à noter que nous utilisons l'index i pour désigner une paire origine-destination (O-D) et que l'ensemble de toutes les paires O-D actives est représenté par I .

Cependant, si le gradient est basé sur les variables g comme dans (3), cela implique que les changements dans la matrice de demande sont calculés d'une façon absolue, c'est-à-dire sans égard aux écarts relatifs avec la matrice de départ. En particulier, cela implique que les paires O-D initiales avec $\hat{g}_i = 0$ seront également affectées par ces ajustements. Il est alors plutôt souhaitable de conserver ces paires O-D à 0.

Pour une approche plus réaliste, le gradient doit être basé sur un changement relatif de la demande qui se formule alors comme suit :

$$\begin{aligned} \hat{g}_i & \text{ pour } l = 0 \\ g_i^{l+1} & = \\ \hat{g}_i & \left(1 - \lambda^l \left[\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \right]_{g_i^l} \right) \text{ pour } l = 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (4)$$

Notez que, lorsque le gradient relatif est utilisé, l'algorithme devient multiplicatif en $\hat{g}_i$. Donc, un changement dans la demande est proportionnel à la demande initiale et, en particulier, les zéros sont préservés par la procédure.

3. Méthode du gradient relatif

$$\frac{\partial Z(g)}{\partial g}$$

Avant de commencer à évaluer le gradient $\frac{\partial Z(g)}{\partial g}$, regardons comment se décomposent les flots sur les liens v_a par rapport aux flots sur les chemins. Étant donné que chaque paire O-D $i \in I$ est associée à un seul chemin, soit le chemin le plus court, toute la demande g_i de la paire O-D se trouve sur ce chemin. En considérant A l'ensemble des liens du réseau, les flots sur les liens s'expriment comme suit :

$$v_a = \sum_{i \in I} \delta_{ai} g_i \quad \text{pour } a \in A \quad (5)$$

où

$$\delta_{ai} = \begin{cases} 0 & \text{si } a \notin \text{chemin le plus court de la paire O-D } i \\ 1 & \text{si } a \in \text{chemin le plus court de la paire O-D } i \end{cases} \quad (6)$$

L'évaluation du gradient $\frac{\partial Z(g)}{\partial g}$ consiste à prendre la dérivée de (1), et nous obtenons alors :

$$\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} = \sum_{a \in \hat{A}} \frac{\partial v_a}{\partial g_i} (v_a - \hat{v}_a) \quad \text{pour } i \in I \quad (9)$$

À partir de (5), nous pouvons établir que :

$$\frac{\partial v_a}{\partial g_i} = \delta_{ai} \quad \text{pour } a \in A \text{ et } i \in I \quad (10)$$

Puis, en insérant (10) dans (9), cela nous donne

$$\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} = \sum_{a \in \hat{A}} \delta_{ai} (v_a - \hat{v}_a) \quad \text{pour } i \in I \quad (11)$$

Dans l'optique d'établir la méthode du gradient relatif (4), nous avons besoin d'évaluer les valeurs du pas λ^l . Choisir de très petites valeurs pour le pas a l'avantage de suivre de façon plus précise le chemin résultant du gradient, mais a le désavantage d'exiger un plus grand nombre d'itérations. D'un autre côté, quand on choisit de trop grandes valeurs pour le pas, la fonction objective $Z(g)$ peut éventuellement croître et, ainsi, la convergence de l'algorithme n'est plus respectée.

Le pas optimal λ^* pour une demande donnée g peut être trouvé en résolvant le sous-problème à une dimension :

$$\min_{\lambda} Z \left(g_i \left(1 - \lambda \cdot \frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \right) \right) \quad (12)$$

sujet à :

$$\lambda \frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \leq 1 \quad \forall i \in I \text{ avec } g_i > 0 \quad (13)$$

Puisque la fonction objective Z est exprimée en termes de flots sur les liens v_a , nous avons besoin de connaître comment ces flots changent le long de la direction du gradient. Cela est obtenu en appliquant la règle de la dérivation en chaîne et en utilisant (10) et (11) :

$$v'_a = \frac{dv_a}{d\lambda} = \sum_{i \in I} \frac{dg_i}{d\lambda} \frac{\partial v_a}{\partial g_i} = - \sum_{i \in I} \delta_{ai} g_i \sum_{\hat{a} \in \hat{A}} \delta_{\hat{a}i} (v_{\hat{a}} - \hat{v}_{\hat{a}}) \quad (14)$$

En effet, on a :

$$\frac{dg_i}{d\lambda} = \frac{d}{d\lambda} \left(g_i \left(1 - \lambda \frac{\partial Z(g)}{\partial g_i} \right) \right) = -g_i \frac{\partial Z(g)}{\partial g_i}$$

L'équation (14) peut se réécrire autrement, à savoir :

$$v'_a = \sum_{i \in I} g_i (\tilde{g}_i - \bar{g}_i) \delta_{ai} \quad (14a)$$

où :

$$\tilde{g}_i = \sum_{a \in \hat{A}} \hat{v}_a \delta_{ai} \quad (14b)$$

et :

$$\bar{g}_i = \sum_{a \in \hat{A}} v_a \delta_{ai} \quad (14c)$$

Résoudre le problème de minimisation (12) consiste à trouver la solution de la dérivée mise à zéro. Évaluons la dérivée :

$$\frac{dZ(\lambda)}{d\lambda} = \sum_{a \in \hat{A}} \frac{dv_a^\lambda}{d\lambda} \frac{\partial Z}{\partial v_a^\lambda} = \sum_{a \in \hat{A}} \frac{dv_a^\lambda}{d\lambda} (v_a^\lambda - \hat{v}_a) \quad (15a)$$

Comme :

$$v_a = \sum_{i \in I} g_i \delta_{ai} \quad (15b),$$

on a aussi :

$$v_a^\lambda = \sum_{i \in I} g_i (1 - \lambda \frac{\partial Z}{\partial g_i}) \delta_{ai} \quad (15c)$$

Mais en dérivant (15c) par λ , on a aussi :

$$\frac{dv_a^\lambda}{d\lambda} = - \sum_{i \in I} g_i \frac{\partial Z}{\partial g_i} \delta_{ai} \quad (15d)$$

Maintenant, en réécrivant (15c) et en utilisant (15b) et (15d), on obtient :

$$v_a^\lambda = \sum_{i \in I} g_i \delta_{ai} + \lambda \left(- \sum_{i \in I} g_i \frac{\partial Z}{\partial g_i} \delta_{ai} \right) = v_a + \lambda \frac{dv_a^\lambda}{d\lambda} \quad (15e)$$

Ainsi, dans (15a), en remplaçant v_a^λ par le terme de droite de (15e) et en posant :

$$\frac{dv_a^\lambda}{d\lambda} = v'_a, \text{ on obtient finalement :}$$

$$\frac{dZ(\lambda)}{d\lambda} = \sum_{a \in \hat{A}} v'_a (v_a - \hat{v}_a + \lambda v'_a) \quad (15),$$

ce qui nous conduit directement à la valeur du pas optimal :

$$\lambda^* = \frac{\sum_{a \in \hat{A}} v'_a (\hat{v}_a - v_a)}{\sum_{a \in \hat{A}} v_a'^2} \quad (16)$$

qui, pour produire une solution réalisable, doit respecter la contrainte (13), c'est-à-dire éventuellement être bornée par (13).

Avec les équations (11), (13), (14) et (16), nous avons tous les résultats nécessaires pour résoudre le problème de l'ajustement de matrice (1) par l'utilisation de la méthode du gradient relatif (4).

4. Algorithme pour l'ajustement de matrice

Nous décrirons maintenant l'algorithme itératif qui nous permet de résoudre le problème de l'ajustement de matrice. Cet algorithme fait appel, comme sous-problème, à un algorithme de chemins les plus courts pour les calculs des sommes sur les liens de ces chemins que nous considérons comme acquis – il existe une abondante littérature sur ce sujet. De plus, comme pour tout algorithme itératif, nous considérons un critère d'arrêt quelconque qui peut être un nombre fixe d'itérations, un seuil en pourcentage d'amélioration de la valeur de la fonction objective ou tout autre critère d'arrêt.

Soit :

- A l'ensemble des liens du réseau;
- I l'ensemble des paires O-D de la matrice à ajuster;
- $\hat{A}$ le sous-ensemble des liens pour lesquels existent des flots observés;
- $\hat{g}_i$ la demande de la paire O-D $i \in I$ pour la matrice initiale à ajuster et $\hat{g}$ pour l'ensemble I des paires O-D;
- $\hat{v}_a$ le flot observé (comptage) sur le lien $a \in \hat{A}$ et $\hat{v}$ pour l'ensemble A des liens (avec 0 pour les $a \notin \hat{A}$);
- t_a l'attribut sur le lien $a \in A$ pour le calcul des chemins les plus courts; t en est le vecteur pour l'ensemble des liens A ;
- g_i la demande de la paire O-D $i \in I$ pour la matrice courante³² g ;
- v_a le flot résultant sur le lien $a \in A$ par l'affectation de la demande courante g sur les chemins les plus courts et v pour le vecteur sur l'ensemble des liens A ;
- l numéro de l'itération courante;

³²Étant donné que la méthode du gradient relatif conserve les zéros de la matrice initiale, les seules paires O-D pour lesquelles l'algorithme apporte des changements sont celles avec une demande non nulle dans la matrice initiale à ajuster, soit l'ensemble I .

∂_i la valeur du gradient pour la demande courante g_i de la paire O-D
 $\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i}$

$i \in I$ qui représente le terme ∂g_i et ∂ pour l'ensemble I des paires O-D;

λ la valeur du pas de descente sur la solution courante;

$v = Affecte(g, t)$ le processus d'affectation de la demande g qui donne le
 flot v sur le réseau par les chemins les plus courts en t .

Cela se traduit par
$$v_a = \sum_{i \in I} g_i \delta_{ai}(t)$$

$s = Somme(e, t)$ le processus de sommation de quantités sur les liens e
 des chemins les plus courts en t qui donne le vecteur s

pour les paires O-D. Cela se traduit par
$$s_i = \sum_{a \in A} e_a \delta_{ai}(t)$$

Sachant que $A, I, \hat{A}, \hat{g}_i, \hat{v}_a$ et t_a sont connus, voici l'algorithme :

Initialisation

$$l = 0$$

$$g = \hat{g}$$

$$v = Affecte(g, t)$$

$$Z = \frac{1}{2} \sum_{a \in A} (v_a - \hat{v}_a)^2$$

$$\tilde{g} = Somme(\hat{v}, t)$$

Itération

$$l = l + 1$$

$$\bar{g} = Somme(v, t)$$

$$v' = Affecte(g(\tilde{g} - \bar{g}), t)$$

$$\partial = Somme(v - \hat{v}, t)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{a \in \hat{A}} v'_a (\hat{v}_a - v_a)}{\sum_{a \in \hat{A}} v_a'^2}$$

$$\lambda = \max_{\substack{\partial_i < 0 \\ i \in I}} \left(\min_{\substack{\partial_i > 0 \\ i \in I}} \left(\lambda, \frac{1}{\partial_i} \right), \frac{1}{\partial_i} \right)$$

$$g = g(1 - \lambda \partial)$$

$$v = Affecte(g, t)$$

Critère d'arrêt

$$l = \text{nombre fixé d'itérations}$$

$$\frac{Z - \frac{1}{2} \sum_{a \in \hat{A}} (v_a - \hat{v}_a)^2}{Z} \leq \text{taux fixé de changement de la fonction objective}$$

g est la solution finale, c.-à-d. la matrice ajustée.

Métadonnées associées aux résultats de simulation

Déplacements véhiculaires 24 heures

Les déplacements de véhicules 24 heures concernent les déplacements de véhicules en provenance ou se destinant au territoire du Québec.

Les déplacements automobiles 24 heures pour motif Travail ont été extraits de l'enquête lieu de résidence-lieu de travail de Statistique Canada 2001 sur la base des secteurs de recensement (SR) et des subdivisions de recensement (SDR) pour les modes de transport suivants : conducteur d'un véhicule motorisé, conducteur d'une motocyclette et passager d'un taxi. On considère des déplacements pendulaires, c'est-à-dire un premier déplacement du lieu de résidence au lieu de travail et un deuxième déplacement du lieu de travail au lieu de résidence.

Les déplacements automobiles pour motif Travail (ACTR) ont été rajustés sur les comptages automobiles.

Les déplacements automobiles 24 heures pour motif Autre ont été extraits des enquêtes origine-destination régionales suivantes : région de l'Outaouais/Ottawa 1995, région de Montréal 1998, région de Trois-Rivières 2000, région de Québec 2001 et région de Sherbrooke 2003. Dans ces enquêtes régionales, les déplacements retenus sont ceux dont le mode de transport est automobile (conducteur), motocyclette ou taxi et dont le motif est autre que Travail et Retour au domicile, sauf si pour ce dernier cas il n'existe pas de déplacement pour motif Travail dans la chaîne des déplacements. Les déplacements automobiles pour motif Autre (ACAU) ont été rajustés sur les comptages automobiles.

Les déplacements automobiles 24 heures pour motif Tourisme ont été estimés à partir d'une matrice gravitaire tenant compte de la population d'une zone selon le Recensement 2001 de Statistique Canada et du nombre d'attractions touristiques de la zone, selon le Système de distribution de la destination (SDD) du ministère du Tourisme, en date de mai 2003. En fixant des seuils en termes de population minimale et de nombre minimal d'attractions touristiques, on limite le nombre de cellules ouvertes dans la matrice gravitaire. Cette matrice des déplacements automobiles estimés 24 heures pour motif Tourisme (ACTO) a été ajustée sur les comptages automobiles résiduels positifs. Les comptages automobiles résiduels sont les comptages automobiles moins les volumes automobiles ajustés pour motif Travail et pour motif Autre.

Les déplacements de camions lourds longue distance 24 heures ont été obtenus directement de l'Enquête routière nationale de 1999 du Conseil canadien des administrateurs de transport motorisé (CCATM). Les déplacements synthétiques des autres camions ne sont utilisés que pour obtenir des volumes de camions sur tout le réseau routier. Ce sont, au départ, les déplacements automobiles 24 heures pour motif Travail remis à l'échelle du parc estimé de camions, qui sont ajustés sur les comptages de camions 24 heures.

Les déplacements sont structurés sous forme d'ensembles de paires de centroïdes ou de nœuds (origine, destination). Le réseau du RMMQ, qui comprend le réseau routier québécois, quelques routes de l'Ontario, du Nouveau-Brunswick, de l'Île-du-Prince-Édouard et les traversiers, est composé de nœuds et de liens directionnels. Les nœuds sont considérés comme des nœuds réguliers (intersections de routes) ou comme des centroïdes (représentant une zone).

Le territoire du Québec est découpé en un système de zones. La plupart des paires d'extrémités de déplacements sont constituées de centroïdes, sauf dans le cas des déplacements dont l'origine ou bien la destination est localisée en dehors du territoire du Québec. Pour l'origine ou la destination située en dehors du Québec, on utilise un nœud régulier localisé sur une des quelques routes hors Québec. Pour l'ensemble des déplacements automobiles 24 heures (motif Travail ajusté + motif Autre ajusté + motif Tourisme estimé), on a 66 707 paires origine-destination actives, alors que pour le cas des déplacements synthétiques de camions on utilise 45 706 paires origine-destination.

Il y a un total de 1624 zones couvrant tout le Québec terrestre et aquatique. Il y a 1545 zones (c.-à-d. centroïdes) qui sont accessibles par la route ou par traversier. On compte 1409 centroïdes qui sont l'origine ou la destination des déplacements de véhicules sur le territoire du Québec. On dénombre 26 nœuds réguliers hors Québec qui font office d'origine ou de destination pour des déplacements – 12 nœuds réguliers sont localisés en Ontario, 10 au Nouveau-Brunswick, 3 à l'Île-du-Prince-Édouard et 1 à la frontière extrême est du Québec et du Labrador.

Il faut distinguer les déplacements de véhicules interzonaux et les déplacements de véhicules intrazonaux. Un déplacement intrazonal est un déplacement dont l'origine et la destination sont dans la même zone ou dont le centroïde origine est le centroïde destination. Conséquemment, un déplacement de véhicule interzonal a une origine différente de sa destination. Seuls les déplacements de véhicules interzonaux sont chargés sur le réseau routier.

Nous avons des déplacements automobiles interzonaux ajustés pour motif Travail, pour motif Autre, des déplacements automobiles interzonaux estimés pour motif Tourisme et des déplacements synthétiques interzonaux de camions. Nous avons aussi, dans les cinq agglomérations urbaines majeures du Québec, des déplacements automobiles intrazonaux pour motif Travail et pour motif Autre.

Chargement sur le réseau routier

Les déplacements de véhicules interzonaux sont chargés sur le réseau routier du RMMQ en les affectant sur les liens directionnels qui composent le chemin le plus court en temps (selon la vitesse affichée), dont le début et l'arrivée correspondent à l'origine et à la destination de ces déplacements.

Statistiques intrazonales

Les statistiques intrazonales nous permettent d'évaluer les déplacements de véhicules intrazonaux en termes de véhicules-km et de véhicules-heures. Ces statistiques concernent la distance routière estimée effectuée par un déplacement intrazonal ainsi que sa vitesse à l'intérieur de la zone. Nous posons comme hypothèse que la distance intrazonale totale est égale au rayon d'un cercle de surface équivalente à la zone considérée. La distance intrazonale totale est composée d'une distance d'accès et d'une distance routière. On pose que la distance d'accès est égale au lien connecteur le plus long reliant le centroïde de la zone considérée au réseau routier modélisé. La vitesse d'accès associée à la distance d'accès sera le rapport des autos-km sur les autos-h de tous les liens connecteurs de ce centroïde. On pose comme hypothèse que la vitesse routière associée à la distance routière est de 50 km/h. Cela nous permet de calculer une vitesse intrazonale.

Distance intrazonale

Soit la variable *Superficie* représentant la superficie en km² de la zone considérée

$$\text{RayonZone} = \text{SQRT} (\text{Superficie}/3.14159)$$

$$\text{DistanceAcces} = \text{MINIMUM} (\text{RayonZone}, \text{MAXIMUM} [\text{longueur des connecteurs de la zone}])$$

$$\text{DistanceRoute} = \text{RayonZone} - \text{DistanceAcces}$$

$$\text{DistanceZone} = \text{DistanceAcces} + \text{DistanceRoute}$$

Vitesse intrazonale

$$\text{VitesseAcces} = \frac{\text{SOMME (autos-km des connecteurs de la zone)}}{\text{SOMME (autos-h des connecteurs de la zone)}}$$

$$\text{VitesseRoute} = 50$$

$$\text{VitesseZone} = \frac{(\text{DistanceAcces} * \text{VitesseAcces} + \text{DistanceRoute} * \text{VitesseRoute})}{(\text{DistanceAcces} + \text{DistanceRoute})}$$

Données sur les résultats

Les données obtenues concernant les résultats du modèle national sur l'utilisation du réseau routier sont contenues dans deux tables MapInfo. La table Simul_noeudsv3 porte sur les nombres de déplacements en provenance du nœud, se destinant au nœud et sur les nombres de déplacements intrazonaux ainsi que sur les statistiques intrazonales. La table Simul_liensv3 porte sur quelques attributs des liens directionnels, sur les volumes de véhicules simulés et sur les comptages de véhicules.

Tableau D.1 Table des nœuds « simul_noeudsv3 »

Variable	Type	Longueur	Description
NODE	Decimal	6	Représente un numéro unique de nœud et s'associe aux champs INODE et JNODE de la table Simul_liensv3
CENTR	Char	1	Indicateur égal à « * » pour désigner que le nœud est un centroïde ou égal à « . » pour un nœud régulier
ACTR_Orig	Float		Le nombre de déplacements automobiles interzonaux à motif Travail 24 heures en provenance du nœud
ACTR_Dest	Float		Le nombre de déplacements automobiles interzonaux à motif Travail 24 heures se destinant au nœud
ACTR_Intra	Float		Le nombre de déplacements automobiles intrazonaux à motif Travail 24 heures associé au nœud
ACAU_Orig	Float		Le nombre de déplacements automobiles interzonaux à motif Autre 24 heures en provenance du nœud
ACAU_Dest	Float		Le nombre de déplacements automobiles interzonaux à motif Autre 24 heures se destinant au nœud

Variable	Type	Longueur	Description
ACAU_Intra	Float		Le nombre de déplacements automobiles intrazonaux à motif Autre 24 heures associé au nœud
ACTO_Orig	Float		Le nombre de déplacements automobiles interzonaux à motif Tourisme 24 heures en provenance du nœud
ACTO_Dest	Float		Le nombre de déplacements automobiles interzonaux à motif Tourisme 24 heures se destinant au nœud
CAMCCATM_Orig	Float		Le nombre de déplacements interzonaux des camions semi-remorques longue distance 24 heures en provenance du nœud
CAMCCATM_Dest	Float		Le nombre de déplacements interzonaux des camions semi-remorques longue distance 24 heures se destinant au nœud
CAMAUTRE_Orig	Float		Le nombre de déplacements synthétiques interzonaux des autres camions 24 heures en provenance du nœud
CAMAUTRE_Dest	Float		Le nombre de déplacements synthétiques interzonaux des autres camions 24 heures se destinant au nœud
SuperficieKM2	Float		Superficie en km ² de la zone associée au centroïde
DistanceZone	Float		Statistique estimée de la distance intrazonale effectuée par un déplacement intrazonal
VitesseZone	Float		Statistique estimée de la vitesse intrazonale pour un déplacement intrazonal

Tous les nombres de déplacements automobiles pour motif Travail (ACTR) proviennent de la question lieu de résidence-lieu de travail de Statistique Canada (2001) et sont arrondis à la dizaine près après expansion et ajustement sur les comptages.

Tous les nombres de déplacements automobiles pour motif Autre (ACAU) proviennent des enquêtes origine-destination régionales et ont été estimés par ajustement sur les comptages.

Tous les nombres de déplacements de camions lourds longue distance proviennent de l'Enquête routière nationale de 1999 du Conseil canadien des administrateurs de transport motorisé (CCATM).

Il y a en tout 31 514 nœuds. Il existe 1429 nœuds centroïdes correspondant à des extrémités de déplacements (origine, destination ou internes). Il existe 24 nœuds réguliers comportant des extrémités de déplacements.

Tableau D.2 Table des liens « Simul » liensv3 »

Variable	Type	Longueur	Description
INODE	Decimal	5	Représente le numéro du nœud du champ NODE de la table Simul_noeudsv3 comme nœud du début du lien directionnel (<i>offset</i> de 5 mètres)
JNODE	Decimal	5	Représente le numéro du nœud du champ NODE de la table Simul_noeudsv3 comme nœud de fin du lien directionnel (<i>offset</i> de 5 mètres)
LEN	Decimal	6,2	La longueur du lien en kilomètres, arrondie à 10 mètres près
TYP	Decimal	3,0	Le type de lien : 11 autoroute (en rouge) 21 route nationale (en jaune) routes nécessairement numérotées, constituant les grands axes interrégionaux, et celles reliant entre elles les agglomérations principales (25 000 habitants et plus) 31 route régionale (en vert) routes reliant les agglomérations secondaires (de 5000 à 25 000 habitants) entre elles et aux agglomérations principales 41 route collectrice (en gris foncé) routes reliant les petites agglomérations (moins de 5000 habitants) à celles qui sont plus importantes 51 route locale (en gris pâle) routes reliant les petites agglomérations entre elles et permettant l'accès à la propriété rurale 61 chemin de terre ou forestier (en brun) routes non pavées ayant pour vocation de conduire à des zones d'exploitation forestière ou minière, à des installations hydro-électriques ou à des zones de récréation et de

Variable	Type	Longueur	Description
			conservation 71 traversier (en bleu) routes maritimes pour les traversiers considérés 99 connecteur (en rose foncé) lien permettant de connecter un centroïde au réseau
_rout1	Integer		Numéro de la route, s'il existe (entre 1 et 999); dans le cas où il y a plusieurs numéros de route passant par le lien (un maximum de 3 numéros), _rout1 contient le numéro le plus petit.
_rout2	Integer		Numéro de la route, s'il existe (entre 1 et 999); dans le cas où il y a plusieurs numéros de route passant par le lien, _rout2 contient le deuxième numéro en ordre numérique croissant.
_rout3	Integer		Numéro de la route, s'il existe (entre 1 et 999); dans le cas où il y a plusieurs numéros de route passant par le lien, _rout3 contient le numéro le plus grand.
_camok	Integer		Attribut désignant le type de circulation pour les camions lourds : 1 permission de circuler sans restriction; 2 permission de circuler avec certaines restrictions; 3 aucune circulation permise, sauf pour livraison locale.
_speed	Decimal	8,2	Vitesse basée sur les limites de vitesse en km/h La vitesse est une moyenne pondérée des différentes limites de vitesse observées sur le lien et est calculée de telle sorte que cette vitesse correspond au temps nécessaire pour parcourir le lien en respectant les limites de vitesse sur tout son tracé.
_srcsp	Small Integer		Sources pour l'estimation de la vitesse : 1 Limite de vitesse municipale obtenue de façon ponctuelle. 2 Limite de vitesse obtenue par le système GLV du MTQ. 3 Limite de vitesse obtenue par le système GLV du MTQ pour une partie du lien seulement, complétée par la vitesse par défaut pour l'autre partie du lien. 4 Vitesse obtenue sur les chemins

Variable	Type	Longueur	Description
			forestiers par le MRN, secteur Forêt. 5 Vitesse obtenue par défaut selon un modèle simple tenant compte du type de route (TYP) et de la distribution de la densité urbaine sur le lien (pzurb1, pzurb2, pzurb6). 6 Vitesse obtenue sur la base du temps de traversier selon son horaire et la distance à parcourir.
_jurid	Integer		Compétence dont relève la route et localisation provinciale 0 compétence inconnue 1 compétence MTQ (MTQ avant 93.04.01) 2 compétence MTQ (municipale avant 93.04.01) 3 compétence MTQ (MRN avant 93.04.01) 4 compétence MRN (municipale avant 93.04.01) 5 compétence municipale (MTQ avant 93.04.01) 6 compétence municipale (municipale avant 93.04.01) 7 compétence fédérale 20 territoire de l'Ontario 30 territoire du Nouveau-Brunswick 40 territoire de l'Île-du-Prince-Édouard Les liens dont la valeur de _jurid est comprise entre 0 et 10 sont localisés sur le territoire du Québec.
Sim24HACTR	Float		Volume d'automobiles simulé ajusté 24 heures pour motif Travail sur la base des déplacements interzonaux ajustés
Sim24HACAU	Float		Volume d'automobiles simulé ajusté 24 heures pour motif Autre sur la base des déplacements interzonaux ajustés
Sim24HACTO	Float		Volume d'automobiles simulé estimé 24 heures pour motif Tourisme sur la base des déplacements interzonaux estimés
Sim24HCCATM	Float		Volume simulé des camions semi-remorques longue distance 24 heures sur la base des déplacements de camions CCATM
Sim24HCAMAU	Float		Volume simulé estimé des autres camions 24 heures sur la base des déplacements interzonaux synthétiques

Variable	Type	Longueur	Description
NUM_STATN	Integer		S'il y a une station de comptage CIR-6002, c'est son numéro, sinon c'est la valeur zéro.
NBMOIS	Integer		Nombre de mois pour chacun desquels on a un comptage moyen mensuel de véhicules pour 24 heures provenant de CIR-6002
Compte24Hmin	Float		Comptage minimum de véhicules pour 24 heures parmi les NBMOIS comptages moyens mensuels pour 24 heures
Compte24Hmoy	Float		Comptage moyen de véhicules pour 24 heures parmi les NBMOIS comptages moyens mensuels pour 24 heures
Compte24Hmax	Float		Comptage maximum de véhicules pour 24 heures parmi les NBMOIS comptages moyens mensuels pour 24 heures
PVEHLO	Decimal	5,2	Dans le cas où la statistique PVEHLO de CIR-6002 existe, c'est le pourcentage de camions sur l'ensemble des véhicules (entre 0 et 100), sinon c'est la valeur -1.

Le comptage d'automobiles 24 heures annuel se calcule comme suit :

$$\text{Compte24Hmoy} * (100 - \text{PVEHLO})/100$$

Le comptage de camions 24 heures annuel se calcule comme suit :

$$\text{Compte24Hmoy} * \text{PVEHLO}/100$$

Le volume total simulé d'automobiles 24 heures annuel se calcule comme suit :

$$\text{Sim24HACTR} + \text{Sim24HACAU} + \text{Sim24HACTO}$$

Le volume total simulé de camions 24 heures annuel se calcule comme suit :

$$\text{Sim24HCCATM} + \text{Sim24HCAMAU}$$

Il existe en tout 76 978 liens directionnels. Il existe 4659 liens directionnels pour lesquels nous avons des comptages de véhicules 24 heures (enregistrements avec NBMOIS > 0).

