

Des espions GPS au service de la gestion des réseaux

Dixièmes rencontres francophones Est-Ouest de socio-économie des transports

Hubert Verreault, Associé de recherche
Téléphone: 514-340-4711 p.4235
cmorency@polymtl.ca

Catherine Morency, Professeure agrégée
Téléphone: 514-340-4711 p.4502
cmorency@polymtl.ca

Nicolas Saunier, Professeur adjoint
Téléphone: 514-340-4711 p.4962
cmorency@polymtl.ca



École Polytechnique de Montréal
Chaire Mobilité
Département des génies civil, géologique et des mines
C.P. 6079, succursale Centre-ville, Montréal (Québec), H3C3A7, Canada

1 INTRODUCTION

Jour après jour, des centaines de véhicules de la compagnie Communauto circulent sur le réseau routier de la Grande région de Montréal. Communauto est un service d'autopartage fondé en 1994 qui offre, à ses 20 000 membres, 1 000 véhicules et 300 stations pour effectuer leurs déplacements. Ces véhicules colligent des informations précieuses sur l'état de la circulation. En effet, une partie importante de la flotte de véhicules en libre-service disponibles à Montréal est équipée d'un système GPS permettant notamment un suivi en temps réel des véhicules. En plus d'assurer la localisation spatiale de ces véhicules pour la compagnie, les systèmes GPS permettent aussi de valider les distances de déplacements parcourus par les usagers. Mais cette source de données s'avère aussi extrêmement riche en information détaillée sur l'état de la circulation sur les différents segments routiers de la région de Montréal, voire d'ailleurs au Québec. En effet, les multiples données colligées par ces espions révèlent les vitesses observées en différentes circonstances spatio-temporelles et contextuelles et ce, dans des conditions représentatives de la conduite typique des usagers de la route.

Cet article vise à démontrer les potentialités de ces traces GPS comme outil de suivi des conditions de circulation sur le réseau autoroutier montréalais et propose différentes analyses des vitesses observées en différents lieux et selon différentes conditions (période, journée, saison, etc.). Il s'inscrit dans une démarche de recherche visant à développer des outils permettant de suivre l'évolution des conditions de circulation et évaluer les potentialités de différentes technologies (caméra, capteur Bluetooth, véhicules flottants, etc.) pour documenter l'évolution de la fiabilité des temps de parcours sur les réseaux autoroutiers.

L'article s'articule comme suit : d'abord des éléments de contexte liés au projet de recherche à Montréal ainsi qu'à différents travaux pertinents réalisés un peu partout sont proposés. Les bases de données

utilisées ainsi que la méthodologie d'analyse sont ensuite décrites. Une analyse descriptive de l'échantillon de données exploitées est aussi incluse dans cette section. Les résultats obtenus sont ensuite présentés avant la conclusion.

2 CONTEXTE

2.1 Mesurer la fiabilité des temps de parcours sur le réseau autoroutier montréalais

Mieux comprendre l'utilisation des réseaux routiers afin de mieux modéliser la congestion est un enjeu critique pour les planificateurs et professionnels du transport. Le Québec ne fait pas exception. En 2007, nous avons reçu le mandat, du Ministère des transports du Québec (MTQ), d'examiner les potentialités d'une banque de données de véhicules flottants ainsi que d'évaluer les potentialités de différentes technologies permettant de recueillir des données de vitesses ou temps de parcours. En effet, comme plusieurs autorités de transport, le ministère souhaite se doter d'un outil permettant de mesurer l'évolution des conditions de circulation sur son réseau, et notamment d'apprécier la fiabilité de l'offre de transport. Différents travaux ont été réalisés dans le cadre de ce mandat.

D'abord, des données historiques de véhicules flottants, recueillies sur une période de 6 ans par le ministère, ont permis de développer des modèles de distribution de temps de parcours sur des tronçons d'un kilomètre. En effet, le réseau autoroutier typiquement échantillonné par le ministère a été systématiquement segmenté en tronçons d'un kilomètre afin de faciliter l'analyse des temps de parcours et la comparaison entre différents types de tronçons. Ces travaux sont résumés dans Loustau (2009), Loustau et al. (2009a, 2010a, b). Les résultats obtenus des véhicules flottants ont aussi été comparés à ceux obtenus d'autres technologies notamment les traces GPS des véhicules de Communauto (Loustau et al. 2009b), les capteurs Bluetooth et les vitesses extraites de bandes vidéo (Saunier et Morency, 2011).

2.2 État des connaissances

Des centaines d'études ont été publiées sur les impacts négatifs de la congestion et de nombreux travaux sont en cours. En outre, les préoccupations actuelles de développement durable font de plus en plus migrer les recherches vers une meilleure compréhension et modélisation des impacts indirects de la congestion, notamment les aspects environnementaux (Nesamani et al. 2007), les notions d'équité et d'accessibilité, voire même les modifications aux rythmes d'activités des personnes et ménages notamment la baisse des déplacements de type magasinage (Schmöcker et al. 2006). En parallèle, de nombreux travaux sont réalisés afin de clarifier le concept de développement durable lors de son application particulière au transport et à la mobilité. Litman (2008) fournit à cet égard une documentation très intéressante. Il propose en effet une série d'indicateurs de transport durable permettant d'apprécier, objectivement, les projets de transport et d'orienter le processus de planification des transports (rôle des indicateurs). Notamment, il recommande que tout indicateur de transport durable intègre des impacts économiques, sociaux et environnementaux. Les indicateurs tels que temps de déplacement domicile-travail et retards dus à la congestion sont identifiés comme indicateurs économiques de transport durable où une réduction est perçue comme une contribution au transport durable.

La nécessité de bien comprendre les problèmes de circulation, couplée à la disponibilité croissante de technologies, se traduit par une disponibilité grandissante de données diverses sur les mouvements des personnes et véhicules, certaines recueillies spécifiquement à cette fin, d'autres provenant de systèmes d'observation. Plusieurs recherches récentes portent par conséquent sur les méthodologies d'exploitation de ces ensembles de données pour modéliser les temps de parcours (Jintanakul et al. 2009) ainsi que sur la définition d'indicateurs permettant de décrire justement les conditions de circulation. Aux États-Unis, les travaux du Texas Transportation Institute (Schrank et Lomax 2003, 2005, 2007, Schrank et al. 2010, FHWA 2005), proposent depuis une vingtaine d'années, différents indicateurs de l'état de la congestion dans les principales agglomérations du pays.

3 SYSTÈME D'INFORMATION ET MÉTHODOLOGIE

Depuis quelques années, la compagnie Communauto équipe une partie de sa flotte de véhicules de systèmes GPS en vue d'assurer leur localisation lors de circonstances particulières et de faire la validation des distances parcourues par les usagers. Actuellement, c'est grosso modo 400 véhicules qui sont équipés de tels systèmes. Ces véhicules sont dispersés dans les différentes stations du réseau montréalais et sont utilisés par de multiples membres du service, au gré de leurs besoins.

Une expérience de mesure a été tentée afin d'évaluer si ces données permettent de fournir un portrait suffisant de l'état de la circulation sur les principaux liens autoroutiers de la région de Montréal. Les traces des véhicules équipés pour l'année 2010 ont été rendues disponibles par Communauto à cette fin. A priori, ces données n'ont pas comme objectif de mesurer l'évolution des conditions de circulation sur un réseau routier et ont plutôt une utilité opérationnelle pour la compagnie. Par conséquent, le niveau de résolution temporelle des données actuellement stockées est de l'ordre de 2-5 minutes (selon les mois). La compagnie est toutefois ouverte à une amélioration du niveau de résolution temporel si les données résultantes sont utiles à d'autres fins.

3.1 Base de données brute

Les traces GPS des véhicules de Communauto sont disponibles pour les mois de janvier à novembre de l'année 2010. Le fichier complet de points compte près de 20 millions d'enregistrements. Bien évidemment, les cheminements des déplacements des usagers de Communauto ne s'effectuent pas tous sur le réseau autoroutier montréalais ou même à Montréal. En outre, comme dans tout ensemble de données, certaines données sont erronées et inutilisables. Il est donc nécessaire de faire un certain filtrage des données. De plus, le niveau de résolution des données n'est pas suffisant pour permettre une reconnaissance simple des itinéraires détaillés empruntés par les conducteurs. Ces points fournissent plutôt une information de vitesse instantanée sur le réseau. Par conséquent, une méthodologie de couplage a été développée afin d'associer les points de vitesse instantanée aux tronçons routiers.

Le tableau suivant (Tableau 1) résume le contenu de la base de données complète, épurée des enregistrements contenant une information de vitesse nulle. Bien qu'il soit possible qu'une vitesse nulle soit enregistrée pour un véhicule sur le réseau routier, cette possibilité est nettement moindre lorsqu'on considère le réseau supérieur (autoroutes). On y dénombre le nombre de points avec vitesse non-nulle par mois, pour tout l'univers spatial de points, pour ceux localisés à l'intérieur du territoire de l'enquête OD 2008 ainsi que ceux qui ont été couplés à un des tronçons du réseau routier typiquement échantillonnés par le MTQ à l'aide de véhicules flottants.

Tableau 1. Nombre d'observations par type de jour et période de la journée

Nombre d'enregistrements par mois (vitesse>0)				
	Univers		Réseau typique d'échantillonnage	
	Nb. Enr.	Nb.Veh.	Nb. Enr.	Nb.Veh.
Janvier	367325	381	41533	376
Février	353745	391	43766	381
Mars	387719	385	47232	370
Avril	378366	387	47236	374
Mai	501069	386	70483	371
Juin	397550	392	52319	374
Juillet	477656	384	56483	369
Août	448521	367	55344	347
Septembre	364264	364	45390	344
Octobre	373668	391	45138	380
Novembre	431259	408	45083	380
Total	4481142	420	550007	408

3.2 Segmentation du réseau autoroutier en tronçons d'un kilomètre

Lors des premiers exercices de modélisation des temps de parcours à partir des relevés de véhicules flottants, il a été décidé de segmenter systématiquement les relevés en segments d'un kilomètre afin de créer un ensemble d'objets uniformes à modéliser. Cette segmentation a été effectuée par un programme Visual Foxpro qui a fractionné les relevés de façon continue depuis leur point de départ. La Figure 1 illustre les tronçons d'un kilomètre résultant d'un tel découpage systématique, pour le cas d'une autoroute de la région (Autoroute 13 en direction sud).

La banque de données résultante compte 769 tronçons unitaires uniques. La distribution des temps moyens de parcours observés sur ces tronçons unitaires, à l'aide des relevés de véhicules flottants, est résumée à la figure suivante (Figure 2). Tous tronçons confondus, le temps moyen de parcours est de 68.86 secondes par kilomètre (52.3 km/h) et le coefficient de variation est de 60.88%.

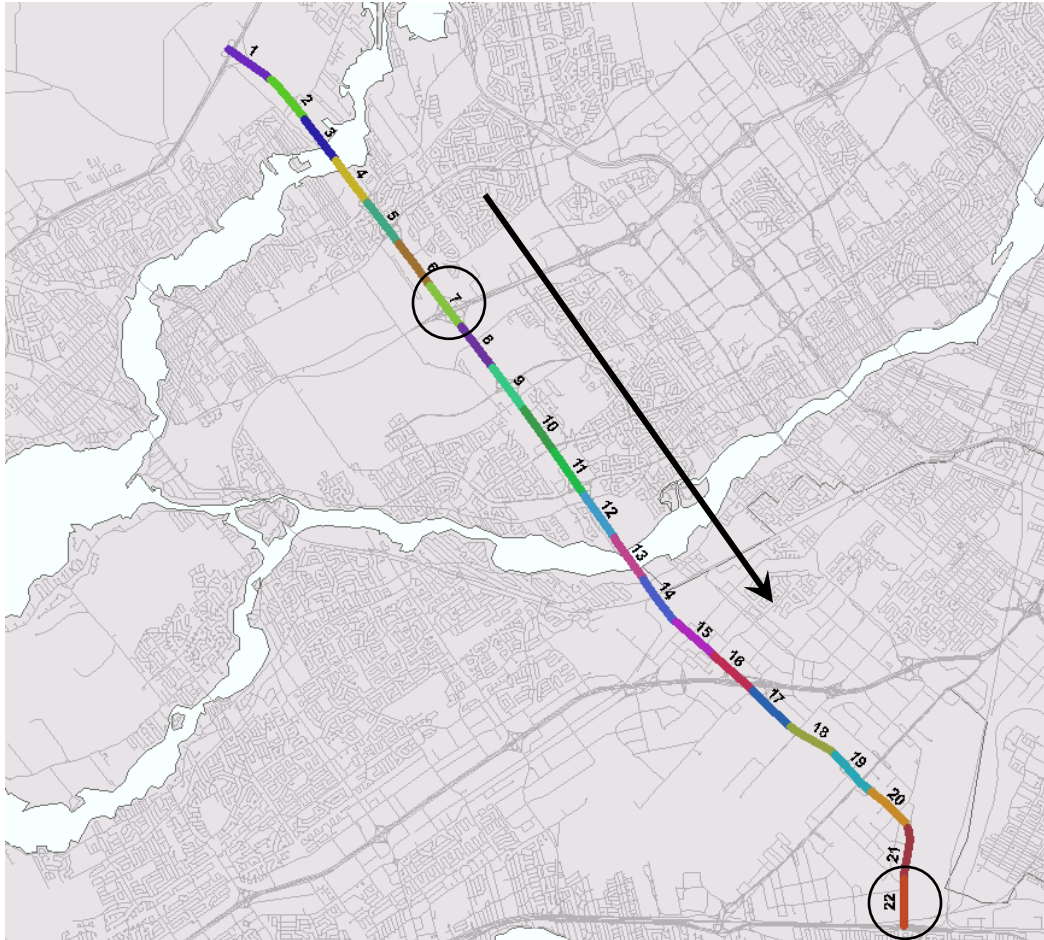


Figure 1. Exemple de segmentation systématique d'un relevé en tronçons d'un kilomètre: cas de l'autoroute 13 en direction sud

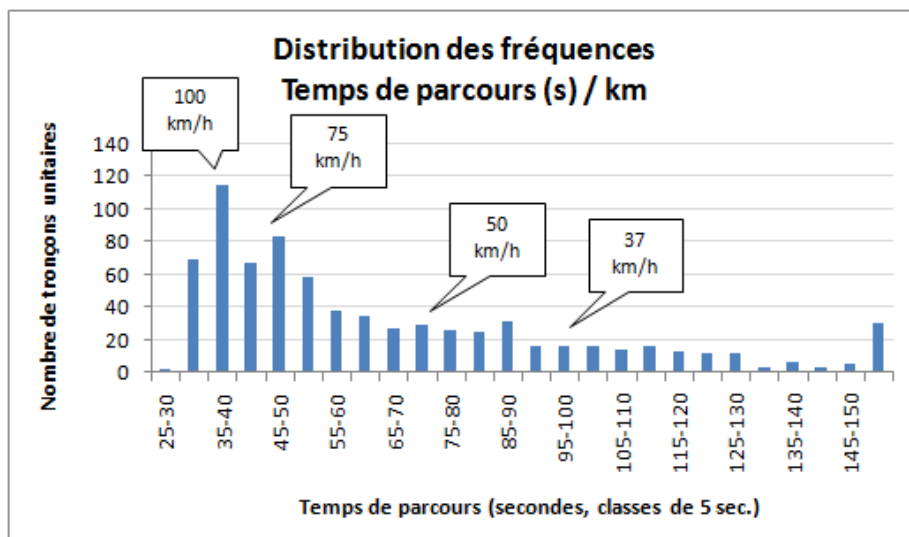


Figure 2. Distribution des fréquences des temps de parcours moyens par kilomètre, basés sur les valeurs observées par tronçon unique

3.3 Méthodologie de couplage des données GPS avec les tronçons d'un kilomètre

Afin d'évaluer l'ampleur de l'échantillon de points disponibles via les traces GPS, une méthodologie de couplage des points, chacun fournissant une vitesse instantanée, et des tronçons d'un kilomètre a été développée et appliquée systématiquement à la base de données de Communauto. Cette méthodologie implique les étapes suivantes :

- 1) Conversion des données en MTM nad83 pour l'ensemble de l'univers de points. Une automatisation par programme a été effectuée afin de transformer l'ensemble des points en lot.
- 2) Segmentation de la couche géographique des tronçons en 2 pour que chaque vitesse instantanée soit associée à un lien unique (pour tenir compte des deux directions et de l'imprécision spatiale des localisations spatiales)
- 3) Association par proximité spatiale entre les points (GPS) et les tronçons d'un km. Pour ce faire, la distance perpendiculaire du point par rapport au tronçon le plus proche a été calculée ainsi que l'adéquation des directions.
- 4) Extraction des points respectant deux critères :
 - a. distance point-tronçon inférieure à 20 m
 - b. différence entre l'angle des points GPS (direction de déplacement) et du tronçon inférieure à 30 degrés
- 5) Report des vitesses GPS sur les tronçons

3.4 Synthèse de l'échantillon de données disponible

La méthodologie de couplage de données permet d'obtenir l'échantillon de points utiles pour l'évaluation des conditions de circulation sur l'univers de tronçons de 1 km typiquement échantillonnés par le MTQ (généralement à l'aide de véhicules flottants).

3.4.1 Nombre d'observations disponibles par mois

En moyenne, chaque tronçon est couplé à quelque 715 données de vitesse instantanée sur une période de 11 mois (janvier à novembre 2010), les plus échantillonnés recevant jusqu'à 6863 points. Au niveau mensuel, le nombre moyen de points par tronçon varie entre 55 et 92. Évidemment, la variabilité d'échantillonnage des tronçons est très grande et le niveau d'échantillonnage varie aussi beaucoup par type de jour.

La Figure 3 présente le nombre d'observations (points de vitesse instantanée) disponibles par mois selon le type de jour. Avec le niveau actuel de collecte de données (4-5 minutes entre chaque point) des véhicules de Communauto, un mois de données correspond à quelque 40 000-55 000 points. En outre, le pic observé au mois de mai est dû à une réduction soudaine de l'intervalle de temps entre deux observations successives, ce qui permet déjà d'évaluer la richesse potentielle accrue de cet univers de données découlant uniquement d'une modification aux paramètres de stockage des données. Un potentiel à ne pas négliger lors de l'étude des échantillons actuellement disponibles.

La Figure 4 confirme l'usage plus élevé des véhicules d'autopartage lors des jours de fin de semaine et la stabilité des échantillonnages des différents tronçons mais ne permet pas de savoir si ce sont toujours les mêmes tronçons qui sont peu ou pas échantillonnés. Afin de documenter ceci, les tronçons sont maintenant caractérisés en termes de nombre de semaines avec jours (de semaine) observés. Le nombre maximum de semaines échantillonnées est de 49.

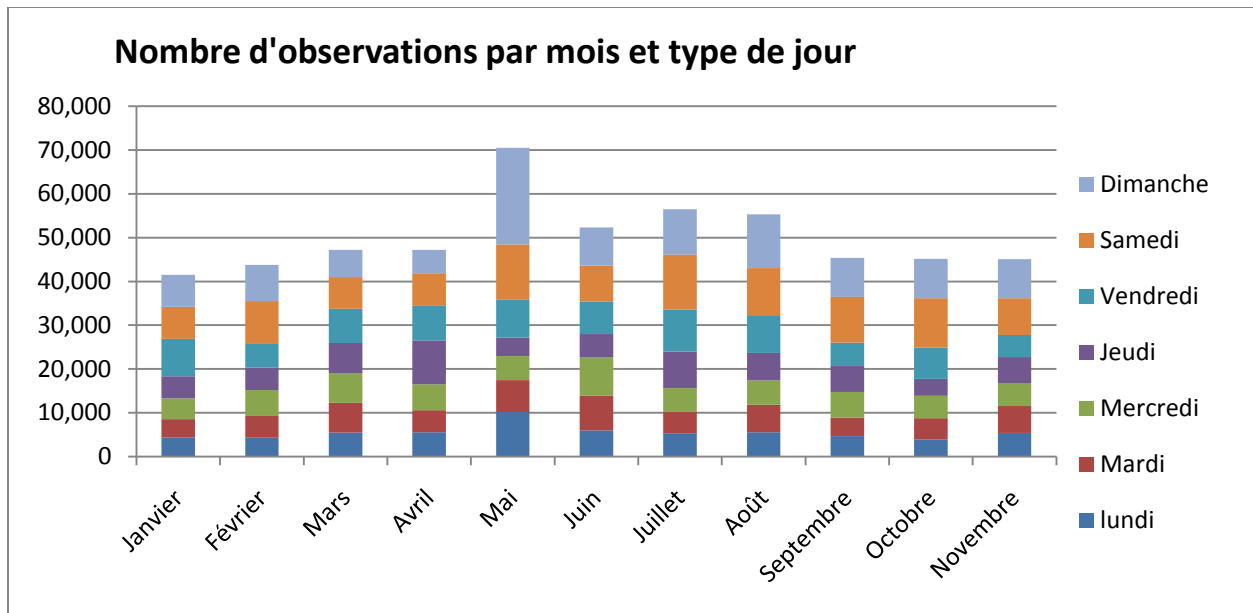


Figure 3. Distribution du nombre d'observations disponibles par mois et par type de jour en 2010

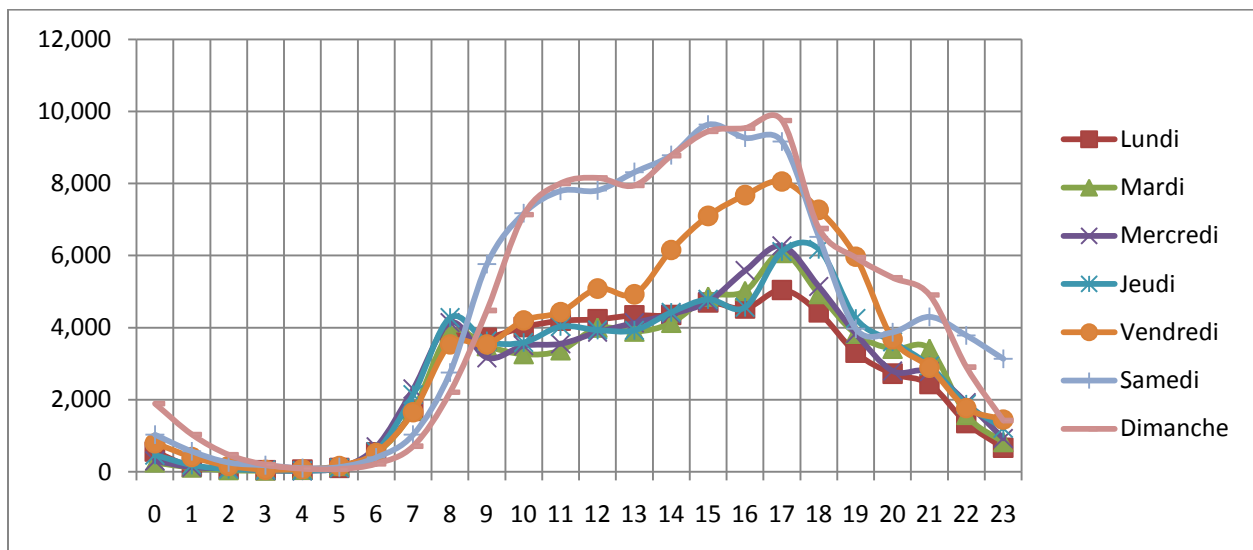


Figure 4. Distribution temporelle du nombre d'observations disponibles par heure et par type de jour, tous mois de 2010 confondus

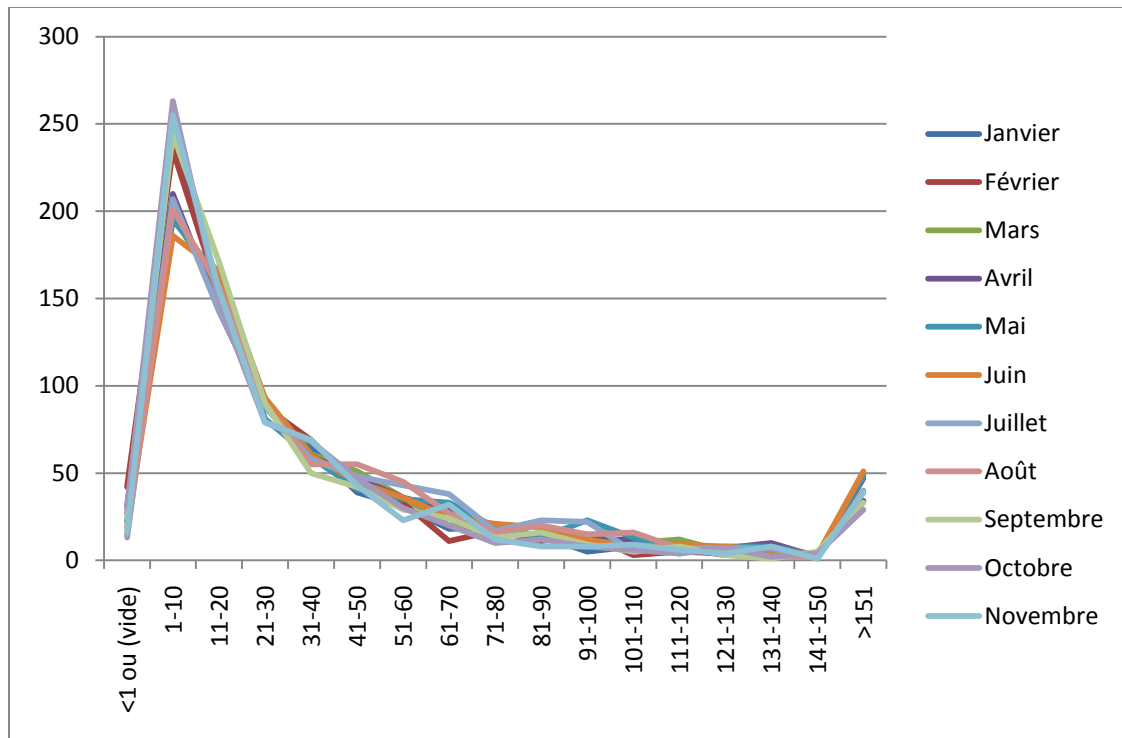


Figure 5. Distribution du nombre d’observations de semaine par tronçon, pour les différents mois de 2010

Globalement, c’est 39.5% des tronçons qui ont au moins une observation pour chacune des 49 semaines. La distribution complète est présentée à la Figure 6. On observe que près de 60% des tronçons ont été échantillonnés (au moins une observation) pour 46 semaines et que près du trois-quarts des tronçons l’ont été pour au moins 41 semaines.

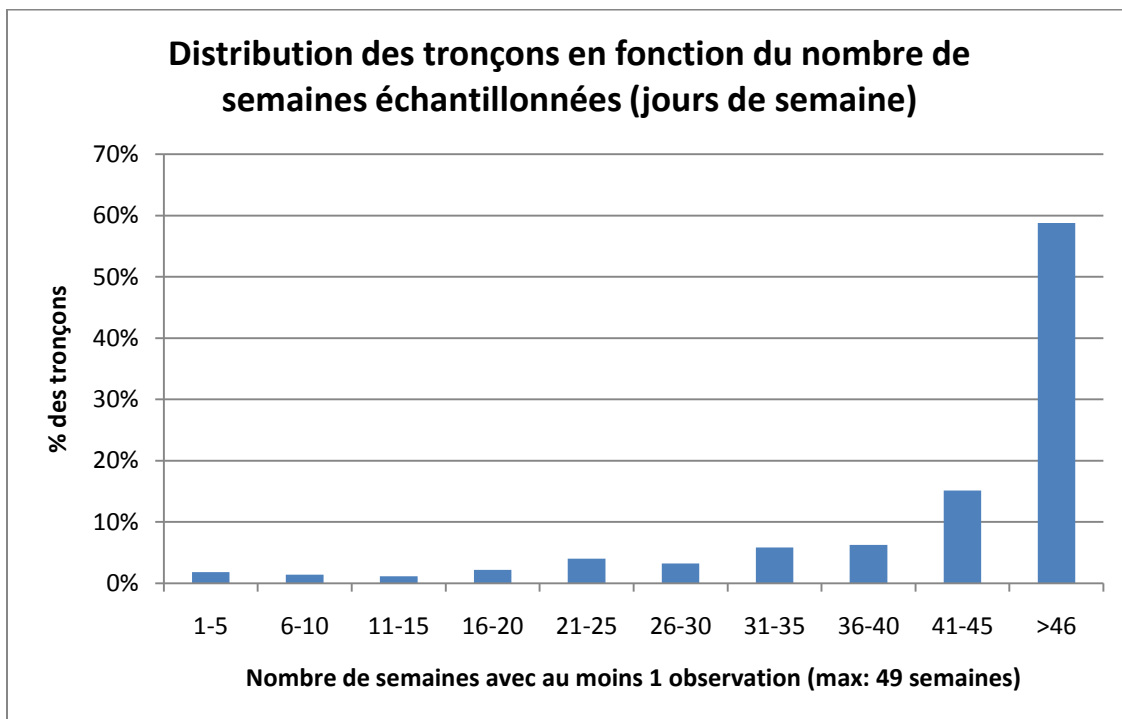


Figure 6. Distribution des tronçons (en %) en fonction du nombre d’observations disponibles par semaine (tous mois confondus)

3.5 Définition des indicateurs

Différents indicateurs sont utilisés pour évaluer la capacité des traces GPS à révéler les conditions de circulation sur le réseau.

3.5.1 Indicateurs basés sur les vitesses

- Vitesse moyenne sur un tronçon :

$$V_{moyen} = \frac{\sum \text{Vitesse instantanées}}{\text{Nombre d'observations}}$$

- Indice d'asymétrie de la distribution des vitesses :

$$I_{Asymétrie} = \frac{90^{ième} \text{ Percentile} - 50^{ième} \text{ Percentile}}{50^{ième} \text{ Percentile} - 10^{ième} \text{ Percentile}}$$

Cet indice définit la forme de la distribution de fréquence des temps de parcours. Une valeur de 1 correspond à une distribution normale.

3.5.2 Indicateurs basés sur le temps de parcours

- Indice de temps sécuritaire (supplémentaire/imprévu)

$$I_{Temps\ sécuritaire} = \frac{95^{ième} \text{ Percentile} - \text{Temps moyen}}{\text{Temps moyen}} \times 100\%$$

Cet indice correspond au pourcentage de temps supplémentaire nécessaire qui doit être prévu pour ne pas être en retard dans 95% des cas selon les conditions moyennes de circulation à ce moment (FHWA 2005).

- Indice de temps perdu

$$I_{Temps\ perdu} = \frac{95^{ième} \text{ Percentile}}{\text{Temps en écoulement libre}} \times 100\%$$

Cet indice correspond au pourcentage de temps supplémentaire maximal perdu par rapport aux conditions de circulation en écoulement libre pour 95% des déplacements.

- Indice de médiocrité

$$I_{Médiocrité} = \frac{\text{Temps moyen des 5\% les plus lents}}{\text{Temps moyen}} - 1$$

Cet indice mesure le degré de médiocrité du tronçon. C'est la proportion de temps de parcours supplémentaire moyen des 5 % des parcours les plus lents par rapport au temps de parcours moyen.

4 RÉSULTATS ET ANALYSE

Les données GPS sont maintenant exploitées afin d'évaluer leur capacité à révéler les conditions de circulation. Une autoroute est d'abord caractérisée puis l'ensemble des tronçons.

4.1 État de la circulation sur l'A40 – Direction EST

Trois graphiques reflétant les vitesses moyennes sur les différents tronçons d'un kilomètre de l'A40 Est sont présentés :

- La Figure 7 présente la variation de la vitesse moyenne par tronçon lors des différents mois de l'année 2010 (uniquement les observations recueillies lors des jours de la semaine, excluant samedi et dimanche). D'abord, on constate que les données révèlent bien les zones bien connues de congestion, notamment entre l'A13 et l'A25 avec les vitesses les plus faibles observées à l'approche de l'A15 vers le SUD (Décarie). De grandes variabilités sont observées pour le mois de septembre qui est bien reconnu pour présenter des fluctuations plus importantes de la circulation.

- La Figure 8 présente la variation de la vitesse moyenne par période de la journée sur ces mêmes tronçons (uniquement les observations recueillies lors de jours de semaine, excluant samedi et dimanche). On constate que, dans la partie est du circuit, les vitesses sont inférieures lors de la période de pointe du soir (ce qui correspond à l'orientation des mouvements pendulaires) alors qu'elles sont inférieures et plus variables dans la section ouest en pointe AM.
- La Figure 9 présente la variation de la vitesse moyenne par jour de la semaine (toutes périodes et tous mois confondus). Il s'agit de comparaisons rarement conduites puisque les fins de semaine sont souvent omises des processus de collecte de données. On observe sur cette figure que les zones de forte congestion sont aussi problématiques les samedis et dimanches alors que la vitesse moyenne baisse à 40 km/h et 60km/h respectivement à l'approche de l'A15.
- La Figure 10 présente une cartographie de la variation de la vitesse moyenne lors d'un jour moyen de semaine (tous mois confondus) à l'aide d'un code de couleur. On observe facilement les tronçons qui sont sujets à de fortes variations pendant la journée.

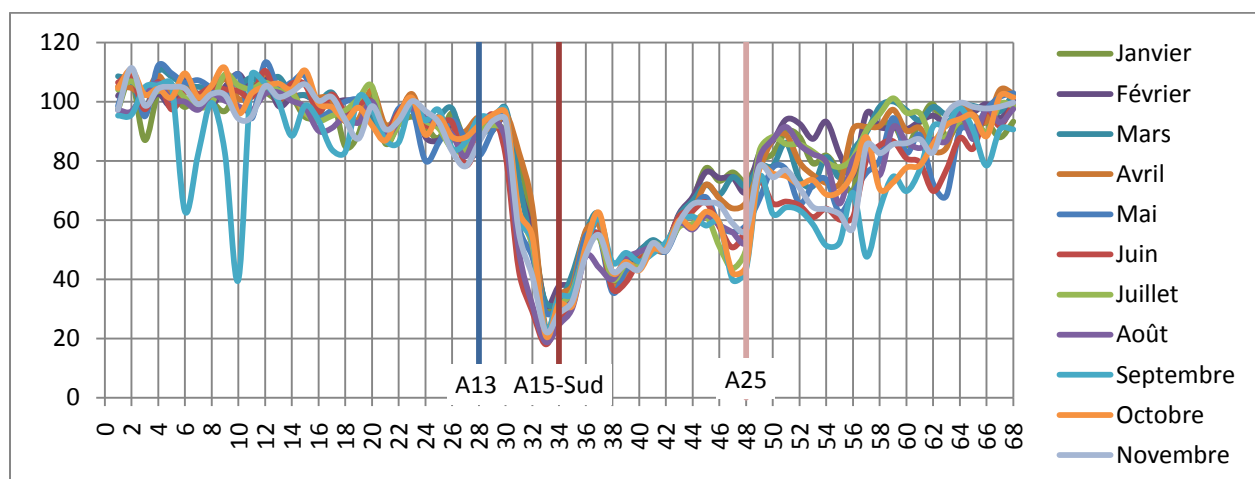


Figure 7. Variation de la vitesse moyenne (tous jours de semaine confondus, excluant samedi et dimanche) sur l'autoroute 40 (direction EST) lors des différents mois.

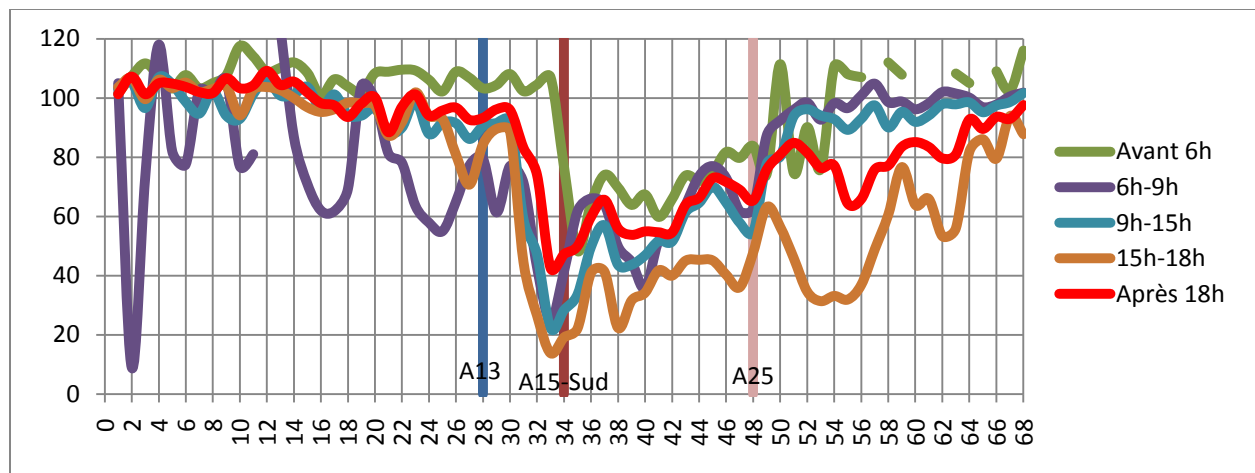


Figure 8. Variation de la vitesse moyenne (tous jours de semaine confondus, excluant samedi et dimanche, tous mois confondus) sur l'autoroute 40 (direction EST) lors des différentes périodes de la journée

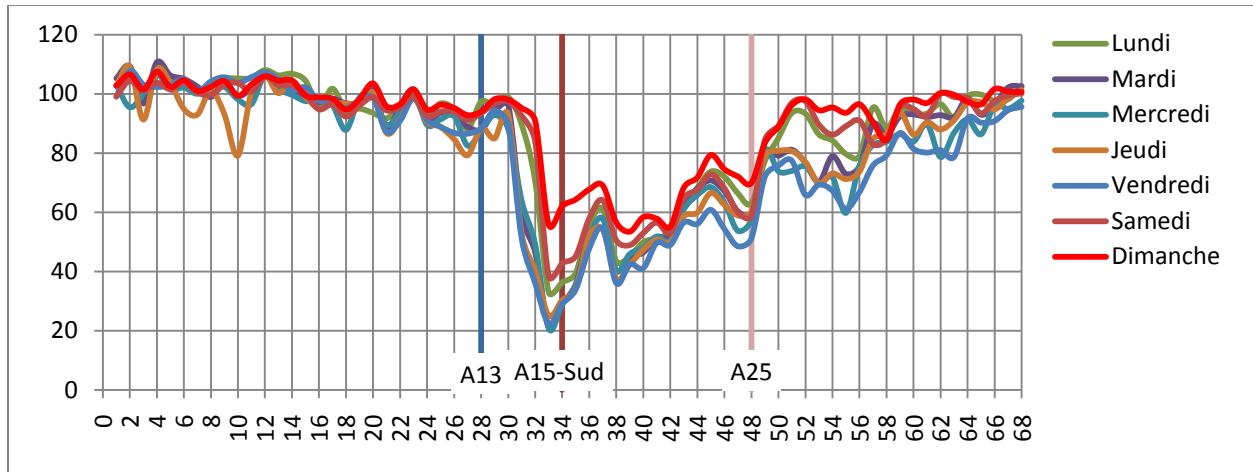


Figure 9. Variation de la vitesse moyenne (tous mois confondus) sur l'autoroute 40 (direction EST) lors des différents jours de la semaine.

Évidemment, avec la taille actuelle de l'échantillon, il n'est pas possible de faire toutes les analyses multivariées souhaitées; ce n'était pas non plus possible avec l'échantillon recueilli avec les véhicules flottants. En outre, comme la taille de l'échantillon pourrait assez rapidement être multipliée, ces limitations seraient en partie réduites.

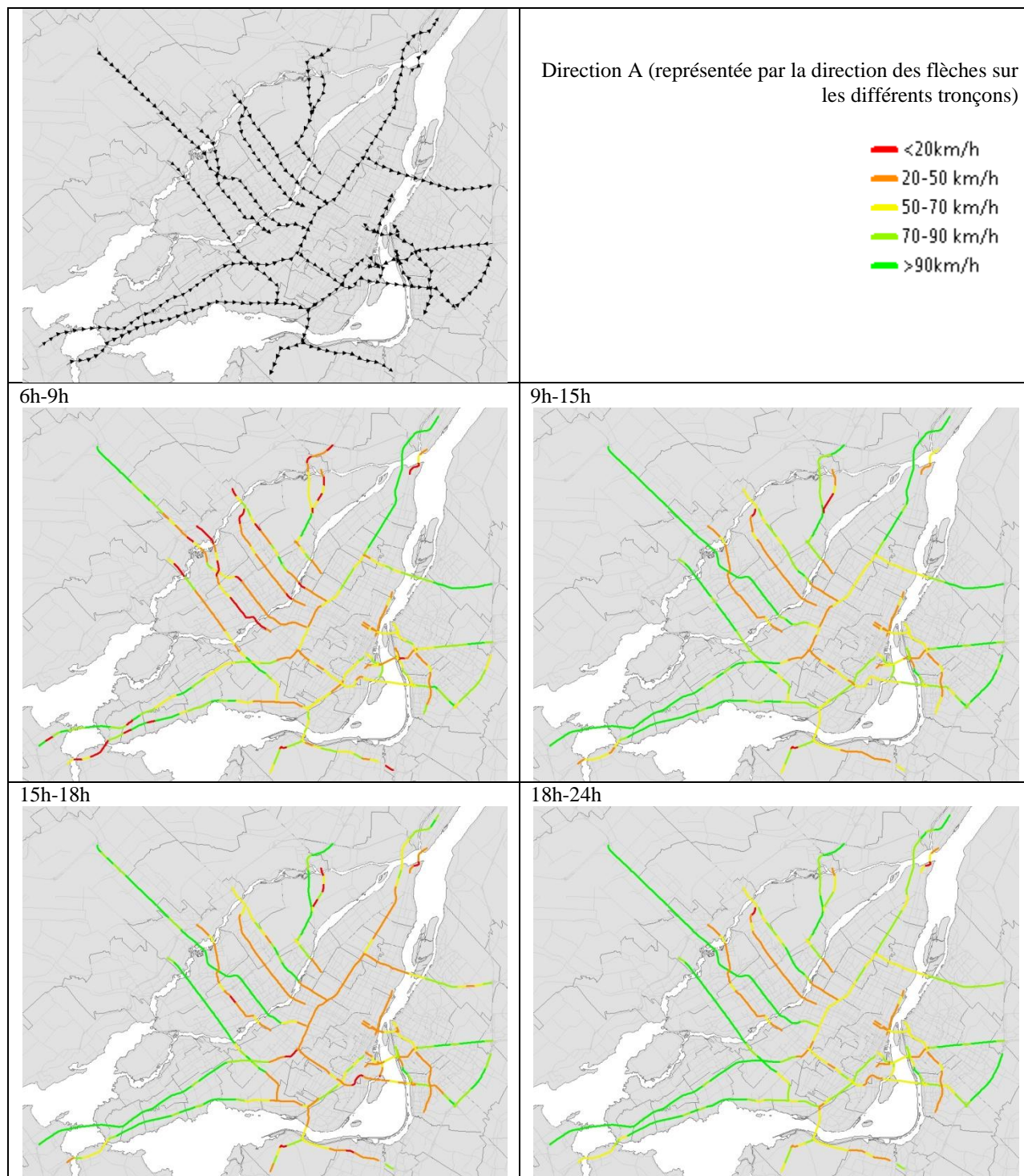


Figure 10. Variation de la vitesse moyenne (tous mois confondus, jours de la semaine excluant samedi et dimanche) sur les différents tronçons du réseau (sous-ensemble de directions, tel que représenté par les flèches sur la figure en haut à gauche), pour différentes périodes.

4.2 Distribution des vitesses observées sur un tronçon typique

Les données GPS peuvent être ensuite analysées par tronçon de 1 km afin de révéler leur variabilité dans le temps. Pour ce faire, le tronçon 34 de l'autoroute 40 en direction Est sera étudié un peu plus en détails (Figure 11). Ce tronçon correspond à celui précédent l'échangeur avec l'autoroute 15 sud et est un des tronçons les plus achalandés du Québec.



Figure 11 : Localisation du tronçon 34 de l'autoroute 40 en direction Est.

La Figure 12 présente l'évolution de la vitesse moyenne observée sur une période de 24 heures lors du mois d'août de l'année 2010. La semaine (lundi au vendredi) et la fin de semaine (samedi au dimanche) y sont présentées. La vitesse légale sur ce tronçon est de 70 km/h en toute condition.

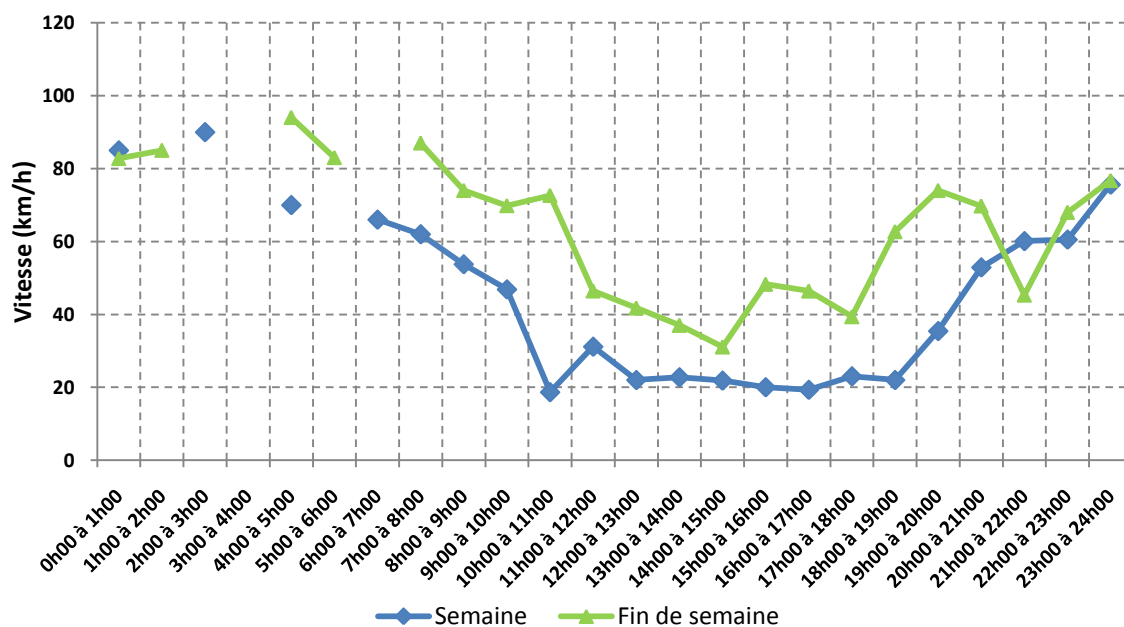


Figure 12 : Évolution horaire de la vitesse moyenne sur le tronçon 34 de l'autoroute 40 Est

Tout d'abord, on constate que la vitesse moyenne varie pendant la journée. D'une vitesse supérieure ou égale à la vitesse permise pendant la nuit, elle diminue beaucoup pendant la journée. On remarque aussi que la circulation pendant la fin de semaine est plus fluide que pendant les jours de semaines.

Les profils précédents étant basés sur la moyenne des vitesses instantanées, on peut s'intéresser par la suite à la variabilité de ces vitesses sur une période de temps donnée. La Figure 13 présente la distribution de fréquence des vitesses moyennes observées sur un intervalle de temps de 5 minutes. La fréquence cumulée y est aussi présentée.

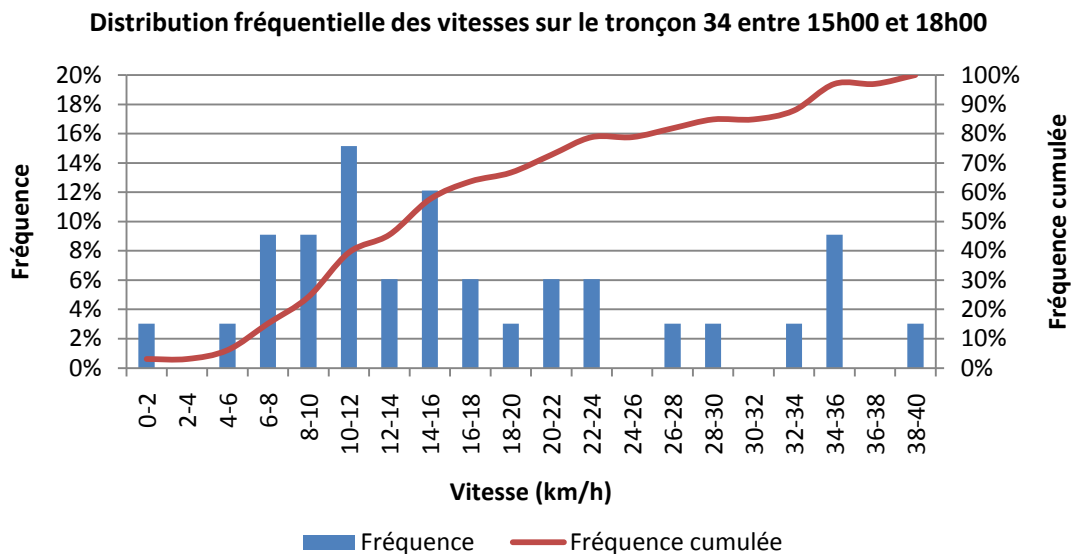


Figure 13 : Distribution de fréquence de la vitesse en période de pointe de l'après-midi sur un tronçon de l'autoroute 40 Est.

La vitesse moyenne observée entre 15h00 et 18h00 est de 19.5 km/h tandis que la vitesse médiane est de 15.3 km/h. La distribution est quelque peu étalée vers la droite avec un indice d'asymétrie positif.

4.3 Indicateurs de variabilité des vitesses et des temps de parcours observés

À partir de la figure précédente, il est possible d'évaluer la variabilité de la distribution pour ce tronçon en période de pointe de l'après-midi à l'aide des indicateurs de variabilités définis précédemment. À partir de la vitesse moyenne observée sur un tronçon, il est possible d'estimer le temps de parcours moyen avec la longueur du tronçon. Dans le cas qui nous préoccupe, la longueur de tous les tronçons est de 1km.

Tableau 2. Indicateurs de la distribution des vitesses de parcours pour un tronçon de 1 km en pointe de l'après-midi

Indicateurs	Temps de parcours (minutes)	Vitesse (km/h)
Moyenne	3.0	19.5
Moyenne des 5% plus lents	15.8	3.8
95 ^{ème} Percentile	1.7	35.3
50 ^{ème} Percentile	3.9	15.3
5 ^{ème} Percentile	9.7	6.2
Vitesse légale	0.8	70
Vitesse en écoulement libre	0.8	70

Le Tableau 3 présente les résultats des différents indicateurs de variabilité présentés dans la section précédente basé sur la distribution des vitesses moyennes de la Figure 13.

Tableau 3. Indicateur de variabilité de la distribution pour un tronçon de 1 km en pointe de l'après-midi

Indice de variabilité	Valeur
Temps sécuritaire	182 %
Temps perdu	1130 %
Asymétrie	2.2
Médiocrité	3.6

L'indice de Temps sécuritaire signifie qu'il faut prévoir 1.8 fois le temps moyen de parcours pour s'assurer d'arriver à temps dans 95% des trajets. L'indice de temps perdu signifie qu'il faut prévoir 11.3 fois le temps de parcours en écoulement libre pour s'assurer d'arriver à temps dans 95% des trajets. L'indice de médiocrité présente le ratio entre le temps des véhicules les plus lents (5%) et le temps moyen observé. Plus cet indice est élevé, plus la différence est importante entre les véhicules les plus lents et la moyenne et donc, plus la distribution est étalée.

5 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cet article a illustré différentes analyses qui peuvent être conduites à l'aide de données de vitesses instantanées provenant de traces GPS de véhicules en libre-service. Cette source de données, qui répond a priori à d'autres besoins, s'avère riche en information pour documenter l'état de la circulation sur le réseau supérieur de la région de Montréal. Elle permet en effet d'estimer des vitesses moyennes selon différentes circonstances ainsi que d'apprécier l'amplitude de la variabilité de ces vitesses.

Il apparaît donc que les points GPS extraits des véhicules de Communauto offrent un potentiel très intéressant pour le MTQ en termes de monitoring des conditions de circulation sur son réseau autoroutier. Bien que d'autres outils soient aussi intéressants et fournissent une information pertinente, il semble qu'ils soient moins accessibles et moins souples. À la lumière des analyses conduites, certains éléments doivent être examinés afin de rendre cette source de données la plus efficace possible pour témoigner, en continu, des conditions de circulation :

- Rythme possible de production des données (délais requis pour accéder aux ensembles de données, possibilités d'échange direct avec le fournisseur des équipements, etc.);
- Possibilité d'augmenter le niveau de résolution temporel des données aux minutes ou 30 secondes afin d'améliorer l'échantillonnage tout en assurant une forme d'indépendance des observations utilisées pour caractériser les tronçons autoroutiers;
- Possibilité d'augmenter le nombre de véhicules équipés de capteurs GPS afin d'améliorer l'échantillonnage, tant au niveau spatial que temporel.

6 REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient ses collaborateurs de la compagnie Communauto inc, notamment Benoît Robert et Marco Viviani, pour leur soutien continu et l'accès privilégié aux bases de données. Ils remercient aussi le Ministère des transports du Québec, l'équipe de Pierre Tremblay, pour leur intérêt et leur soutien continu.

7 RÉFÉRENCES

Federal Highway Administration (2005). Travel Time Reliability: Making It There On Time, All the Time. www.ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability/TTR_Report.htm. Accès le 30 avril 2010.

Jintanakul, K., Chu, L., Jayakrishnan, R. (2009). *Bayesian Mixture Model for Estimating Freeway Travel Time Distributions from Small Probe Samples from Multiple Days*, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2136(1), pp. 37-44

Loustau, P. (2009). Modélisation des temps de parcours sur un réseau routier à l'aide de données de véhicules flottants, mémoire de maîtrise (M.Sc.A.), département de mathématiques et génie industriel, École Polytechnique de Montréal, 215 pages.

Loustau, P., Morency, C., Trépanier, M. (2010). *Measuring, Describing and Modeling Travel Time Reliability*, présenté au 89th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.

Loustau, P., Morency, C., Trépanier, M., Gourvil, L. (2010a). *Travel time reliability on a highway network: estimations using floating car data*, Transportation Letters, Vol. 2(1), pp. 27-37

Loustau, P., Grasset, V., Morency, C., Trépanier, M. (2010b) *Comparing floating car data and carsharing GPS data for travel time assessment*, présenté au 12th World Conference on Transport Research, Lisbonne, Portugal.

Loustau, P., Morency, C., Trépanier, M., Gourvil, L. (2009a). *Portrait de la fiabilité des temps de parcours sur le réseau autoroutier montréalais*, présenté au 44^e Congrès annuel de l'Association québécoise du transport et des routes, Montréal.

Loustau, P., Grasset, V., Morency, C., Trépanier, M. (2009b). *Véhicules flottants vs GPS : analyse comparative des temps de parcours sur le réseau routier supérieur montréalais*, présenté à la CITE Conference, Montréal

- Nesamani, K.S., Chu, L., McNally, M.G., Jayakrishnan, R. (2007). Estimation of vehicular emissions by capturing traffic variations, *Atmospheric Environment*, Vol. 41 (14), pp. 2996-3008.
- Schmöcker, J.-D., Fonzone, A, Quddus, M., Bell, M.G.H. (2006). Changes in the frequency of shopping trips in response to a congestion charge, *Transport Policy*, Volume 13, pp. 217–228
- Litman, Todd (2008). *Well Measured. Developing Indicators for Comprehensive and Sustainable Transport Planning*, Report, Victoria Transport Policy Institute, 47 pages (<http://www.vtpi.org/wellmeas.pdf>, page consultée en mai 2008).
- Schrank, D., Lomax, T. (2003). *The 2003 Urban Mobility Report*, Texas Transportation Institute, <http://mobility.tamu.edu>, May 2003.
- Schrank, D., Lomax, T. (2005). *The 2005 Urban Mobility Report*, Texas Transportation Institute, <http://mobility.tamu.edu>, May 2005.
- Schrank, D., Lomax, T. (2007). *The 2007 Urban Mobility Report*, Texas Transportation Institute, http://tti.tamu.edu/documents/mobility_report_2007_wappx.pdf (page consultée en mai 2008), September 2007.
- Schrank, D., Lomax, T., Turner, S. (2010). *2010 Urban Mobility Report*, Texas Transportation Institute, http://tti.tamu.edu/documents/mobility_report_2010.pdf (page consultée en avril 2011), Décembre 2010.
- Saunier, N., Morency, C. (2011). Comparing data from mobile and static traffic sensors for travel time assessment, 1st Conference on Integrated Transportation & Development for a Better Tomorrow, Chicago