
Analyse spatiotemporelle des tournées de livraison d'une entreprise de livraison à domicile

Khaled Belhassine^{1,3}, Jacques Renaud^{1,2,3}, Leandro Coelho^{1,2,3,4}, Jean-Philippe Gagliardi⁵

1. Centre d'innovation en logistique et chaîne d'approvisionnement durable (CILCAD), Université Laval, Québec, G1V 0A6, Canada
2. Département opérations et systèmes de décision, Faculté des sciences de l'administration, Université Laval, Québec, G1V 0A6, Canada
3. Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT), Québec, Canada
4. Chaire de recherche du Canada en logistique intégrée, Université Laval, Québec, G1V 0A6, Canada
5. Logix Operations, Québec, Canada

RÉSUMÉ. Dans cet article, nous présentons une analyse spatiotemporelle des tournées de livraison à domicile d'une entreprise d'électroménagers qui détient sa propre flotte de véhicules. Plusieurs millions d'observations de géolocalisation GPS issues de ces tournées de livraison sont collectées, traitées et assignées au réseau routier. À la suite de ces analyses spatio-temporelles, nous développons des calendriers quotidiens d'indices de congestion en fonction de l'heure. Des ratios de congestion sectoriels sont calculés afin de déterminer les meilleures heures de départ de livraison tout en évitant la congestion routière. La réduction de la durée des trajets a été quantifiée en comparant les meilleures heures de départs par rapport aux heures habituelles. À partir des données de notre partenaire, les analyses démontrent une réduction potentielle de 22 % de la durée des routes de livraison.

ABSTRACT. In this article, we present a spatio-temporal analysis of delivery routes from GPS points of private vehicles. Several thousand GPS geolocation observations obtained from this delivery routes are collected, processed and map matched to the road network. As a result of these spatio-temporal analyzes, we develop daily congestion index calendars as a function of the time of the day. The sectorial congestion ratios are computed and used to determine the best delivery departure times, in order to avoid road congestion. Using data from our industrial partner, our analyzes indicate a potential reduction of 22% of the duration of the delivery routes.

MOTS-CLÉS : géomatique, système d'information géographique, GPS, congestion routière.

KEYWORDS: geomatics, geographic information system, GPS, traffic congestion.

DOI: [10.3166/rig.2019.00090](https://doi.org/10.3166/rig.2019.00090) © 2020 Lavoisier

1. Introduction

Le secteur des transports est le principal émetteur de gaz à effet de serre au Québec. Ses rejets atteignaient 41 % des émissions totales en 2014 (Delisle *et al.*, 2016). Ces émissions proviennent généralement des combustibles fossiles (essence, diesel, propane, gaz naturel, etc.) utilisés comme carburant. En 2014, le transport routier a rejeté 27,6 Mt éq. CO₂ dans l'atmosphère, soit 82,0 % des émissions provenant des transports. La congestion routière est devenue le principal facteur d'émissions des gaz à effet de serre dans le secteur du transport routier. Elle est devenue le problème le plus récurrent et le plus crucial des grandes villes et métropoles. Différents coûts s'associent à la congestion routière, entre autres, économique, social et environnemental. En 2014, une étude conjointe réalisée par le ministère des Transports du Québec (MTQ) et les Conseillers ADEC (2014) ont évalué les coûts socio-économiques de la congestion routière récurrente dans la région métropolitaine de Montréal pour l'année de référence 2008 à 1,85 milliard \$, soit une augmentation de 19 % entre 2003 et 2008 (les conseillers ADEC, 2014).

Les entreprises de transport, plus particulièrement celles de livraison de courrier et de livraison à domicile, sont très touchées par la congestion routière qui occasionne une variation importante des temps de trajet, de la consommation de carburant et des retards de livraisons. La qualité du service à la clientèle peut être largement affectée. Afin d'offrir un service de qualité et moderne, ces entreprises doivent dorénavant tenir compte de la congestion lors de la création de leurs horaires de livraison.

Dans cet article, nous démontrons comment l'analyse spatio-temporelle des données GPS de notre partenaire permet de réduire la durée de ses tournées de livraison et évaluons l'impact financier de ces réductions. Nous décrivons une démarche méthodologique reproductible permettant d'effectuer une analyse de données massives sur les points de géolocalisation (GPS) des routes de notre partenaire pour cartographier le trafic des zones de livraison. Les traitements géomatiques nécessaires sont décrits afin d'assigner les points GPS au réseau routier, en déduire les tournées de livraison ainsi que les taux de congestion associés. Ces analyses nous permettront de déterminer les meilleurs horaires de départ possible afin de minimiser la durée des trajets.

La prochaine section décrit brièvement le déroulement des opérations de livraisons de notre partenaire. La section 3 décrit les procédures spatio-temporelles développées pour générer des cartes de congestion routières. La section 4 présente une étude de cas pour démontrer comment les données de congestion peuvent optimiser la planification des tournées de livraison. Nos conclusions suivent à la section 5.

2. L'établissement des tournées dans l'industrie de l'électronique et des électroménagers

Ce projet est réalisé en étroite collaboration avec l'un des plus grands détaillants dans le domaine de l'électronique et des électroménagers au Québec. Afin de proposer un service distinctif et de haute qualité, notre partenaire offre un service de livraison

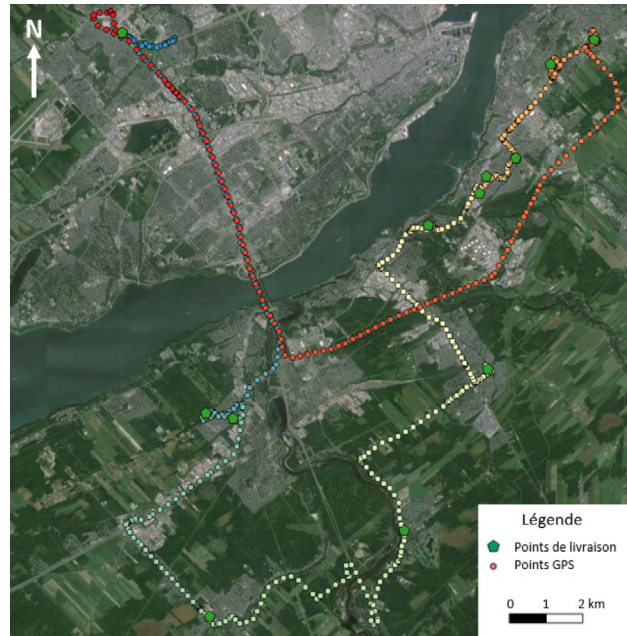


Figure 1. Exemple de tournées de livraison (La gradation de la couleur des points GPS indique la progression du temps – Bleu le matin, rouge le soir)

personnalisé réalisé par sa propre flotte de véhicules. Chaque véhicule est doté d'un équipement permettant d'enregistrer un ensemble de données, dont sa localisation GPS, toutes les 15 à 30 secondes. Ces informations sont envoyées au fur et à mesure au serveur de notre partenaire et sauvegardées dans une base de données. La [figure 1](#) illustre un exemple de tournée de livraison réalisée entre la ville de Québec et la ville de Lévis.

En ce qui concerne la planification des tournées de livraison, lors de l'achat d'un produit, le client choisit une plage horaire selon un calendrier proposé par notre partenaire. Chaque soir, le système informatique compile les livraisons à effectuer pour le lendemain et optimise les tournées en tenant compte de certains paramètres tels que le temps de parcours nominal (durée théorique sans congestion en fonction des vitesses maximales permises) entre le dépôt et les différents clients. Le système actuel ne propose pas l'optimisation de la planification selon la congestion routière. Lorsque la planification est terminée, le système effectue automatiquement une confirmation téléphonique auprès des clients en spécifiant l'heure approximative de la livraison. Les camions de livraison prennent la route chaque jour aux alentours de sept heures du matin. Les clients sont avertis de l'arrivée de la livraison environ 30 minutes d'avance.

3. Traitements géomatiques et établissement des durées des trajets

Dans cette section, nous présentons les analyses nécessaires pour collecter des données, les analyser et en tirer des informations sur la congestion routière par

intervalles de temps. La méthodologie pour calculer le temps de parcours d'un itinéraire donné est également décrite.

3.1. Acquisition des données

La première étape consiste à effectuer l'acquisition quotidienne des données GPS de notre partenaire. Ce transfert de données est effectué automatiquement toutes les nuits à l'aide d'un fichier de commandes (script) Python. Ce sont en moyenne 45 000 points GPS qui sont transférés quotidiennement sur un système de gestion de base de données géospatiale PostgreSQL (11) / PostGIS (2.2). Près de 50 millions de points ont été collectés du 20 septembre 2016 au 30 juillet 2019 sur un réseau routier de 33 282 segments. Un tel système couplé au logiciel Quantum GIS permet de sauvegarder, d'analyser et de visualiser des données géospatiales. Chaque point GPS enregistré renferme plusieurs attributs, entre autres : l'identifiant de la tournée, la vitesse ponctuelle du véhicule, le type de matériel utilisé, la date et l'heure précise d'enregistrement du point ainsi que les coordonnées latitude/longitude. Dans notre cas, la durée moyenne entre deux enregistrements consécutifs est de 15 secondes.

3.2. Traitement des jeux de données

Une fois les données importées, plusieurs traitements sont effectués afin d'en améliorer la qualité. Dans un premier temps, les points présentant des vitesses aberrantes (vitesses négatives ou supérieures à 150 km/h) sont éliminés tout comme les points dont la distance par rapport au réseau routier excède une certaine limite (bâtiments, stationnement, fleuve, etc.). Cette limite varie en fonction de l'équipement utilisé. Dans le cas des équipements de type appareils mobiles personnels – PDA (*Personnal Digital Assistant*), un point sera considéré comme aberrant s'il s'écarte de plus de 25 mètres d'un tronçon routier. Pour les équipements de type boîtes noires (*Electronic Logging Device*) qui sont plus précis, la limite d'erreur est fixée à 15 mètres. Par la suite, les agrégats de points GPS enregistrés durant de longs intervalles de temps (comme une livraison ou une pause repas) doivent être identifiés et exclus du calcul des vitesses moyennes des segments de route. La [figure 2](#) montre un agrégat de points associé à la livraison chez un client. Pour un itinéraire, nous considérons avoir un agrégat lorsque l'on observe au moins 12 points consécutifs qui sont séparés de moins de 20 mètres et dont la vitesse est inférieure à 20 km/h. La présence d'un agrégat de points près de la localisation d'un client nous permet d'identifier une livraison et le temps de service associé. L'identification des agrégats de points permet de ne pas fausser le calcul de la congestion avec des arrêts comme des pauses ou des livraisons.

3.3. Assignment des points GPS aux segments routiers

L'assignation des points GPS aux segments de route parcourus est connue sous le nom de *Map Matching* (MM). Cette approche permet la correction de la localisation des points GPS. En effet, il est fréquent que la localisation associée à un point GPS ne soit



Figure 2. Exemple d'agrégat de points GPS durant une livraison chez un client

pas sur le réseau routier. Ceci est dû, entre autres, à la qualité du récepteur, lorsqu'un véhicule traverse un tunnel ou passe dans des milieux urbains denses. De ce fait, la position du point GPS doit être corrigée pour qu'elle soit sur le réseau routier. Plusieurs algorithmes de *Map matching* ont été développés au fil des dernières années. Il existe quatre principaux types d'approches de MM à savoir l'approche géométrique, topologique, probabiliste et avancée (Rahmani *et al.*, 2014).

3.3.1. Les algorithmes géométriques

L'approche géométrique se base sur la relation géométrique entre les points GPS et le réseau routier. Cet algorithme ne considère pas la manière dont les segments du réseau routier sont connectés. Plusieurs techniques sont considérées (Noh et Kim, 1998) :

- Distance point-à-point (*point-to-point distance*),
- Distance point-à-courbe (*point-to-curve distance*),
- Distance courbe-à-courbe (*curve-to-curve distance*),
- Angle courbe-à-courbe (*angle of curve-to-curve*).

Prenons l'exemple de la technique « point-to-curve distance » (Bernstein et Kornhauser, 1996). Elle assigne les points GPS au plus proche segment de route. Ainsi, la distance entre chaque point GPS et chaque segment routier est calculée. Le segment pour lequel la distance calculée est minimale est sélectionné. Cette méthode produit souvent des résultats incorrects notamment sur un réseau urbain dense (White *et al.*, 2000). En effet, le segment le plus proche n'est pas toujours le segment parcouru. Sur la



Figure 3. Assignment incorrecte du point $P3$ selon la technique point-to-curve

figure 3, le déplacement du véhicule est représenté par la ligne en rouge et les points P^1 à P^5 ont été générés. L'application de la technique « point-to-curve » affectera incorrectement le point P^3 .

3.3.2. Les algorithmes topologiques

La topologie fait référence aux relations entre les entités géométriques telles que les points, les lignes et les polygones. Ces relations peuvent être des relations de connectivité, d'appartenance, des règles de circulation ou autres. La plupart des algorithmes topologiques utilisent la pondération. Par exemple, [Greenfeld \(2002\)](#) propose un algorithme topologique qui repose sur les positions des points GPS sans prendre en considération la direction et la vitesse issue du capteur GPS.

3.3.3. Les algorithmes probabilistes

Les algorithmes probabilistes ont été introduits par Honey *et al.* (1989). Ils sont basés sur la définition d'une zone de confiance rectangle ou elliptique autour d'une position GPS. Ils prennent en compte les informations de l'itinéraire pour localiser le véhicule dans un segment. Cette approche a été étudiée par plusieurs auteurs tels que Zhao (1997), Ochieng *et al.* (2004), Pyo *et al.* (2001). Les principaux algorithmes probabilistes sont basés sur le modèle de Markov caché (*Hidden Markov Model* – HMM ; Luo *et al.* (2017)). Ce modèle emploie l'algorithme de Viterbi pour estimer le trajet le plus probable. Le HMM est un modèle également bien connu pour ses solutions aux applications de reconnaissance de la parole et de l'écriture manuscrite.

3.3.4. Les algorithmes plus avancés

Les algorithmes avancés utilisent les filtres de Kalman (KF) (e.g. [Jo et al., 1996](#)), les filtres de Kalman étendus (EKF) (e.g. [Obradovic et al., 2006](#)), les modèles de logique floue (FL), la théorie mathématique de la preuve de Dempster-Shafer (e.g. [Yang et al.,](#)

2003), etc. À titre d'exemple, le filtre de Kalman étendu est utilisé pour estimer la position GPS du véhicule dans le but de minimiser l'erreur le long du trajet. Les performances d'un tel filtre peuvent dépendre de la qualité des données du réseau routier. La méthode peut être améliorée en utilisant une technique plus efficace en tenant compte du cap et de la vitesse du véhicule ainsi qu'en faisant une analyse topologique du réseau routier.

3.3.5. L'algorithme proposé

Bien qu'il existe dans la littérature plusieurs algorithmes de *map matching* très performants, nous avons préféré développer notre algorithme afin qu'il soit parfaitement adapté aux données GPS collectées de notre partenaire et au réseau routier utilisé. La fréquence d'enregistrement des points GPS est de l'ordre de 15 à 30 secondes. Après le filtrage des données GPS, plusieurs points sont supprimés s'ils sont localisés à des endroits impossibles ou à une distance supérieure à la zone tampon de filtrage appliquée. Après ces manipulations, la durée entre deux points consécutifs peut être supérieure à 30 secondes, atteignant parfois même jusqu'à trois minutes. Notre algorithme est capable d'assigner les points GPS dans ce cas de figure. Aussi, notre algorithme n'utilise pas l'azimut de déplacement des véhicules puisque les données GPS de départ ne disposent pas de cette information.

Le principe de l'algorithme proposé est de déterminer le parcours réel de chaque déplacement et d'assigner les points GPS aux plus proches segments. La [figure 4](#) présente les étapes de cet algorithme.

3.3.5.1. Création des tracés des déplacements

Dans un premier temps, nous devons créer les tracés des déplacements en fonction de la date et de l'heure des points GPS. Pour un déplacement avec une orientation donnée, tous les points GPS sont reliés, du premier au dernier. Cette étape permet de définir le sens du déplacement de chaque véhicule et de connaître, par conséquent, son point de départ et d'arrivée ([figure 5](#)).

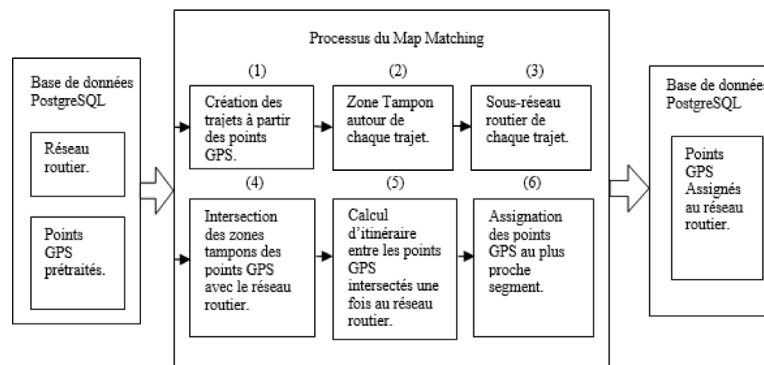


Figure 4. Processus de l'algorithme de *map matching*

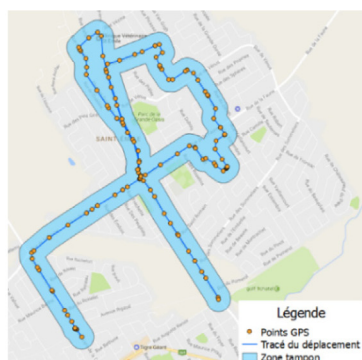


Figure 5. Détermination du tracé d'un déplacement

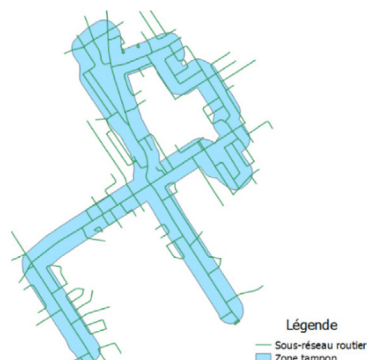
3.3.5.2. Identification du trajet réel de chaque déplacement

La deuxième étape consiste à identifier chaque segment réellement parcouru. Pour ce faire, nous avons créé une zone tampon autour de chaque déplacement (figure 6a). Ensuite, nous avons considéré tous les segments routiers appartenant à la zone tampon créée. Ainsi, un sous-réseau routier est défini pour chaque déplacement (figure 6b).

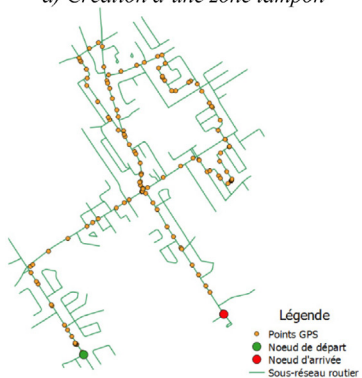
Par la suite, nous avons projeté le premier point GPS enregistré ainsi que le dernier sur les segments de routes les plus proches du sous-réseau routier défini précédemment. Les nœuds de jonctions les plus proches constituent le point de départ et d'arrivée du déplacement (figure 6c). Après, nous appliquons une zone tampon autour de chaque point GPS afin de déterminer les points qui touchent à un seul segment du sous-réseau routier (figure 6d). Nous calculons ensuite le chemin entre les nœuds de départ et de fin en passant par les points GPS qui touchent à un seul segment du sous-réseau (figure 6e). Pour ce faire, tous les points GPS entre celui de départ et celui d'arrivée sont triés en ordre croissant de leur heure d'enregistrement. L'algorithme de Dijkstra est appliqué successivement à chaque paire de points pour identifier les segments les reliant qui minimisent le plus court chemin en termes de distance. Ayant identifié précisément l'itinéraire et les segments parcourus, il est possible d'effectuer l'affectation finale des points GPS non assignés à leur segment le plus proche sans erreur (figure 6f). Cette étape se termine en déterminant la direction de déplacement sur chaque segment. Pour ce faire, nous utilisons les attributs *fromnode* (nœud de début) et *tonode* (nœud de fin) des segments de route ajoutés lors de la création de la topologie du réseau routier. Nous identifions le sens du déplacement des segments aux directions des segments de routes créés lors de la topologie. La figure 7 illustre un exemple d'un itinéraire *a* vers *d* composé de trois segments $[a,b]$, $[b,c]$ et $[c,d]$. Selon les attributs *fromnode* (*F*) et *tonode* (*T*) de chaque segment, le déplacement a été effectué dans le sens (TF) sur le segment $[a,b]$, dans le sens (TF) sur le segment $[b,c]$ et dans le sens (FT) sur le segment $[c,d]$. Ainsi, les points GPS de chaque déplacement auront le bon sens par rapport aux segments qui leur sont assignés.



a) Création d'une zone tampon



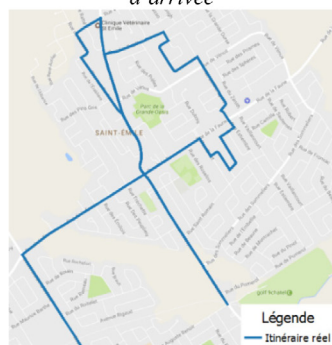
b) Identification du sous-réseau routier



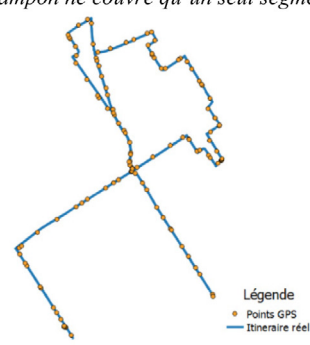
c) Détermination des nœuds de départ et d'arrivée



d) Identification des points dont la zone tampon ne couvre qu'un seul segment



e) Calcul de l'itinéraire de chaque déplacement



f) Assignment des points GPS au plus proche segment

Figure 6. Processus d'assignation des points GPS aux segments de route

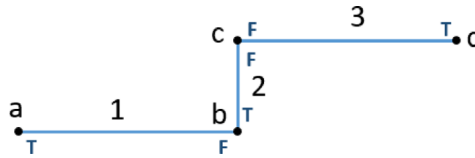


Figure 7. Détermination du sens de déplacement des points GPS

3.4. Calcul de la vitesse moyenne de chaque segment par tranche horaire

L'objectif de cette étape est de calculer la vitesse moyenne sur chaque segment selon des agrégations de temps et de journées désirées. Pour y arriver, nous convertissons les dates d'enregistrement des points GPS de tous les déplacements en jour de semaine, heure et quart d'heure. Nous avons attribué les valeurs de 0 à 6 à tous les jours de la semaine (0 pour dimanche et 6 pour samedi), de 0 à 23 pour les heures et de 0 à 3 pour les quarts d'heure (0 pour 0 à 15, minutes, 1 pour 15 à 30 minutes, 2 pour 30 à 45 minutes, 3 de 45 à 60 minutes). Ceci permet de filtrer les points GPS par intervalles de 15 minutes. Notons qu'un niveau de précision plus élevé pourrait être obtenu de la même façon, mais demanderait des besoins de calcul et de stockage supérieurs. Pour notre étude, des tranches horaires de 15 minutes constituaient un bon compromis.

Ensuite, pour un segment donné, nous avons calculé la moyenne des vitesses de tous les points GPS enregistrés dans le même intervalle de temps et ayant le même sens de déplacement. Notons que ces points GPS peuvent appartenir à plusieurs trajets ayant des origines et des destinations différentes pourvu qu'ils passent par ce segment. Les bases de données pertinentes sont ensuite mises à jour. Ainsi, le traitement d'un nouveau lundi viendra mettre à jour les bases de données *Lundi* ainsi que la base de données *Semaine*. Divers types d'agrégations de données peuvent être effectués, par semaine, par intervalle de temps, par mois, par saison, etc. Ayant les informations nominatives sur chaque segment routier (longueur, orientation, limite de vitesse), nous pouvons estimer un coefficient de congestion en divisant la vitesse moyenne calculée par la vitesse permise. Plus ce coefficient est proche de zéro, plus la circulation est congestionnée. Pour un segment donné, nous pouvons obtenir son coefficient de congestion pour chaque intervalle de 15 minutes, du lundi au dimanche, et produire cette information sous la forme d'un chiffrier, d'un fichier XML ou de la visualiser à l'aide d'une carte routière en colorant les segments selon l'indicateur de congestion. Notons que nous pourrions aisément utiliser le mode ou la médiane afin d'effectuer le calcul du coefficient de congestion.

3.5. Calcul de la durée d'un itinéraire en fonction des conditions routières

Un itinéraire donné peut être considéré comme un ensemble ordonné $I = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ de n segments s_i . La tête du segment s_1 est le point de départ de l'itinéraire et la queue du segment s_n la destination de l'itinéraire. La queue du segment s_i correspond à la tête du segment s_{i+1} avec $i \in \{1, \dots, n-1\}$. Nous définissons a_i et b_i avec $i \in \{1, \dots, n\}$ comme étant respectivement l'heure d'entrée et de sortie du segment s_i . Initialement

seulement a_1 est connu, c'est-à-dire l'heure de départ de l'itinéraire. Bien que l'on puisse généraliser les calculs pour tout itinéraire I , nous allons supposer que l'itinéraire débute et se termine au centre de distribution, donc la tête de s_1 et la queue de s_n correspondent à cette dernière localisation. Cet itinéraire de n segments permet de desservir m clients, $m < n$. Afin de simplifier la notation, nous allons assumer que si le segment s_i visite la localisation d'un client, ce dernier est localisé à la queue de ce segment et son temps de service est de δ_i unités. Si aucun client ne se trouve sur un segment s_i , le temps de service associé au segment est simplement de $\delta_i = 0$. Nous avons également $\delta_n = 0$ pour le retour au dépôt. À chaque segment s_i est associé une longueur l_i et une vitesse nominale v_i fixée à la limite maximale de vitesse sur ce segment. La durée nominale d'un itinéraire I , noté $T_n(I)$, est calculé simplement comme suit :

$$T_n(I) = \sum_{i=1}^n \left(l_i / v_i \right)$$

La durée nominale d'un itinéraire est le temps de conduite si le véhicule roule constamment à la vitesse maximale et que les temps des arrêts (arrêts-stops et lumières de circulation) sont négligés, tout comme l'accélération et la décélération. La durée nominale est indépendante de la période à laquelle l'itinéraire débute, de l'heure et de la congestion.

Notons $\bar{v}_i^t$ la vitesse moyenne observée sur le segment s_i au temps t . Le temps de trajet calculé sur ce segment s_i est $l_i / \bar{v}_i^t$. Le coefficient de congestion d'un segment s_i au temps t est donc $\epsilon_i^t = \bar{v}_i^t / v_i$ où $\bar{v}_i^t$ est la moyenne des vitesses observées du segment s_i au temps t et v_i sa vitesse nominale. Nous définissons $\bar{\tau}(i)$ comme le temps pour parcourir le segment s_i en fonction d'un temps de départ donné et excluant le temps de service chez le client. Le calcul de la durée d'un itinéraire commence par le premier segment qui est entré au temps a_1 et quitté au temps b_1 .

$$\begin{aligned} \bar{\tau}(1) &= l_1 / \bar{v}_1^{a_1} \\ b_1 &= a_1 + \bar{\tau}(1) + \delta_1 \end{aligned}$$

Ensuite, récursivement de $i = 2$ jusqu'à n :

$$\begin{aligned} a_i &= b_{i-1} \\ \bar{\tau}(i) &= l_i / \bar{v}_i^{a_i} \\ b_i &= a_i + \bar{\tau}(i) + \delta_i \end{aligned}$$

Ainsi $\bar{T}(I) = b_n$ dénote le temps de trajet d'un itinéraire I calculé en fonction de la vitesse moyenne observée de chaque segment et des temps de service. Le temps de trajet, sans le temps de service, est simplement :

$$\bar{\bar{T}} = \bar{T}(I) - \sum_{i=1}^n \delta_i$$

Cette méthode de calcul suppose que pour un intervalle de temps donné, une seule vitesse est associée à chaque segment. Cette hypothèse est peu restrictive considérant que les segments routiers sont relativement courts et que le temps pour les parcourir est beaucoup plus petit que l'intervalle de temps considéré de 15 minutes. Avec un tel intervalle de temps, en pratique, un segment ne pourrait avoir qu'un seul changement de vitesse s'il chevauchait exactement deux plages horaires. Les formules précédentes pourraient être facilement adaptées, mais, sans perte de généralisation, nous conservons cette version afin d'éviter d'alourdir la présentation des calculs.

4. Analyses

Dans cette section, nous présentons différentes analyses de congestion basées sur les données recueillies par notre partenaire. Dans un premier temps, nous montrons comment la méthode développée permet l'analyse de la congestion des secteurs de livraison de la compagnie. Par la suite, un ensemble de routes sera analysé en détail pour valider la méthodologie développée avec les données réelles. Finalement, nous montrons comment les informations peuvent être utilisées pour déterminer les meilleures heures de départ afin de minimiser la durée des routes de livraison (et par la même la consommation de carburant et les coûts des chauffeurs).

4.1. Calcul de la congestion sectorielle

Dans cette section nous exploitons les données collectées par la compagnie pour déterminer la congestion à laquelle font face ses véhicules dans leurs différents secteurs de livraison. La [figure 8](#) présente la carte de la région de Québec découpée selon les neuf

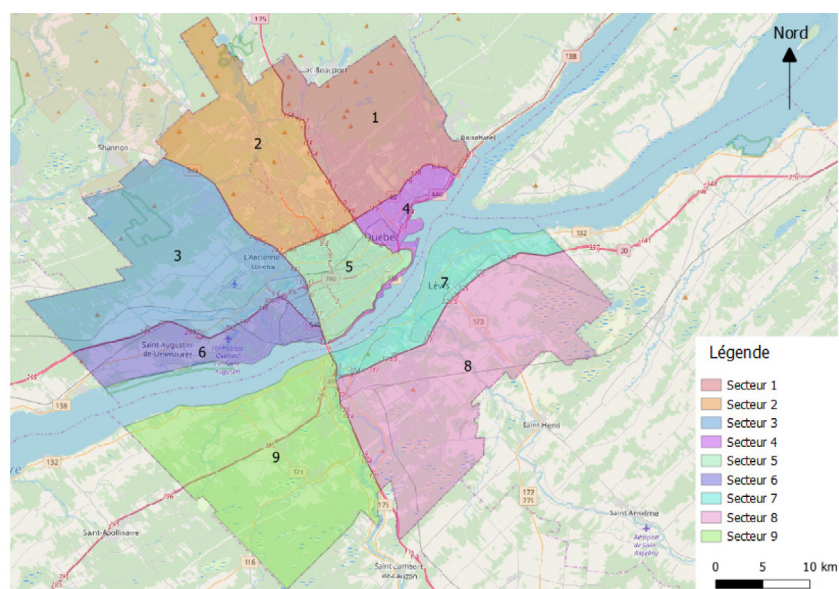


Figure 8. Les neuf secteurs de livraison de la région de Québec

secteurs de livraison de la compagnie. Pour chaque secteur, nous avons analysé tous les segments routiers pour lesquels nous avons de l'information. Pour chaque tranche horaire de 15 minutes et pour chaque secteur nous avons calculé le ratio moyen de congestion comme étant la moyenne des ratios de congestion des segments pour lesquels nous détenons au moins une observation. De façon globale, le secteur 6 est celui sur lequel le pourcentage de segments ayant de l'information est le plus faible avec 70 %, alors que le maximum est atteint dans le secteur 4 avec 81 %. Au niveau des journées, le vendredi est la journée où nous avons le plus grand nombre d'observation (21 % des observations totales) et le pourcentage de segments avec de l'information le plus élevé (80 %).

La [figure 9](#) montre l'évolution des ratios de congestion moyens sur 52 intervalles de 15 minutes débutant à 6 h 00 et se terminant à 19 h 00. Bien que les neuf secteurs partagent des tendances similaires, les secteurs 1, 4, 5 et 6 sont les plus congestionnés. C'est le secteur 4 sur la plage horaire de 13 h 30 à 13 h 44 qui enregistre la pire congestion avec un ratio de 0,49. Il s'agit du centre-ville de Québec qui regroupe le secteur touristique ainsi que la colline parlementaire où sont situés les principaux ministères du gouvernement du Québec. Ces informations sont triées différemment au [tableau 1](#) qui découpe les 52 plages horaires en cinq sous-ensembles : avant le trafic matinal, le trafic du matin, le milieu de la journée, le trafic de fin de journée, et la fin de la journée. On constate un ratio de congestion moyen de 0,59 pour les secteurs 4, 5 et 6. Cela signifie que pour l'ensemble des segments observés, la vitesse observée correspond à 59 % de la vitesse permise. Le créneau horaire le plus congestionné est de 7 h 30 à 10 h 15 également avec un ratio moyen de 0,59.

La [figure 10](#) illustre la congestion routière moyenne pour une journée de semaine entre 16 h 30 et 16 h 45. Elle se base sur des observations de septembre 2016 à juillet 2019. La circulation est congestionnée au nord du fleuve qui correspond au centre-ville et dans les secteurs menant aux ponts.

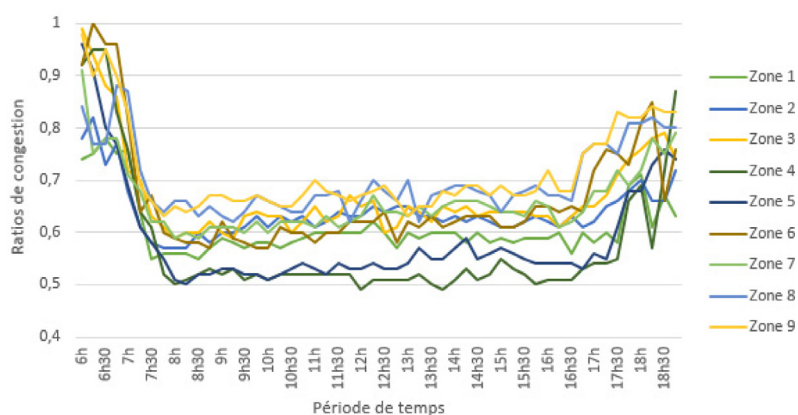


Figure 9. Évolution des ratios de congestion

Tableau 1. Ratios de congestion horaire par secteurs

Secteur	6h00 à 7h29	7h30 à 10h14	10h15 à 13h44	13h45 à 17h29	17h30 à 18h59	Moy.
1	0,74	0,57	0,59	0,59	0,65	0,61
2	0,73	0,59	0,63	0,62	0,68	0,65
3	0,85	0,61	0,63	0,64	0,75	0,67
4	0,84	0,53	0,51	0,52	0,68	0,57
5	0,79	0,53	0,54	0,55	0,70	0,59
6	0,88	0,59	0,61	0,64	0,76	0,67
7	0,77	0,61	0,63	0,65	0,74	0,66
8	0,81	0,65	0,66	0,69	0,80	0,70
9	0,88	0,66	0,67	0,70	0,83	0,72
Moyenne	0,81	0,59	0,61	0,62	0,73	0,65

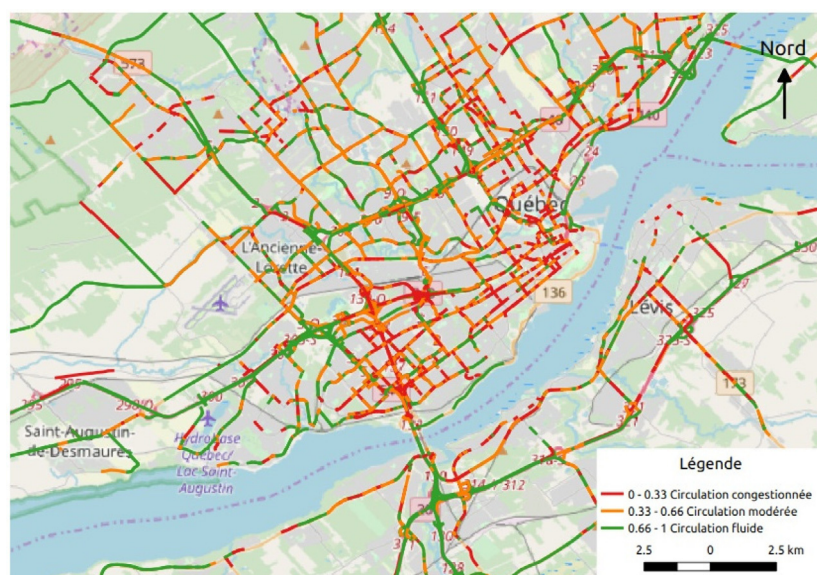


Figure 10. Exemple de carte de congestion routière entre 16h30 et 16h45

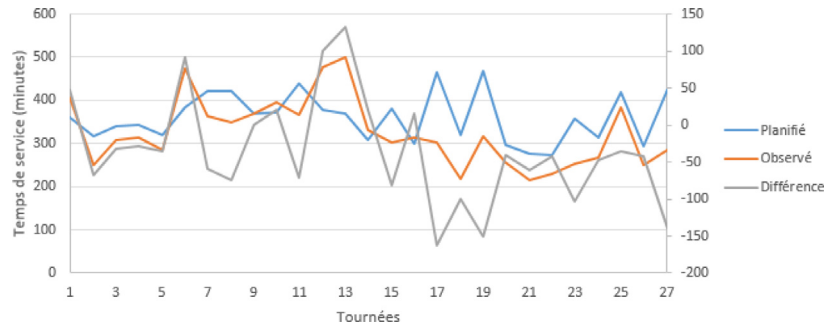


Figure 11. Temps de service planifié versus observé des 27 routes

4.2. Analyses des routes de livraison

Dans cette section nous analysons un ensemble représentatif de 27 routes, trois par secteur de livraison, effectuées par notre partenaire. Nos analyses se basent sur le temps de service ainsi que le temps de conduite.

La figure 11 montre la tendance du temps de service planifié et observé pour les 27 routes ainsi que la différence entre les deux en minutes. Le temps de service *Planifié* correspond aux temps standard de service et d'installation chez les clients tels que déterminés par la compagnie. Le temps de service *Observé* est le temps réel observé, recalculé à partir des agrégats de points GPS enregistrés lors de la livraison chez un client. On constate que le temps de service planifié est généralement plus élevé que le temps de service observé. L'annexe 1 détaille les temps de service planifiés et observés des 27 routes. Le total des temps planifiés est de 162 h 04 contre 146 h 18 pour les temps observés, une surestimation de 946 minutes (en moyenne 35 minutes par route).

La figure 12 montre la tendance des temps de conduite planifiés, observés et estimés pour les 27 routes. Le temps de conduite *Planifié* correspond à la durée estimée par le

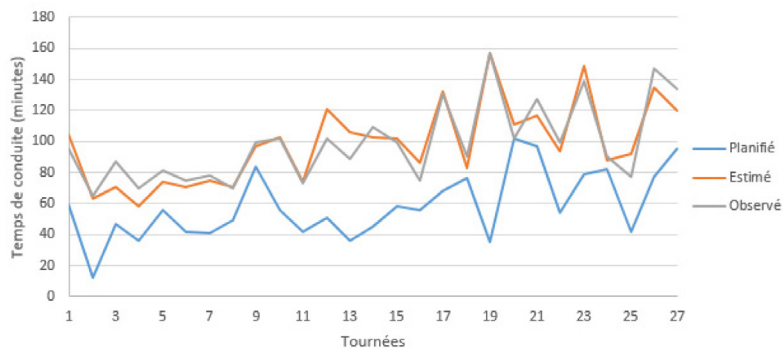


Figure 12. Temps de conduites planifié, estimé et observé des 27 routes

logiciel de planification de tournées actuel qui ne tient pas compte de la congestion routière. C'est le temps inscrit sur les bons de livraison remis aux chauffeurs. Le temps de conduite *Observé* a été déduit en analysant les points GPS de chaque route et en déterminant le temps réel de conduite, ce qui exclut les temps de service, la durée de la pause repas et des déplacements associés. Finalement, le temps de conduite *Estimé* est le temps que nous avons estimé pour chaque itinéraire en tenant compte des conditions de congestion telles que présentées aux sections précédentes. Pour ce faire, nous avons utilisé exactement les mêmes trajets et déterminé les temps de parcours en fonction des ratios de congestion associés à l'intervalle de temps où les segments ont effectivement été parcourus. Nous avons pris en considération les mêmes temps d'installation et de pause réels pour reproduire précisément les itinéraires et déterminer leurs durées selon les informations de congestion présentes dans la base de données.

Cette figure montre que les temps de conduite observés sont systématiquement plus élevés que les temps planifiés alors que les temps estimés en fonction de la congestion sont beaucoup plus près des temps observés.

Selon l'annexe 1, les temps de conduite observés sont de 44 h 17 contre 26 h 17 pour les planifiés. Les temps de conduite estimés selon notre approche sont de 44 h 22. L'écart type de la différence entre les temps de conduite estimés et observés est de 9,41 minutes alors que l'écart type de la différence entre les temps de conduite observés et planifiés est de 25,74. Ce résultat confirme que la méthode développée fournit une excellente estimation des temps de parcours réels ; estimation beaucoup plus précise que le logiciel actuellement utilisé.

4.3. Détermination des meilleurs temps de départ

Puisque la durée d'une route de livraison est influencée par la congestion, elle dépend automatiquement de l'heure de départ. Pour chacune des routes, nous avons donc recalculé les temps de conduite pour l'heure de départ qui a été choisi par la compagnie ainsi que pour tous les départs potentiels entre 6h00 et 13h00, par tranches de 15 minutes. La [figure 13](#) présente l'heure de départ optimale et l'heure d'arrivée correspondante pour chaque route. Pour la route 1, la meilleure heure de départ serait de quitter l'entrepôt à 12 h 00 avec une route d'une durée estimée de 1 h 12 ce qui est 23 minutes de moins qu'en partant à 7 h 35 (les détails complets sont présentés à l'annexe 2). L'annexe 2 montre que pour les routes étudiées, l'heure optimale de départ permettrait de réduire la durée des routes de 44 h 22 à 32 h 13 soit une réduction de temps de conduite de 12 heures et 9 minutes, ce qui correspond à 27 %.

Il est cependant facile d'observer que certaines de ces routes ne sont pas acceptables à cause des heures de retours associées. En effet, le retour de la route 1 à 21 h 12 n'est pas réaliste. Le [tableau 2](#) reprend l'analyse, mais en fixant les heures de départ après 07 h 00 et avec un retour à l'entrepôt avant 19 h 00. Cet intervalle de temps nous a été proposé par notre partenaire. Même si les gains de temps sont moins élevés, une réduction du temps de parcours de 9 h 52 est observée, soit 22 %. Considérant deux installateurs par véhicule à environ 21 \$ de l'heure incluant les avantages sociaux, cette

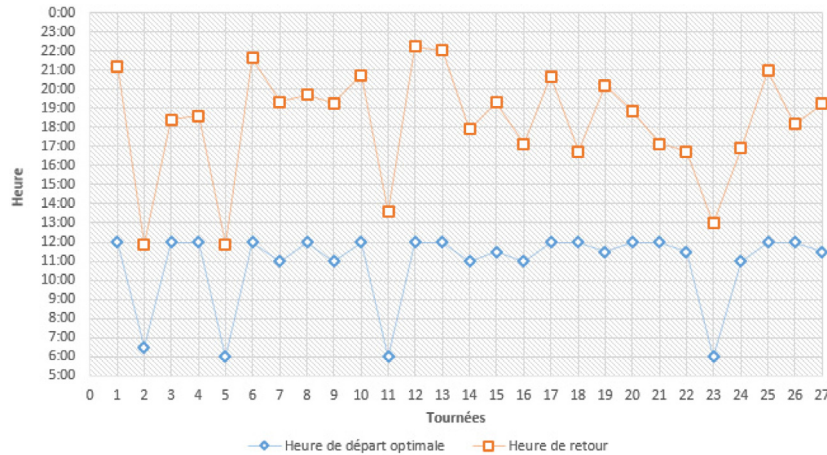


Figure 13. Heure de départ optimale et heure de retour correspondante

réduction correspond à une économie salariale de 413 \$ qui, pour 40 routes en moyenne par jour, revient à 612 \$ par jour. À titre d'information, la compagnie effectue des livraisons environ 300 jours par année.

4.4. Optimisation des parcours de livraison

Jusqu'ici, toutes les analyses ont été effectuées en conservant exactement les mêmes routes, mais en modifiant l'heure de départ afin d'éviter la congestion. Selon ces analyses, les clients sont toujours visités selon le même ordre et en utilisant exactement les mêmes segments de route ce qui limite les améliorations potentielles.

Nous avons effectué une analyse plus poussée qui consiste à optimiser les routes sans respecter l'ordre de livraison original. Le domaine de la planification des tournées est très vaste (voir [Laporte, 2009](#) ; [Coelho et al., 2016](#)) et la recherche sur les problèmes où la durée des segments change en fonction du temps évolue rapidement ([Gendreau et al., 2015](#)). Nous résumons ci-dessous les grandes lignes de l'algorithme utilisé. Une version plus détaillée et complète est présentée par [Jaballah et al. \(2019\)](#). Cet algorithme cherche à minimiser le temps de déplacement en considérant l'heure, et donc la congestion, où chaque déplacement sera effectué. Ainsi, en partant du dépôt à une heure donnée, un problème de plus court chemin (dont la durée des segments varie en fonction du temps) est résolu vers chacun des clients. Celui offrant la plus courte durée de trajet est sélectionné. Une fois le client sélectionné, le temps d'arrivée est calculé et le temps de service ajouté. La procédure est alors répétée sur les clients non visités afin de déterminer le prochain client à visiter tout en minimisant le temps de déplacement. Évidemment, les routes doivent respecter les contraintes habituelles. Lorsque les routes sont construites, des procédures d'échanges sont appliquées et chaque modification est évaluée en considérant le temps de parcours en fonction du trafic. L'application de cette

Tableau 2. Durée des routes en fonction des heures de départ après 7 h 00 et de retour avant 19 h 00

Routes	Situation actuelle		Meilleure planification			Amélioration	
	Heure	Durée	Départ	Durée	Retour	Minutes	%
1	07:35	1 h 35	09:00	1:22	18:22	13	14
2	07:34	1 h 05	09:00	1:00	14:24	5	8
3	07:04	1 h 27	12:00	1:08	18:24	19	22
4	07:38	1 h 10	12:00	0:47	18:37	23	33
5	07:46	1 h 21	10:30	1:00	16:29	21	26
6	07:38	1 h 15	09:00	1:03	18:50	12	16
7	07:42	1 h 18	07:30	1:03	15:58	15	19
8	07:34	1 h 10	11:00	0:59	18:47	11	16
9	07:31	1 h 39	10:30	1:15	18:50	24	24
10	07:32	1 h 42	09:30	1:13	18:20	29	28
11	07:51	1 h 13	11:00	0:48	18:35	25	34
12	07:03	1 h 42	07:03	1:42	17:38	0	0
13	07:38	1 h 29	07:00	1:07	17:19	22	25
14	07:31	1 h 49	11:00	1:00	17:55	49	45
15	07:50	1 h 39	10:30	1:30	18:31	9	9
16	07:34	1 h 15	11:00	0:57	17:10	18	24
17	07:10	2 h 11	10:00	1:46	18:47	25	19
18	07:36	1 h 30	12:00	1:03	16:45	27	30
19	07:19	2 h 37	09:30	1:52	18:23	45	29
20	08:05	1 h 42	12:00	1:25	18:53	17	17
21	07:42	2 h 07	12:00	1:33	17:09	34	27
22	07:34	1 h 39	11:30	1:13	16:45	26	26
23	07:42	2 h 19	11:00	1:49	18:06	30	22
24	07:34	1 h 30	11:00	1:05	16:56	25	28
25	07:06	1 h 17	09:30	1:10	18:37	7	9

Tableau 2 – (suite)

Routes	Situation actuelle		Meilleure planification			Amélioration	
	Heure	Durée	Départ	Durée	Retour	Minutes	%
26	07:44	2 h 27	12:00	1:44	18:10	43	29
27	07:32	2 h 14	11:00	1:56	18:50	18	13
Total		44 h 22		34:30		9:52	22 %

procédure peut procurer des routes très différentes des routes initiales en fonction de l'évitement de la congestion.

Le [tableau 3](#) présente les résultats obtenus sur un ensemble de 9 routes. Les durées sont rapportées en minutes. On peut observer une réduction des temps de parcours

Tableau 3. Réduction de la durée et de la distance des routes

Routes	Originales		Optimisées		Réduction	
	Durée (min)	Distance (m)	Durée (min)	Distance (m)	Durée (min)	Distance (m)
1	96	45 588	47	43 298	49	2 290
2	76	34 527	37	25 280	39	9 247
3	88	55 130	25	31 909	63	23 221
4	109	46 206	37	33 118	72	13 088
5	81	51 462	43	41 621	38	9 841
6	111	62 433	56	51 904	55	10 529
7	108	94 913	84	87 224	24	7 688
8	73	63 301	55	54 758	18	8 543
9	158	102 752	99	75 736	59	27 016
Total	900	556 312	483	444 848	417	111 464

considérable de 900 à 483 minutes, une réduction de 46 %. L'ampleur des réductions provient de deux sources. Premièrement, l'optimisation des trajets a permis une réduction de distance moyenne de 20 % par route. À cette réduction de distance s'ajoute une optimisation fine des trajets en fonction du trafic entre chaque paire de clients.

5. Conclusion

Dans cet article, nous avons démontré que l'exploitation spatio-temporelle des données GPS permet d'établir des cartes de congestion routières. Nous avons démontré la précision de la méthodologie développée en comparant nos estimations avec les routes réalisées par notre partenaire. Ces informations peuvent être utilisées afin d'optimiser l'heure de départ des véhicules en fonction de la congestion et ainsi réduire les temps de parcours et coûts associés (carburant, salaires, etc.). Cette gestion dynamique des heures de départ permet des réductions de l'ordre de 22 % des temps de parcours et des réductions de coûts de l'ordre de 600 \$ par jour. Une extension intéressante à ces travaux serait d'analyser la distribution de la vitesse afin de voir si l'utilisation du mode ou de la médiane mènerait à des estimations plus précises que la moyenne. Nous pourrions également intégrer des analyses statistiques comme des intervalles de confiance sur les segments et les itinéraires en fonction du nombre d'observations disponibles sur chaque segment. La possibilité de prévoir des événements perturbateurs, comme des accidents sur certains segments et à certaines heures, constitue également une voie de recherche intéressante.

Nous espérons que cette méthodologie ainsi que l'intégration de données de congestion deviendront naturelles dans les futures recherches en planification de tournées. Nous pensons également que l'intégration de bases de données de congestion routière dans les logiciels commerciaux de planification de tournées deviendra une tendance lourde qui stimulera la recherche dans ce domaine.

Remerciements

Cette recherche a été rendue possible grâce au support financier du Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada (subventions 0172633 et 2014-05764) et du Centre d'innovation en logistique et chaîne d'approvisionnement durable (CILCAD). Le CILCAD bénéficie du soutien financier du Fonds vert dans le cadre de la priorité 15.2 du plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques mise en œuvre par Transition énergétique Québec (TEQ). Nous remercions également la collaboration d'un partenaire industriel anonyme ainsi que de Logix Opérations qui nous ont donné libre accès à toutes les informations sur les livraisons, les véhicules et les données géospatiales. Ces appuis sont fortement appréciés. Nous remercions finalement les commentaires constructifs des arbitres qui ont grandement contribué à améliorer cet article.

Bibliographie

- Bernstein D., Kornhauser A. (1996). *An introduction to map matching for personal navigation assistants*. New Jersey TIDE Center.
- Coelho L.C., Renaud J., Laporte G. (2016). Road-based goods transportation: A survey of real-world logistics applications from 2000 to 2015. *INFOR: Information Systems and Operations Research*, vol. 54, n° 2, p. 79-96.
- Delisle F., Leblond V., Nolet S., Paradis J. (2016). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2014 et leur évolution depuis 1990*, p. 19.
- Gendreau M., Ghiani G., Guerriero E. (2015). Time-dependent routing problems: A review. *Computers & Operations Research*, vol. 64, p. 189-197.
- Greenfield J.S. (2002). Matching GPS observations to locations on a digital map. In *Proceedings of the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board* - Washington D.C., p. 554-559.
- Honey S.K., Zavoli W.B., Milnes K.A., Phillips A.C., White M.S., Loughmiller G.E. (1989). *Vehicle Navigational System and Method*. United States Patent No. 4796191.
- Jaballah R., Veenstra M., Coelho L.C., Renaud J. (2019). *The time-dependent shortest path and vehicle routing problem*. Working paper CIRRELT-2019-12.
- Jo T., Haseyama M., Kitajima H., (1996). A map matching method with the innovation of the Kalman filtering. *Transactions on Fundamentals of Electronics Communications and Computer Sciences*. E79-A, p. 1853-1855.
- Laporte G. (2009). Fifty years of vehicle routing. *Transportation Science*, vol. 43, p. 408-416.
- Les conseillers ADEC Inc. (2014). *Évaluation des coûts de la congestion routière dans la région de Montréal pour les conditions de référence de 2008*. Rapport final, p. 1.
- Luo An., Shenghua C., Bin Xv. (2017). Enhanced Map-Matching Algorithm with a Hidden Markov Model for Mobile Phone Positioning. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 6, p. 327.
- Noh S.H, Kim T.J. (1998). A comprehensive analysis of map matching algorithms for ITS. *Hongik Journal of Science and Technology*, vol. 9, p. 303-313.
- Obradovic D., Lenz H., Schupfner M. (2006). Fusion of map and sensor data in a modern car navigation system. *Journal of VSLI Signal Processing*, vol. 45, p. 112-122.
- Ochieng W.Y., Quddus M.A., Noland R.B. (2004). Map-matching in complex urban road networks. *Brazilian Journal of Cartography (Revista Brasileira de Cartografia)*, vol. 55, n° 2, p. 1-18.
- Pyo J., Shin D., Sung T. (2001). Development of a map matching method using the multiple hypothesis technique. In *IEEE Proceedings on Intelligent Transportation Systems*, p. 23-27.
- Rahmani M., Jenelius E., Koutsopoulos H.N. (2014). Non-parametric estimation of route travel time distributions from low-frequency floating car data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 58, p. 343-362.

White C., Bernstein D., Kornhauser A. (2000). Some map matching algorithms for personal navigation assistants. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 8, p. 91-108.

Yang D., Cai B., Yuan Y. (2003). An improved map-matching algorithm used in vehicle navigation system. *IEEE Proceedings on Intelligent Transportation Systems*, vol. 2, p. 1246-1250.

Zhao Y. (1997). *Vehicle Location and Navigation System*. Artech House, Inc., MA.

Annexe 1. Analyse détaillée des routes

Routes	Temps de service		Différence Planifié/ observé (minutes)	Temps de conduite			Différence observé / estimé (minutes)
	Planifié	Observé		Planifié	Observé	Estimé	
1	5 h 59	6 h 46	47	0 h 59	1 h 44	1 h 35	-9
2	5 h 18	4 h 11	-67	0 h 12	1 h 03	1 h 05	2
3	5 h 39	5 h 07	-32	0 h 47	1 h 11	1 h 27	16
4	5 h 42	5 h 13	-29	0 h 36	0 h 58	1 h 10	12
5	5 h 19	4 h 44	-35	0 h 56	1 h 14	1 h 21	7
6	6 h 23	7 h 54	91	0 h 42	1 h 11	1 h 15	4
7	7 h 02	6 h 03	-59	0 h 41	1 h 15	1 h 18	3
8	7 h 02	5 h 48	-74	0 h 49	1 h 11	1 h 10	-1
9	6 h 09	6 h 09	0	1 h 24	1 h 37	1 h 39	2
10	6 h 13	6 h 34	21	0 h 56	1 h 43	1 h 42	-1
11	7 h 19	6 h 07	-72	0 h 42	1 h 14	1 h 13	-1
12	6 h 17	7 h 57	100	0 h 51	2 h 01	1 h 42	-19
13	6 h 08	8 h 20	132	0 h 36	1 h 46	1 h 29	-17
14	5 h 09	5 h 30	21	0 h 45	1 h 43	1 h 49	6
15	6 h 22	5 h 01	-81	0 h 58	1 h 42	1 h 39	-3
16	4 h 58	5 h 13	15	0 h 56	1 h 26	1 h 15	-11
17	7 h 45	5 h 03	-162	1 h 08	2 h 12	2 h 11	-1
18	5 h 19	3 h 39	-100	1 h 16	1 h 23	1 h 30	7

– (suite)

Routes	Temps de service		Différence Planifié/ observé (minutes)	Temps de conduite			Différence observé / estimé (minutes)
	Planifié	Observé		Planifié	Observé	Estimé	
19	7 h 48	5 h 18	-150	0 h 35	2 h 37	2 h 37	0
20	4 h 55	4 h 15	-40	1 h 42	1 h 51	1 h 42	-9
21	4 h 37	3 h 36	-61	1 h 37	1 h 57	2 h 07	10
22	4 h 32	3 h 50	-42	0 h 54	1 h 34	1 h 39	5
23	5 h 57	4 h 13	-104	1 h 19	2 h 29	2 h 19	-10
24	5 h 14	4 h 26	-48	1 h 22	1 h 28	1 h 30	2
25	6 h 59	6 h 24	-35	0 h 42	1 h 32	1 h 17	-15
26	4 h 54	4 h 11	-43	1 h 17	2 h 15	2 h 27	12
27	7 h 05	4 h 46	-139	1 h 35	2 h 00	2 h 14	14
Total	162 h 04	146 h 18	-946	26 h 17	44 h 17	44 h 22	5

Annexe 2. Analyse des heures de départ

	Départ actuel		Départ optimal			Amélioration		Pire départ		
	Heure	Durée	Heure	Durée	Retour	Durée	%	Heure	Durée	Retour
1	07:35	1 h 35	12:00	1 h 12	21:12	0 h 23	24	08:00	1 h 35	17:35
2	07:34	1 h 05	06:30	0 h 59	11:53	0 h 06	9	08:00	1 h 07	13:31
3	07:04	1 h 27	12:00	1 h 08	18:24	0 h 19	22	07:00	1 h 29	13:45
4	07:38	1 h 10	12:00	0 h 47	18:37	0 h 23	33	07:30	1 h 17	14:37
5	07:46	1 h 21	06:00	0 h 55	11:54	0 h 26	32	07:46	1 h 21	14:06
6	07:38	1 h 15	12:00	0 h 52	21:39	0 h 23	31	07:38	1 h 15	17:40
7	07:42	1 h 18	11:00	0 h 56	19:21	0 h 22	28	07:42	1 h 18	16:25
8	07:34	1 h 10	12:00	0 h 55	19:43	0 h 15	21	08:30	1 h 11	16:29

– (suite)

	Départ actuel		Départ optimal			Amélioration		Pire départ		
	Heure	Durée	Heure	Durée	Retour	Durée	%	Heure	Durée	Retour
9	07:31	1 h 39	11:00	1 h 10	19:16	0 h 29	29	07:30	1 h 41	16:16
10	07:32	1 h 42	12:00	1 h 08	20:45	0 h 34	33	07:32	1 h 42	16:52
11	07:51	1 h 13	06:00	0 h 47	13:35	0 h 26	36	07:51	1 h 13	15:52
12	07:03	1 h 42	12:00	1 h 20	22:14	0 h 22	22	09:00	1 h 50	19:44
13	07:38	1 h 29	12:00	0 h 50	22:02	0 h 39	44	07:38	1 h 29	18:19
14	07:31	1 h 49	11:00	1 h 00	17:55	0 h 49	45	07:31	1 h 49	15:15
15	07:50	1 h 39	11:30	1 h 18	19:19	0 h 21	21	07:30	1 h 44	15:45
16	07:34	1 h 15	11:00	0 h 57	17:10	0 h 18	24	07:34	1 h 15	14:02
17	07:10	2 h 11	12:00	1 h 39	20:40	0 h 32	24	07:30	2 h 12	16:44
18	07:36	1 h 30	12:00	1 h 03	16:45	0 h 27	30	07:36	1 h 30	12:48
19	07:19	2 h 37	11:30	1 h 42	20:13	0 h 55	35	07:19	2 h 37	16:58
20	08:05	1 h 42	12:00	1 h 25	18:53	0 h 17	17	07:00	1 h 34	14:18
21	07:42	2 h 07	12:00	1 h 33	17:09	0 h 34	27	07:42	2 h 07	13:25
22	07:34	1 h 39	11:30	1 h 13	16:45	0 h 26	26	07:30	1 h 45	13:17
23	07:42	2 h 19	06:00	1 h 43	13:00	0 h 36	26	07:30	2 h 29	15:16
24	07:34	1 h 30	11:00	1 h 05	16:56	0 h 25	28	07:34	1 h 30	13:55
25	07:06	1 h 17	12:00	1 h 02	20:59	0 h 15	19	08:00	1 h 28	17:25
26	07:44	2 h 27	12:00	1 h 44	18:10	0 h 43	29	07:44	2 h 27	14:37
27	07:32	2 h 14	11:30	1 h 50	19:15	0 h 24	18	07:30	2 h 15	15:39
Total		44h22		32h13		12h09	27 %		45h10	