

# Planification des tournées dans le domaine de la messagerie rapide

OLIVIER PIGNAC-ROBITAILLE<sup>1</sup>, SEBASTIEN SIMARD<sup>1</sup>, ANGEL RUIZ<sup>1</sup>, JACQUES RENAUD<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre Interuniversitaire de Recherche sur les Réseaux d'Entreprise, la Logistique et le Transport (CIRRELT).

Université Laval, Québec, Canada  
olivier.pignac-robitaille.1@ulaval.ca  
sebastien.simard.9@ulaval.ca  
angel.ruiz@fsa.ulaval.ca  
jacques.renaud@fsa.ulaval.ca

---

**Résumé** - Cet article présente une étude visant à améliorer la planification des opérations d'une entreprise œuvrant dans le domaine de la messagerie rapide. Nous traitons le cas où la collecte et la livraison d'un colis doivent être faites par le même véhicule à l'intérieur d'une fenêtre de temps déterminée par le type de service choisi par le client. Un algorithme en deux phases, une première phase de construction suivie d'une phase d'amélioration basée sur des échanges de type 3-opt, a été conçu afin d'élaborer des tournées adaptées au contexte particulier de l'entreprise. Afin d'évaluer la performance des planificateurs, nous avons utilisé cet algorithme en mode « temps réel », c'est-à-dire en traitant les requêtes de façon à respecter leur date d'arrivée dans le système, et en considérant seulement celles qui ont été traitées par un même planificateur. L'algorithme a été également utilisé dans d'autres contextes, par exemple, dans le cas centralisé où un seul planificateur gère la totalité de la flotte et des requêtes ou encore dans un contexte où les requêtes sont connues d'avance. Les résultats de l'algorithme ont impressionné l'entreprise, qui songe à incorporer le module de planification développé à l'intérieur de son système de répartition.

**Abstract** - This paper presents a study aiming at improving the planning tasks of a company offering fast courier services. Unlike in other transportation contexts, here the pickup and the delivery of a parcel must be made by the same vehicle within a time window given by the type of service chosen by the customer. A two-phase algorithm, consisting of an initial construction phase followed by an improvement phase based on 3-opt exchanges, was designed to build routes adapted to the specific context of the company. To evaluate the performance of the company's planners, we used this algorithm in "real time" mode, that is, it planned requests according to their arrival time to the system, and considering only the requests that were assigned to the same planner. The algorithm was also used in other contexts like, for example, in the case where a single centralized planner manages the entire fleet, or even in a context where queries are known in advance. The results of the algorithm have impressed the company, which is considering incorporating it into its planning system.

**Mots clés** – Tournées de véhicules, fenêtres de temps, cueillette et livraison, heuristiques.

**Keywords** - Vehicle routing problems, time windows, pickup and delivery, heuristics.

---

## 1 INTRODUCTION

Les services de messageries et les entreprises de livraison de colis constituent un segment important de l'industrie du camionnage. Contrairement à cette dernière, le secteur de la messagerie utilise relativement peu de camions car la plupart des opérations sont effectuées à l'aide de petits fourgons, d'automobiles et même de bicyclettes. Parmi les services offerts, il faut mentionner les envois le lendemain ou plus tard et les envois le même jour dans de délais allant de 6 heures à 30 minutes. Au Canada, en 2005, les services de messageries ont généré des recettes totales estimées à 6,4 milliards \$ soit environ 10 % de l'ensemble des recettes de l'industrie du camionnage. Selon Transport et Canada (2009), l'industrie de la messagerie et des services locaux de messagers emploient plus de 47 000 personnes au Canada. L'industrie de la messagerie peut elle-même se subdiviser selon la portée des opérations des entreprises. Les grands joueurs (comme Purolator, UPS) ont des opérations de livraison nationales et internationales. D'autres entreprises, plus modestes mais tout aussi importantes, concentrent leurs activités sur des marchés locaux. C'est particulièrement le cas des opérations de la messagerie médicale qui concentre ses activités autour des acteurs du système de santé.

Ce document présente les résultats de nos travaux effectués pour la plus importante entreprise de messagerie médicale de Québec. Cette entreprise dessert l'ensemble des établissements de la santé et des services sociaux de la région de Québec (hôpitaux, cliniques, agence de la santé, centre de réadaptation,...). Puisqu'il s'agit d'un domaine très compétitif où les marges de profit sont très faibles, la planification des tournées des messagers est extrêmement importante. De plus, les contraintes de temps strictes imposées par les clients du domaine de la santé rendent très complexe la planification des opérations. Toute amélioration de la performance peut donc être considérée comme un élément compétitif avantageux. Actuellement l'entreprise dispose d'un système de gestion des appels et de communication avec les messagers très efficace. La répartition des appels et la planification des tournées sont cependant effectuées de façon manuelle par une équipe expérimentée de répartiteurs. Le premier objectif de cette étude était donc d'évaluer la qualité de la planification manuelle des opérations de l'entreprise et, comme deuxième objectif, de proposer des pistes algorithmiques pour informatiser le processus.

La suite de ce document est organisée comme suit. La Section 2 présente une définition formelle de la problématique étudiée.

La Section 3 effectue un bref survol de la littérature pertinente. Les heuristiques développées sont présentées à la Section 4 et les résultats numériques à la Section 5. La Section 6 présente nos conclusions et voies de recherche futures.

## 2 DEFINITION FORMELLE

Le problème est défini sur un graphe  $G = (N, A)$  où  $N$  représente l'ensemble des requêtes et  $A$  l'ensemble des arcs. L'ensemble  $N = \{1, \dots, n\}$  représente  $n$  requêtes de transports. À chaque requête  $i$  est associé un point de collecte  $c_i$ , un point de livraison  $l_i$  et un type de service  $\tau_i$  (30 minutes, 1, 2, 4 heures, ...). Nous représentons par  $c_i^a$  l'instant auquel on arrive au lieu de la collecte  $c_i$ , et  $c_i^d$  l'instant auquel on le quitte. À chaque point de collecte  $c_i$  est associée une heure au plus tôt  $a_i$  à laquelle la collecte peut être effectuée. On considère également un temps de chargement  $2 * h_i^c$  qui inclut le déplacement du messenger depuis le lieu où son véhicule est stationné vers le lieu de ramassage, et le retour une fois la prise en charge du colis achevée. Si le véhicule arrive au lieu  $i$  avant  $a_i$ , il doit attendre jusqu'à  $a_i$  pour débiter le service, le temps d'attente encouru est noté  $w_i$ . À chaque point de livraison est associée une heure au plus tard  $b_i$  où la livraison doit être effectuée et, comme définit pour la collecte, un temps de manutention  $2 * h_i^l$ . Sans perte de généralité, on supposera que la durée  $h_i^l = h_i^c$  et que cette durée est la même quelque soit le lieu considéré. On gardera alors  $h$  comme temps de déplacement entre le point de stationnement du véhicule et le lieu de ramassage ou de livraison.

Pour chaque requête  $i$  nous avons donc une fenêtre de temps  $[a_i ; b_i]$  à l'intérieur de laquelle les opérations doivent être effectuées. Techniquement, les valeurs de  $a_i$  et de  $b_i$  incorporent l'information sur le type de service  $\tau_i$  ce qui fait que cette donnée n'est pas considérée explicitement. L'ensemble des requêtes  $N$  implique un certain nombre  $m$  de localisations à visiter. Des collectes et des livraisons peuvent avoir lieu à chaque localisation. Par exemple, une collecte  $c_i$  et une livraison  $l_j$  peuvent avoir lieu à une même localisation  $v$ . Ainsi,  $A$  est la matrice des arcs reliant toutes les  $m$  localisations entre elles et nous avons  $n \leq m \leq 2n$ .

$D$  et  $T$  représentent respectivement la matrice de distances et de temps de parcours associés à un déplacement entre deux localisations. Le nombre de véhicules disponibles est suffisant pour couvrir les besoins car le planificateur peut appeler en tout temps des messagers supplémentaires. Puisque les colis sont de petites tailles et livrés rapidement, il n'y a pas lieu de tenir compte de la capacité des véhicules puisqu'elle n'est jamais limitative.

Une route peut être modélisée comme une suite de points de collecte et de livraison de sorte que pour chaque requête  $i$ , la collecte  $c_i$  est effectuée dans la même route et avant la livraison  $l_i$ . Une route peut donc être représentée comme une suite de collectes et de livraisons, par exemple :

$$(0 - c_1 - c_2 - l_2 - c_3 - l_3 - l_1 - 0).$$

Au niveau de la séquence des opérations, cette route est réalisable puisque chaque collecte est effectuée avant sa livraison associée. Il faut maintenant valider la faisabilité temporelle de la route pour nous assurer qu'elle respecte les fenêtres de temps. Ainsi, la livraison  $l_i$  doit être effectuée avant l'heure limite de livraison  $b_i$ , ce qui nous permet de définir l'heure d'arrivée au plus tard au lieu de la livraison  $+l_i^a$  :

$$+l_i^a = b_i - h \quad (1)$$

Pour respecter l'heure limite  $+l_i^a$ , on doit quitter le lieu de la cueillette  $c_i$  au plus tard à l'heure  $+c_i^d$ . La valeur de  $+c_i^d$  est définie alors par :

$$+c_i^d = +l_i^a - h - t_{cl} \quad (2)$$

où  $t_{cl}$  représente le temps de voyage entre les lieux de cueillette et de livraison. Il suit que, pour pouvoir quitter le lieu de livraison à cette heure, il faut que le véhicule arrive au lieu de la cueillette avant  $+c_i^d$ , que l'on nomme la date d'arrivée au plus tard et qui se calcule alors comme :

$$+c_i^a = +c_i^d - 2h \quad (3)$$

De plus, rappelons que la collecte  $c_i$  ne peut pas être effectuée avant l'heure de mise en disponibilité  $a_i$ . On peut alors définir l'heure d'arrivée au plus tôt au lieu de la cueillette,  $-c_i^a$ , comme :

$$-c_i^a = a_i - h \quad (4)$$

On peut aussi calculer l'heure de départ au plus tôt du lieu de la livraison,  $-c_i^d$ , comme :

$$-c_i^d = -c_i^a + h \quad (5)$$

et les heures d'arrivée et de départ au plus tôt à partir du lieu de livraison  $l_i$  comme, respectivement :

$$-l_i^a = -c_i^d + t_{cl} \quad (6)$$

$$-l_i^d = -l_i^a + 2h \quad (7)$$

Il est donc possible, en utilisant les équations (1) à (7), de calculer les bornes pour les heures d'arrivée et de départ au plus tôt et au plus tard pour la cueillette et la livraison d'une requête donnée. Ces paramètres sont illustrés à la Figure 1.

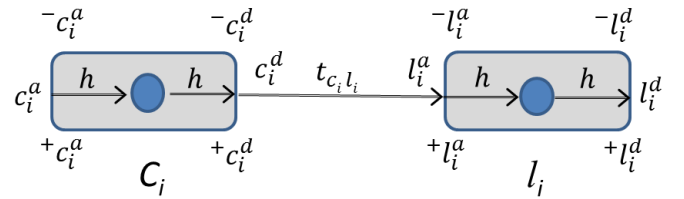


Figure 1. Bornes sur les temps d'arrivée et de départ

Pour qu'une route soit réalisable, les heures d'arrivée et de livraison à chaque lieu doivent impérativement se trouver dans les bornes [plus tôt ; plus tard].

L'objectif du problème de messagerie avec fenêtres de temps est de construire les routes permettant de répondre à tous les appels tout en minimisant le temps de déplacement des messagers.

## 3 LITTÉRATURE

Le problème de messagerie que nous étudions est une version sans capacité de chargement (*uncapacitated*) des problèmes de collecte et livraison de marchandises – *pickup and delivery problem* [Cordeau et al. 2008]. Ces problèmes peuvent inclure des fenêtres de temps – *vehicle routing problem with pickups and deliveries with time windows* [Ropke et al. 2006] ou ne pas les considérer [Desaulniers et al. 2002 ; Hernandez-Perez et al. 2009] ce qui a une influence majeure sur les algorithmes de résolution. Les problèmes de collecte et livraison peuvent également être caractérisés en fonction de ce qui est livré. La version plusieurs-vers-plusieurs (*many-to-many*) implique que les produits peuvent être ramassés à une ou plusieurs localisations pour être livrés à une ou plusieurs autres destinations [Subramanian et al. 2010]. Il s'agit alors de produits génériques non personnalisés. La version que nous

études ici est la une-vers-une (*one-to-one*) puisque chaque requête doit être collectée d'un point précis pour être livrée à une destination précise [Renaud et al. 2002]. Chaque produit collecté est donc différencié et destiné à un client précis. Les similarités entre les problèmes de tournées classiques et les problèmes de messageries et de livraisons sont étudiées par [Wong, 2008].

Lorsque ce problème est étudié dans le contexte du transport de passagers, nous faisons souvent référence au problème de tournées sur appel – *Dial-a-ride* [Cordeau et Laporte 2003, Xiang et al. 2006, Parragh et al. 2010]. Ce dernier problème, faisant référence aux transports des personnes à mobilité réduite, renferme cependant une très forte composante au niveau de la gestion de la capacité des véhicules. La notion de temps de service est également pertinente car il faut considérer le temps que les passagers passent dans le véhicule.

Le problème de tournées dans le domaine de la messagerie que nous étudions possède donc des affinités avec la littérature classique mais possède néanmoins plusieurs caractéristiques propres qui en font un problème unique. Au meilleur de nos connaissances, seul [Shen et al. 1995] ont étudié le problème dans le domaine de la messagerie locale. Dans la version considérée, ils considèrent les fenêtres de temps non pas comme des contraintes dures (*hard constraints*) à respecter mais plutôt comme un élément de préférence. La durée des retards est alors considérée dans la fonction de coût d'insertion. Un système d'aide à la décision pour affecter une requête à un livreur est également développé.

#### 4 HEURISTIQUE

Considérant que le nombre d'appels à planifier par jour est de plus de 1 000, et les limitations des méthodes de résolution exactes disponibles pour ce type de problèmes, nous avons opté pour le développement d'une approche de résolution heuristique et rapide qui tient compte de l'ensemble des contraintes reliés au domaine de la messagerie médicale. Les solutions produites ne seront peut être pas optimales, mais elles auront le très grand avantage de pouvoir être implantées directement et de répondre à des exigences pratiques difficilement envisageables par des méthodes, certes exacts, mais plus rigides. De façon classique, l'heuristique développée renferme une phase de construction séquentielle et une phase d'amélioration.

##### 4.1 Phase de construction

Dans un premier temps toutes les requêtes sont triées dans un ensemble ordonné  $L$  selon un critère qui sera défini plus loin. Les étapes de l'algorithme sont les suivantes.

1. Initialisation : Fixer  $L = N$  et trier  $L$  en fonction d'un critère de priorité pour le traitement des requêtes. Initialiser une première route vide.
2. Itération : Si  $L = \emptyset$  alors toutes les requêtes ont été traitées, la solution est complète. Autrement, soit  $i$  la première requête selon l'ordre de priorité et soit  $v_0 - v_1 - \dots - v_k - v_{k+1}$  la route,  $v_r$  représentant soit un point de collecte ou un point de livraison, et  $v_0$  et  $v_{k+1}$  étant les points de départ et fin de la route.
3. Traitement de la cueillette de la requête  $i$  : On cherche dans un premier temps à insérer  $c_i$  de façon réalisable dans la route en construction. Nous allons tenter d'insérer  $c_i$  entre chaque paire de points  $v_r$  et  $v_{r+1}$  pour  $r = 0, \dots, k$ . Pour chaque insertion, on vérifie sa faisabilité et on actualise les dates d'arrivée et de départ de tous les points de la route (voir les procédures *Vérification* et *Actualisation* plus loin), à partir de l'insertion  $c_i$  et jusqu'à la fin de la route.

4. Traitement de la livraison de la requête  $i$  : Pour chaque position  $k$  où l'insertion de  $c_i$  a été possible, nous allons tenter d'insérer  $l_i$  à chaque position dans la séquence entre  $k$  et la fin de la tournée. À chaque position, on exécute les procédures de validation de la faisabilité et d'actualisation des horaires si nécessaire.

5. Insertion de la requête : Si une ou plusieurs positions d'insertion réalisables ont été trouvées pour la requête  $i$ , choisir celle qui procure la plus faible augmentation de durée de la route en construction (la durée étant l'heure de fin moins l'heure de début), procéder à l'insertion et actualiser  $L = L / \{i\}$ , puis retourner à l'Étape 2. S'il n'y a aucune position d'insertion réalisable, améliorer la durée de la route courante à l'aide de la procédure 3-opt [Lin 1965]. Si  $i$  est l'élément en dernière position de  $L$  c'est qu'aucun élément ne peut être inséré dans la route courante, démarrer une nouvelle route et retourner à l'Étape 2. Si  $i$  n'est pas le dernier élément, considérer l'élément suivant dans  $L$  et tenter de l'insérer à l'Étape 3.

Les procédures de *Vérification* et d'*Actualisation* sont maintenant détaillées.

*Vérification de la faisabilité d'une insertion* : La vérification de la faisabilité de l'insertion d'une cueillette ou livraison  $v_r$  à la position  $r$  dans la route se réalise en comparant ses bornes sur les heures d'arrivée et départ au plus tôt et au plus tard avec celles de  $v_{r-1}$  et  $v_{r+1}$ . L'insertion de  $v_r$ , une collecte ou une livraison (en supposant que la collecte associée a été insérée convenablement plutôt dans la séquence) à la position  $r$  d'une route, c'est-à-dire, entre deux points consécutifs  $v_{r-1}$  et  $v_{r+1}$  est réalisable si les conditions (8) et (9) sont vérifiées :

$${}^+v_r^a \geq {}^-v_{r-1}^d + t_{r-1,r} \quad (8)$$

$${}^-v_r^d \leq {}^+v_{r+1}^a - t_{r,r+1} \quad (9)$$

De plus, si l'on accepte un temps d'attente maximal  $w$ , l'insertion réalisable d'une collecte, livraison, doit également satisfaire les deux conditions suivantes :

$${}^-v_r^a \leq {}^+v_{r-1}^d + t_{r,r-1} + w \quad (10)$$

$${}^+v_r^d \geq {}^-v_{r+1}^a - t_{r,r+1} - w \quad (11)$$

*Mise à jour de l'horaire de la route* : Lorsqu'une insertion  $v_r$  satisfait les conditions de faisabilité, l'horaire des requêtes subséquentes dans la route doit être réajusté en suivant une approche « le plus tôt possible ». Ainsi, les heures d'arrivée et de départ au lieu  $v_r$ , sont fixées comme :

$$v_r^a = \max({}^-v_r^a; v_{r-1}^d + t_{r-1,r}) \text{ et} \\ v_r^d = \min(v_r^a + 2h; {}^-v_{r+1}^a - t_{r,r+1}).$$

respectivement. Une fois établi l'horaire pour  $v_r$ , on passe au calcul de l'horaire pour le lieu suivant et l'on répète le processus jusqu'au dernier lieu dans la route. Si l'heure d'arrivée à un point de livraison dépasse la fenêtre de temps alors la solution est non réalisable et la procédure s'arrête immédiatement. Notons que plusieurs opérations de collecte et livraisons peuvent avoir lieu à la même localisation, les temps de collecte et livraisons doivent être calculés en conséquence. Le calcul des dates au plus tard s'effectue de façon similaire.

##### 4.2 Phase d'amélioration

À cette étape nous avons une solution réalisable qui tient compte de toutes les requêtes. Lors de la phase de construction des routes, nous avons exécuté la procédure 3-opt sur chaque route afin d'en améliorer la durée (temps de fin moins temps de début). À cette phase nous appliquons à nouveau le 3-opt mais avec comme objectif de minimiser le temps de parcours de la route sous la contrainte de ne pas en augmenter la durée.

Tout comme pour la phase de construction, la faisabilité de chaque mouvement 3-opt est validée à l'aide de la procédure de *Vérification* et, si nécessaire, d'*Actualisation*. Enfin, il est important de préciser que, bien que la procédure 3-opt soit assez lourde, elle ne requiert qu'une fraction de second de calcul lorsqu'elle est appliquée sur les problèmes que nous avons traités.

#### 4.3 Détermination de l'ordre d'insertion

L'algorithme proposé peut mener à différentes solutions en fonction de la façon dont les requêtes auront été ordonnées dans  $L$  qui détermine l'ordre d'insertion dans les tournées en construction. Dans cette étude nous avons testé trois méthodes d'insertion distinctes. La première méthode utilise un ordre d'insertion qui traite les requêtes dans l'ordre chronologique du temps de disponibilité de la collecte. En cas d'égalité on favorise la requête ayant la fenêtre de temps la plus petite.

Les deux autres procédures d'insertion relaxent l'ordre d'insertion et nécessitent plus de calculs. La seconde méthode trie les requêtes dans  $L$  en sous-ensembles qui ont la même durée de service en commençant par les durées les plus courtes. Ainsi, le premier sous ensemble renferme les requêtes devant être desservies à l'intérieur de 40 minutes, suivi des services une heure, puis deux heures et ainsi de suite. Parmi un sous ensemble donné, par exemple les temps de service de 40 minutes, toutes les requêtes sont testées et on insère celle qui demande la plus petite augmentation de durée (l'*Étape 3* est donc exécutée pour toutes les requêtes du sous ensemble). La dernière méthode n'effectue aucun tri dans l'ensemble  $L$  puisqu'à chaque étape on insère la requête qui ajoute le moins de durée (l'*Étape 3* est donc exécutée pour toutes les requêtes non desservies).

#### 4.4 Autres considérations

Afin d'éviter de ne pas alourdir la présentation de la méthode de résolution, nous avons évité de présenter certaines situations particulières et comment elles sont traitées par l'algorithme. Il est cependant d'intérêt de nommer ces caractéristiques pratiques. Premièrement, il est possible d'insérer une pause de 30 minutes entre 11h30 et 13h30. Si cette option est sélectionnée, l'algorithme de vérification de la faisabilité s'assurera qu'il y a toujours une période libre de 30 minutes à quelque part entre 11h30 et 13h30. Une seconde option modifie légèrement l'heure de début des routes afin de tenter de minimiser les temps d'attentes à l'intérieur de la route. Ainsi, après l'insertion de chaque requête on tente de repousser au plus tard l'heure de visite de la première requête et on regarde l'impact sur l'ensemble de l'attente dans la route. S'il est possible de réduire la marge et ainsi d'obtenir une durée plus courte, la route est modifiée. Le dernier cas tient compte des requêtes de service sur deux jours. On peut donc se retrouver avec une requête pour laquelle la collecte est déjà effectuée, dans ce cas, il n'y a que la livraison à planifier avec une heure limite à respecter. Finalement, à l'opposée, une requête peut demander d'effectuer seulement la collecte puisque la livraison aura lieu à la journée suivante. Cette requête ne renferme donc qu'une collecte avec une heure de mise en disponibilité à respecter.

## 5 RESULTATS NUMERIQUES

Tel que mentionné précédemment, le premier objectif de cette recherche était d'évaluer la qualité des routes conçues par les planificateurs de notre partenaire. Pour y arriver, nous avons utilisé les données réelles pour une journée considérée comme représentative de l'activité de l'entreprise. Cette journée type

renferme 946 requêtes qui ont été effectuées par 56 livreurs. Nous avons éliminé de l'échantillon 25 appels impossibles à satisfaire. Ces appels ont été acceptés par l'entreprise mais le client a été averti que même avec un livreur dédié, le temps normal de trajet entre la collecte et la livraison ne permettait pas de respecter l'heure de livraison désirée. Nos expériences numériques s'articulent autour de cet échantillon.

Toutefois avant se lancer dans l'évaluation des performances des solutions manuelles ou algorithmiques, il a été nécessaire de valider la précision de l'outil de calcul des distances. En effet, une des difficultés majeures des problèmes de tournées pratiques réside dans le calcul des temps de parcours entre les nœuds du réseau. Dans notre cas, les livreurs de la compagnie ont enregistré les distances (ainsi que les temps de parcours) des itinéraires réalisés lors de la journée. Par contre, nous n'avons pas d'information réelle sur les distances ou les temps requis pour d'autres itinéraires ou parcours différents (pour toute route autre que celles déjà utilisées). Puisque nous avons utilisé le logiciel MapPoint de Microsoft pour alimenter les matrices  $D$  et  $T$ , un premier exercice consistait à comparer la longueur et la durée des routes réalisées par les véhicules durant la journée type avec les mesures proposées par MapPoint. Les résultats de cette comparaison sont montrés dans le Tableau 1 qui rapporte, pour trois routes particulières, les durées des routes en minutes enregistrés par les chauffeurs des véhicules (ligne Réel) et celles fournies par MapPoint (ligne MapPoint). Dans ce dernier cas, nous avons considéré un temps constant de 3 minutes de manutention par collecte ou par livraison. L'écart entre les durées mesurées et calculées est donné en minutes et en pourcentage. Notons que la route A comporte 43 requêtes (donc 86 collectes et livraisons), la route B comporte 35 requêtes et finalement la route C répond à 23 requêtes.

**Tableau 1. Précision des estimations MapPoint**

	Méthode	Différence		
		minutes	minutes	%
Route A	Réel	543	5	0,92%
	MapPoint	538		
Route B	Réel	526	30	5,70%
	MapPoint	496		
Route C	Réel	403	21	5,21%
	MapPoint	382		

À première vue, il semble que les temps calculés par MapPoint soient légèrement trop courts. Une partie de ces écarts peut être attribué aux temps de manutention, fixés constant à 3 minutes pour MapPoint. Malgré tout, pour la route B où la différence est la plus grande, une différence de 30 minutes sur une journée de 526 minutes représente un écart de seulement 5,7% ce qui est excellent considérant tous les aléas de la circulation. Aussi, sachant que la route B demande 70 arrêts (35 requêtes), cela revient à une déviation de 25 secondes par collecte ou livraison, il semble difficile de faire mieux comme approximation. Pour les temps de parcours, notons que plusieurs travaux majeurs affectaient les principaux axes routiers de la ville de Québec à l'été 2010.

Afin d'évaluer la qualité des routes générées manuellement par les planificateurs de l'entreprise, nous avons isolé les requêtes de trois routes particulières et nous avons demandé à l'algorithme de planifier les routes, tout en respectant l'heure à laquelle les requêtes arrivèrent au système. La raison de cette manière de procéder est de reproduire de la façon la plus juste possible les conditions dans lesquelles les planificateurs

avaient pris leurs décisions. À nouveau les trois routes A, B et C ont été choisies pour cette analyse car elles représentent ce que l'entreprise considère comme des routes très chargées (43 requêtes, donc 86 collectes/livraisons), moyennement chargées (35 requêtes) et légèrement chargées (23 requêtes). Les résultats pour les routes A, B et C sont montrés dans le Tableau 2, où sont rapportés le nombre de requêtes satisfaites (ligne Requêtes), la distance des tournées (ligne Dist.), la durée totale de chaque tournée (ligne Durée) ainsi que le temps durant lequel le véhicule était en déplacement (ligne Conduite). Les résultats de l'entreprise sont sous la colonne Réel et ceux de l'algorithme sous la colonne Algo.

**Tableau 2. Résultats sur les routes A, B et C**

	Route A		Route B		Route C	
	Réel	Algo	Réel	Algo	Réel	Algo
Requêtes	43	43	35	35	23	23
Dist.	188,5	167,0	201,6	148,0	218,8	229,0
Durée	9h03	8h42	8h46	8h42	6h43	6h38
Conduite	5h34	4h45	5h43	4h16	4h29	4h18

Les résultats montrent que l'algorithme a amélioré la distance de deux des trois routes. Au niveau de la durée et du temps de conduite, les trois routes furent améliorées. Comme attendu, les plus grandes améliorations furent réalisées pour la route la plus longue, la route A, ce qui confirme que la performance du répartiteur décline avec la quantité d'information à manipuler. La route C, qui est la plus courte, est celle où les gains sur la durée et le temps de conduire furent les plus faibles, la distance parcourue étant même augmentée. Malgré tout, la faiblesse des écarts nous permet de confirmer que la performance des répartiteurs de la compagnie est très bonne.

Reste à présenter l'expérience numérique la plus importante. Nous avons mentionné que les répartiteurs reçoivent les requêtes et construisent, en temps réel, les routes en affectant les requêtes aux véhicules. En pratique, chaque planificateur gère entre 15 et 20 véhicules (c.à.d., entre 15 et 20 routes). Néanmoins, il n'existe pas de processus qui planifie la division des requêtes entre les répartiteurs. Ainsi, lorsqu'une requête est reçue par le département de ventes, elle est proposée simultanément à tous les répartiteurs, et celui qui se manifeste en premier s'en approprie pour l'affecter à l'un de ses véhicules. Cette manière décentralisée et, à certains égards, compétitive de répartition des requêtes méritait un peu d'attention. Nous avons développé une nouvelle expérience visant cette fois à évaluer la performance globale des tournées de la compagnie. Pour ce faire, nous avons traité la totalité des requêtes de la journée en respectant, bien entendu, toutes les fenêtres de temps. Le but était d'évaluer si un système centralisés de planification, et donc connaissant les activités de tous les véhicules, pourrait améliorer la performance du système décentralisé où chaque planificateur dispose seulement des informations concernant la partie de la flotte sous sa responsabilité.

Avant procéder à l'analyse des résultats obtenus, il est important de réaliser pleinement quelle est la performance réelle de l'entreprise. En effet, nous avons conçu et implanté l'algorithme afin de respecter de manière rigoureuse les contraintes sur les heures de collecte et de livraison communiquées par les clients. Toutefois, en analysant les routes réalisées par l'entreprise, on constate qu'un nombre important de livraisons se font en retard et, de plus, que certains colis sont cueillis avant l'heure officielle de disponibilité pour la collecte. Durant la journée étudiée, 946 requêtes furent traitées par 54 routes (17,5 requêtes par route).

Parmi ces 946 requêtes, 387 furent livrés en retard (40,9%), pour un retard moyen par livraison de plus de 22 minutes. De plus, 105 des 946 requêtes (11,1%) furent ramassées avant l'heure établie, cumulant 146,88 heures d'avance et une avance moyenne de 8 minutes 50 secondes. Il s'agit d'un *avantage* incontestable par rapport à l'algorithme qui lui respecte rigoureusement les contraintes.

Le Tableau 3 permet de comparer la performance de l'entreprise et celle de notre algorithme de confection de routes centralisé. Rappelons que, dans notre cas, toutes les livraisons sont faites sans aucun retard et que le respect de l'heure de ramassage est rigoureux. Enfin, on s'est questionné sur la valeur de l'information dans la construction de tournées. En d'autres mots, on a essayé de quantifier comment le fait de connaître *a priori* les requêtes à effectuer permet d'améliorer la qualité des routes proposées. La motivation pour cette expérience est qu'environ 1/3 des requêtes sont des *requêtes pré-cédulés*, c'est-à-dire des requêtes quotidiennes connues une journée d'avance et non pas en temps réel. Malheureusement, bien que ces requêtes soient connues *a priori*, l'entreprise ne profite pas de cette information présentement puisque le système informatique présente ces requêtes aux planificateurs en temps réel comme toute autre requête, en fonction de leur heure planifiée de collecte. Pour notre algorithme, nous avons donc testé quel serait la performance atteignable si tous les appels étaient pré-cédulés ce qui laisse une plus grande liberté de planification. Les résultats de nos expériences numériques sont rapportés dans le Tableau 3.

**Tableau 3. Performance globale**

	Réel	Algo	Pré-cédulé
Requêtes	946	946	946
Routes	54	50	34
Req./route	17,50	18,28	24,70
Distance totale (km)	n.d.	9872	8110
Nb de Retards	387	0	0

Les résultats globaux obtenus de l'entreprise sont sous la colonne *Réel*. Les résultats de notre algorithme lorsque les requêtes sont traitées dans l'ordre d'arrivée sont sous la colonne *Algo*, finalement, les résultats de l'algorithme où les requêtes sont considérées comme pré-cédulées sont sous la colonne *Pré-cédulé*. Pour les 54 routes de l'entreprise, nous n'avons pas la distance exacte car la liste renfermait 25 appels urgents impossible à satisfaire même si un chauffeur était dédié exclusivement à ce service. Nonobstant ces détails, les résultats de l'algorithme sont très intéressants. En effet, ces résultats ne comportent aucun retard et respectent toutes les contraintes. Ainsi, même soumis à ces contraintes très exigeantes, l'algorithme est capable d'améliorer le nombre de routes et de requêtes traitées par route (colonne *Algo*) par rapport aux répartiteurs (colonne *Réel*). Dans ce cas-ci, une réduction de 4 routes sur 54 est importante. La pertinence et le potentiel d'un outil d'aide à décision basée sur cet algorithme nous semble donc clairement établie et justifiée.

Les résultats de la colonne Pré-cédulé sont frappants. En effet, la connaissance *a priori* des requêtes nous amène à conclure que pour cette journée, une flotte de 34 messagers aurait suffi pour répondre à tous les appels comparativement aux 50 livreurs utilisés par l'algorithme lorsque les requêtes sont traitées en temps réel. La connaissance des requêtes fait augmenter l'efficacité de la répartition des appels entre les

routes ce qui permet de visiter en moyenne 6 requêtes additionnelles par jour et par messenger. En plus de rendre les routes plus occupées, la distance totale parcourue par la flotte diminue de 1762 km soit une diminution de 21,72%. Clairement ce contexte Pré-cédulé n'est pas réaliste. Néanmoins, 1/3 des requêtes appartiennent à cette catégorie ce qui nous laisse croire qu'un bon traitement de ces requêtes serait une source appréciable d'économies. Un tel traitement requêtes pourrait aider l'entreprise à mieux maîtriser ses parcours et donc proposer des contrats et des tarifs plus intéressants à ses clients.

## 6 CONCLUSION

Cet article a présenté une étude visant à améliorer la planification des opérations d'une entreprise œuvrant dans le domaine de la messagerie rapide. Un algorithme à deux phases, une première phase de construction suivie d'une phase d'amélioration basée sur des échanges de type 3-opt, a été conçu afin d'élaborer des tournées de collecte et livraison avec des fenêtres de temps. L'algorithme considère toutes les contraintes réelles du contexte particulier de l'entreprise. Nous avons d'abord utilisé cet algorithme en mode « temps réel », c'est-à-dire en traitant les requêtes en respectant leur date d'arrivée au système, et en considérant seulement celles qui ont été traitées par un même répartiteur. Les résultats expérimentaux nous ont permis de constater l'efficacité des planificateurs dans ces conditions où chaque planificateur gère la partie de la flotte sous sa responsabilité de manière indépendante des autres. Une deuxième expérience nous a permis de constater que, si l'algorithme fonctionne de manière centralisée (c'est-à-dire, en prenant en compte la totalité des requêtes et la totalité de la flotte) la performance de l'algorithme surpasse celle de l'équipe de planificateurs. De plus, la solution algorithmique corrige tous les retards observés en pratique. Enfin, notre étude fournit un aperçu de l'importance de connaître les requêtes à l'avance sur l'efficacité des routes. En effet, le nombre de véhicules nécessaires pour réaliser la journée type étudiée passe de 50 à seulement 34 si la totalité des requêtes avait été connue d'avance. Le potentiel d'un traitement spécifique de l'information connue d'avance nous semble alors incontournable pour une entreprise dont le tiers des requêtes appartiennent à cette catégorie.

## 7 REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier M. Stéphane Boudreau, Directeur général, pour son support durant cette recherche ainsi que pour l'accès aux données de l'entreprise. Cette recherche a été subventionnée par le programme Subvention d'Engagement Partenarial (SEP) du Conseil de recherches en sciences naturelles et génie Canada (CRSNG). Ce support est grandement apprécié.

## 8 REFERENCES

Cordeau J.-F., Laporte G., (2003) A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem. *Transportation Research Part B*, 37, 579-594.

Cordeau, J.-F., Laporte, G., Ropke, S., (2008) Recent models and algorithms for one-to-one pickup and delivery problems. *Vehicle Routing: Latest Advances and Challenges*, B. L., Golden, S. Raghavan and E. A. Wasil (eds), Kluwer, Boston, 327-357, 2008.

Desaulniers G., Desrosiers J., Erdmann A., Solomon M. M., Soumis F., (2002) VRP with pickup and delivery. In *The Vehicle Routing Problem*, P. Toth and D. Vigo (eds), SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, Philadelphia, 225-242.

Terzi, S., Cavalieri, S., (2004) Simulation in the supply chain context: a survey. *Computers in Industry*, 53(1), pp. 3-16.

Häme L., (2011) An adaptive insertion algorithm for the single-vehicle dial-a-ride problem with narrow time windows. *European Journal of Operational Research*, 209, 11-22.

Hernandez-Perez H., Rodriguez-Martin I., (2009) Salazar-Gonzalez J. J., A hybrid GRASP/VND heuristic for the one-commodity pickup-and-delivery traveling salesman problem. *Computers and Operations Research*, 36, 1639-1645

Lin S., (1965), Computer solutions of the traveling salesman problem. *The Bell System Technical Journal*, 2245-2269.

Parragh S. N., Doerner K. F., Hartl R., (2010) Variable neighborhood search for the dial-a-ride problem. *Computers and Operations Research*, 37, 1129-1138.

Renaud J., Boctor F. F., Laporte G., (2002) Perturbation heuristics for the pickup and delivery traveling salesman problem. *Computers and Operations Research*, 29, 1129-1141.

Ropke S., Cordeau J.-F., Laporte G., (2007) Models and a branch-and-cut algorithm for pickup and delivery problems with time windows, *Networks* 49, 258-272.

Subramanian A., Drummond L.M.A., Bentes C., Ochi L. S., Farias R., (2010) A parallel heuristic for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery, *Computers and Operations Research*, 37, 1899-1911.

Shen Y., Potvin J.-Y., Rousseau J.-M., Roy S., (1995), A computer assistant for vehicle dispatching with learning capabilities. *Annals of Operations Research*, 61, 189-211.

Transport Canada, Structure de l'industrie du camionnage, [http://www.tc.gc.ca/fra/politique/rapport-aca-anre2006-7d\\_routier-industrie-fra-294.htm](http://www.tc.gc.ca/fra/politique/rapport-aca-anre2006-7d_routier-industrie-fra-294.htm)

Transport Canada (2009), Les transport au Canada 2009, Addenda. *Ministre des Travaux publics et des Services gouvernementaux, Canada, 2009.*

Wong R. T., (2008) Vehicle routing for small package delivery and pickup services. *Recent models and algorithms for one-to-one pickup and delivery problems. Vehicle Routing: Latest Advances and Challenges*, B. L., Golden, S. Raghavan and E. A. Wasil (eds), Kluwer, Boston, 475-485.

Xiang Z., Chu C., Chen H., (2006), A fast heuristic for solving a large-scale static dial-a-ride problem under complex constraints. *European Journal of Operational Research*, 174, 1117-1139.