

Publié par : Faculté des sciences de l'administration
Published by : Université Laval
Publicación de la : Québec (Québec) Canada G1K 7P4
Tél. Ph. Tel. : (418) 656-3644
Fax : (418) 656-2624

Édition électronique : Céline Frenette
Electronic publishing : Vice-décanat à la recherche et au développement
Edición electrónica : Faculté des sciences de l'administration

Disponible sur Internet : <http://www.fsa.ulaval.ca/rd>
Available on Internet rd@fsa.ulaval.ca
Disponible por Internet :

DOCUMENT DE TRAVAIL 2000-013

LES OPÉRATIONS DE DISTRIBUTION DU COURRIER
GOUVERNEMENTAL

Bogdan Corobléa, Fayez Boctor, Jacques Renaud

Centre de recherche sur les technologies de l'organisation
réseau (CENTOR)

Version originale : ISBN – 2-89524-106-6
Original manuscript : ISBN -
Version original : ISBN -

Série électronique mise à jour : 03-2000
One-line publication updated :
Seria electrónica, puesta al día

Bogdan Corobléa
Purolator Courrier
Fayez F. Boctor
Université Laval, Québec, Canada
Jacques Renaud
Télé-université, Université du Québec, Canada

LES OPÉRATIONS DE DISTRIBUTION DU COURRIER GOUVERNEMENTAL¹

Cet article étudie le problème de collecte et de livraison du courrier des différents organismes du gouvernement situés dans la ville de Québec. Nous avons mis au point des méthodes qui permettent de définir et d'améliorer les circuits existant. Les résultats obtenus montrent que des économies appréciables peuvent être réalisées.

Cet article présente un ensemble de méthodes qui ont été développées pour mettre à jour et optimiser les circuits de distribution du *Service de courrier du gouvernement du Québec* (SCGQ). La mission du SCGQ est d'assurer l'acheminement sécuritaire et à prix compétitif du courrier entre les différents ministères et organismes gouvernementaux. Le SCGQ est un organisme gouvernemental autonome qui doit s'autofinancer à même ses opérations. Toute amélioration dans le rendement des ressources, et particulièrement dans l'utilisation de ses véhicules, permet au Service de réduire ses tarifs et d'augmenter son degré de compétitivité.

La présente étude couvre le territoire de la ville de Québec où le SCGQ dispose d'un centre de traitement. Plusieurs activités ont lieu dans ce centre dont le tri, le pliage, la mise sous enveloppe mécanisée ou manuelle de courrier, l'emballage, le collage, la pose d'étiquettes pour expédition ainsi que diverses activités administratives. Présentement, 40 employés assurent le fonctionnement du Service pour la région métropolitaine de Québec. La flotte compte 15 véhicules de différentes capacités (3 *véhicules 10 roues*, 6 camions de capacité moyenne – *cubes* – et 6 fourgonnettes). À tous les jours, les véhicules doivent visiter les *clients* (ici les ministères et les organismes gouvernementaux) pour faire la collecte et la livraison du courrier. Généralement, les clients sont visités une fois par jour mais quelques clients sont visités deux fois par jour (avant-midi et après-midi). Dès qu'un client est placé sur un circuit, il est avisé de l'heure du passage du camion. La réception et l'envoi du courrier à la même heure chaque jour devient alors une habitude quotidienne. Par conséquent, le Service cherche à minimiser les modifications d'horaire. Toutefois, le Service peut être amené à faire des modifications à ses circuits quand :

- un nouveau client s'ajoute ;
- un client change d'adresse ;
- on cesse de visiter un client.

Le courrier recueilli durant la journée est traité et trié pour être livré le lendemain. Le volume du courrier varie d'un client à l'autre, certains clients font même des envois massifs (une ou plusieurs palettes). On rencontre, parfois, des situations spéciales où un client demande qu'un colis

¹ Cette article a obtenu le prix du meilleure article de la section « gestion des opération et de la production » du congrès ASAC-IFSAM 2000. Nous tenons à remercier le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (OPG 0172633 et OPG 0036509) et le Fonds institutionnel de recherche de la Télé-université pour leur soutien financier à cette recherche. Nous remercions également Messieurs Denis Pruneau et Mario Landry de la Direction du service gouvernemental de courrier pour leur disponibilité et pour avoir rendu accessible les données de leur Service.

soit acheminé dans la même journée (ce courrier est appelé commande sur appel); d'habitude, il s'agit d'envois volumineux. Le Service utilise différents types de circuits :

- les *circuits réguliers* effectuent les visites quotidiennes des ministères et organismes,
- les *circuits flexibles* visitent spécialement les clients dont le volume est très élevé ou qui varie de façon importante, par exemple le ministère du Revenu,
- les *circuits personnalisés* desservent certains ministères ayant des besoins spéciaux ou nécessitant plusieurs visites par jour,
- les *circuits de longue distance* permettent le transfert entre Québec et Montréal.

Dans le cadre de ce projet, nous avons étudié les *circuits réguliers* de courrier afin de pouvoir poser un diagnostic sur l'efficacité de ceux-ci. Les outils créés permettent l'optimisation des circuits actuels mais peuvent également être utilisés pour leur mise à jour dans le cas où un ministère s'ajoute à la liste ou déménage. Les résultats montrent que des économies appréciables pourraient être faites grâce à une meilleure planification des tournées. La suite de cet article est organisée comme suit. Nous effectuons premièrement une revue de la littérature des principaux problèmes de tournées se rapportant à la distribution du courrier gouvernemental. Nous décrivons ensuite les divers algorithmes utilisés pour effectuer cette étude. Des résultats numériques basés sur des données réelles illustrent l'intérêt de l'approche. Nos conclusions vont clore ce document.

Revue de la littérature

Le problème de la distribution du courrier gouvernemental s'apparente à plusieurs problèmes de tournées de véhicules. Lorsque des activités de collecte et de livraison doivent être effectuées simultanément sur un même circuit, des relations de préséance apparaissent alors entre les clients, ce qui impose certaines restrictions à la tournée. C'est le cas sur certains circuits *flexibles* ou *personnalisés*. Ce problème est connu comme étant le *problème du voyageur de commerce avec collecte et livraison de marchandises* – PVCCLM (*pickup and delivery traveling salesman problem*). Savelsberg et Sol (1995) présentent une revue de la littérature sur l'ensemble des problèmes de tournées incluant des relations de préséance entre les clients. Psaraftis (1983) et Savelsbergh (1990) ont étudié l'utilisation d'algorithmes d'amélioration en présence de relations de préséance alors que Renaud, Boctor et Ouenniche (2000) ont proposé un algorithme composite pour résoudre ce problème.

La notion de préséance entre les clients n'est plus pertinente lorsque les tournées partent ou se terminent au centre de traitement où le courrier est trié pour être distribué le lendemain, c'est le cas des circuits *réguliers*. Nous faisons alors face à un *problème de tournées de véhicule standard* – PTV (*vehicle routing problem*). La bibliographie de Laporte et Osman (1995) démontre l'importance des recherches effectuées dans ce domaine. Parmi les algorithmes les plus pratiques et les plus performants, notons les algorithmes de recherche avec tabous de Gendreau, Hertz et Laporte (1994), de Osman (1993) et de Taillard (1993) et les heuristiques basées sur le partitionnement de Renaud, Boctor et Laporte (1996) et Kelly et Xu (1999).

Finalement, l'optimisation individuelle des circuits fait référence au *problème du voyageur de commerce* – PVC (*traveling salesman problem*) qui a également fait l'objet d'intenses recherches (voir le livre de Lawler, Lenstra, Rinnooy Kan et Shmoys, 1985). Plusieurs algorithmes très performants et rapides sont disponibles, notons entre autres Gendreau, Hertz et Laporte (1992), Mak et Morton (1993), Renaud, Boctor et Laporte (1996) et Codenotti, Manzini, Margara, et Resta (1996).

Puisque cette étude s'attarde spécifiquement aux tournées *régulières*, nous n'avons pas à tenir compte de relations de préséance entre les clients. Les différentes méthodes développées se basent donc sur des notions tirées principalement de la littérature sur les problèmes du voyageur de commerce et de tournées de véhicules.

Les méthodes utilisées

Les méthodes utilisées dans le cadre de cette étude cherchent à améliorer les circuits en changeant l'ordre de visite des clients dans un circuit et, éventuellement, en modifiant l'affectation des clients aux circuits. Tous les algorithmes développés utilisent sur une base de données où sont consignées avec précision les distances entre les divers ministères et organismes gouvernementaux. Comme il s'agit ici d'une application réelle sur le réseau routier de la ville de Québec, nous avons dû tenir compte du fait que les distances aller-retour entre deux destinations peuvent parfois être différentes. Cela est particulièrement vrai lorsqu'il faut effectuer un détour pour atteindre l'entrée d'une autoroute où lorsque l'on est en présence de nombreuses routes à sens unique, comme c'est le cas dans le Vieux Québec. La matrice des distances qui a été élaborée est donc asymétrique. Cette matrice peut être mise à jour très rapidement avec un minimum d'opérations.

Afin d'estimer les distances avec le plus de précision possible, nous avons utilisé le logiciel MapInfo et la base de données contenant le réseau routier de la ville de Québec (voir la figure 1). Nous avons placé les divers clients sur la carte numérisée en utilisant les adresses et les codes postaux. Pour déterminer les distances aller-retour entre deux clients, nous avons construit le plus court chemin entre ceux-ci. La figure 1 met en évidence la différence de parcours entre aller du point 6 au point 50 ou, à l'inverse, aller du point 50 au point 6. Sur la figure, le nord est en haut. On constate que pour partir du point 6, un crochet vers le nord est nécessaire. Par contre, l'arrivée vers le point 6 exige un détour vers l'est plus prononcé (la gauche). Dans ce cas, la différence de trajet est imputable à la présence d'une rue à sens unique. Remarquez qu'une fois arrivé sur l'autoroute principale, les deux routes se confondent.

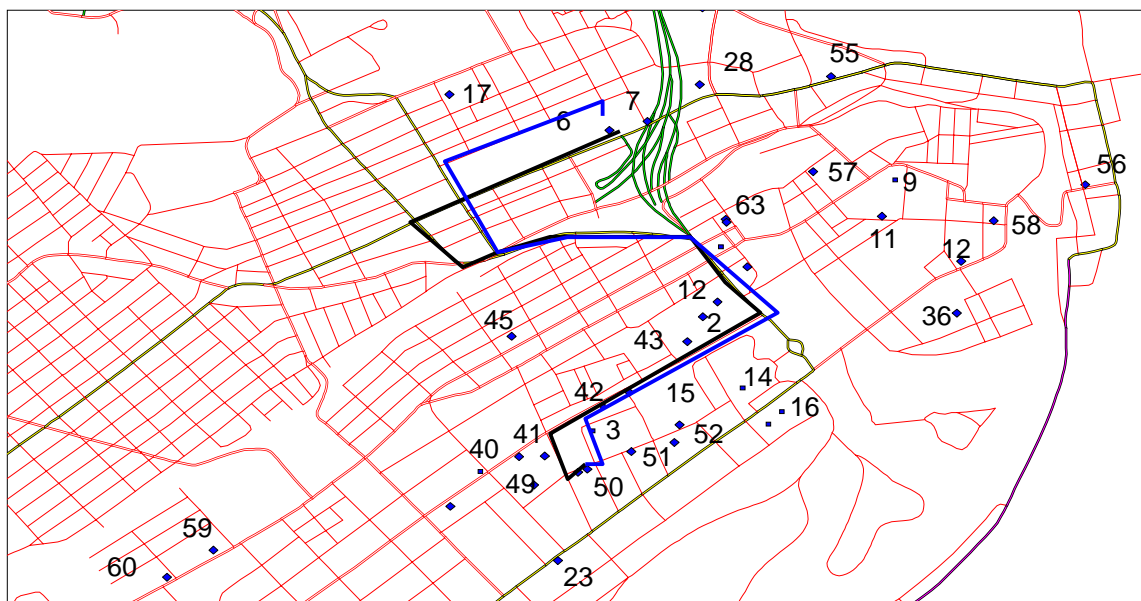


Figure 1. Vue du réseau routier de la colline parlementaire à Québec

L'optimisation de chaque circuit nous ramène au problème du voyageur de commerce pour lequel plusieurs algorithmes sont disponibles. Cependant, tel que mentionné précédemment, nous opérons dans un contexte asymétrique, ce qui demande d'adapter les algorithmes de la littérature. L'optimisation individuelle des routes sera effectuée en adaptant les algorithmes 2-opt (Lin 1965) et Or-opt (Or 1976). L'optimisation inter-circuits repose sur une procédure d'échange de points entre deux circuits. Nous présentons ci-dessous comment ces méthodes ont été adaptées.

Adaptation du 2-opt

Le 2-opt est un des algorithmes les plus connus pour résoudre le problème du voyageur de commerce. Initialement développé par Lin (1965) pour des problèmes symétriques, il est adaptable au cas asymétrique. Soit $G = (S, A)$ un graphe orienté où S représente l'ensemble des sommets et $A = \{(s_i, s_j) : i \neq j, s_i, s_j \in S\}$, l'ensemble des arcs. Une tournée, ou un circuit, sur S correspond alors à un ensemble ordonné de points $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$. Le 2-opt est une approche itérative qui tente d'améliorer une tournée en échangeant deux arcs à chaque itération. Ainsi, à chaque itération l'algorithme considère toutes les paires d'arcs (s_i, s_j) et (s_k, s_l) et vérifie si une réduction de la distance peut être obtenue en les remplaçant par les deux arcs (s_i, s_k) et (s_j, s_l) . L'algorithme continue tant que des améliorations sont possibles. Lorsque les données sont symétriques, le calcul de l'économie est direct et se résume à la différence de longueur entre les arcs éliminés et les arcs les remplaçant, ce qui demande des calculs de l'ordre de $O(n^2)$ à chaque itération. Dans le cas asymétrique, il est nécessaire d'évaluer la tournée dans les deux sens et de retenir la tournée procurant la plus petite distance afin d'évaluer le gain associé à chaque échange, ce qui augmente l'ordre de calcul à $O(n^3)$. La figure 2 résume les échanges d'arcs effectués par le 2-opt.

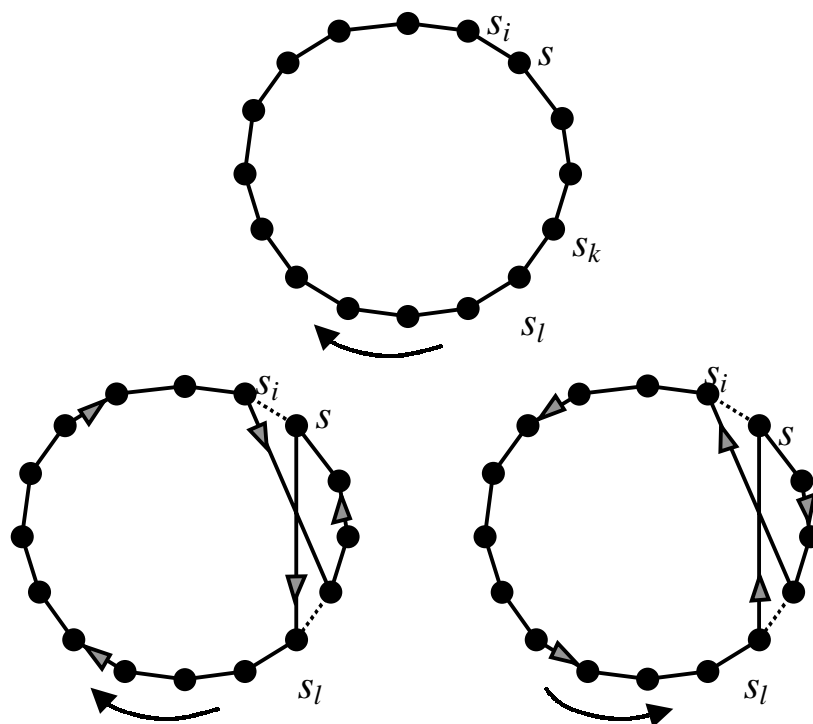


Figure 2. Les échanges du 2-opt

Adaptation du Or-opt

L'extension directe du 2-opt consiste à tenter d'échanger à chaque itération trois paires d'arcs. Malheureusement, le temps de calcul du 3-opt symétrique est $O(n^3)$ et grimperait à $O(n^4)$ dans le cas asymétrique, ce qui le rend inutilisable pour des problèmes de taille réelle. Or (1976) a proposé une adaptation très intéressante du 3-opt qui restreint le nombre potentiel d'échanges du 3-opt original. Pour ce faire, seuls les échanges faisant intervenir un maximum de trois sommets consécutifs sont considérés, ce qui permet de conserver la complexité à $O(n^2)$. Encore une fois, cet algorithme a été adapté afin de tenir compte de l'aspect asymétrique de la matrice des distances, ce qui augmente de nouveau la complexité à $O(n^3)$. L'adaptation du Or-opt fonctionne comme suit :

Étape 1. Considérer une tournée initiale et mettre $t = 1$ et $s = 3$.

Étape 2. Enlever s sommets consécutifs à partir du nœud t et essayer d'insérer ces sommets entre toutes les paires de sommets consécutifs restants dans la tournée en considérant les deux sens possibles d'insertion de la chaîne. Dans les deux cas, la distance de la tournée doit être évaluée dans les deux sens. Si l'échange diminue le coût de la tournée, changer immédiatement la séquence de visite de la tournée, mettre $t=1$ et répéter l'étape 2. Si aucune tentative d'insertion ne diminue le coût de la tournée, mettre $t=t+1$. Si $t = n + 1$ alors passer à l'étape 3, autrement répéter l'étape 2.

Étape 3. Mettre $t = 1$ et $s = s - 1$. Si $s = 0$, alors l'algorithme est terminé, autrement retourner à l'étape 2.

La figure 3 montre comment la tournée est améliorée avec la méthode d'amélioration Or-Opt dans le cas où $s = 3$. Les arcs (s_i, s_j) et (s_k, s_l) , qui sont séparés par trois sommets consécutifs, sont enlevés ainsi qu'un troisième arc (s_m, s_n) . Dans la figure de gauche, les chemins sont connectés d'une telle manière que l'ordre de visite des trois sommets consécutifs considérés est inversé, les arcs ajoutés étant : (s_i, s_l) , (s_j, s_n) et (s_m, s_k) . Dans la figure de droite, l'ordre de visite des sommets consécutifs reste inchangé, les arcs ajoutés étant : (s_i, s_l) , (s_n, s_j) et (s_k, s_m) .

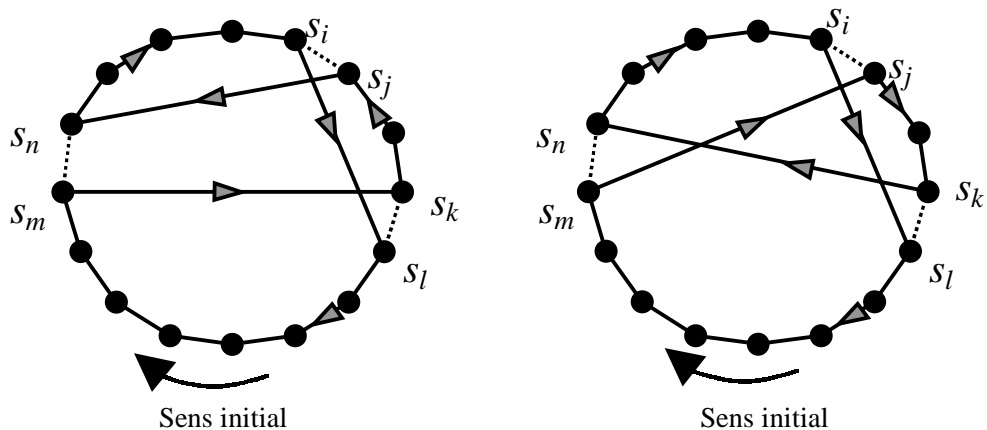


Figure 3. Les échanges du Or-opt

Échanges inter-circuits

Ce type d'échange consiste à déterminer s'il serait plus avantageux de visiter certains clients via d'autres circuits, ce qui revient à modifier l'affectation des clients aux circuits. Lors de l'application de ces échanges, nous devons cependant tenir compte de certaines contraintes opérationnelles pratiques propres au Service gouvernemental de courrier, soit :

- les nombres minimum et maximum de clients sur un circuit – pour éviter la situation où un véhicule doit visiter un nombre trop grand de clients et dépasser les heures régulières de travail;
- l'échange doit être fait seulement entre les circuits de la même demi-journée pour limiter les changements à l'horaire de collecte et de livraison du courrier.

La méthode consiste à commencer par évaluer le déplacement d'un client vers un autre circuit qui respecte les contraintes énumérées. Sur le circuit H_i pour un client s_j , les arcs $\{(s_{j-1}, s_j), (s_j, s_{j+1})\}$ sont enlevés et le circuit est reconnecté avec l'arc (s_{j-1}, s_{j+1}) . Le circuit est ensuite amélioré avec la méthode Or-opt. Le client s_j est alors inséré sur un circuit potentiel H_k . Cette insertion requiert l'ajout de deux nouveaux arcs $\{(s_{k-1}, s_j), (s_j, s_{k+1})\}$ et nécessite l'élimination de l'arc (s_{k-1}, s_{k+1}) . Ce deuxième circuit est également amélioré à l'aide de la méthode Or-opt. Évidemment, toutes les possibilités de points à enlever s_j et de lieux d'insertion possible sont considérées et à chaque itération la combinaison la moins chère est retenue. L'algorithme continue jusqu'à ce qu'aucune amélioration ne soit possible. Les calculs nécessaires sont de l'ordre de $O(n^3)$. La figure 4 illustre le déplacement du point s_j du circuit H_i vers le circuit H_k . Les trois arcs éliminés dans cette opération sont en pointillés.

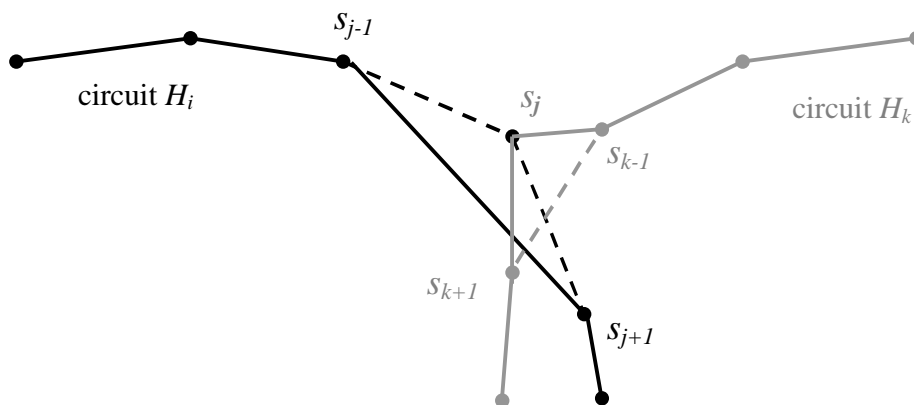


Figure 4. L'amélioration inter-circuits

Résultats numériques

Les méthodes développées ont été appliquées aux tournées régulières du SCGQ, soit 4 circuits en avant-midi et 3 circuits en après-midi. Ces circuits permettent de visiter 79 clients en 65 localisations différentes, certains clients logeant à la même adresse. Les données relatives à ces circuits et aux clients visités ont été soigneusement compilées et validées à l'aide du personnel du SCGQ. Le tableau 1 présente les caractéristiques des tournées actuelles.

Tableau 1. Les caractéristiques des tournées initiales

	Circuit	Nombre de clients	Longueur (km)
Circuits de l'avant-midi	1	14	57,53
	2	9	34,24
	3	9	22,79
	4	13	41,50
Distance totale avant-midi			156,06
Circuits de l'après-midi	1	14	19,63
	2	10	21,16
	3	10	40,63
Distance totale après-midi			81,42
Distance totale de la journée			237,48

Dans un premier temps, nous avons cherché à quantifier les améliorations possibles en optimisant les tournées actuelles sans permettre de modifier l'affectation des clients aux circuits. Le tableau 2 présente les améliorations obtenues sur chacun des circuits en utilisant les méthodes d'amélioration 2-opt et Or-opt. En considérant la meilleure solution obtenue, soit par l'utilisation du 2-opt ou du Or-opt, on constate que l'amélioration des circuits de l'avant-midi varie de 8,85 % à 27,34 % pour une moyenne 15,14 % soit une économie de 23,63 kilomètres. Pour les circuits de l'après-midi, les améliorations varient entre 12,28 % et 26,09 % pour une moyenne de 19,60 % ce qui permet de réduire la distance parcourue de 15,96 kilomètres. Pour l'ensemble des circuits, l'amélioration moyenne globale est de 16,67 % soit 39,59 kilomètres. Les temps de calcul sont en secondes sur un Pentium II 266Mhz avec 64 Meg RAM.

Tableau 2. Amélioration individuelle des routes

	Circuit	Longueur Initiale	Longueur 2-opt	Longueur Or-opt	Meilleure amélioration	Temps (sec)
Circuits de l'avant-midi	1	57,53	52,94	47,56	17,33%	0,11
	2	34,24	32,43	31,21	8,85%	< 0,01
	3	22,79	19,84	16,56	27,34%	< 0,01
	4	41,50	37,21	37,10	10,60%	0,05
Résultats avant-midi		156,06	142,42	132,43	15,14%	0,04
Circuits de l'après-midi	1	19,63	18,71	17,22	12,28%	0,11
	2	21,16	19,26	18,21	13,94%	0,06
	3	40,63	36,68	30,03	26,06%	< 0,01
Résultats après-midi		81,42	74,65	65,46	19,60%	0,06
Résultats de la journée		237,48	217,07	197,89	16,67%	0,05

Le tableau 3 présente les résultats obtenus lorsque nous appliquons la méthode d'échange inter-circuits aux parcours appartenant à la même demi-journée. Ces circuits ont préalablement été améliorés à l'aide de l'heuristique Or-opt. La colonne *Longueur* présente la longueur des circuits résultants, la colonne *Amélioration globale* présente le pourcentage d'amélioration total par rapport

aux routes initiales. Finalement, la colonne *Amélioration inter* montre le pourcentage d'amélioration obtenu par l'optimisation inter-circuits par rapport aux meilleures tournées lorsqu'elles sont améliorées individuellement (tableau 2). On constate que l'application de la procédure d'échange inter-circuits permet une amélioration globale de l'ordre de 20,99 %, soit un gain de plus de 4 % par rapport à une simple amélioration individuelle des tournées. De façon pratique, l'application combinée du Or-opt et de la procédure inter-circuits permet une économie quotidienne de 49,84 kilomètres. Les temps de calculs, bien que non rapportés sur ce tableau, demeurent négligeables, soit une moyenne de 4,39 secondes pour les circuits de l'avant-midi et de 2,15 secondes pour les circuits de l'après-midi. Une présentation plus complète et détaillée des données, des résultats et des circuits peut être trouvée dans Corobléa (1999).

Tableau 3. Amélioration inter-circuits

	Circuit	Longueur initiale	Longueur	Amélioration globale	Amélioration inter
Circuits de l'avant-midi	1	57,53	47,27	17,83%	0,61%
	2	34,24	30,46	11,04%	2,40%
	3	22,79	17,40	23,65%	-5,07%
	4	41,50	30,94	25,45%	16,60%
Résultats avant-midi		156,06	126,07	19,22%	4,80%
Circuits de l'après-midi	1	19,63	17,77	9,48%	-3,19%
	2	21,16	16,65	21,31%	8,57%
	3	40,63	27,15	33,18%	9,59%
Résultats après-midi		81,42	61,57	24,38%	5,94%
Résultats de la journée		237,48	187,64	20,99	5,17%

Conclusion

Dans cet article, nous montrons comment l'adaptation et la coordination de techniques mises au point pour les problèmes de tournées de véhicules classiques permettent de traiter efficacement le problème de distribution du Service de courrier du gouvernement du Québec. L'application combinée de différentes heuristiques permet des réductions de la longueur des circuits de l'ordre de 20,99 % ce qui se traduit par une économie quotidienne de 49,8 kilomètres.

Un tel niveau d'économie peut nécessiter des explications auxquelles on trouve facilement réponse lorsque l'on étudie les pratiques du Service. Au cours des années, le Service a toujours tenté de réduire au strict minimum les modifications de circuits afin de minimiser les impacts sur les heures de collecte et de livraison. Les clients qui déménageaient conservaient leur ordre de visite (ce qui occasionne des distorsions dans la structure des circuits) et les nouveaux clients étaient généralement ajoutés en fin de circuits afin de réduire les impacts sur les clients réguliers. Il en a résulté des circuits relativement longs et inefficaces qui s'étendent sur des régions géographiques assez étendues qui sont même parfois déjà visitées par d'autres véhicules.

L'approche proposée dans cet article permet de réduire considérablement l'inefficacité des circuits actuels du Service. Vue les économies réalisables, une politique de mise à jour des circuits reste à élaborer afin de trouver un compromis acceptable entre des modifications de circuits trop fréquentes (qui entraînent des changements dans les heures de collecte et de livraison du courrier) et

l'efficacité générale des circuits et du Service lui-même. Finalement, les résultats obtenus sur les circuits *réguliers* démontrent l'intérêt d'une telle étude sur les circuits *flexibles et personnalisés* du Service.

Références

- Corobléa, B., "Les opérations de distribution du courrier gouvernemental : analyses et voies d'amélioration". Essai de maîtrise, Faculté des sciences de l'administration, Université Laval, Québec, Canada (1999).
- Codenotti, B., Manzini, G., Margara, L. et Resta, G., "Perturbation: An efficient technique for the solution of very large instances of the Euclidean TSP", *INFORMS Journal on Computing*, 8, 2 (1996), 125-133.
- Gendreau, M., Hertz, A. et Laporte, G., "New insertion and post-optimization procedures for the traveling salesman problem", *Operations Research*, 40 (1992) 1086-1094.
- Gendreau, M., Hertz, A. et Laporte G., "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem", *Management Science*, 40, 10 (1994), 1276-1290.
- Kelly, J. P. et Xu, J., "A set-partitioning-based heuristic for the vehicle routing problem", *INFORMS Journal on Computing*, 11, 2 (1999), 161-172.
- Laporte, G. et Osman I. H., "Routing problems : A bibliography", *Annals of Operations Research*, 61 (1995), 227-262.
- Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A. H. G. et Shmoys, D. B., *The traveling salesman problem. A guided tour of combinatorial optimisation.* John Wiley & Sons, 1985.
- Mak, K.-T. and Morton, A. J., "A modified Lin-Kernighan traveling-salesman heuristic", *Operations Research Letters*, 13 (1993), 127-132.
- Osman I. H., "Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem", *Annals of Operations Research*, 41 (1993), 421-451.
- Psaraftis, H. N., "k-interchange procedures for local search in a precedence-constrained routing problem", *European Journal of Operational Research*, 13 (1983), 391-402.
- Renaud, J., Boctor, F. F. et Laporte, G., "A fast composite heuristic for the symmetric traveling salesman problem", *INFORMS Journal on Computing*, 3, 2 (1996) 134-143.
- Renaud, J., Boctor, F. F. et Laporte, G., "An improved petal heuristic for the vehicle routing problem", *Journal of the Operational Research Society*, 47 (1996), 329-336.
- Renaud, J., Boctor, F. F. et Ouenniche, J., "A heuristic for the pickup and delivery traveling salesman problem", *Computers and Operations Research* (2000), à paraître.
- Savelsbergh, M. W. P., "An efficient implementation of local search algorithms for constrained routing problems", *European Journal of Operational Research*, 47 (1990), 75-85.
- Savelsbergh, M. W. P. et Sol, M., "The general pickup and delivery problem", *Transportation Science*, 29, 1 (1995), 17-29.
- Taillard, É., "Parallel iterative search methods for vehicle routing problems", *Networks*, 23 (1993), 1-13.