



**HAL**  
open science

## **Gestion partagée d'une flotte d'ambulance pour le transport de patients urgents et non-urgents par un service préhospitalier d'urgence**

Yannick Kergosien, Valérie Bélanger, Angel Ruiz

### ► To cite this version:

Yannick Kergosien, Valérie Bélanger, Angel Ruiz. Gestion partagée d'une flotte d'ambulance pour le transport de patients urgents et non-urgents par un service préhospitalier d'urgence. 10ème conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH2020), Oct 2020, Valenciennes, France. <hal-03018391>

**HAL Id: hal-03018391**

**<https://hal.science/hal-03018391v1>**

Submitted on 15 Apr 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# Gestion partagée d'une flotte d'ambulance pour le transport de patients urgents et non-urgents par un service préhospitalier d'urgence

Yannick Kergosien<sup>1</sup>, Valérie Bélanger<sup>2</sup>, Angel Ruiz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université de Tours, CNRS, LIFAT EA 6300, ROOT ERL CNRS 7002, 64 av. Jean Portalis, Tours 37200, France, [yannick.kergosien@univ-tours.fr](mailto:yannick.kergosien@univ-tours.fr)

<sup>2</sup> Département de gestion, HEC Montréal, 3000 chemin de la Côte Sainte-Catherine, Montréal, Québec H3T 2A7, Canada, [valerie.3.belanger@hec.ca](mailto:valerie.3.belanger@hec.ca)

<sup>3</sup> Département d'opérations et systèmes de décision, Université Laval, Québec, Québec G1K 7P4, Canada, [angel.ruiz@fsa.ulaval.ca](mailto:angel.ruiz@fsa.ulaval.ca)

**Résumé.** Les services préhospitaliers d'urgence (SPU) en Amérique du Nord ont pour mission de fournir des soins médicaux urgents à toute personne qui en a besoin et d'assurer leur transport vers un hôpital ou un établissement de soins, si nécessaire. Dans de nombreux cas, les SPU fournissent également des services de transport aux patients qui doivent se rendre d'un hôpital à l'autre, ou entre leur domicile et les établissements médicaux. Étant donné que les deux missions sont effectuées par les mêmes ambulances, on pourrait penser que ces deux missions devraient être gérées ensemble. Cependant, cela implique de résoudre simultanément deux problèmes d'optimisation difficiles et connus dans la communauté Recherche Opérationnelle, un problème de localisation dynamique d'ambulances et une variante du problème de type *dial-a-ride*. En pratique, les organisations SPU divisent souvent leur flotte globale en deux sous-flottes, l'une affectée aux appels d'urgence et l'autre aux demandes de transfert. Cette étude propose une nouvelle stratégie de gestion basée sur la mise en commun partielle des ambulances. Bien que deux flottes soient gérées séparément, la stratégie permet de modifier dynamiquement la taille des deux flottes en considérant qu'un nombre limité d'ambulances peut changer de mission au cours de la journée afin de mieux s'adapter à l'état du système. Cette stratégie offre une intégration incomplète des flottes, mais présente les avantages d'améliorer la performance globale du système et d'être simple à mettre en œuvre dans une organisation type SPU. Des résultats numériques sur des données réalistes ont été menées pour évaluer le potentiel de la stratégie proposée à l'aide d'un outil de simulation d'événements discrets.

**Mots clés :** Ambulance, gestion, simulation, SPU

## Introduction

Les services préhospitalier d'urgence (SPU) en Amérique du Nord sont des unités essentielles des systèmes de santé [Reuter-Oppermann et al., 2017]. Ils sont responsables de la composante en amont des systèmes de santé, qui comprend les soins médicaux et les activités de transport effectués de la réception d'un appel d'urgence jusqu'à la libération ou le transfert du patient à un centre hospitalier. Le temps de réponse, défini comme le temps entre la réception d'un appel et l'arrivée de l'équipe paramédicale sur les lieux de l'incident (généralement la plus proche du lieu), peut influencer de manière importante la santé et le rétablissement du patient. Afin d'assurer un service adéquat à la population, plusieurs décisions doivent être prises au niveau de l'utilisation de la flotte d'ambulances. Les SPU positionnent un certain nombre d'ambulances de façon stratégique sur le territoire à desservir. Un plan de déploiement définit l'ensemble des sites sélectionnés pour la localisation d'une ou de plusieurs ambulances. Les ambulances sont placées en attente, entre deux

affectations, aux différents sites qui constituent le plan de déploiement. Ce problème de déploiement des ambulances consiste donc à sélectionner les postes d'attente à utiliser, peu importe leur nature, parmi un ensemble de sites potentiels puis à déterminer l'allocation des ambulances aux sites sélectionnés de façon à servir la population adéquatement tout en respectant un certain nombre de contraintes. Plusieurs modèles ont été proposés pour résoudre ce type de problème [Gendreau et al., 1997] ou [Bélanger et al., 2019]. Étant donné l'incertitude entourant les appels d'urgence, tant au niveau de l'heure d'arrivée que de leur emplacement, certaines actions correctives peuvent être nécessaires au cours de la journée afin de maintenir ou de retrouver de bonnes couvertures. L'une de ces actions correctives est la relocalisation des ambulances, aussi connue sous le nom de redéploiement. Il existe deux stratégies principales de redéploiement : redéploiement multi période (un nouveau plan est calculé au début de périodes prédéfinies) comme dans [Schmid et Doerner, 2010] ou [Van den Berg et Aardal, 2015] et redéploiement dynamique (un nouveau plan est calculé en fonction niveau actuel de couverture) comme dans [Jagtenberg et al., 2015] ou [Van Barneveld et al., 2015] ou [Bélanger et al., 2016].

Les SPU peuvent également être amenés à assurer régulièrement un autre type de mission, soit celle de répondre aux requêtes de transport entre les hôpitaux et parfois à destination ou en provenance du domicile des patients. Les problèmes de transports de patients non urgents ont déjà été abordés dans la littérature [Von Elmbach et al., 2019]. Ces problèmes appartiennent à la catégorie des problèmes de type dial-a-ride de la littérature des problèmes de tournées de véhicules [Cordeau et Laporte, 2007].

Les deux types requêtes de transport, urgentes et de transfert, peuvent être effectuées par les mêmes équipes et les mêmes ambulances. Plusieurs organisations gèrent ces deux types de demandes de manière indépendante en divisant leur flotte d'ambulances en deux, une flotte dédiée aux requêtes urgentes et une flotte dédiée au transfert. De façon générale, cette solution, qui simplifie la gestion des opérations, peut paraître moins efficace qu'une gestion de flotte intégrée traitant les deux types de requêtes. En pratique, d'autres solutions semblent exister, mais ces dernières ont peu été étudiées dans la littérature [Den Berg et Van Essen, 2019]. Cette étude propose une nouvelle stratégie de gestion basée sur la mise en commun partielle des ambulances. Bien que deux flottes soient gérées séparément, la stratégie permet de modifier dynamiquement la taille des deux flottes en considérant qu'un nombre limité d'ambulances peuvent changer de mission au cours de la journée afin de mieux s'adapter à l'état du système. Cette stratégie offre une intégration incomplète des flottes, mais présente les avantages d'améliorer la performance globale du système et d'être simple à mettre en œuvre dans une organisation type SPU.

## **1 Gestion indépendante de flotte d'ambulance**

Cette section présente synthétiquement une approche de gestion classique consistant à diviser les ambulances en deux flottes séparées sans interaction, une traite des demandes de transfert et l'autre des demandes urgentes. Cette approche est très souvent adoptée dans de nombreux SPU pour des raisons de simplicité de gestion.

### **1.1 Gestion de la flotte traitant les demandes urgentes**

Afin de répondre aux demandes urgentes et d'avoir une couverture adéquate à tout moment, la localisation des ambulances doit être déterminée tout au long de la journée. Dans notre contexte, la localisation des ambulances est calculée à l'aide du modèle BACOP2 (Backup Coverage Model 2) proposé dans [Hogan et Revelle, 1986]. Le modèle repose sur deux niveaux de couverture. Étant donné le nombre d'ambulances à localiser, le modèle vise à maximiser d'abord la somme des zones couvertes une fois en 9 minutes (seuil réglementaire), puis la somme des zones couvertes deux fois en 9 minutes. Afin de distinguer les zones les plus critiques les unes des autres, une somme pondérée est utilisée en fonction des probabilités qu'une nouvelle demande apparaisse dans chaque zone. La solution du modèle BACOP2 indique le nombre

d'ambulances devant être placées à chaque point d'attente en fonction de l'état actuel du système. Les ordres spécifiques indiquant quelle ambulance doit être située à quel point sont déterminés en minimisant la distance totale parcourue. Un redéploiement d'ambulances est calculé et appliqué lorsqu'une ambulance est envoyée pour répondre à une demande d'urgence et si la couverture est trop dégradée. Sinon, aucun redéploiement n'est appliqué afin d'éviter des déplacements inutiles d'ambulances. La couverture est considérée comme trop dégradée lorsqu'une zone n'est pas couverte ou lorsque moins de 50% des zones sont couvertes deux fois. Enfin, lorsqu'une ambulance devient disponible, deux cas sont possibles. Dans le premier cas où au moins une zone n'est pas couverte dans les 9 minutes, l'ambulance est envoyée sur le point d'attente qui maximise le nombre de zones couvertes. Sinon, l'ambulance est envoyée sur le point d'attente qui maximise le nombre de zones couvertes deux fois.

## **1.2 Gestion de la flotte traitant les demandes de transferts**

La gestion de cette flotte consiste à rechercher les itinéraires (séquence de requêtes de transfert à effectuer) de chaque ambulance afin d'exécuter toutes les requêtes de transfert connues. Lorsqu'une nouvelle demande survient, tous les itinéraires sont recalculés à l'aide d'une heuristique en considérant que le détournement d'ambulance est possible (c.-à-d. une ambulance en déplacement vers un lieu peut être détournée vers un autre lieu). L'heuristique est composée de deux étapes. D'abord, toutes les requêtes connues sont triées par ordre croissant d'heure de rendez-vous. Dans un deuxième temps, en suivant l'ordre établi, l'ensemble des ambulances pouvant répondre à la requête dans les temps est déterminé et la requête est attribuée à l'ambulance parmi cet ensemble qui minimise la distance totale parcourue. Si cet ensemble est vide alors l'ambulance qui peut démarrer le transport le plus rapidement possible est envoyée. Lorsqu'une ambulance termine un transport, elle effectue la requête suivante prévue à son itinéraire en se déplaçant vers l'hôpital de départ de la prochaine requête au dernier moment. Cette stratégie permet d'éviter un trajet à vide si une demande de dernière minute apparaît avec comme point de départ l'hôpital où se trouve l'ambulance.

## **2 Gestion partagée d'une flotte d'ambulance**

L'objectif de cette gestion est de disposer d'une stratégie de gestion intégrée, simple et configurable en fonction des politiques et des objectifs (niveau de service à fournir pour les deux types de requêtes) d'un SPU. Après avoir présenté l'idée principale de cette gestion, deux composants clés sont décrits : un tableau de règles de gestion et la méthode de redimensionnement des flottes. Nous notons EF la flotte traitant les requêtes urgentes et TF la flotte traitant les requêtes de transfert.

L'idée générale de cette gestion est d'encore considérer deux flottes distinctes, l'une pour traiter les requêtes urgentes et l'autre pour les requêtes de transfert, de la même manière décrite que pour la gestion précédente. Cependant, bien que leur gestion en temps réel soit séparée, la taille de chacune des flottes est dynamique. Dépendant de la charge de travail et du niveau de performance, les opérateurs des SPU peuvent décider d'un transfert d'une ambulance d'une flotte à une autre. Cette méthode de gestion s'appuie sur deux notions : les conditions qui mène à un changement de la taille des flottes et la manière dont ce changement de taille est géré. Les performances sont mesurées à partir du pourcentage de zone couverte une et deux fois par les ambulances de EF, noté  $\alpha$  (somme pondérée des deux indicateurs), et la somme des retards prévus pour les requêtes de transfert connues et assurées par les ambulances de TF, noté  $\beta$ .

### **2.1 Condition pour changer la taille des flottes**

Les conditions pour changer la taille des flottes reposent sur un tableau de règles de gestion préalablement établie par les gestionnaires du SPU. Ce tableau permet de paramétrer la gestion qu'une SPU souhaite obtenir

et les performances cibles souhaitées. Les colonnes du tableau correspondent à des plages consécutives de performances décroissantes pour EF, tandis que les lignes indiquent les niveaux de performance possibles pour TF. Par conséquent, chaque cellule  $(i, j)$  du tableau peut être vue comme un état du système déterminé à partir des performances pour EF et TF actuels. Chaque état  $(i, j)$  est limité par  $\alpha_i$  à  $\alpha^i$  et  $\beta_j$  à  $\beta^j$ , qui sont les limites de performance inférieure et supérieure pour les flottes EF et TF, respectivement. Par exemple, le premier état du tableau  $(0, 0)$  correspond à la performance cible des deux flottes. Le tableau 1 illustre un tableau de politique générique. Enfin,  $i + j$  définit donc un ordre partiel sur les états de système potentiels. Les états  $(1, 0)$  et  $(0, 1)$  sont ainsi considérés comme équivalents, mais préférables à tout état ayant  $i + j > 1$ .

Nous considérons que l'état du système peut changer selon deux types d'événements : l'arrivée d'une nouvelle requête ou l'achèvement d'une requête en cours. Chaque fois que l'un de ces événements se produit, une réponse à la question d'un éventuel redimensionnement de flotte est proposée conformément à la politique souhaitée et les performances attendues. L'état du système actuel est tout d'abord identifié à partir des performances actuelles de EF et TF. Si cet état n'est pas celui qui est visé, le transfert d'une ambulance d'une flotte à une autre peut être envisagée afin d'atteindre l'état cible ou, au moins, de s'en approcher. À cette fin, il convient d'évaluer avec soin si les avantages pour la flotte recevant une ambulance supplémentaire sont plus importants que la dégradation de la performance de la flotte qui la libère. Cette décision dépend à la fois des performances actuelles mais également de l'amélioration et de la détérioration attendues du redimensionnement. Le tableau de règles de gestion fournit explicitement les compromis que les gestionnaires sont prêts à accepter entre les deux flottes.

	$\beta \leq \beta_0$	$\beta^1 < \beta \leq \beta_1$	...	$\beta^i < \beta \leq \beta_i$	...	$\beta \leq \beta_m$
$\alpha \geq \alpha_0$						
$\alpha^1 > \alpha \geq \alpha_1$						
...						
$\alpha^i > \alpha \geq \alpha_i$			$(i, j-1)$	$(i-1, j)$ $(i, j)$ $(i+1, j)$		$(i, j+1)$
...						
$\alpha \geq \alpha_n$						

**Tableau 1**

Supposons qu'une nouvelle requête arrive ou qu'un transport s'achève, l'état du système  $(i, j)$  est calculé en fonction de  $\alpha$  et  $\beta$ . Si l'état est différent de l'état cible  $(0, 0)$ , le transfert potentiel d'une ambulance de EF à TF et de TF à EF est évalué. Dans les deux cas, l'amélioration de performance de chaque flotte est testée en utilisant les mêmes méthodes présentées dans les sections 1.1 et 1.2. Si cette amélioration ne conduit pas à un meilleur état du système alors aucun redimensionnement sera effectué. Dans le cas contraire, la dégradation de performance de la flotte libérant une ambulance est testée dans les deux cas pour en déduire la contribution nette du transfert. Le redimensionnement générant la plus grande contribution nette positive est effectué. Par exemple, supposons que le système soit à l'état  $(i, j)$  et qu'un transfert de TF vers EF déplace le système vers l'état  $(i', j')$  tel que  $i' < i$  et  $j' \geq j$ . La contribution nette du transfert est simplement calculée comme suit :  $(i - i') + (j - j')$ . Enfin, si les deux cas de redimensionnement génèrent des contributions égales, alors le cas qui se rapproche le plus de l'état cible est mise en œuvre. A noter que si la flotte libérant une ambulance présente déjà son état de performance le plus défavorable (c.-à-d. la dernière ligne ou la dernière colonne du tableau), aucun redimensionnement d'ambulances de ce sens n'est envisagé.

## 2.2 Méthode de redimensionnant des flottes

Une fois le sens du redimensionnement des flottes décidé, il reste à déterminer l'ambulance à transférer et à procéder aux ajustements appropriés sur les deux flottes. Nous notons  $P$  l'ensemble des ambulances autorisées à changer de flotte. Le choix de l'ambulance à transférer dépend donc du sens du redimensionnement à effectuer. Deux cas sont possibles :

- Une ambulance est retirée de la flotte EF pour être ajoutée à la flotte TF. Supposons qu'à cet instant, la flotte EF possède  $n$  ambulances libres et stationnées à des emplacements connus. Si aucune de ces  $n$  ambulances n'appartient à  $P$ , alors le dimensionnement est annulé. Si  $|P|=1$  alors cette ambulance est choisie pour le transfert. Si  $|P|>1$ , un problème de redéploiement d'ambulances est résolu avec  $n-1$  ambulances en utilisant le même modèle BACOP2. Cette résolution permet de connaître quels  $n-1$  emplacements doivent être occupés par une ambulance mais ne permet pas d'indiquer quelle ambulance doit se rendre à chaque emplacement. Pour identifier l'ambulance à libérer, un problème d'affectation est résolu :  $n-1$  ambulances parmi  $n$  doivent être affectées aux  $n-1$  emplacements du nouveau plan de telle sorte que l'ambulance non-affectée soit dans  $P$  et que le coût total de l'affectation (la distance totale parcourue par les ambulances de leur lieu actuel vers leur nouvel emplacement) est minimisée. L'ambulance de  $P$  qui n'est pas affectée à un nouvel emplacement est transférée à TF. Ce nouveau plan de déploiement est ensuite mis en œuvre. Pour prendre en compte la nouvelle ambulance ajoutée à TF, les itinéraires de toutes les ambulances de TF sont recalculés en utilisant la même heuristique détaillée à la section 1.2.
- Une ambulance est retirée de la flotte TF pour être ajoutée à la flotte EF. Supposons qu'à cet instant, la flotte TF possède  $m$  ambulances libres (c.-à-d. sans patient à bord). Si aucune de ces  $m$  ambulances n'appartient à  $P$ , alors le dimensionnement est annulé. Si  $|P|=1$  alors cette ambulance est choisie pour le transfert. Si  $|P|>1$ , l'ensemble des candidats  $P'$  est construit à partir des ambulances de  $P$ . Supposons que la flotte EF possède  $n$  ambulances libres et stationnées à des emplacements connus. Un problème de redéploiement d'ambulance est résolu avec  $n + 1$  ambulances pour trouver un nouveau plan de déploiement avec  $n+1$  emplacements afin de considérer l'intégration d'une nouvelle ambulance. Un nouveau problème d'affectation est résolu avec les  $n$  ambulances plus les ambulances de  $P'$  qui doivent être affectées aux  $n+1$  emplacements avec la contrainte qu'une seule ambulance de  $P'$  ne peut être sélectionnée pour se positionner à un emplacement. Comme dans le cas précédent, le problème d'affectation cherche à minimiser la distance totale parcourue par les ambulances. Enfin, les itinéraires des  $m-1$  ambulances de TF sont recalculés en utilisant la même heuristique.

## 3 Expérimentation

Cette section présente plusieurs expériences numériques comparant les performances de la gestion indépendante présentée dans la section 1 et la gestion partagée de la flotte détaillée dans la section 2. En raison des sources d'incertitude inhérentes à ce contexte, un modèle de simulation à événements discrets est utilisé pour comparer et analyser les différentes stratégies de gestion de flotte. Nous renvoyons le lecteur intéressé à [Kergosien et al., 2015] pour une description détaillée de l'outil de simulation, de sa conception à sa validation. Dans ce modèle, les trois entités principales sont les ambulances, les requêtes d'urgence et les requêtes de transfert. La plupart des événements sont liés aux changements d'état des requêtes et des ambulances. Les variables aléatoires qui modélisent l'incertitude sont : le nombre de requêtes de chaque type, leur arrivée et leur localisation, le temps nécessaire pour prendre en charge ou libérer le patient à l'hôpital ou sur le site de l'urgence. Le modèle de simulation a été implémenté en C ++. Les différentes stratégies de gestion de flotte proposées ont été intégrées au modèle de simulation. Nous avons utilisé le solveur CPLEX pour résoudre le modèle BACOP2 lors du calcul du redéploiement des ambulances.

La génération d'instances est basée sur la carte géographique de Montréal, représentée à la Figure 2, en considérant 440 zones, 10 hôpitaux, 1 dépôt et 38 sites potentiels (le centre-ville se trouve du côté est). Nous avons généré 9 scénarios qui comporte 10 instances aléatoires. Chaque scénario est caractérisé par un nombre de pics (0, 1 ou 2) au niveau des requêtes d'urgence et des requêtes de transfert. Chaque instance correspond à une journée de travail pour laquelle les requêtes sont générées aléatoirement. Les heures des pics sont choisies pour éviter que deux pics surviennent au même moment de la journée. Dans tous les cas, le temps d'intervention sur les lieux en cas de demande d'urgence varie uniformément entre 5 et 10 minutes. La durée de prise en charge du patient à l'hôpital varie entre 10 et 15 minutes. Les requêtes de transfert sont connues entre 30 minutes et 4h à l'avance. Les heures entre les arrivées des requêtes de transfert suivent une distribution de Poisson d'une moyenne de 3 minutes. Les heures entre les arrivées des requêtes d'urgence suivent la même distribution avec une moyenne de 5 minutes. Chaque pic correspond à une diminution de 5% de la moyenne des durées inter-arrivées pendant 1 heure. Une fois qu'une requête d'urgence est générée, elle est associée à une zone spécifique suivant une distribution discrète où la probabilité de sélectionner une zone dépend de son poids démographique. La destination de l'hôpital est choisie au hasard parmi 3 hôpitaux pouvant prendre en charge la requête d'urgence. Pour les requêtes de transfert, le lieu de départ (ou de destination) est déterminé aléatoirement comme un hôpital avec une probabilité de 0,66 (l'hôpital en question étant également sélectionné de manière aléatoire) ou un domicile du patient (avec une probabilité de 0,33). Dans ce dernier cas, les coordonnées spécifiques du domicile du patient sont générées de manière uniforme sur la carte. La flotte est composée de 30 ambulances équitablement réparties entre EF et TF en début de journée et disponibles toute la journée. Nous considérons une journée de 10 heures, mais les résultats rapportés sont calculés en utilisant uniquement les huit heures intermédiaires afin de supprimer les états transitoires correspondant à la première et à la dernière heure de la journée.

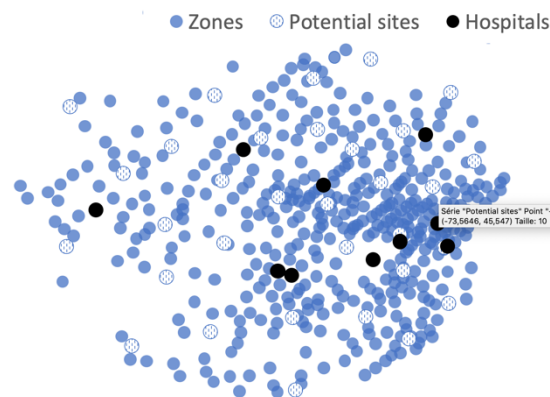


Figure 1

Pour ces expérimentations, le tableau de règles de gestion a été défini avec 4 seuils pour les deux indicateurs de performances :

- TF : Retard total : <5min ; [5min,10min] ; [10min,15min] ; [15min,20min] ; > 20min.
- EF : pourcentage de couverture une fois (1) et deux fois (2) : 100% et > 40% ; 100% et [0%,40%] ; [90%,100%] et -% ; [85%,90%] et -% ; < 85% et -%.

Le tableau 2 présente l'ensemble des résultats obtenus. Chaque ligne représente des moyennes (et écart type) sur les 10 instances de chaque scénario indiqué par les 2 premières colonnes (nombre de pics de chaque type de demandes). La troisième colonne indique la gestion testée (indépendante ou partagée). Les colonnes 4, 5 et 6 concernent les indicateurs de performances de la flotte EF : le nombre de requêtes traitées, le temps réponse moyen en secondes, défini comme le délai entre l'apparition de la requête et l'arrivée de l'ambulance sur le lieu d'accident, et le pourcentage de couverture dans le seuil réglementaire des 9 minutes. Les trois colonnes

suivantes concernent les indicateurs de performances de la flotte TF : le nombre de requêtes traitées, le retard moyen en secondes par rapport à l'heure de rendez-vous au point de départ et le nombre de demandes traitées en retard. Enfin, les deux dernières colonnes concernent les deux flottes d'ambulance en indiquant le pourcentage de trajet à vide en moyenne par ambulance et le nombre de fois où une ambulance a changé de flotte.

Tout d'abord, dans le cas où il n'y a aucun pic de demande, nous pouvons observer que la gestion partagée semble stable, c'est-à-dire qu'il y a peu de changement de flotte. Dans ce cas, les performances sont aussi similaires à une gestion indépendante avec un léger avantage pour la flotte EF. Lorsque des pics apparaissent pour les requêtes de transfert, la gestion partagée pallie à la dégradation des transports de TF au détriment de la flotte EF. A l'inverse lors de pics de requêtes de transferts uniquement, la gestion partagée permet de garder une bonne qualité des temps de réponse de EF au détriment d'une légère dégradation des transports TF. L'intérêt d'une gestion partagée s'observe clairement sur les instances où plusieurs pics demandes apparaissent pour les deux types demandes. Non seulement les indicateurs de performances de la flotte EF sont améliorées par rapport à une gestion indépendante mais les indicateurs de performances de la flotte TF le sont aussi. Enfin, les impacts en termes de déplacement à vide des ambulances restent raisonnables avec une augmentation entre 2% et 5%.

Instance		Type de gestion	Nb de demandes urgentes	Temps moyen de réponse en s.	% de demande ayant un temps de réponse en dessous du seuil	Nb de demandes de transfert	Retard moyen en s.	Nb de demandes en retard	% de trajet à vide en moyenne par ambulance	Nb total de changement de mission (changement de flotte)
Nb Pic Demandes Urgentes	Nb Pic Demandes Transfert									
0	0	Indépendante	95,7 (0,9)	301,9 (11,2)	96,9 (1,6)	136,4 (3,9)	90,8 (29)	8,7 (3,5)	19 (0,7)	0 (0)
0	0	Partagée	95,7 (0,9)	296,8 (10,3)	97 (1,4)	136,4 (3,9)	123,2 (31)	14,4 (3,1)	19,8 (0,7)	1,9 (1,6)
0	1	Indépendante	96,2 (0,8)	306,2 (11,4)	96,8 (2,1)	152,2 (3,6)	752,7 (105,1)	63,8 (7)	20,7 (1)	0 (0)
0	1	Partagée	96,2 (0,8)	310,2 (13,9)	95,5 (1,5)	152,2 (3,6)	484,9 (100)	53,7 (10,6)	21 (1,1)	15,5 (3,6)
0	2	Indépendante	95,9 (0,7)	300,5 (15)	97,3 (1,8)	159,5 (3,4)	805,7 (79,1)	104,3 (8,9)	22,2 (1,1)	0 (0)
0	2	Partagée	95,9 (0,7)	311,3 (14,7)	95,3 (2,7)	159,5 (3,4)	522,8 (56,2)	80,9 (6,8)	22,2 (0,9)	29,1 (5,4)
1	0	Indépendante	106,1 (1,1)	330,3 (13,1)	91,3 (3)	135,6 (3,8)	82 (29,7)	8,7 (3)	20,3 (0,6)	0 (0)
1	0	Partagée	106,1 (1,1)	301 (11,2)	95,4 (2,2)	135,6 (3,8)	182,4 (32,2)	36 (8,2)	21,9 (0,6)	7,2 (4,4)
2	0	Indépendante	115,2 (0,9)	366,5 (26)	86,3 (3,2)	134,7 (4,1)	87,2 (34,6)	8,4 (2,7)	21,1 (0,5)	0 (0)
2	0	Partagée	115,2 (0,9)	314,2 (13,2)	93,6 (2,3)	134,7 (4,1)	194,1 (22,7)	43,6 (7,9)	23 (0,8)	11,6 (6)
1	2	Indépendante	105,2 (0,8)	345,6 (16,4)	90,3 (4,5)	157,6 (4,7)	785,4 (91,8)	102,2 (10,5)	23,6 (0,5)	0 (0)
1	2	Partagée	105,2 (0,8)	340,1 (11,2)	91,4 (2,1)	157,6 (4,7)	562,8 (426,2)	85,6 (20,2)	24,2 (0,8)	33,7 (7,2)
2	1	Indépendante	116 (0,8)	376,5 (25,9)	82,6 (4,8)	153,4 (4,4)	765,1 (135,6)	71,1 (5,2)	23,2 (0,4)	0 (0)
2	1	Partagée	116 (0,8)	334,9 (17,3)	90,4 (3,3)	153,4 (4,4)	409,5 (79,9)	79 (10)	24,4 (0,6)	30,8 (7,9)
1	1	Indépendante	106,4 (0,5)	348,5 (11,9)	89 (1,5)	152 (4,4)	733,5 (94)	66,6 (7,4)	21,7 (0,8)	0 (0)
1	1	Partagée	106,4 (0,5)	312,4 (10,8)	94,6 (1,9)	152 (4,4)	415,8 (95,6)	67,3 (6,6)	22,8 (0,8)	19,3 (6,5)
2	2	Indépendante	115,8 (1)	385,4 (21)	82,7 (3,8)	164,6 (4,8)	828,1 (126,3)	113,8 (9,8)	24 (0,9)	0 (0)
2	2	Partagée	115,8 (1)	340 (20,5)	90,5 (3,9)	164,6 (4,8)	615,3 (336,1)	102,4 (17,7)	25,2 (1)	40,4 (9,2)

Tableau 2

### 3 Conclusion

Les services préhospitaliers d'urgence en Amérique du Nord ont souvent deux missions à assurer. Tout d'abord, ils doivent répondre aux demandes de soins médicaux urgents et assurer leur transport vers un hôpital ou un établissement de soins, si nécessaire. Ils doivent également assurer des services de transports aux patients qui doivent se rendre d'un hôpital à l'autre, ou entre leur domicile et les établissements médicaux. Afin de traiter toutes ces demandes, les SPU ont tendances à diviser leur flotte d'ambulances en deux et de gérer indépendamment ces deux flottes. Nous avons proposé un nouveau modèle de gestion partagée. Cette

stratégie de gestion est basée sur la mise en commun partielle des ambulances. Bien que deux flottes soient également gérées séparément, la stratégie permet de modifier dynamiquement la taille des deux flottes afin de mieux s'adapter à l'état du système. Cette stratégie offre une intégration incomplète des flottes, mais présente les avantages d'améliorer la performance globale du système, d'être simple à mettre en œuvre dans une organisation de type SPU et de pouvoir s'adapter aux politiques et priorités d'un SPU. Des résultats numériques sur des données réalistes ont été menées pour évaluer l'intérêt de cette stratégie de gestion partagée à l'aide d'un outil de simulation à événements discrets. Parmi les perspectives de recherche, nous envisageons d'étudier et de tester cette gestion avec différentes tailles de flotte allant du sureffectif au sous-effectif. Enfin, nous souhaiterions également proposer des modèles de gestions complètement intégrées et plus complexes.

## Références

- Bélanger V., Ruiz A. et Soriano P. (2019). Recent optimization models and trends in location, relocation, and dispatching of emergency medical vehicles. *European Journal of Operational Research*, 272(1), 1-23.
- Bélanger V., Kergosien Y., Ruiz A. et Soriano P. (2016). An empirical comparison of relocation strategies in real-time ambulance fleet management. *Computers & Industrial Engineering*, 94, 216-229.
- Cordeau J. F. et Laporte G. (2007). The dial-a-ride problem: models and algorithms. *Annals of operations research*, 153(1), 29-46.
- Gendreau M., Laporte G. et Semet F. (1997) Solving an ambulance location model by tabu search. *Location Science* 5, 75–88.
- Hogan K. et ReVelle C. (1986). Concepts and applications of backup coverage. *Management science*, 32(11), 1434-1444.
- Jagtenberg C. J., Bhulai S. et Van Der Mei R. D. (2015) An efficient heuristic for real-time ambulance redeployment. *Operations Research for Health Care* 4, 27–35.
- Kergosien Y., Bélanger V., Soriano P., Gendreau M. et Ruiz A. (2015). A generic and flexible simulation-based analysis tool for EMS management. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7299-7316.
- Reuter-Oppermann M., Van Den Berg P.L. et Vile J.L. (2017) Logistics for Emergency Medical Service systems. *Health Systems*, 6, 187–208.
- Schmid V. et Doerner K.F. (2010). Ambulance location and relocation problems with time-dependent travel times. *European Journal of Operational Research* 207, 1293–1303.
- Van Barneveld T.C., Bhulai S. et Van Der Mei R. D. (2015). A dynamic ambulance management model for rural areas. *Health Care Management Science*.
- Van Den Berg P.L. et Aardal K. (2015). Time-dependent MEXCLP with start-up and relocation cost. *European Journal of Operational Research* 242, 383–389.
- Van Den Berg P.V. et Van Essen J.T. (2019). Scheduling non-urgent patient transportation while maximizing emergency coverage. *Transportation Science*, 53(2), 492-509.
- Von Elmbach A.F., Scholl A. et Walter R. (2019). Minimizing the maximal ergonomic burden in intra-hospital patient transportation. *European Journal of Operational Research*, 276(3), 840-854.