

HEC MONTRÉAL

**Analyse et simulation du transport aéromédical :
Le cas de l'EVAQ et des transferts interhospitaliers au Québec**

par

Joëlle Cormier

**Sciences de la gestion
(Option Global Supply Chain Management)**

*Mémoire présenté en vue de l'obtention
du grade de maîtrise ès sciences
(M. Sc.)*

Août 2021
© Joëlle Cormier, 2021

Résumé

L'accès équitable à des soins de santé est primordial pour assurer la pérennité d'une population. Afin de faciliter l'accès aux soins spécialisés, les patients des régions peuvent compter sur un service de transfert interhospitalier. La flotte d'avions présentement utilisée au Québec pour effectuer ces transferts d'urgence devra être remplacée sous peu et plusieurs compromis sont à faire lors du choix d'un nouvel appareil entre la vitesse, la capacité ou l'accessibilité au patient. Le but de ce projet est de développer une méthodologie permettant d'évaluer les différents types d'appareils ainsi que leur impact sur le processus. Le projet est en partenariat avec le programme d'évacuations aéromédicales du Québec (EVAQ) et le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS).

Grâce à une analyse des données réelles et des discussions avec les acteurs, un outil de simulation à événements discrets a été bâti, permettant de modéliser l'ensemble du processus de transfert aérien depuis les régions éloignées vers les grands centres. Ce simulateur a été utilisé afin de comparer différents scénarios en termes de types d'appareils utilisés, d'emplacement des bases de départ ainsi que de variation de la demande. Les résultats nous ont notamment permis de déterminer qu'il est possible de diminuer le temps d'attente du patient avant l'arrivée de l'avion de 30% en révisant le positionnement initial des bases où attendent les appareils. De plus, le scénario offrant le temps de transfert le plus rapide au patient comportait deux avions turbopropulseurs de petite taille. La méthodologie développée dans ce mémoire pourrait être répliquée dans des contextes similaires dans différentes régions du monde afin de servir d'outils d'aide à la décision au niveau stratégique du transport aérien d'urgence.

Mots-clés

Transfert interhospitalier, flotte aéromédicale, transport de patients, simulation à événements discrets, analyse statistique, étude de cas.

Abstract

Equitable access to health care is essential to ensure the sustainability of a population. In order to facilitate access to specialized care, patients in the regions can count on an inter-hospital transfer service. The aircraft fleet currently used in Quebec to carry out these emergency transfers will have to be replaced shortly and several compromises have to be made when choosing a new aircraft between speed, capacity or accessibility to the patient. The goal of this project is to develop a methodology to evaluate the different types of planes and their impact on the process. The project is in partnership with the Quebec aeromedical evacuations program (EVAQ) and the ministry of Health and Social services (MSSS).

With the analysis of real data and discussions with stakeholders, a discrete event simulation tool has been built, making it possible to model the entire air transfer process from remote regions to large centers. This simulator was used to compare different scenarios in terms of types of aircrafts used, location of departure bases and variation in demand. In particular, the results allowed us to determine that it is possible to reduce the patient waiting time before the arrival of a plane by 30% by revising the initial positioning of the bases where the aircrafts wait. In addition, the scenario with the fastest patient transfer time involved two small turboprop airplanes. The methodology developed in this thesis could be replicated in similar contexts in different regions of the world in order to serve as decision support tools at the strategic level of emergency air transport.

Keywords

Inter-hospital transfer, aeromedical fleet, patient transport, discrete event simulation, statistical analysis, case study.

Table des matières

Résumé	i
Abstract	iii
Liste des tableaux	ix
Liste des figures	xi
Liste des abréviations	xiii
Remerciements	xv
Introduction	1
1 Revue de littérature	13
1.1 Les modes de transports	14
1.2 Les critères d'évaluation d'un appareil	16
1.3 L'étude d'une flotte aérienne de transport d'urgence	19
2 Méthodologie	21
2.1 La définition du problème	22
2.2 La collecte de données et conception du modèle	25
2.3 La validation du modèle et conception de scénarios	26
2.4 L'analyse des résultats	27

3	Description du cas de l'EVAQ	29
3.1	Le déroulement du processus	29
3.2	La problématique	34
3.3	Les avions	35
3.4	Les données	39
4	Conception et implémentation du modèle de simulation	45
4.1	Le modèle conceptuel	45
4.1.1	Les entités et les ressources	46
4.1.2	Le processus de transport interhospitalier	48
4.1.3	Arrivée des demandes	50
4.1.4	Première décision : Sélection de l'aéroport demandeur	51
4.1.5	Deuxième décision : Choix de la route de l'avion	52
4.1.6	Fin de la mission	53
4.2	L'implémentation et la validation	55
5	Expérimentations et résultats	63
5.1	Scénarios sur le choix d'appareil et la taille de la flotte	65
5.1.1	Scénario A : Un appareil Moyen	65
5.1.2	Scénario B : Un appareil avion-hélicoptère	66
5.1.3	Scénario C : Deux appareils Petit	67
5.1.4	Discussion des résultats obtenus pour les scénarios A, B et C	68
5.2	Scénarios avec de nouvelles bases	73
5.2.1	Scénario D : Deux Petit avec bases à YVO et YYY	74
5.3	Scénarios avec une demande variable	74
5.3.1	Scénario E et F : Augmentation de la demande de 50% avec Challenger et Moyen	75
5.3.2	Scénario G et H : Réduction de la demande de 30% avec Challenger et Moyen	75
5.3.3	Discussion des résultats obtenus pour les scénarios E, F, G et H	76

5.4 Discussion	78
Conclusion	81
Bibliographie	85
Annexe A – Capture d’écran d’Arena	i

Liste des tableaux

0.1	Les différents types de transfert interhospitalier	3
3.1	Pourcentage de la demande pour l'année 2019 selon la région sociosanitaire .	41
4.1	Caractéristiques de la flotte d'avion de départ, un Challenger 601-3A	56
4.2	Fonctions utilisées pour représenter l'incertitude au sein du modèle	58
4.3	Statistiques sur le nombre de missions	59
4.4	Comparaison des temps totaux entre les données et le résultat du simulateur .	60
5.1	Modifications apportées au modèle de simulation pour chacun des scénarios .	64
5.2	Résultats obtenus pour l'ensemble des scénarios étudiés	70

Liste des figures

0.1	Les 18 régions sociosanitaires du Québec	5
0.2	Les trois principaux éléments à évaluer	9
2.1	Les étapes d'un modèle de simulation (traduction libre, Law, 2015)	23
3.1	Exemple de grille d'évaluation utilisée par l'EVAQ	31
3.2	Représentation du processus de transfert de patients	33
3.3	Distances à parcourir en avion à partir de Montréal pour différentes régions du Québec	37
3.4	Nombre de transferts effectués par avion-hôpital par mois durant l'année 2019	41
3.5	Nombre de demandes de transfert reçues selon les jours de la semaine en 2019	42
3.6	Nombre de patient par type de spécialité pour l'année 2019	42
4.1	Division des différentes zones tel que numéroté pour le projet	47
4.2	Vision macro du modèle	50
4.3	Différents trajets possibles lors de demandes provenant d'une même région .	52
4.4	Processus de décision pour l'ajout d'arrêts en vols dans le modèle de base . .	54
5.1	Appareil avion-hélicoptère	67
5.2	Temps total par niveau de priorité pour les scénarios O et C	73
1	Capture d'écran de la boucle de décision sur Arena	ii

Liste des abréviations

CH	Centre hospitalier
CHSLD	Centre hospitalier de soins longues durées
CHU	Centre hospitalier universitaire
CHUQ	Centre hospitalier universitaire de Québec
CR	Centre de réadaptation
CUSM	Centre universitaire de santé McGill
EVAQ	Évacuations aéromédicales du Québec
FIFO	First In First Out
IFR	Instrument Flight Rules
ISS	Injury Severity Score
IUCPQ	Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
MTQ	Ministère des Transports du Québec
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
RSS	Région sociosanitaire
SAG	Services aériens gouvernementaux
VMC	Visual Meteorological Conditions

Remerciements

Ce projet a pris vie à l'ombre de la pandémie, alors que la solitude était à son comble. Je peux sincèrement affirmer que ce document ne pourrait pas exister sans le précieux soutien de ces personnes :

À Valérie, qui a su m'écouter, me faire confiance quand je doutais et répondre à toutes mes questions, ta présence précieuse a fait toute la différence

À Marie-Ève qui m'a montré la voie, pour qui l'excellence est une constance et non une option et qui a su faire ressortir le meilleur de mes capacités

C'est un plaisir de continuer cette aventure avec vous.

À mes parents, qui m'ont transmis leur amour des études

À mon arrière-grand-mère Marguerite, qui me dit toujours que je suis bien « sma't »

À Gabriel, qui a pris soin de moi quand j'étais trop absorbée par mon projet et qui m'a encouragé les journées où je procrastinais

À mon entourage, qui m'a demandé des mises à jour sur mon projet, même ceux qui ne comprennent toujours pas ce que je fais, et à tous ceux qui n'ont jamais douté une seule seconde de mon succès

Merci !

Un merci spécial aux équipes de l'EVAQ et du MSSS, tout particulièrement au Dr Louis-Philippe Pelletier pour sa confiance et à Sylvie Côté pour son temps précieux.

Merci à IVADO, le CIRRELT ainsi que la Fondation Madeli-Aide pour le financement du projet.

Introduction

L'accès à des soins de santé appropriés est primordial pour assurer la prospérité d'une population. Il a été démontré que les familles tendent à attendre et se prévaloir de soins curatifs plutôt que préventifs lorsque l'accès aux médecins est limité (Shannon, G. W., Bashshur, R. L., Metzner, 1969), créant ainsi des problèmes de santé plus grands sur le long terme. Les écarts dans la spécialisation des soins offerts se sont davantage creusés dans les dernières années. Par exemple, aux États-Unis, la crise financière a affecté les centres ruraux, dont la distance avec les grands centres est trop grande pour permettre un transport terrestre efficace (Gunes et Szechtman, 2005). Le Québec ne fait pas exception : les centres spécialisés sont concentrés à Montréal et à Québec, laissant de nombreux patients des régions à des centaines de kilomètres des soins appropriés les plus près. Pour pallier ces écarts, il existe différentes solutions, dont l'envoi de spécialistes et de machines onéreuses en région de façon ponctuelle. Il n'est par contre pas toujours possible de déplacer tout l'équipement et les travailleurs d'une salle d'opération en obstétrique, par exemple. C'est donc la patiente qui sera transférée dans un grand centre pour aller accoucher en toute sécurité entourée d'une équipe spécialisée. La situation impose aux équipes de soins et de coordination de devoir gérer des transports qui présentent beaucoup d'incertitude, tant au niveau de la demande que des ressources disponibles (Aboueljinane et collab., 2013). C'est ce qu'on appelle les transferts interhospitaliers, une méthode utilisée depuis plusieurs décennies pour offrir des soins de santé de qualité à l'ensemble de la population du Québec (CHU de Québec, 2016).

Les transferts interhospitaliers

Par définition, un transfert hospitalier implique le déplacement d'un patient entre deux établissements de santé. Le déplacement se fait généralement d'un centre hospitalier (CH) à un autre, mais il peut s'agir aussi d'un centre d'hébergement et de soins longue durée (CHSLD) ou d'un centre de réadaptation (CR).

Le motif du transfert peut varier entre une consultation, un examen ou un traitement, et implique que l'établissement où le patient est inscrit, qualifié ici de demandeur, n'est pas en mesure de lui offrir les soins et services dont il a besoin. Il doit donc être référé à un second établissement, appelé le receveur. Un autre motif acceptable de transfert est la fin des traitements offerts à un patient, qui est par la suite transféré dans un établissement d'hébergement ou de réadaptation.

Avant d'effectuer un transfert, les patients sont évalués selon plusieurs critères qui permettent de déterminer le type de transfert approprié à leur condition et leurs besoins. L'un des critères primordiaux est la stabilité du patient (CHU de Québec, 2016). Il existe différentes grilles d'évaluations accessibles permettant de faire une évaluation de l'état du patient et de son risque de détérioration durant le transport, ce qui permet par la suite de déterminer si la présence de personnel médical est nécessaire. Par exemple, dans le cas de la femme enceinte en travail actif sur le point d'accoucher, la présence d'un médecin est importante, mais pour un transfert préventif de grossesse où le travail n'a pas commencé, il serait possible de faire le transfert avec une infirmière uniquement (CHU de Québec, 2016).

Un second élément à évaluer lors de la planification d'un transfert est la distance et l'accessibilité des centres demandeurs et receveur. En effet, pour un transfert entre deux établissements de la même région, le transport terrestre sera privilégié, car il est plus rapide sur de courtes distances, moins coûteux et il nécessite moins de manipulations et d'ajustements pour le patient (Brändström et collab., 2014). Cependant, plusieurs régions ne peuvent pas être desservies par la route. Chaque territoire a ses propres critères en termes de distance maximale qu'il est raisonnable de franchir par la route avant de passer

	Transfert intrarégional – Majoritairement terrestre	Transfert interrégional – Majoritairement aérien
Patient stable – Transfert planifié; équipe médicale absente ou réduite	Transport organisé terrestre (p. ex. : entre un CH et CHSLD à la fin d'un traitement)	Navette aérienne (p. ex. : Entre deux CH pour un examen de suivi ou une chirurgie mineure planifiée)
Patient instable – Transfert d'urgence; équipe médicale présente	Ambulance d'urgence (p. ex. : entre un CHSLD et CH, car un patient a besoin de soins non offerts dans son établissement)	Avion-hôpital ou hélicoptère (p. ex. : entre deux CH suite à une crise cardiaque, car l'hôpital demandeur n'a pas de cardiologue sur place)

Tableau 0.1 – Les différents types de transfert interhospitalier

au transfert aérien, mais tous doivent considérer le transport aérien passé un certain seuil, car celui-ci est beaucoup plus rapide sur de longues distances, malgré ces coûts élevés (Brändström et collab., 2014). Cela permettra d'évacuer un patient sur des distances de plusieurs centaines de kilomètres en quelques heures plutôt qu'en une journée, ou plus. Le transfert aérien est également la seule option possible lorsque la région de l'hôpital demandeur n'est pas reliée par la route aux grands centres, comme le cas du Nunavik, par exemple. Les différents types de transferts interhospitaliers selon la distance à parcourir et l'état du patient sont présentés au tableau 0.1.

Les transferts entre deux établissements au sein d'une même région vont généralement être effectués par la route. Si la demande est urgente, que le patient est instable et doit être vu par un médecin rapidement, une ambulance sera envoyée d'urgence pour transporter le patient en utilisant les sirènes et gyrophares. S'il s'agit d'un déplacement planifié pour changer un patient stable d'établissement, un petit autobus navette peut être utilisé si le patient peut marcher, sinon une ambulance sera planifiée pour transporter le patient alité. Les transports entre différentes régions dont la distance est plus importante sont davantage effectués par les airs. Dans la même logique, si le patient est stable et doit se déplacer pour un rendez-vous par exemple, il pourra être transporté dans une navette aérienne, soit un avion avec plusieurs sièges assis pour des patients. Cela implique que le patient est suffisamment en forme pour embarquer dans l'avion par lui-même et qu'il ne risque pas

d'avoir besoin d'autres soins durant le transport que ceux que peut prodiguer l'infirmière présente durant le vol. Finalement, les patients instables seront transférés en hélicoptère, ou en avion-hôpital si la distance est trop grande pour un hélicoptère. Dans les deux cas, le patient est embarqué par civière et est accompagné tout le long du vol par une équipe médicale comprenant minimalement un médecin et une infirmière.

Il existe également un autre type de transport non représenté dans le tableau, soit les avions-ambulances. Similaire à l'avion-hôpital, la différence est dans l'accompagnement médical au sein du vol. Un avion-ambulance aura à bord des premiers répondants ou une infirmière, prêts de faire certaines interventions à bord au besoin, mais pas de médecin. Ce type de transport permet de transporter des patients dont l'état médical se situe quelque part entre la navette aérienne et l'avion-hôpital, soit des patients nécessitant de l'attention médicale constante, mais sans risque de détérioration durant le vol.

Le portrait du transfert interhospitalier aérien au Québec

Les transports interhospitaliers aériens au Québec sont gérés par le programme Évacuations aéromédicales du Québec (EVAQ) depuis 1981 (CHU de Québec, 2016). Il s'agit d'un programme financé par le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) du Québec, avec le soutien du ministère du Transport du Québec (MTQ). Le programme offrait alors uniquement le service d'avion-ambulance, qui a été transformé en service d'avion-hôpital par la suite. En 2001, l'offre a été bonifiée par l'instauration d'un service de navette multipatient depuis les régions du Québec vers les grands centres pour des suivis, opérations mineures et autres (CHU de Québec, 2016). La flotte d'avions a connu plusieurs changements à travers les années suivant la durée de vie des appareils et les changements de la demande et de l'offre de service. La mission de l'EVAQ est cependant toujours restée la même, soit de permettre à toute la population du Québec d'avoir accès à des soins de santé de qualité, spécialisés ou surspécialisés, et ce peu importe leur région de domicile (CHU de Québec, 2019).

L'EVAQ gère ainsi trois volets : les transferts urgents sur l'avion-hôpital, les transferts

planifiés sur les navettes multipatients, ainsi que la centrale de coordination responsable de traiter toutes les demandes. Pour répondre à la demande, le programme possède un total de quatre avions, permettant ainsi d’avoir toujours deux avions disponibles et deux avions en maintenance, réparation ou autres opérations qui sont fréquentes avec ces appareils. De cette façon, l’EVAQ arrive à couvrir l’ensemble des 18 régions sociosanitaires (RSS) du Québec présentées à la figure 0.1, 24h par jour, 365 jours par année.

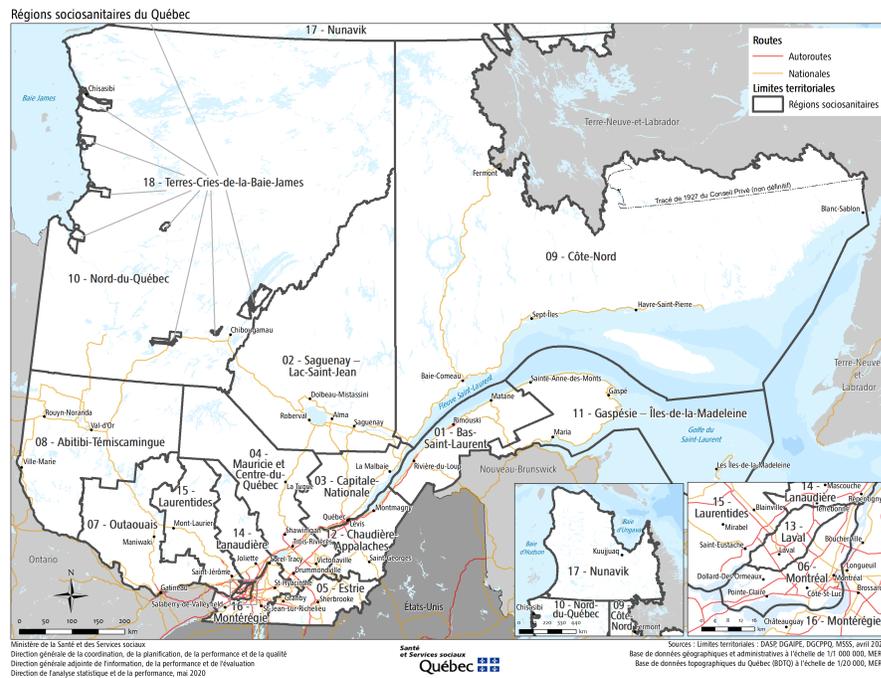


FIGURE 0.1 – Les 18 régions sociosanitaires du Québec

Au total, ce sont 2 125 transferts par avion-hôpital et 5 075 transferts sur la navette multipatients qui ont été effectués du 1er avril 2018 au 31 mars 2019 (CHU de Québec, 2019). Les deux types de transport ont des procédés logistiques bien différents. La navette multipatients permet de transporter plusieurs patients selon un horaire préétabli et se divise en deux trajets : une navette de l’est et une navette de l’ouest. Cinq fois par semaine, la navette suit son trajet vers l’est ou l’ouest et arrête aux aéroports désignés à l’avance pour prendre les patients dont une place a été réservée jusqu’à plusieurs semaines à l’avance par leur hôpital demandeur. La réservation de places pour les patients se fait

du côté de l'hôpital qui fait la demande de transfert en suivant l'horaire fixé, minimisant ainsi l'implication de l'EVAQ dans la planification de chaque patient.

Du côté de avion-hôpital, bien que les 2 125 transferts en 2018-2019 ne représentent que 29,5% de la demande, la planification de ces transports représente une portion importante du travail effectué à l'EVAQ. Pour chaque patient transféré, le médecin du patient doit faire une demande directement à la centrale de coordination. Les demandes sont ensuite analysées et triées par une infirmière afin de planifier chacun des vols de transferts. Cette étape comporte plusieurs défis au niveau logistique : les demandes doivent être ordonnées par priorité, certains patients sont groupés dans un même vol selon leur emplacement, les transferts doivent être répondus rapidement, mais respecter les horaires des pilotes et du personnel, etc. C'est précisément sur les transferts par avion-hôpital que se concentre ce projet. Bien que la demande entre 2008 et 2018 soit demeurée plutôt stable, ne diminuant jamais plus bas que 1 731 transferts annuellement, on note une augmentation de la demande d'environ 14% par année d'avril 2018 à mars 2020.

Les patients transférés par avion-hôpital présentent différentes spécialités médicales, la plus en demande étant la cardiologie, affectant plus de 32 % des patients transférés au Québec en 2019. Dans la même logique, l'âge des patients transférés est également marqué par une tendance pour les patients âgés de 60 ans et plus, qui représentent plus de 37 % des usagers. La traumatologie et la pédiatrie sont également parmi les spécialités pour lesquelles les transferts sont les plus fréquents. Notons qu'environ 18 % des patients ont moins de 20 ans, dont un important 7,6 % chez les moins de 1 an. La néonatalité représente un défi de taille au niveau de la logistique, car la prise en charge diffère de celle d'un adulte. Pour réduire les risques du bébé, l'avion doit être équipé d'une isolette de transport ainsi qu'une équipe de soins spécialisée en néonatalogie composée d'une infirmière et une inhalothérapeute. La presque totalité des transferts d'enfants se fait avec un parent accompagnateur depuis la modification des procédures en juillet 2018 (CHU de Québec, 2019).

Une autre donnée essentielle au portrait des transferts par avion-hôpital est le nombre de patients par mission. Une mission correspond à un vol partant de l'aéroport de Qué-

bec, où l'avion est en stationnée en permanence, vers une ou des régions éloignées pour aller chercher un ou des patients, les acheminer à leur hôpital receveur et finalement retourner à Québec. L'avion débute et termine donc sa mission vide, mais peut accueillir jusqu'à quatre patients en même temps à l'aide de ses trois civières et de l'isolette pour bébés. Il n'est donc pas rare que lors d'une mission l'avion-hôpital accueille plusieurs patients d'une même région ou même que l'avion fasse plusieurs arrêts pour embarquer de nouveaux patients, si le temps et la condition des patients le permettent. La décision est prise par l'infirmière à la centrale de coordination, qui évalue les différentes possibilités pour transférer les patients le plus rapidement et efficacement possible. L'infirmière peut compter sur le soutien d'un médecin de garde qui évalue si l'état des patients permettra les différents arrêts, changements de pressions et autres, ainsi que de l'aide de pilotes qui valident le trajet selon la météo en cours et le poids permis à bord de l'appareil. On peut ainsi noter que lors de l'année 2018-2019, les 2 125 patients ont été transférés sur 1 378 missions distinctes. Cela signifie que 40% des missions effectuées comptaient plus d'un patient à bord, dont 29% à deux patients, 10% à trois patients, et le pourcentage restant à quatre patients (CHU de Québec, 2019). Les missions avec plusieurs patients deviennent de plus en plus fréquentes avec les années, l'équipe de coordination devenant plus performante dans sa capacité à gérer la logistique des vols.

Enfin, les patients proviennent des différentes régions à travers le Québec, particulièrement de celles étant distancées de Québec et Montréal, les deux grandes villes receveuses de l'EVAQ. En 2018-2019, 57% des patients étaient transférés vers Québec, majoritairement au CHU de Québec (CHUQ), et 43% vers Montréal, répartis à travers les grands hôpitaux de la ville, dont le Centre universitaire de santé McGill (CUSM), l'Institut universitaire de cardiologie et de pneumologie de Québec (IUCPQ), l'Hôpital du Sacré-Cœur de Montréal, ainsi que le CHU Sainte-Justine. L'hôpital de destination dépend majoritairement de la région d'origine de la demande, l'objectif étant de transférer les patients à l'hôpital spécialisé le plus près.

Les défis logistiques

Les transports par avion-hôpital se font présentement à l'aide de deux jets Challenger de Bombardier, soit un Challenger 601-3R et un Challenger 601-3A (CHU de Québec, 2016), jadis jets d'affaires, qui ont été convertis et réaménagés pour accueillir des patients et du personnel médical. Acquis en 2012, ces appareils coûtent de plus en plus cher à entretenir afin de demeurer conformes aux règles. Le MSSS et les Services aériens gouvernementaux (SAG) ont entamé une démarche afin de remplacer ces appareils. Cette démarche crée en elle-même beaucoup de questionnements pour les équipes du MSSS, de l'EVAQ et du SAG. En effet, l'achat de nouveaux appareils ouvre la porte à de nombreuses possibilités, puisque les nouveaux appareils n'ont pas à être du même modèle que ceux présentement utilisés et ils auraient d'ailleurs avantage à être choisis en fonction de leur capacité à répondre à la demande de la population québécoise.

Il n'est toutefois pas aisé de déterminer le meilleur type d'appareil afin de répondre à la demande. Dans un monde idéal, l'appareil choisi serait le plus vite, le plus grand et celui ayant la plus grande accessibilité aux patients. Néanmoins, il est impossible de concilier ces trois objectifs, il s'agit donc de trouver le bon équilibre entre eux selon les besoins réels de la population desservie. Les trois principaux critères et contraintes associés à évaluer sont présentés à la figure 0.2.

D'une part, la rapidité est un facteur clé, car plus l'avion se déplace rapidement vers le patient, puis vers l'établissement receveur, plus vite le patient peut être traité par des spécialistes. La taille de l'appareil est aussi importante, car elle détermine la capacité de celui-ci. La demande par avion-hôpital est en hausse au Québec, il n'est donc pas rare de recevoir une deuxième demande d'une même région alors que l'avion est déjà en vol. Avoir la capacité d'accueillir plusieurs patients est alors extrêmement bénéfique pour le temps de réponse, car on évite un aller-retour de plus. Un plus grand appareil permet également d'avoir davantage de matériel médical spécialisé à bord, tel l'isolette pour bébé. L'avion est donc toujours prêt peu importe le type d'intervention nécessaire et n'a pas à retourner à Québec aller chercher l'isolette, par exemple, si une demande en néonatalogie

survient alors que l'avion est déjà en vol. De nombreux appareils sont à la fois rapides et suffisamment grands pour accueillir plusieurs patients, mais ceux-ci n'offrent alors pas la troisième composante : l'accessibilité. Dans ce contexte, l'accessibilité se définit comme la capacité de l'avion à se rendre le plus près possible de l'hôpital demandeur et donc du patient. Dans la majorité des régions du Québec, les aéroports disponibles ont des pistes d'une longueur qui ne permet pas l'atterrissage de tous les appareils. Les avions capables d'atterrir sur une plus petite longueur de piste sont généralement aussi plus petits et moins rapides, d'où la nécessité d'un compromis entre ces facteurs. Un gros avion rapide qui ne peut pas atterrir près du patient et nécessite un plus long transport terrestre ne sera peut-être pas la façon la plus rapide d'amener le patient à des soins spécialisés.

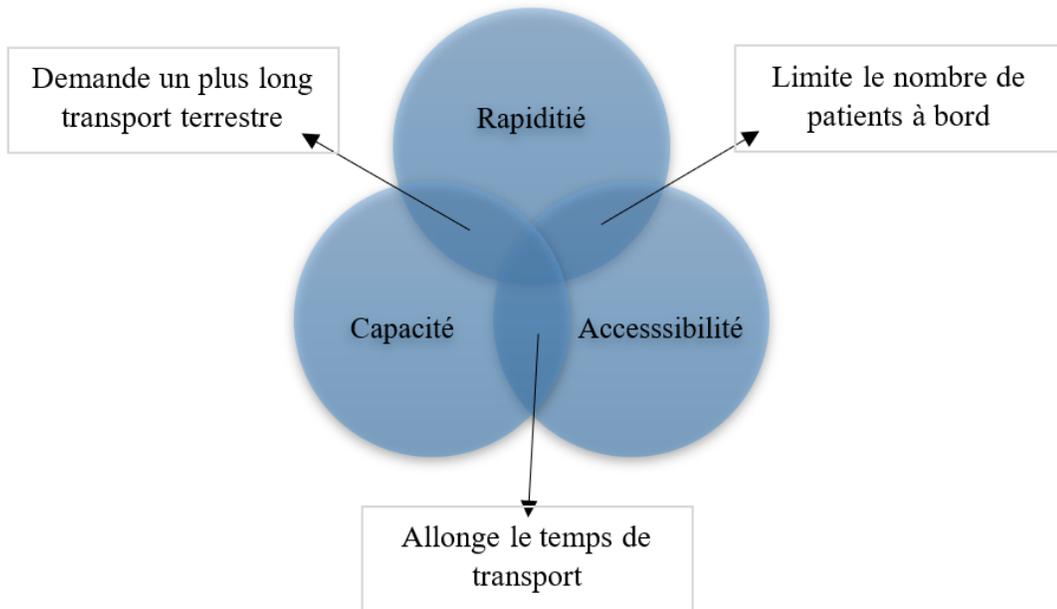


FIGURE 0.2 – Les trois principaux éléments à évaluer

Le compromis entre la rapidité, l'accessibilité et la capacité mènera donc à des décisions différentes selon le contexte étudié. Il est important de noter que le coût n'est pas compris dans les éléments à évaluer, car il n'en a pas été fait mention lors des rencontres avec les acteurs du milieu. Celui-ci est cependant lié aux indicateurs identifiés, la règle générale étant plus l'avion est grand et rapide, plus dispendieux il est. Un appel d'offres

sera formulé à partir des critères établis, et le budget associé sera décidé plus tard dans le projet.

Description du projet de recherche et organisation du mémoire

L'objectif de ce projet consiste donc à évaluer les différentes flottes, soit le type et nombre d'appareils, qui permettraient de répondre adéquatement à la demande afin de déterminer celles qui offriraient le meilleur service dans un contexte de transfert interhospitalier aérien au Québec. Il est effectué en collaboration avec le programme d'évacuations aéromédicales du Québec (EVAQ) ainsi que le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS). D'un point de vue méthodologique, ce projet repose sur des entrevues avec les acteurs du milieu et des visites d'observation, suivi d'une analyse statistique des données et de la conception d'un outil simulation. Une méthodologie en 10 étapes similaire à celle proposée par Law (2015) a été suivie. Les premières étapes incluent la définition du problème et des paramètres de base et la collecte de donnée, ce qui a été fait lors des rencontres planifiées. La simulation permet quant à elle de créer un cadre, suffisamment proche de la réalité, pour tester les différents avions, puisqu'il n'est évidemment pas possible d'acquérir les avions et de faire de vrais tests pour en évaluer les performances. La conception du modèle de simulation, la validation du modèle et la conception de scénarios ont été faites à l'aide du logiciel de simulation Arena. Finalement, l'analyse des résultats est présentée à la fin de ce document. L'ensemble de ces étapes sont discutées en détail dans le chapitre décrivant la méthodologie.

Ce projet apportera une contribution tant scientifique que pratique. D'un point de vue scientifique, l'apport de ce mémoire se situe dans le développement d'un outil qui permet d'évaluer les différentes options d'avions dans un contexte de transfert de patient. L'évaluation est basée sur l'analyse de différents paramètres qui entrent en conflit lors de la prise de décision tout en incluant les sources d'incertitudes. Cet outil est mis en pratique

dans le contexte du Québec, bien qu'il pourrait être adapté à d'autres réalités. D'un point de vue pratique, le mémoire permettra de discuter des compromis à faire en fonction des caractéristiques précises du Québec et ainsi offrir des pistes de réflexion sur les types d'appareils qui pourraient le mieux répondre à la demande de transferts d'urgence aériens au Québec. Les résultats seront diffusés aux partenaires, soit l'EVAQ et le MSSS, afin de soutenir la prise de décision.

La prochaine section présente la revue de littérature, en se penchant sur les différents modes de transport et leur utilisation pour les transports d'urgence. Elle aborde également les caractéristiques pertinentes à évaluer lors du choix d'un avion à des fins médicales ainsi qu'une revue des articles étudiant la logistique des transports d'urgence sous différentes méthodologies.

Le deuxième chapitre détaille la méthodologie utilisée dans le projet. Le troisième chapitre présente l'étude de cas, suivi du chapitre détaillant le modèle de simulation, les paramètres et les scénarios. Les résultats obtenus ainsi que leur interprétation sont discutés dans le chapitre 5. Finalement, les conclusions du projet ainsi que des avenues futures de recherche sur le sujet sont discutées à la fin du document.

Chapitre 1

Revue de littérature

La recherche sur les transferts aériens et médicaux a été considérée sous différents angles par le passé. Depuis le premier test d'avion-ambulance en 1910, qui s'est malheureusement terminé en écrasement, c'est finalement la Deuxième Guerre mondiale qui a démontré l'utilité des évacuations aériennes pour les blessés (Vanderburg, 2003). Le processus de planification d'évacuations militaires diffère cependant des transferts civils. Lors de la prise de décision dans l'armée, la chaîne de décision est claire, le mode de transport est connu et le centre receveur est généralement le même, soit le centre de soin dédié pour les soldats, ignorant ainsi plusieurs éléments essentiels à la prise de décision pour les transferts civils (Vanderburg, 2003). Il y a cependant plusieurs éléments pertinents dans les transferts aériens militaires en temps de paix (transport de militaires stationnés, mais qui ne sont pas blessés par les combats) qui peuvent être transposés dans les transferts civils, la demande y étant similaire. Les principaux motifs de transfert aériens dans les deux contextes touchent l'obstétrique, la cardiologie et la traumatologie (Jernigan, 2003). Les deux contextes d'évacuations se retrouvent également face à la même problématique : une capacité limitée à offrir des soins à leurs patients qui les poussent à transférer ceux-ci vers des hôpitaux de référence tertiaires (Jernigan, 2003). Bien que les transferts militaires constituent l'origine des transferts de patients et qu'ils partagent plusieurs similitudes, la littérature s'est davantage penchée sur les nombreux enjeux lors de transferts civils qui

représentent aujourd'hui une grande proportion des transferts aéromédicaux.

Pour couvrir les avancées depuis ce premier vol qui s'est mal terminé, vers sa vocation militaire, jusqu'aux nombreux vols civils aujourd'hui, de nombreux chercheurs ont contribué à la littérature. Les principaux sujets revus dans ce chapitre sont les modes de transports, les critères de comparaison des types d'appareils et leur impact sur les transferts, ainsi qu'un tour d'horizon des différents projets de recherche étudiant la logistique des transports d'urgence afin de démontrer l'apport unique de ce projet.

1.1 Les modes de transports

Avant même de se pencher vers le transport aérien uniquement, plusieurs recherches se sont intéressées sur les avantages du transport par la route, par hélicoptère et par avion ((Brändström et collab., 2014); (Norum et Elsbak, 2011); (Delorenzo et collab., 2017)). Brändström et collab. (2014) ont évalué les trois modes de transport en comparant des données réelles de transports d'urgence en Suède et en analysant les coûts d'opération. Cela leur a permis de bâtir un modèle analysant à la fois l'efficacité de l'appareil selon la distance, ainsi que l'impact de l'utilisation sur les coûts. Les résultats obtenus indiquent que le transport par la route est la méthode la plus rapide sur de courtes distances de moins de 250 km, alors que les hélicoptères sont les plus efficaces sur des distances allant jusqu'à 400 à 500 km. Finalement les avions sont la méthode la plus rapide pour les distances de plus de 500 km. D'un point de vue du coût cependant, les hélicoptères demeurent toujours les plus chères, alors que les avions deviennent une solution rentable à partir de 300 km de distance parcourue. Cette division des appareils selon la distance à parcourir diffère selon les articles consultés. Sethi et Subramanian (2014) recommandent l'hélicoptère pour les trajets de plus de 80 km et l'avion pour tout transport au-delà de 240 km, soit la moitié de la distance recommandée par Norum et Elsbak (2011). À la lecture de ces articles, il apparaît que même si l'objectif est le même, soit minimiser le temps de transport, plusieurs facteurs tels que le modèle de l'appareil, le type de terrain et l'emplacement des zones d'atterrissages et de décollages peuvent influencer les recommandations sur le type

de transport à utiliser. Ces recommandations sont donc à considérer avec prudence.

Toujours dans l'analyse des modes de transport, Norum et Elsbak (2011) se sont penché sur l'utilisation d'appareils à ailes fixes (avions) et à rotor (hélicoptères) en Norvège suite à l'achat de nouveaux appareils. Selon les auteurs, les deux types d'appareils sont complémentaires. Les transports médicaux représentent un défi de taille en coût et planification pour ce pays dont la population est séparée par de grandes distances à travers le territoire. Les avions permettent d'aller jusqu'à 2,5 fois plus vite que les hélicoptères, mais nécessitent un transport terrestre pour connecter les deux hôpitaux. Les observations mesurées incluaient le type de vol, la distance, la fréquence et les patients transportés. L'analyse des données a permis de faire ressortir que la demande était plus importante l'été, durant les mois de juillet et août. Une variation dans le nombre de vols était également présente à l'intérieur d'un cycle de 24h, ce qui est dû à l'augmentation du risque lors des vols de nuit. La Norvège est reconnue pour son climat nordique, avec un hiver froid, enneigé et touché par de nombreuses tempêtes, alors que les hélicoptères sont reconnus pour être mal adaptés lorsque la météo est mauvaise. Suivant cette logique, il a été observé que les hélicoptères étaient disponibles pour des vols seulement 40% du temps entre les mois de novembre et mars, diminuant de beaucoup l'offre de service durant les mois d'hiver. Les auteurs ont également étudié les flottes présentes en Islande, en Écosse et en Suède, afin de comparer le ratio entre la population et le nombre de missions effectuées. Les écarts notés ont été justifiés par les différences au niveau de la répartition sur le territoire géographique, les conditions météorologiques plus clémentes et la qualité des routes terrestres, tous des éléments à considérer lors de l'analyse de la performance.

En Australie, Delorenzo et collab. (2017) ont étudié le transport de patients par avion afin d'avoir un portrait global du service et de l'impact sur le transport terrestre. Une des motivations des auteurs était de combler un manque dans la littérature qui est portée davantage sur les appareils à rotors qu'aux appareils à ailes fixes, et ce à l'international. Les auteurs ont effectué une analyse statistique sur les vols dans la région de Victoria sur une période de quatre ans, afin d'en développer une meilleure compréhension. Ces connaissances permettent de planifier des changements au protocole, aux ressources disponibles

ou à la flotte utilisée.

En conclusion, le choix entre le transport terrestre ou différentes alternatives aériennes n'est pas une décision qui doit être prise à la légère, car au-delà du coût, cette décision a un impact important sur le temps de transport, ce qui ultimement influence le traitement du patient. La littérature présente cependant un manque au niveau de la comparaison de différents appareils du même type (à rotor, à ailes fixes ou terrestres). Ce projet se penchera plus spécifiquement sur l'étude des transports par avion, ainsi que la relation entre les transports terrestres et aériens lorsque les deux doivent être utilisés pour effectuer un transfert.

1.2 Les critères d'évaluation d'un appareil

En théorie, n'importe quel avion suffisamment grand pour accueillir des passagers pourrait être utilisé pour des transferts aéromédicaux (Jernigan, 2003). Pour obtenir des vols efficaces, adaptés à la situation, plusieurs éléments sont à considérer dans le choix d'un appareil. Le médecin John G. Jernigan, anciennement chirurgien en chef au sein de l'armée de l'air des États-Unis a rédigé un chapitre entier dédié aux caractéristiques des avions dans un contexte de transport médical dans un guide sur le sujet des évacuations aéromédicales.

Les éléments à prendre en compte lors du choix d'un avion peuvent être regroupés en trois catégories : les caractéristiques de l'avion, du patient, et logistique (Jernigan, 2003). Du côté de l'appareil, il est important de considérer des éléments comme l'espace dans la cabine et la porte d'entrée pour les patients, qui doivent être suffisamment grands pour faciliter l'accès et les déplacements. La gestion de la température, du bruit et de l'éclairage sont également des éléments qui peuvent sembler triviaux, mais qui peuvent être de grande importance lors d'intervention d'urgence en plein vol. Pour les soins patients, les appareils évalués se doivent d'être adéquatement pressurisés pour le transport afin d'éviter les risques de décompression des patients. De plus, ces avions sont généralement équipés de nombreux appareils médicaux nécessitant une grande capacité électrique de l'appareil,

de même qu'un espace dédié au transport d'oxygène pour les patients. Finalement, les caractéristiques logistiques incluent le nombre de patients à transporter, la distance à parcourir, la présence ou non d'arrêts supplémentaires en route, ainsi que les dimensions des pistes d'atterrissages et de décollage qui sont utilisées (Jernigan, 2003).

Les caractéristiques logistiques impliquent de nombreuses décisions qui peuvent influencer de façon importante la performance de l'avion dépendamment des conditions dans lesquelles l'appareil est utilisé. Le nombre de patients, par exemple, influence grandement le nombre de vols à effectuer si l'avion ne possède pas assez de places et doit faire plusieurs allers-retours. Il est important d'étudier la demande afin de choisir un nombre de places assises et allées qui permet d'y répondre adéquatement. Une autre façon de préciser le choix de l'appareil est par la distance et la portée de celui-ci, soit la distance que l'appareil peut couvrir avant de s'arrêter faire un plein d'essence. En général, les avions sont utilisés pour une distance supérieure à 483 km et tous les modèles généralement utilisés pour les transferts aériens permettent de parcourir au minimum 1 609 km. Le principal élément à évaluer avant de prendre une décision est donc la distance moyenne à parcourir, mais également la présence de points de ravitaillement aux différents arrêts sur la route qui permettront de mettre de l'essence dans l'avion. Si ces points d'accès ne sont pas disponibles, la portée de l'avion avec un seul plein d'essence devra être plus grande pour permettre à l'avion de revenir à son point d'origine. Une autre considération importante lors de l'évaluation des points d'arrêts est la présence d'équipement médical en cas de bris ou de changement météorologique qui empêcherait l'appareil de décoller.

Finalement, l'élément qui a le plus d'impact sur le déroulement d'une mission est la longueur de la piste de décollage/atterrissage, ainsi que son revêtement. En effet, chaque avion possède ses spécifications sur la longueur de piste minimum pour permettre un atterrissage. Lors d'un transfert entre deux villes urbaines cela n'est pas un problème, car les pistes sont suffisamment longues pour tous les types d'appareils, mais si un arrêt en région est prévu, il est possible que l'avion soit simplement trop grand pour la piste, empêchant l'appareil de se poser. Le même enjeu survient si la piste est en gravier, mais que l'avion est uniquement équipé pour un atterrissage sur asphalte. Il devient alors impos-

sible d'effectuer la mission de transfert. Bien qu'il s'agisse d'un élément fréquemment négligé par les équipes médicales lors de la prise de décision, cette caractéristique est primordiale lors de déplacements dans des régions éloignées (Jernigan, 2003).

Plusieurs éléments génèrent également de la variabilité dans la performance de l'avion, et ce peu importe le modèle choisi. L'un des facteurs inévitables est la noirceur. En effet, les risques associés aux transferts aériens de nuit sont élevés, particulièrement en hiver quand la noirceur surgit tôt en soirée (Norum et Elsbak, 2011). Il est donc préférable d'effectuer des vols en pleine clarté, bien que cela ne soit pas toujours possible selon la demande.

Un autre facteur impossible à contrôler est la météo. Les appareils qui sont certifiés pour les règles de vol aux instruments (instrument flight rules, IFR) sont bien mieux équipés pour voler dans diverses conditions météorologiques que ceux utilisant les règles de vols à vue (visual flight rules, VFR) (Jernigan, 2003). Ces premiers utilisent des appareils certifiés qui incluent des instruments de pilotage à utiliser lorsque la météo n'est pas bonne et donc que les conditions météorologiques de vols à vue (visual meteorological conditions, VMC) ne sont pas possibles. Ces conditions incluent la valeur minimale de visibilité et de distance aux nuages et sont définies par l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI). De plus, certaines pistes d'atterrissage ne permettent pas l'atterrissage à vue, rendant obligatoire la présence d'instruments. Avec ou sans les instruments, certaines conditions météorologiques ne permettent tout simplement pas de voler, peu importe le type d'appareil et son équipement.

Finalement, bien que les avantages et désavantages de chaque type d'appareil soient bien documentés dans la littérature, une fois cette décision prise, il reste de nombreuses caractéristiques à étudier pour choisir le bon modèle qui répond à la demande et au caractère unique du territoire à desservir. Les critères établis par la littérature seront jumelés aux connaissances des acteurs du milieu afin de définir les appareils les plus appropriés à évaluer avec le simulateur.

1.3 L'étude d'une flotte aérienne de transport d'urgence

L'ensemble des articles présentés jusqu'à maintenant partageaient la même méthodologie, soit l'analyse de données historiques par diverses analyses statistiques pour dresser un portrait des transports médicaux. D'autres méthodes, basées sur la simulation et l'optimisation, ont aussi été utilisées pour faire de la planification de transports d'urgence. Notamment, Aboueljinane et collab. (2013) ont publié une revue de littérature sur les projets ayant appliqué la simulation aux opérations des services médicaux d'urgence. Les auteurs ont ainsi répertorié une soixantaine d'articles qui ont utilisé la simulation pour traiter des problèmes de déploiement de ressources, de planification d'horaires de travaux ou de planification des ressources. Selon la définition utilisée par les auteurs pour définir les services médicaux d'urgence, les opérations de ceux-ci incluent la centrale de coordination qui reçoit la demande (généralement par appel) ainsi que l'ensemble du processus qui vise à offrir des soins préhospitaliers aux patients. Cet article fait état d'une littérature riche en lien avec les services préhospitaliers d'urgence (ou le transport d'urgence terrestre). Néanmoins, il y a de nombreuses distinctions avec la logistique d'une flotte aérienne, comme par exemple l'impact du trafic qui est différent, la flexibilité accrue des routes aériennes, ou l'accessibilité réduite selon les caractéristiques de la piste d'atterrissage. D'où tout l'intérêt de développer des modèles de simulation propres aux particularités de l'aérien, puisque les articles de la littérature ne couvraient pas spécifiquement les enjeux de ce type de type de flotte.

Un article publié par Chen et Zhao (2014) rapportait être la première étude à se pencher sur un problème de planification d'une flotte aérienne pour du transfert interhospitalier. Cette étude a fait l'utilisation de la simulation pour évaluer la performance de différentes tailles de flotte aérienne. Le logiciel ProcessModel a été utilisé pour effectuer la simulation. Le processus étudié était basé sur les données d'un cas dans une communauté du sud-est de l'Ontario. L'objectif était de déterminer le nombre d'appareils qu'il serait nécessaire d'acquérir pour effectuer l'ensemble des transports interhospitaliers avec une flotte dédiée tout en assurant un service de qualité. Le modèle comprenait des hypo-

thèses afin de simplifier le modèle tout en représentant fidèlement la réalité présente en Ontario. Notamment, l'ensemble des appareils transportaient uniquement un seul patient à la fois et étaient tous considérés comme des cas non urgents. La totalité de la demande pour une journée est connue au début de celle-ci permettant de prévoir les déplacements à l'avance et les patients sont traités en FIFO (First in, first out). Les résultats de la simulation permettent de comparer la performance des différentes tailles de flottes aériennes et de prendre des décisions quant à l'achat d'appareils pour le long terme.

En conclusion, la littérature couvre amplement les avantages et désavantages des différents modes de transports entre eux, dictant ainsi des règles générales qui peuvent être appliquées pour choisir entre un mode terrestre ou aérien. Il reste cependant des questionnements au niveau du choix d'appareils adaptés spécifiquement au territoire et à la demande, laissant un manque dans la littérature. Cette réalité est particulièrement vraie lors de la comparaison d'appareils aériens uniquement, puisque ceux-ci doivent être comparés selon des paramètres qui sont souvent négligés, tels que la longueur de pistes d'atterrissage et de décollage. La méthodologie, bien que similaire dans l'application à d'autres projets, met en lumière tous les éléments permettant d'évaluer la performance d'un avion par rapport à un autre dans un environnement donné en incluant les sources d'incertitudes propres au transport aérien. Notre méthodologie inclut également des paramètres qui ne sont pas considérés généralement considérés dans la littérature, soit le transport de plusieurs patients provenant de différents établissements au sein d'une même mission et une prise de décision basée sur le niveau de priorité plutôt qu'une politique FIFO. Le projet permet donc de contribuer à la littérature sur le sujet et de bâtir une méthode permettant de faire des recommandations concrètes sur le choix du modèle d'appareils aériens sur différents territoires spécifiques.

Chapitre 2

Méthodologie

Le problème de décision étudié est celui d'un changement de flotte aérienne. Pour mener à bien le projet, une modélisation du processus d'évacuation est nécessaire. Bien que le projet s'intéresse à une décision stratégique, il faut modéliser les décisions tactiques et opérationnelles faisant partie du processus, par exemple quel patient aller chercher où et quand, afin d'en mesurer l'impact.

La simulation est un outil largement utilisé en recherche opérationnelle pour évaluer différents scénarios et ainsi identifier des changements et améliorations possibles au sein d'un modèle défini (Aboueljinane et collab., 2013). L'utilisation de la simulation pour résoudre des enjeux du secteur de la santé est par ailleurs en hausse (Brailsford et collab., 2009). Les objectifs des projets de recherche en transport d'urgence utilisant la simulation sont variés, puisque celle-ci permet de reproduire un éventail de scénarios présentant différentes sources d'incertitudes, tout en permettant un haut degré de précision (Aboueljinane et collab., 2013). La simulation permet également d'inclure les spécialistes et les gestionnaires impliqués dans le processus au développement du modèle et d'une meilleure compréhension des enjeux présents et des compromis possibles entre les différents paramètres étudiés (Katsaliaki et Mustafee, 2011). Dans les projets de logistique humanitaire, la simulation à événements discrets est l'une des techniques les plus utilisées, mais le sujet des évacuations et du transport de victimes demeure à étudier (Yale et collab., 2018).

Il est également possible de travailler avec un logiciel de simulation qui comporte différents modules préprogrammés. De nombreuses compagnies ont développé des produits similaires, mais le logiciel de simulation à événements discrets Arena est selon une étude de Katsaliaki et Mustafee (2011) le plus populaire.

Une tendance qui gagne en popularité dans la littérature est celle de l'utilisation de données réelles comme intrants au sein du modèle de simulation (Aboueljinane et collab., 2013). Cette méthode permet de mieux représenter la corrélation complexe qui relie les principaux paramètres de la demande, soit le moment de la demande, l'origine de la demande et le niveau de priorité. Elle demande cependant une grande quantité de données historiques fournies par l'unité de coordination (Aboueljinane et collab., 2013).

Pour toutes ces raisons, ce projet s'intéresse au développement d'un modèle de simulation s'intéressant aux logiques du transport aérien d'urgence. Concrètement, la méthode utilisée pour structurer la démarche de création d'un simulateur tel que suggéré par Law (2015) comporte 10 étapes, présentées à la figure 2.1. Ces étapes seront appliquées dans le contexte du processus de transport aéromédical afin de guider la prise de décision concernant la flotte d'avions. Ces décisions sont complexes et la simulation à événements discrets permettra de formuler des recommandations aux partenaires du projet, soit le MSSS et l'EVAQ.

Dans le cadre de ce projet, les étapes 1 à 3 ont été accomplies par l'entremise de diverses entrevues avec des acteurs du milieu et l'analyse statistique des données collectées. Les étapes 4 à 10 ont nécessité l'utilisation d'un logiciel de simulation (Arena), afin de bâtir, valider, puis étudier les résultats afin d'élaborer des recommandations pour le MSSS. Les étapes d'élaboration et de validation du modèle de simulation sont décrites plus en détail dans ce qui suit.

2.1 La définition du problème

La première étape est de formuler la problématique. En effet, avant d'entamer la conception du modèle de simulation ou même la collecte de données, de nombreuses

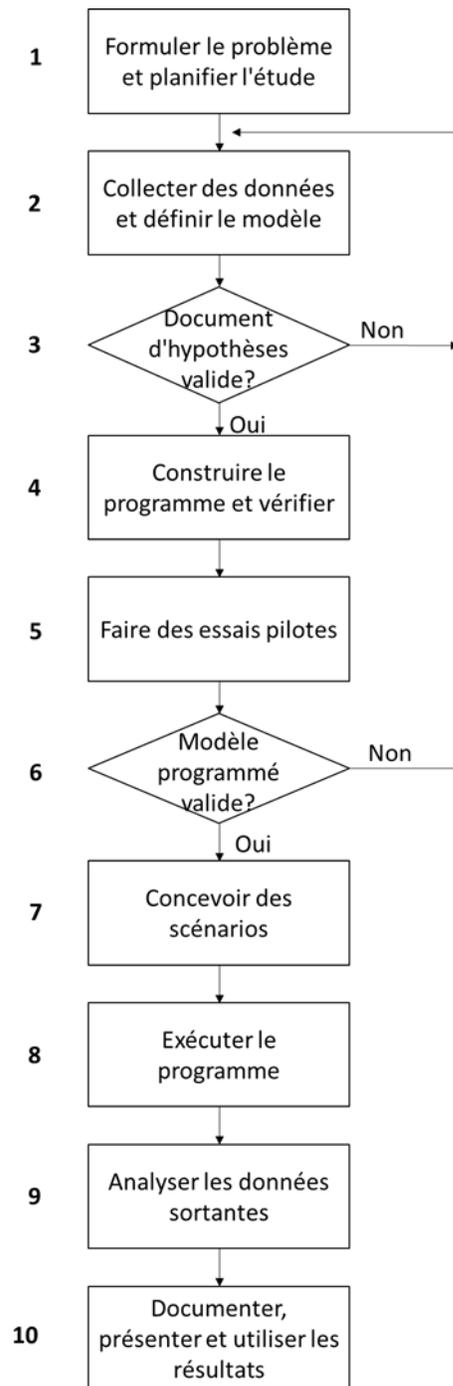


FIGURE 2.1 – Les étapes d’un modèle de simulation (traduction libre, Law, 2015)

discussions et rencontres ont été organisées afin de définir la problématique à étudier.

Les rencontres qui ont débuté au cours de l'été 2019 visaient à mieux comprendre le fonctionnement du programme d'Évacuations aéromédicales du Québec (EVAQ). Une discussion téléphonique a ainsi été organisée avec la cheffe du programme à l'EVAQ, afin d'avoir un portrait global des opérations à la centrale. Un second entretien a été organisé avec la Coordonnatrice des services hospitaliers du CIUSSS des Îles-de-la-Madeleine afin d'obtenir plus de détails sur les étapes du processus du point de vue de l'hôpital demandeur et du patient au tout début du processus. Finalement, un entretien téléphonique avec un consultant pour les soins préhospitaliers au sein du MSSSS a permis de discuter des projets en cours avec l'EVAQ et des possibilités de cas d'études.

Au cours des années 2020 et 2021, plusieurs autres rencontres ont été planifiées avec divers employés du programme d'évacuation aéromédicales du Québec (EVAQ), soit la coordonnatrice des services, les infirmières et les médecins qui font les missions de transferts, ainsi que des employés du MSSS et du SAG. L'objectif de ces rencontres était de joindre l'ensemble des parties concernées pour discuter des paramètres impactant la performance d'une mission et ainsi établir les paramètres à étudier lors du choix d'un appareil.

Une visite a également été organisée lors de l'été 2020 afin d'accéder aux différentes données présentes dans les serveurs de l'EVAQ et discuter du processus de décision avec les intervenants de la centrale de L'EVAQ. Les procédures lors de la priorisation des patients ne suivent pas un protocole écrit et dépendent de nombreux facteurs, il était donc nécessaire de discuter avec les acteurs du processus afin de bien en saisir la teneur. Plusieurs modèles de cartographies ont été tracés avant d'en arriver à une compréhension suffisamment claire et juste du processus pour permettre l'utilisation de la simulation.

Au total, une douzaine d'entretiens ont eu lieu, permettant de préciser le processus d'évacuations, avec chacune de ses étapes, ainsi que la logique de décision lorsque plusieurs demandes doivent être traitées en même temps. Suivant ces discussions, une liste d'hypothèses a été rédigée et est présentée au chapitre 4.

2.2 La collecte de données et conception du modèle

La seconde étape du processus de simulation selon Law (2015) est la collecte de données et la conception du modèle. Tôt dans le projet, il a été évident que pour rendre les recommandations réalistes et pertinentes, une collaboration rapprochée avec les équipes de l'EVAQ et du MSSS serait nécessaire pour accéder à des données fiables et pour valider le modèle. Cette étape est non seulement essentielle, mais a également été le plus gros défi du projet de cette recherche. La pandémie de COVID-19 a réduit les accès aux centres de santé ainsi qu'à ces ressources humaines qui se sont retrouvés débordés, rendant difficile, voire impossible de planifier des visites ou des rencontres avec les personnes concernées. Nous nous sommes ajusté avec l'aide de rencontres virtuelles et d'une courte visite sur place permettant d'extraire les données indispensables au projet. Ainsi, la collecte d'information a pris plus de temps que prévu et les rencontres ont été minimisées, mais par des estimations fournies par des spécialistes et les données déjà amassées par l'EVAQ, il a été possible de pallier à l'impossibilité d'aller sur le terrain prendre nos propres mesures.

Les premières données essentielles au projet concernent la demande pour les transferts, plus précisément le nombre de demandes, la provenance, le niveau de priorité et la destination. L'ensemble de ces données ont pu être récupérées au sein du système de dossier de l'EVAQ qui conserve une trace électronique de chacune des demandes de transfert effectuées par un médecin, ainsi que du plan de vol associé. Les données complètes de l'année 2019 ont ainsi été extraites de différents rapports et rassemblées dans un document. Il s'agissait, au moment de l'extraction, de l'année complète la plus récente et permettait ainsi d'analyser une année dite « normale », avant les variations causées par la pandémie. Une analyse statistique de ces données a permis une meilleure compréhension du processus et de définir les intrants du simulateur.

Afin de bien définir les paramètres de l'outil de simulation, des données additionnelles ont été transmises par l'EVAQ, soit les aéroports utilisés pour le transport de patient, les caractéristiques des pistes (longueur, largeur, surface), la distance entre les hôpitaux et les aéroports les plus près, les temps de vols entre les aéroports selon l'avion utilisé, etc.

Finalement, les Services aériens gouvernementaux (SAG) ont fourni une liste d'avions pertinents à étudier selon leur expertise, avec les spécifications pour ceux-ci.

La troisième étape consiste à faire une modélisation à partir des hypothèses et des informations récoltées. Cette étape permet de vérifier que toute l'information nécessaire pour le simulateur est disponible. De plus, en mettant le tout sur papier dans un format facile à comprendre, il est plus facile de discuter avec les acteurs du milieu afin de faire une première validation du modèle.

La quatrième étape de la création d'un outil de simulation selon Law (2015) est la construction du modèle. Pour ce projet, c'est le programme de simulation Arena qui a été choisi. Il permet de modéliser réalistiquement tout type de chaîne logistique afin d'analyser l'impact de changements ou de variations dans celle-ci. La simulation se divise traditionnellement en deux catégories : à évènements discrets et continue. En comparaison à la simulation continue où les changements s'effectuent constamment, la simulation à évènements discrets est ponctuée de modifications dans des points séparés dans le temps. Le second correspond davantage à la situation que l'on tente de représenter ici, où chaque évènement est en fait l'arrivée d'une nouvelle demande pour un patient à transférer. L'utilisation de ce logiciel permet notamment de réduire le temps de programmation, grâce à des modules préprogrammés qui sont faciles à assembler dans un ordre logique (Law, 2015). La flexibilité en est cependant atteinte, car les portions préprogrammées doivent répondre à plusieurs critères spécifiques dans la configuration, sans quoi cela génère plusieurs codes d'erreurs. Le simulateur a donc été bâti section par section et vérifié au fur et à mesure pour s'assurer de son bon fonctionnement.

2.3 La validation du modèle et conception de scénarios

Une fois la problématique bien définie, les données récoltées et le simulateur fonctionnel, la sixième étape consiste à s'assurer de la validation du modèle. Il y a différentes façons de s'assurer que le modèle de simulation représente bien la réalité, s'assurant ainsi qu'il sera fiable pour la suite du processus. Une des méthodes, qui est généralement facile

d'exécution, est la validation par l'équipe de travail. Il s'agit de s'asseoir avec les spécialistes du processus et d'évaluer ensemble le fonctionnement du simulateur ainsi que les résultats obtenus. Un avantage de cette méthode est que l'expertise des spécialistes permet de comprendre la raison des écarts générés par le simulateur. Cependant, dans le contexte de la pandémie, une autre méthode a été privilégiée pour la validation du modèle, soit l'analyse statistique.

Puisque le simulateur est basé sur un système existant et que des données réelles ont été recueillies et analysées, il est possible de comparer les résultats obtenus par le simulateur à ceux obtenus en réalité pour s'assurer que le simulateur fonctionne de la façon attendue. Si les mesures de performances ne se rapprochent pas de la réalité, il faut alors faire des ajustements au modèle pour venir réduire les écarts mesurés.

Lorsque l'outil atteint le niveau de réalité désiré, la septième étape, soit la conception des scénarios peut être réalisée. Idéalement, l'ensemble des scénarios à étudier avec l'aide du simulateur ont été discutés en équipe lors de la définition de la problématique. Il s'agit donc de définir la longueur des simulations effectuées, ainsi que les caractéristiques qui sont changées d'un scénario à l'autre au sein du simulateur.

2.4 L'analyse des résultats

Les dernières étapes consistent à exécuter le simulateur selon le nombre de répétitions et de scénarios établis, suivi de l'analyse des résultats. Dans ce projet de recherche, les résultats ainsi que leur analyse sont présentés au chapitre 5. Les différents scénarios sont ainsi comparés entre eux, permettant d'étoffer la discussion et de faire des recommandations.

Chapitre 3

Description du cas de l'EVAQ

La première étape définie par Law (2015) est de bien définir le problème. Pour se faire, il est important de développer une bonne compréhension du cas étudié. Ce projet de recherche est basé sur un cas dont les détails ont été décidés et discutés avec les différentes équipes de l'EVAQ ainsi que du MSSS. L'ensemble des données utilisées lors de la conception de la simulation sont des données réelles et, puisqu'il s'agit d'un processus qui est déjà existant, il a été possible de reproduire la politique présentement utilisée lors du transport de patients. L'information pertinente au projet, récoltée suite aux nombreuses rencontres et discussions avec divers acteurs concernés, est présentée dans ce chapitre.

3.1 Le déroulement du processus

Le processus de transfert d'un patient par avion-hôpital depuis un établissement de santé en région éloignée jusqu'à un centre spécialisé comporte de nombreuses étapes pour le patient tout comme pour la centrale de coordination de l'EVAQ.

Le processus débute par l'évaluation du patient à son hôpital demandeur par un médecin référent. Si celui-ci juge que le patient doit recevoir des soins qui ne peuvent être donnés dans son établissement, il fait une demande de transfert à l'EVAQ à l'aide d'un formulaire accessible sur les étages à l'ensemble du personnel. Une entente doit avoir été préalablement conclue entre le médecin de l'hôpital demandeur et celui de l'hôpital rece-

veur, ce dernier devant être prêt à accueillir le patient pour lui fournir les soins appropriés.

L'infirmière de garde à la centrale coordination de l'EVAQ reçoit alors la demande et la traite, afin d'évaluer le besoin et de trier le patient selon les standards établis. Le patient se verra ainsi donner un ordre de priorité entre 1 (critique) et 5 (reportable), afin d'ordonner les demandes par ordre de priorité et ainsi prévoir les prochains transferts. L'évaluation préliminaire se fait généralement en une dizaine de minutes. Un exemple de grille d'évaluation utilisée par l'infirmière est présenté à la figure 3.1. On constate au sein du tableau que le niveau de priorité est défini selon la stabilité du patient et que des consignes claires sont établies pour la marche à suivre. Pour un patient de priorité 1, le transfert sera ainsi amorcé dans l'heure, pour un transport en avion-hôpital uniquement. On ajoute également que l'avion ne peut être détourné que pour aller chercher d'autres patients dans un état critique ou urgent. À partir du niveau d'urgence 4, on constate que la navette multipatients peut être une alternative envisagée pour le transport, si l'horaire permet de respecter le temps de réponse. Les niveaux d'urgence 5 ne sont généralement pas traités par l'avion-hôpital. Bien que ce soit mentionné dans le tableau, l'EVAQ ne possède pas pour le moment d'avion-ambulance, soit un service de transport d'urgence sans médecin à bord.

En cas de doute entre deux transferts de niveau d'urgences similaires, l'infirmière se réfère au médecin de garde qui décidera quel patient aller chercher en premier en tenant compte de l'ensemble de l'information disponible (état du patient, météo, ressources disponibles à l'hôpital demandeur, ressources disponibles pour un transfert, etc.). L'ensemble de ses décisions sont inscrites à la main dans un document nommé « Grille des demandes d'évacuations » et tout report ou décision modifiés en cours de vol est noté et justifié sur une page dédiée aux commentaires à même le document.

Une fois l'ordre de priorité établi, l'infirmière avise l'équipe de pilotes afin de déterminer collectivement une heure de décollage vers la première destination. Le transfert est ainsi planifié. Si l'avion est déjà sur une mission, un arrêt supplémentaire peut être ajouté si l'état des patients à bord permet de retarder leur arrivée à l'hôpital receveur. Sinon, l'avion terminera sa mission en cours et repartira chercher le nouveau patient par

PRENDRE LE TEMPS DE BIEN ÉVALUER LE PATIENT			
Priorité	Condition du patient	Niveau affectation	Niveau de transit vers l'établissement receveur
1	CRITIQUE Danger immédiat Pour la vie ou les fonctions vitales ou un membre	<ul style="list-style-type: none"> • Instable hémodynamiquement • Un ou plusieurs systèmes vitaux se détériorent rapidement associé à un trauma, une grossesse, une naissance ou une maladie. • Le patient a besoin d'être surveillé, monitoré et des interventions médicales de stabilisation doivent être effectuées lors du transport afin de la stabiliser. • Le transfert doit s'effectuer rapidement afin que le patient puisse recevoir des soins dans un centre spécialisé ou subir une intervention rapide afin de rester en vie ou de préserver une de ses fonctions vitales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Avion-hôpital • Immédiate • Départ dès que possible
2	URGENT Danger possible Pour la vie ou les fonctions vitales	<ul style="list-style-type: none"> • Stable hémodynamiquement • Les signes vitaux sont présentement dans les limites de la normale. • Par contre il est à risque de se détériorer et de devenir instable. Le patient ne requiert pas une intervention médicale rapide mais il a besoin d'une surveillance intensive durant le transport. 	<ul style="list-style-type: none"> • Avion-hôpital • Immédiate • Départ dès que possible • Peut-être retardé par la centrale ÉVAQ en raison niveau 1
3	SEMI-URGENT Pas de danger immédiat Pour la vie ou les fonctions vitales	<ul style="list-style-type: none"> • Stable n'a pas besoin d'une intervention immédiate pour préserver sa vie ou une fonction vitale. • Il n'est pas à risque de devenir instable, il nécessite des soins durant le transport. 	<ul style="list-style-type: none"> • Avion-ambulance : Immédiate. Départ dès que possible • Avion-hôpital : <ul style="list-style-type: none"> • Départ lors d'un niveau 2 • Si délai avant départ exoède 3 heures : affectation immédiate.
4	NON URGENT Aucun danger immédiat Pour la vie ou les fonctions vitales	<ul style="list-style-type: none"> • Stable n'a pas besoin d'une intervention afin de préserver sa vie ou une fonction vitale. • Son transfert est réalisé afin qu'il puisse recevoir un traitement ou un examen diagnostique non disponible dans sa région. • Une surveillance minimale est requise durant le transport. 	<ul style="list-style-type: none"> • Navette : affectation sur la prochaine navette selon l'horaire en place • Avion-ambulance : affectation en covoiturage si l'horaire de navette n'est pas approprié (temps ou desserte)
5	REPORTABLE Aucun danger Pour la vie ou les fonctions vitales	<ul style="list-style-type: none"> • Stable 	<ul style="list-style-type: none"> • Navette : selon l'horaire en place. • Un aménagement de l'horaire est possible pour évacuer au besoin le patient.

TABLEAU 5 – GRILLE D'ÉVALUATION ET DE PRIORISATION

FIGURE 3.1 – Exemple de grille d'évaluation utilisée par l'EVAQ

la suite. Lorsque plusieurs transferts sont demandés dans une même région, l’infirmière cherchera à grouper les demandes au sein d’une même mission pour transférer tous les patients en même temps, autant que possible, afin de réduire le temps d’attente des patients et les coûts associés au transport. Certains des patients de différents hôpitaux seront alors transférés par ambulance à un même aéroport, limitant ainsi les arrêts. L’infirmière tente toujours d’optimiser les transports dans la mesure du possible, et avec le meilleur de ses connaissances, car le tout se fait avec des cartes, des plans vols et à la main.

Une fois le moment du transfert conclu, l’hôpital demandeur organise le transport du patient vers l’aéroport demandeur désigné. Ce transport terrestre est effectué en ambulance et demande la présence d’un médecin à bord, dû à l’instabilité de l’état du patient. L’hôpital demandeur doit donc pouvoir se passer de la présence d’un médecin en ses murs pour toute la durée du transport aller-retour entre l’établissement et l’aéroport. Une fois à l’aéroport, il y a un transbordement du patient de l’ambulance à l’avion. Il s’agit d’une opération délicate, car le patient doit être déplacé et ce dernier est alité sur une civière en plus d’être souvent branché à différentes machines ayant toutes plusieurs tubes et fils. Cette opération peut prendre de 30 minutes à une heure selon l’état du patient, son poids, sa taille, etc.

Une fois le ou les patients sécurisés à l’intérieur de l’appareil, l’avion décolle. Le patient sera ainsi surveillé de près par l’équipe à bord, soit typiquement un médecin, une infirmière ainsi qu’une inhalothérapeute et une équipe spécialisée en néonatalogie si le patient est un bébé. Il n’est pas rare que l’équipe compte également un étudiant dans un domaine clinique en formation, le CHU de Québec étant associé à l’Université Laval. Finalement, si le patient est un enfant, celui-ci est généralement accompagné d’un parent (85% des cas selon des données de 2018).

L’avion fera par la suite des arrêts pour récupérer d’autres patients, au besoin, pour finalement se diriger vers l’aéroport receveur. Le patient doit être transféré de l’avion à l’ambulance qui l’attend avec le même soin, pour ensuite se diriger vers son hôpital receveur. Le transport de l’ambulance est aussi organisé par la centrale de coordination de l’EVAQ. Une fois rendu à l’hôpital d’accueil, le patient peut être traité par le médecin

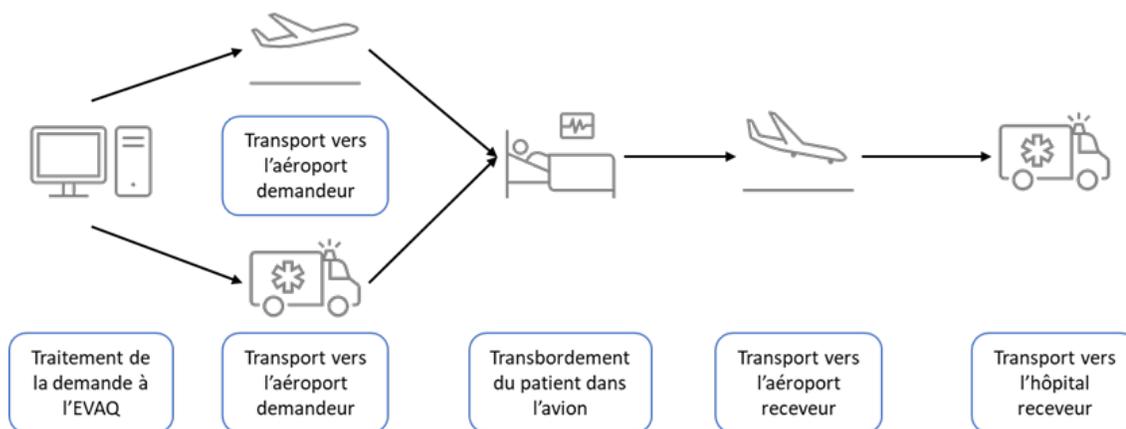


FIGURE 3.2 – Représentation du processus de transfert de patients

responsable de son dossier. Les patients demeurent généralement à l'hôpital jusqu'à ce qu'ils soient assez stables pour retourner chez eux sur leurs pieds de façon autonome à l'aide de la navette multipatients. Une représentation sommaire du processus décrit est présentée à la figure 3.2.

Ce processus se porte bien à la simulation, car plusieurs paramètres au sein du processus varient, comme le temps de transbordement, selon le patient, ou le temps de vol, selon la météo. La météo est d'ailleurs un des éléments causant le plus de perturbation dans la planification des transferts. Il n'est pas rare que certaines régions ne soient pas accessibles pour des évacuations pendant plusieurs jours, car la météo ne permet tout simplement pas d'atterrir à travers la brume, la tempête ou le vent, sur les petites pistes d'à peine 5 000 pieds. Considérant l'impact de la météo, certains transferts vont être effectués sans respecter l'ordre de priorité, ou de nuit, pour s'assurer d'évacuer le patient avant le mauvais temps. Une fois la tempête levée, certains patients se doivent malheureusement d'attendre. Cette réalité est d'autant plus présente dans les régions où le transport terrestre n'est pas une option, comme le Nunavik ou les Îles-de-la-Madeleine.

3.2 La problématique

Il était évident à partir des recherches préliminaires sur le sujet que le programme d'évacuations aériennes faisait face à de nombreux défis. Premièrement, la gestion du personnel et des horaires des pilotes et des médecins, un élément qui était mentionné dans les différents documents publics et rapports annuels publiés par le programme d'EVAQ, cause des enjeux au niveau de la planification des vols et également des frictions. Un deuxième élément pertinent est les soins offerts aux populations du Nunavik, où plusieurs villages n'ont pas accès à un médecin et doivent être transportés par avion à travers leur propre programme de transport avec Air Inuit, pour de simples examens médicaux. Finalement, c'est en discutant directement avec les acteurs impliqués au sein du MSSS et de l'EVAQ que l'angle de la problématique s'est précisé. Puisqu'un projet était déjà en cours pour étudier le remplacement des appareils vieillissants, il a été déterminé qu'il s'agissait de la problématique la plus importante, et la plus pressante, à aborder. La recherche opérationnelle, en particulier la simulation à événements discrets, est un outil efficace pour évaluer ce type de décision stratégique importante. Ainsi, en collaboration avec notre partenaire, nous avons ciblé cette troisième problématique à résoudre dans le cadre de ce mémoire puisqu'il s'agit une décision prioritaire pour laquelle nous pouvons apporter une expertise afin d'avoir un impact important.

Il a été décidé que le projet se concentrerait uniquement sur la portion stratégique, soit l'achat d'appareils, et non pas sur les aspects tactiques et opérationnels touchant les politiques d'affectation ou l'utilisation en tant que telle de l'avion. L'affectation d'appareils pour divers patients est un sujet de recherche en soi et mériterait son propre projet de recherche. L'enjeu présenté par le MSSS étant d'une ampleur suffisante, le projet se concentre uniquement sur la comparaison d'appareils et sur l'impact de certaines caractéristiques propres aux avions sur la réponse offerte aux patients québécois. Cela permettra ainsi de fournir des données additionnelles et davantage de clarté quant à l'impact de différents appareils à l'aide de la recherche opérationnelle basée sur des données réelles, un apport qui n'est présentement pas offert à l'équipe responsable de prendre cette lourde

décision de plusieurs millions de dollars.

La mission de l'EVAQ étant d'assurer la meilleure qualité de soins possible aux patients, il a été décidé que la performance du système serait mesurée par le temps nécessaire pour répondre à la demande et transférer le patient, selon son niveau de priorité. L'objectif est donc de minimiser le délai de prise en charge du patient par une équipe spécialisée, ou surspécialisée, tout en s'assurant que les patients les plus urgents sont toujours traités en priorité également. Pour ce faire, l'étendue du modèle se concentrera sur la période de temps entre la demande du médecin de l'hôpital demandeur, jusqu'à l'arrivée du patient en ambulance à l'hôpital receveur, incluant ainsi le temps de traitement de la demande, le transport terrestre, ainsi que le transport aérien.

Vu comme une opportunité d'améliorer l'accessibilité aux soins pour tous les Québécois, il est évident qu'une excellente compréhension de la demande et du territoire québécois est essentielle pour répondre à cet objectif. Le programme d'évacuations EVAQ a ainsi été impliqué dès le début du processus mis en place par le MSSS. Un second aspect important du projet est le réalisme des options apportées. Les services aériens (SAG) ont également été impliqués afin de déterminer quels appareils étaient disponibles et lesquels sont appropriés pour le territoire du Québec. Les appareils sélectionnés par ce comité composé de trois différentes institutions (MSSS, EVAQ et SAG) devront non seulement répondre à la demande actuelle, mais également celle de la prochaine décennie, et un peu plus, soit la durée utile de l'appareil.

3.3 Les avions

Notre implication dans ce projet est d'offrir des recommandations concrètes sur les types d'appareils qui pourraient le mieux répondre à la demande de transferts d'urgence aériens au Québec à l'aide d'un outils. Les critères de comparaison des avions ont été évalués et classés par ordre de priorité. En effet, les caractéristiques précédemment identifiées, soit la vitesse, la taille et l'accessibilité, incluent plusieurs sous-caractéristiques à décortiquer afin de déterminer si un avion est approprié pour couvrir un certain territoire.

Une des premières étapes effectuées par l'EVAQ dans le processus vers le renouvellement de la flotte aérienne a été de définir les priorités en termes de besoins pour les nouveaux appareils, afin de mieux guider les Services aériens gouvernementaux dans leurs suggestions d'appareils.

Le premier critère défini par l'EVAQ est la vitesse de l'appareil. En effet, le territoire du Québec étant vaste, il est important que l'appareil choisi puisse atteindre les régions éloignées dans un temps qui respecte les délais acceptables de transfert, particulièrement pour les régions à plus de 900 kilomètres des grands centres. Ces régions, présentées à la figure 3.3, incluent notamment le Nunavik, qui représente 24% du temps de vol de l'avion-hôpital pour seulement 15% des patients transférés, dû à sa distance. Un aller-retour à Puvirnituk prend un total de sept heures avec le Challenger présentement utilisé, ce qui non seulement est une longue période de temps pour transférer un patient urgent, mais ce qui signifie également que l'avion n'est alors pas disponible pour répondre à d'autres demandes durant l'équivalent de plus de la moitié des heures de clarté de la journée.

Le second critère identifié par l'équipe de l'EVAQ est la polyvalence de l'appareil, permettant ainsi une agilité fonctionnelle et opérationnelle. L'agilité fonctionnelle fait référence à la capacité de modifier l'équipement de la cabine afin de traiter différents types de clientèle au sein d'un même appareil. Par exemple, en ayant la capacité d'ajouter une deuxième isolette pour bébé dans l'avion ou un siège supplémentaire pour un accompagnant. L'importance de cette caractéristique est ressortie au cours de la pandémie, alors que les appareils avaient été vidés de certains équipements médicaux, ce qui facilitait le protocole d'assainissement en cas de transfert de cas COVID. Lors d'un cas nécessitant un matériel particulier, celui-ci était récupéré et installé dans l'avion avant son décollage. Bien qu'il soit pratique d'avoir tous les appareils à bord pour être prêt à toute éventualité, ceux-ci ajoutent un poids et prennent considérablement d'espace au sein d'un appareil, d'où l'avantage de pouvoir ajouter et retirer des appareils au besoin. L'agilité opérationnelle fait quant à elle référence à la capacité de l'avion d'atterrir partout où le besoin se manifeste, et ce même si la piste est petite ou en gravier. Ce sont en effet des éléments qui



FIGURE 3.3 – Distances à parcourir en avion à partir de Montréal pour différentes régions du Québec

affectent grandement la planification des transferts. L’avion présentement utilisé pour les transferts d’urgence nécessite une longueur de piste asphaltée de 4 000 pieds minimum ou 5 000 pieds sur une piste en gravier. Si une demande est effectuée à un hôpital où l’aéroport le plus proche n’a pas suffisamment de longueur de piste, le patient est transféré à l’aéroport suivant le plus proche répondant aux critères, ce qui demande parfois jusqu’à deux heures de transport en ambulance. Durant l’ensemble du trajet terrestre, le patient doit demeurer stable et être accompagné d’un médecin. Dans les petites communautés, le médecin accompagnateur est parfois le seul médecin sur place au moment du transfert, un second médecin doit donc être appelé en renfort à l’hôpital pour permettre le déplacement de 4 heures (aller-retour) jusqu’à l’aéroport. Ainsi, une piste trop courte empêche à

la fois l'avion d'atterrir et de se rapprocher du patient qui devra donc être transporté par la route plus longtemps. Tout avion se doit également d'être muni de ce qu'on appelle un gravel kit, soit l'équipement nécessaire à l'avion pour atterrir sur une piste en gravier, car plusieurs pistes au Québec en région ne sont pas asphaltées.

Les critères trois et quatre identifiés par l'EVAQ sont par rapport à l'espace cabine, ce qui inclus la capacité pour les patients, mais d'autres aspects également. Tout d'abord l'espace pour les patients et les intervenants doit être minimalement composé de deux civières, cinq sièges et une isolette selon les spécialistes de l'EVAQ. Les recommandations incluent également un aménagement qui permet à l'équipe médicale de surveiller les patients lorsqu'ils sont assis dans leurs sièges ainsi qu'une hauteur minimale de plafond pour faciliter les manœuvres. La seconde composante de l'espace cabine concerne l'équipement nécessaire à bord. Cela inclut, entre autres, des appareils de télécommunications pour communiquer avec la centrale et le médecin receveur, un système électrique suffisamment puissant pour y brancher l'ensemble des appareils médicaux ainsi que de l'eau courante et une toilette. Les demandes au niveau du confort sont nombreuses, mais ne seront pas détaillées puisqu'elles ne font pas l'objet du projet de recherche. En effet, le confort de la cabine peut être atteint avec presque n'importe quel appareil, si on est prêt à y mettre le prix. Comme n'importe quel appareil, un avion peut être personnalisé pour y avoir les installations nécessaires. Il est souvent avantageux d'acheter un avion déjà aménagé pour des missions d'évacuation, notamment car il n'est alors pas nécessaire de faire accréditer tout le mobilier ou le matériel qu'on souhaite y ajouter, ce qui sauve à la fois temps et argent. Cependant, l'aménagement ne sera peut-être pas aussi bien adapté aux besoins. Dans tous les cas, les éléments de confort n'influence pas la vitesse de réponse pour le transfert, ce qui est l'indicateur mesuré dans ce projet.

Les éléments finaux mentionnés par l'équipe déléguée de l'EVAQ sont le respect des normes de la CNESST, notamment quant au nombre de décibels émis et à la méthode de transbordement, une tâche ardue qui peut générer des blessures aux intervenants. Une ventilation appropriée à l'aide de filtres HEPA a également été mentionnée, un élément essentiel en pandémie de COVID. Tout comme pour les éléments de confort, ces éléments

peuvent être ajoutés à un appareil existant et ne seront donc pas pris en compte pour le simulateur dans cette étude.

En déterminant les éléments qui sont essentiels et à évaluer pour les appareils, les discussions ont également évolué vers les différents scénarios qu'il serait pertinent d'évaluer. Les acteurs du processus ayant différentes opinions sur le type de décisions qui pourrait améliorer le service de l'EVAQ, plusieurs de ses idées seront analysées grâce au simulateur. Les scénarios suivants ont été mentionnés :

- Augmenter le nombre d'avions, mais avec de plus petits et plus rapides appareils ;
- Ajouter un appareil dédié uniquement pour le Nunavik et garder le système actuel ;
- Changer l'endroit où le ou les avion(s) sont basés en attente d'un appel ;
- Personnaliser l'équipement au sein des différents appareils pour que chaque avion soit spécialisé pour un type d'urgence médicale spécifique (néonatalogie et cardiologie, par exemple).

Les intervenants veulent aussi déterminer l'impact de certains facteurs, tel qu'une hausse de la demande. Chaque scénario choisi sera détaillé dans le chapitre 5.

3.4 Les données

Si les éléments mentionnés précédemment proviennent principalement des rencontres tenues avec différents membres du personnel de l'EVAQ, du MSSS et des SAG, les données récoltées dans les dossiers de l'EVAQ ont également permis d'en apprendre beaucoup sur le cas d'étude. La collaboration étroite avec le programme d'évacuations EVAQ a permis l'accès aux données de transport de patients et aux différentes notes manuscrites des intervenants lors des missions. Bien que ces données n'étaient pas nominatives, elles comportaient de l'information très importante. Les dossiers de transferts incluent des marqueurs temporels tels que l'heure à laquelle la demande a été faite par l'établissement demandeur, l'heure d'arrivée de l'avion à l'aéroport de la ville du demandeur ainsi que l'heure d'arrivée de l'avion à l'aéroport de Québec ou de Montréal. Le nom des deux éta-

blissements, demandeur et receveur, est également inclus avec la demande, de même que le niveau de priorité et la spécialisation médicale concernée (cardiologie, pédiatrie, traumatologie, etc.). Les documents incluaient également les demandes de transferts ayant été annulées en cours de procédure, parfois annotés de la raison de l'annulation.

Les données qui ont servi pour le projet incluent toutes les demandes de transfert effectuées entre le 1er janvier et le 31 décembre 2019, soit 2 664 demandes. Un premier nettoyage des données a permis d'enlever toutes les demandes annulées, car celles-ci ne mobilisent pas de ressources au niveau de l'avion. Les demandes sont généralement annulées avant même le départ de l'avion et majoritairement liées à des patients moins urgents dont l'état se stabilise, leur permettant de prendre la navette multipatients à la place. De plus, tous les parents accompagnateurs qui avaient été comptabilisés comme une demande à part dans le système de l'EVAQ ont été écartés, puisqu'ils ne sont pas des patients et que leur nombre n'a pas d'impact sur la capacité des civières de l'avion. Finalement, un dernier tri a permis d'enlever les observations ayant des informations manquantes. En effet, certaines informations sont inscrites à la main par l'infirmière, quelques lignes de données présentaient des cases vides. Au final, ce sont 1 816 observations de données de demande qui constituent le portrait réel des évacuations effectuées au sein de l'année 2019 par l'EVAQ.

L'analyse de ces données a permis de mieux définir le profil de la demande pour les transferts en avion-hôpital pour l'année 2019. Premièrement, il est possible de constater que la provenance des demandes n'est pas répartie uniformément à travers les régions éloignées du Québec. Trois régions à elles seules comptent pour plus de 60% de la demande, soit la Côte-Nord, l'Abitibi-Témiscamingue et La Gaspésie Îles-de-la-Madeleine, tel que démontré au tableau 3.1.

La demande est cependant répartie équitablement dans le temps. En effet, en analysant le nombre de demandes reçues par mois (voir figure 3.4), on constate que la demande totale est relativement la même d'un mois à l'autre, tout en marquant une légère tendance à la hausse tout au long de l'année. Cette hausse marque une tendance qui se trace depuis deux ans, et qui selon les données démographiques sur le vieillissement de la population,

Région	Proportion
09- COTE-NORD	22.39%
08- ABITIBI-TÉMISCAMINGUE	20.71%
11- GASPÉSIE ILES-DE-LA-MADELEINE	19.85%
17- NUNAVIK	14.67%
01- BAS SAINT-LAURENT	10.71%
10- NORD-DU-QUÉBEC	6.14%
02- SAGUENAY LAC-ST-JEAN	4.21%
AUTRES	1.32%

Tableau 3.1 – Pourcentage de la demande pour l’année 2019 selon la région sociosanitaire

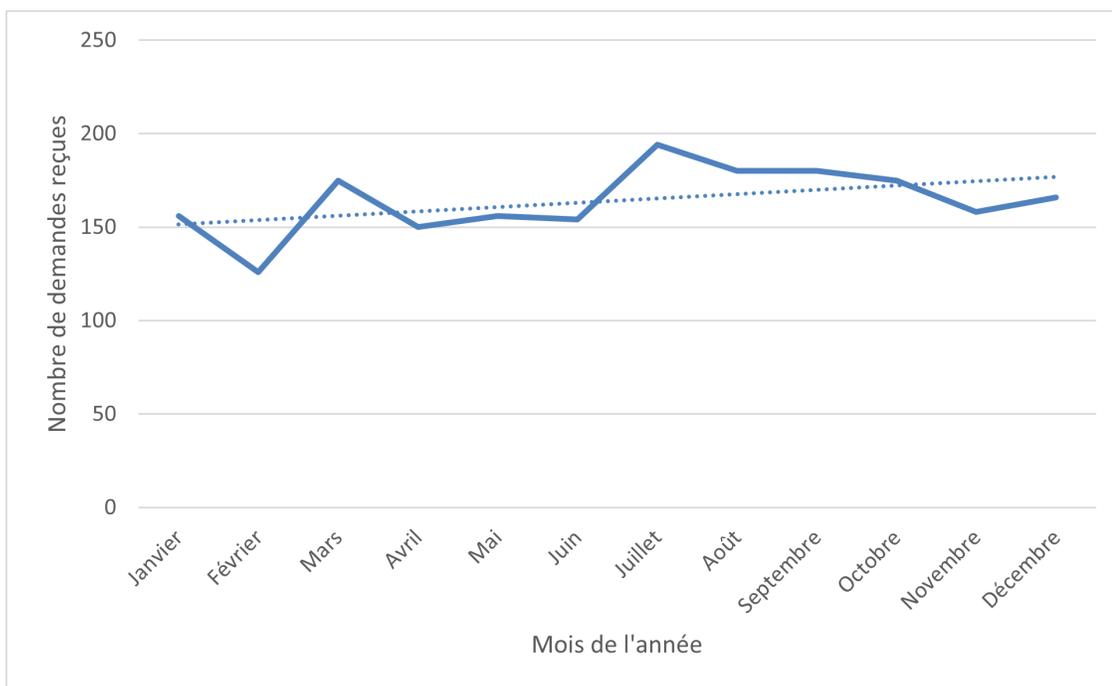


FIGURE 3.4 – Nombre de transferts effectués par avion-hôpital par mois durant l’année 2019

n’est pas appelée à diminuer dans les prochaines années (CHU de Québec, 2016).

On note une tendance similaire au niveau de la demande au cours d’une semaine. On remarque à la figure 3.5 un léger écart entre le nombre de demandes faites durant les journées du samedi, dimanche et lundi, comparativement au reste de la semaine, mais la demande demeure sensiblement la même au cours de la semaine.

Les données permettent également de définir quels sont les motifs pour l’utilisation

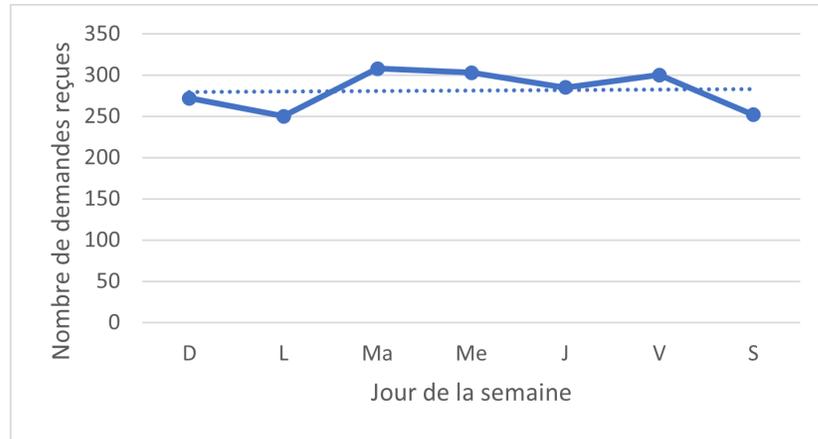


FIGURE 3.5 – Nombre de demandes de transfert reçues selon les jours de la semaine en 2019

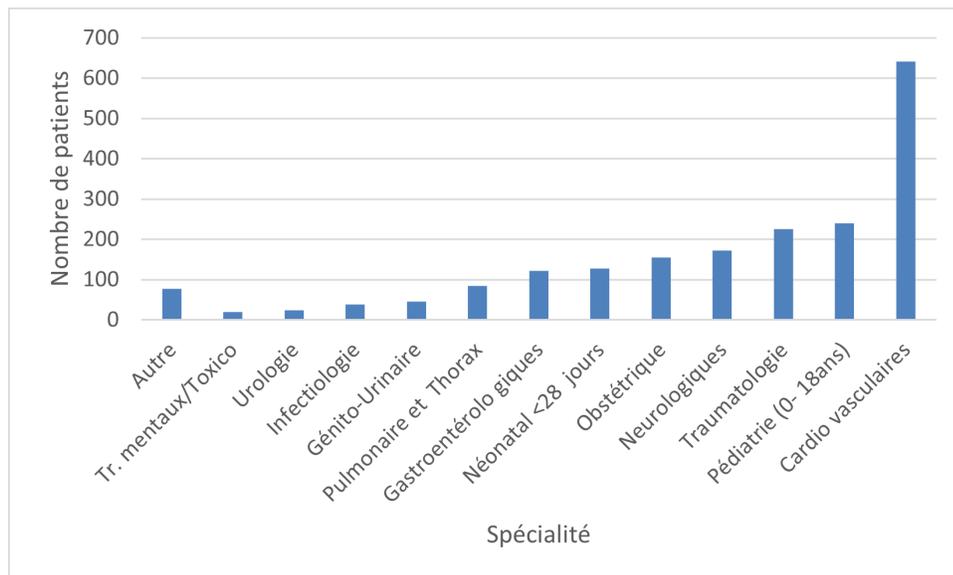


FIGURE 3.6 – Nombre de patient par type de spécialité pour l’année 2019

des services de l’EVAQ. En 2019, 25 différentes spécialités ont été notées comme un motif de transport dans les demandes de transfert envoyées à l’EVAQ. Tel que mentionné précédemment, les cas de cardiologie demeurent la cause première de transfert d’urgence. En 2019, il représentait près de 33% des patients transportés par avion-hôpital par l’EVAQ.

La composante « autres » identifiée à la figure 3.6 inclut des motifs très variés, allant des troubles mentaux et toxicologiques, à l’hématologie, jusqu’au transfert pour don

d'organes.

Les demandes, une fois traitées, se voient attribuer un niveau de priorité, qui pour l'année 2019 a suivi la répartition suivante : 6,7 % de priorité 1, 35,2% de priorité 2, 47,2% de priorité 3, 7,4% de priorité 4 ou 5, et 3,5% dont la valeur est inconnue puisque non notée. Près de 50% des demandes sont donc de priorité 3, qualifiés de « semi-urgent », dont le transfert doit être initié en moins de 8 heures.

Également présente dans la base de données de l'EVAQ se trouvait l'information sur les différents aéroports de la province de Québec. L'analyse de ces données permet de savoir précisément la longueur de chacune des pistes ainsi que la durée d'un trajet en ambulance entre l'aéroport et les hôpitaux environnants. Chacun des aéroports est également associé à un centre urbain particulier, soit Montréal ou Québec, comme aéroport receveur, généralement celui étant le plus proche. Pour les données de 2019, 40% des demandes ont été dirigées vers Québec (YQB) et 59% vers Montréal (YUL). Le pourcentage restant inclut des retours de patients vers leur hôpital d'origine dans diverses régions à travers le Québec.

Les données amassées incluent également le temps de vol moyen entre chacun des aéroports demandeurs et son aéroport receveur en Challenger, mais les temps de vols entre les différents aéroports en région ne sont pas mentionnées. Ces données sont pourtant cruciales, puisque ces déplacements ne sont pas rares. Ils sont même encouragés afin de permettre d'embarquer plusieurs patients au sein d'une même mission. Les distances entre chacun des 36 aéroports utilisés au cours de l'année 2019 par l'EVAQ ont été calculées à partir des coordonnées GPS de chacun des aéroports. La distance à franchir par l'avion entre les aéroports se situe entre 22 et 1 727 kilomètres. Cela signifie que pour pouvoir faire n'importe quel trajet avec un seul plein d'essence, l'avion choisi doit avoir une portée supérieure à 1 727 km. Finalement, pour pouvoir utiliser les distances entre les aéroports de façon appropriée, la vitesse moyenne de chacun des appareils a été obtenue à l'aide d'un document fourni par les Services aériens gouvernementaux (SAG).

En conclusion, pour répondre à l'objectif qui est de faire des recommandations pour les transferts interhospitaliers au Québec, une grande quantité d'information et de don-

nées ont été nécessaires pour développer une bonne compréhension du processus. Ces informations sont essentielles pour la prochaine étape du projet, soit le développement du modèle de simulation et l'analyse des scénarios.

Chapitre 4

Conception et implémentation du modèle de simulation

Les connaissances approfondies sur le processus de transfert aérien de patients acquises par les rencontres et les données analysées ont permis de concevoir le modèle de simulation qui permettant les analyses souhaitées. Plus concrètement, la simulation s'est faite en deux étapes, soit le développement du modèle conceptuel et son implémentation. La première section de ce chapitre présente donc le modèle conceptuel qui permet de représenter le processus étudié de même que les paramètres importants. La deuxième section présente son implémentation grâce au logiciel Arena, ainsi que sa vérification et sa validation.

4.1 Le modèle conceptuel

Les entrevues avec les acteurs du milieu ont permis de développer une meilleure compréhension du processus d'évacuations par avion-hôpital. Certaines hypothèses ont aussi été posées afin de concevoir un modèle de simulation fidèle à la réalité. En effet, l'objectif de la simulation n'est pas de représenter à la perfection le système de transfert aérien, mais plutôt d'imiter la réalité pour estimer les changements apportés à un système donné (Law,

2015). De façon générale, un simulateur demeure une abstraction de la réalité. Bien que la simulation soit une représentation imparfaite de la réalité, elle permet néanmoins de tester différentes alternatives sans avoir à acquérir de vrais avions, ce qui serait évidemment dispendieux pour l'organisation.

4.1.1 Les entités et les ressources

La simulation à événements discrets génère des événements dans le temps permettant de modéliser les opérations d'une chaîne logistique à l'aide d'entités qui traversent le processus tout en étant pris en charge par des ressources. Les entités sont des éléments (objets, personnes ou autres) se déplaçant à travers le modèle. Dans le cas des transferts interhospitaliers, les entités correspondent aux demandes de transfert, telles que reçues à l'EVAQ. Les ressources utilisées pour le traitement des entités incluent les ambulances, les employés responsables du transbordement et les avions. Lorsqu'elles sont générées, les entités se voient assigner des attributs, qui sont des caractéristiques particulières à l'entité. Puisque les données historiques pour la demande sont accessibles, chaque entité créée dans le simulateur correspond à une demande réelle effectuée en 2019 à laquelle on associe les caractéristiques connues au dossier. Les attributs suivants sont assignés aux entités :

- Heure et date de réception de la demande à la centrale ;
- Zone d'origine de la demande, soit une valeur entre 0 et 9 telle que référée à la figure 4.1 ;
- Niveau de priorité, allant de 1 à 5 ;
- Type de spécialisation (p. ex. cardiologie, traumatologie, néonatalogie, pédiatrie, etc.) ;
- Hôpital demandeur (nœud d'origine) ;
- Hôpital receveur (nœud de destination) ;
- Aéroport receveur.

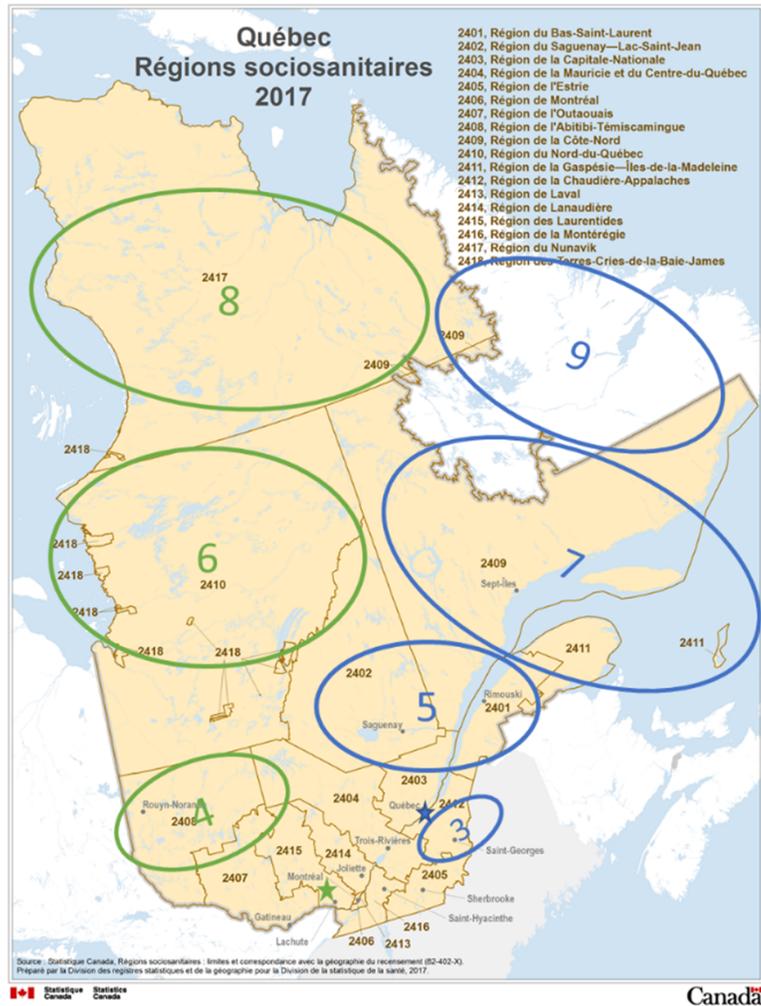


FIGURE 4.1 – Division des différentes zones tel que numéroté pour le projet

La division en zones permet de catégoriser les demandes selon les distances à parcourir depuis les aéroports receveurs ainsi que le choix de l'aéroport receveur. Plus la valeur est grande, plus la zone est éloignée de son aéroport receveur, identifié par une étoile. Les zones paires représentent des régions dont les patients seront envoyés à Montréal, tandis que les zones impaires sont associées à l'aéroport de Québec ; ils sont ainsi définis comme les deux possibles corridors de déplacement. Cela permet de définir l'ordre logique pour visiter ces régions : une fois assigné à un patient, un avion évaluera uniquement les demandes présentes dans le même corridor et dans une zone inférieure, donc plus proche

de l'hôpital, comme possibilités de prochain arrêt. Il s'agit d'une portion essentielle de la conception de la boucle de prise de décision qui est présentée plus loin dans ce chapitre. Il est important de noter que la zone 9 n'inclut qu'une petite partie de Terre-Neuve-et-Labrador; certains patients de chaque côté de la frontière avec le Labrador sont parfois transférés par ce corridor. Les zones peuvent regrouper une ou plusieurs régions sociosanitaires du Québec. Par exemple, la zone 5 regroupe les régions du Bas-Saint-Laurent et du Saguenay–Lac-Saint-Jean.

Différents paramètres associés aux ressources permettent également de caractériser le système étudié. En particulier, ces paramètres incluent les caractéristiques associées à la flotte d'avions soit :

- Le nombre d'avions en service;
- La vitesse de l'avion;
- La capacité de l'avion;
- La localisation de/des base(s) de départ.

Rappelons que les attributs sont propres à chaque demande et les paramètres de la flotte sont fixes tout au long de la simulation.

4.1.2 Le processus de transport interhospitalier

Les entités passent par une série de modules qui représentent les différentes étapes du processus de transfert interhospitalier. Afin de modéliser les décisions et les étapes du processus, les hypothèses suivantes ont été posées :

- Lorsque la demande de transfert est effectuée par le médecin, le patient est prêt à être transporté et ne nécessite pas d'interventions supplémentaires avant le transfert.
- Lors du transport du patient entre l'hôpital et l'aéroport demandeur, il n'y a pas d'attente pour l'ambulance. Le temps que l'ambulance met pour se rendre à l'hôpital est considéré comme négligeable, puisque l'ambulance peut être appelée d'avance, en même temps que la préparation de la demande pour l'EVAQ.

- Lors du transport terrestre, le temps de transport entre l'hôpital et l'aéroport demandeur sont fixes, et n'incluent pas de variations reliées au trafic, les routes en régions éloignées étant peu affectées par les variations du trafic.
- Lors de l'arrivée à l'aéroport, l'ambulance peut effectuer le transbordement du patient sans délai dès que l'avion arrive à l'aéroport pour le transfert.
- L'opération pour mettre de l'essence dans l'appareil lors des arrêts peut être faite durant le temps prévu pour le transbordement, et ne cause donc pas de délais supplémentaires.
- Il n'y a pas de contraintes au niveau de la disponibilité des ressources humaines pour les avions, tant du côté des pilotes que des équipes médicales.
- Le temps de transbordement est influencé majoritairement par le système d'intubation du patient, qui est présent uniquement chez les patients du niveau de priorité P1 (critique).
- Les autres patients (P2 à P5) ont des temps de transbordement inférieurs qui varient selon l'équipement nécessaire pour le patient ainsi que son poids.
- En cas de conditions météorologiques défavorables empêchant l'avion de voler, la demande est mise en attente jusqu'à ce que les pistes redeviennent adéquates.
- Il y a des vols 24h sur 24.
- Le type de spécialisation n'affecte en rien le processus de transbordement.

Les facteurs influençant la vitesse de vol sont nombreux et variés ; mesurer l'impact de chaque facteur pourrait être un projet d'étude en soi. À des fins de simplification, la vitesse de l'appareil est fixe une fois ce dernier décollé, bien que celle-ci peut varier selon le poids de l'appareil, l'altitude des vols, la température, etc. L'accélération et la décélération nécessaire à l'appareil ont cependant été prises en compte pour plus de précision. L'accélération et la décélération correspondent au nombre de km/h^2 nécessaire pour passer de 0 à la vitesse nécessaire (ou le contraire) en 10 minutes (accélération = Δ vitesse / Δ temps), qui est le temps maximal avant d'atteindre la vitesse moyenne selon les experts

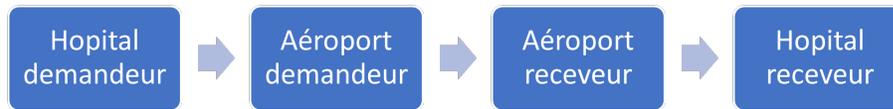


FIGURE 4.2 – Vision macro du modèle

consultés. Par exemple, pour un vol entre les Îles-de-la-Madeleine et Québec, la distance à franchir est de 731 kilomètres. Avec un Challenger, la vitesse moyenne est de 850 km/h, l'accélération et la décélération seraient donc de $5\ 100\ \text{km}/\text{h}^2$ ($850\ \text{km}/\text{h} / 0,166\ \text{h} = 5\ 100\ \text{km}/\text{h}^2$). La distance parcourue lors des phases d'accélération et décélération est de 70,8 km, ce qui signifie que 589,4 km sont parcourus à vitesse moyenne. Le temps total de transport est donc de 62 minutes (42 minutes à vitesse moyenne + 10 minutes accélération + 10 minutes décélération).

Les grandes étapes du processus sont représentées à la figure 4.2. Tel que présenté dans le chapitre 3, les arrêts principaux du patient sont l'hôpital demandeur, celui présentant la demande de transfert, suivi de l'aéroport demandeur, généralement celui le plus près de l'aéroport. Le patient est ensuite transporté vers l'aéroport receveur par avion et jusqu'à son médecin attitré à l'hôpital receveur en ambulance.

4.1.3 Arrivée des demandes

La liste de patients est lue à partir du fichier Excel contenant les données récoltées. Pour chaque demande, le simulateur crée un patient à la même heure que celle de la réception de la vraie demande. Ainsi, l'intervalle entre deux demandes reçues est le même que celui observé dans la base de données. Une fois les demandes reçues, de nombreuses décisions sont prises pour s'assurer que chaque patient passe par des aéroports qui lui permettront de se rendre à l'hôpital receveur en respectant le plus fidèlement possible la logique appliquée à l'EVAQ.

4.1.4 Première décision : Sélection de l'aéroport demandeur

La première décision est celle de l'aéroport demandeur. La plupart du temps, le patient est transféré par ambulance à l'aéroport le plus proche en termes de temps de transport. Cependant, il est possible qu'un patient ne soit pas envoyé vers l'aéroport le plus proche puisqu'il peut être regroupé avec d'autres patients pour une même mission. Afin de représenter cette situation, chaque hôpital est connecté aux aéroports qui constituent des options potentielles selon l'EVAQ, généralement ceux qui partagent la même région. Lors de la sélection de l'aéroport demandeur, seul les aéroports préapprouvés par l'EVAQ sont envisagés. On souhaite limiter le temps de déplacement d'un patient par ambulance afin que celui-ci ne fasse pas quatre heures de route simplement pour être groupé à une autre demande. Avec cette approche, chaque hôpital possède entre 1 et 3 aéroports demandeurs possibles.

En pratique, lorsque deux demandes d'une région similaire surviennent simultanément, il existe de nombreux scénarios qui peuvent se produire. Premièrement, il n'est pas rare que les patients soient dirigés vers l'aéroport le plus près du patient le plus malade (donc ayant la côte de priorité la plus urgente). Il ne s'agit cependant pas du seul critère d'évaluation. Par exemple, certaines pistes sont mieux adaptées à une météo défavorable, auquel cas on choisira l'aéroport le mieux adapté aux conditions. Le troisième cas courant est lorsque le premier patient est déjà en route vers l'aéroport lorsque la seconde demande survient. Dans ce contexte, on dirige alors le second patient vers ce même aéroport. Notre modèle considère que le patient se dirige toujours vers l'aéroport le plus près, sauf si un patient est déjà en route ou en attente vers un autre aéroport auquel il a accès. Les deux patients se retrouveront alors à l'aéroport le plus près du premier patient ayant formulé une demande.

Cette décision est représentée par les liaisons en pointillé dans la figure 4.3. Dans le cas de demandes simultanées aux hôpitaux A et B, plutôt que d'envoyer les patients aux aéroports A et B, ceux-ci seraient regroupés à l'aéroport A par exemple. Les patients sont ainsi tous deux prêts à être dirigés vers l'aéroport de Montréal (YUL) ou Québec (YQB),

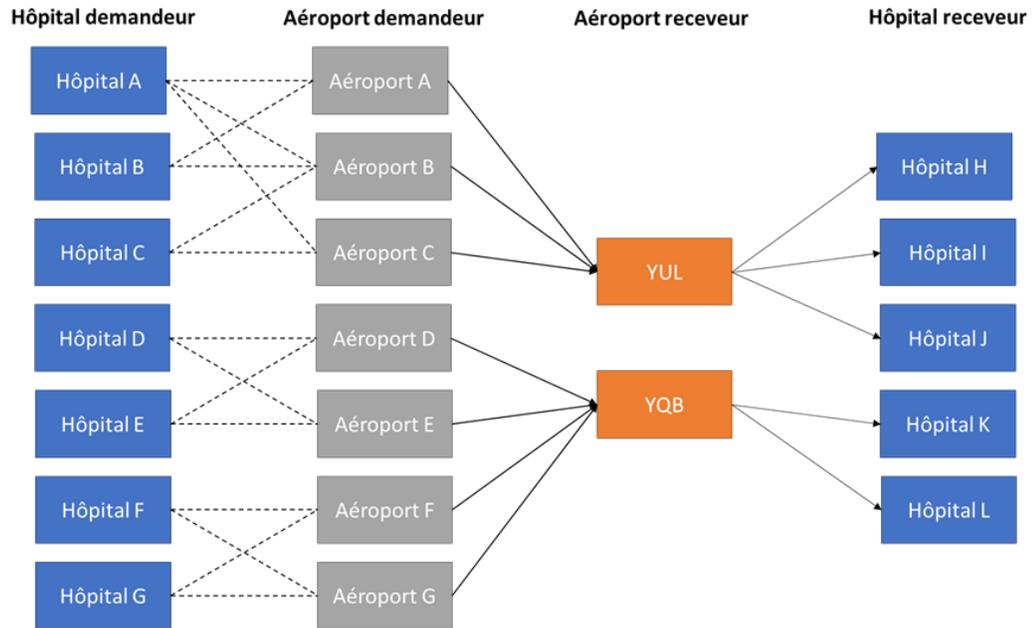


FIGURE 4.3 – Différents trajets possibles lors de demandes provenant d’une même région

selon le cas, puis vers leur hôpital receveur.

Il s’agit du parcours typique lorsque les demandes simultanées proviennent de mêmes régions. Dans la majorité des cas cependant, les demandes qui surviennent dans des délais rapprochés proviennent de différentes régions à travers le Québec, il faut donc prendre une seconde décision, à savoir si l’avion fera des arrêts sur le chemin du retour pour embarquer de nouveaux patients.

4.1.5 Deuxième décision : Choix de la route de l’avion

La décision la plus complexe est celle à prendre lorsque l’avion est à l’aéroport receveur : le choix de la prochaine destination. Comme vu dans la littérature, la plupart des cas étudiés ne transportent qu’un seul patient à la fois. Dans ces cas, les demandes sont gérées selon une politique du premier arrivé, premier servi ou FIFO. Dans le cas de l’EVAQ, on cherche à faire les arrêts nécessaires pour embarquer le plus de patients possible, tant que la capacité maximale de quatre places n’est pas atteinte. Ainsi, après avoir embarqué son premier patient, l’équipe de coordination va planifier la route et vérifier s’il y a d’autres

demandes en attente d'un transport. S'il n'y en a pas, l'avion se dirige directement de l'aéroport demandeur vers l'aéroport receveur, comme à la figure 4.3. S'il y a une ou des demandes en attente, il est nécessaire de comparer le niveau d'urgence du patient déjà à bord de l'avion et du/des patient(s) en attente. Si un patient de priorité 1, soit les plus critiques, est à bord de l'avion, alors l'avion n'ajoutera des arrêts que pour embarquer des patients de priorité 1 ou 2. Si le patient en attente est moins urgent (priorité 3 à 5), l'avion se dirige vers l'hôpital receveur, c'est-à-dire qu'aucun patient ne sera ajouté au vol, et la mission est ainsi finale. Si le patient à bord est de priorité 3 à 5, plusieurs arrêts peuvent être ajoutés à la mission, jusqu'à ce que l'appareil soit plein. Lorsque l'avion compte plusieurs patients à bord, le niveau de priorité du patient le plus critique (donc inférieur) est utilisé pour la prise de décision.

Une fois le niveau de priorité vérifié, il faut vérifier dans quelle zone se trouve le patient en attente. Si le niveau de priorité du patient le permet, l'avion ira dans toute zone dont le chiffre est égal ou inférieur à la zone actuelle, en décrémentant progressivement le numéro de zone par bond de deux. Par exemple, si l'avion se trouve dans la zone 7, il évaluera s'il y a de la demande en attente dans la zone 5, puis 3, puis 1, et finalement se dirigera à l'aéroport receveur si aucune demande n'est trouvée. L'ensemble de ces décisions sont cartographiées à la figure 4.4. Il est important de noter que le simulateur ne prévoit pas de détournement une fois l'avion en vol. Si l'avion part vers une nouvelle région, l'avion ne fera pas une réévaluation des demandes avant d'avoir atterri, et ce, même si une demande plus urgente survient dans une autre région. La boucle de décisions telle que modélisée dans Arena est présentée à l'Annexe A.

4.1.6 Fin de la mission

Une fois rendu à l'aéroport receveur, il y a un second transbordement du patient de l'avion vers l'ambulance. Le patient est ensuite dirigé vers son hôpital receveur, tel qu'indiqué dans sa demande de transit. Il est important de rappeler que cet hôpital se trouve dans un rayon de 10 à 30 minutes de l'aéroport de destination, selon l'établissement et le

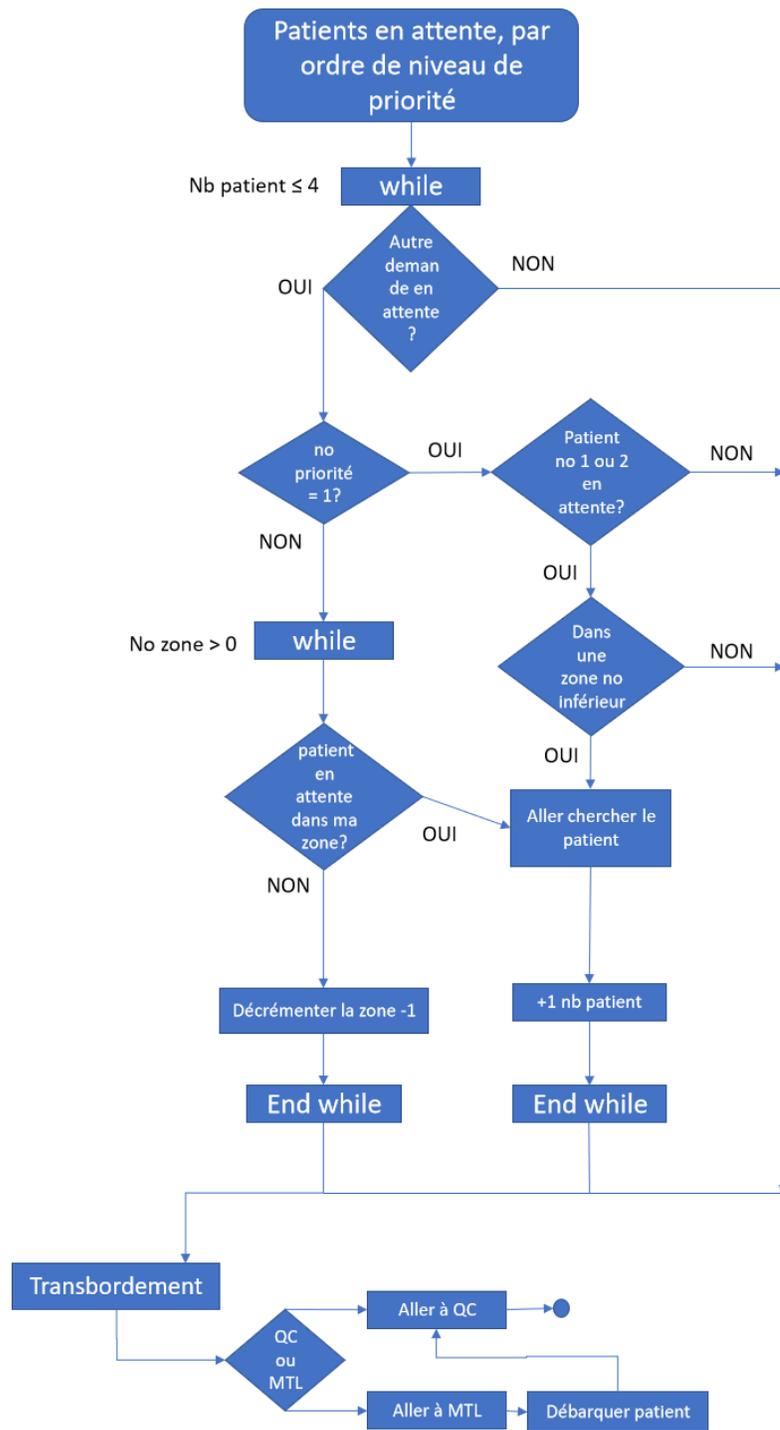


FIGURE 4.4 – Processus de décision pour l’ajout d’arrêts en vols dans le modèle de base

trafic auquel le patient a été préalablement associé. On considère ainsi que le patient est maintenant à destination et prêt à recevoir des soins spécialisés. De son côté, l'avion doit passer par une étape d'entretien, appelé mise en tension, avant de pouvoir partir pour un nouveau vol.

Afin de mesurer la performance de ce processus, les indicateurs suivants sont mesurés.

Perspective client :

- Temps total : temps entre la réception de la demande et l'arrivée du patient à l'aéroport receveur
- Temps d'attente : temps avant la prise en charge du patient par les médecins de l'EVAQ à l'aéroport demandeur
- Km de route parcourus : distance terrestre parcourue

Perspective de l'organisation :

- Nombre de missions
- Nombre de patients en attente d'un avion en moyenne
- Nombre de patients par mission
- Taux d'occupation des avions ou nombre d'heures de vol

L'ensemble des indicateurs sont importants, mais certains pourraient être privilégiés selon les priorités de l'EVAQ et du MSSS. Une flotte qui n'améliore pas le temps total, mais qui permet de réduire l'attente, permet au patient d'être pris en charge par l'équipe de l'EVAQ plus rapidement. Cela pourrait être préféré si l'objectif est de s'assurer que le patient est stabilisé par l'équipe médicale spécialisée le plus rapidement possible. D'un autre côté, si l'objectif est d'avoir le patient admis le plus rapidement possible à l'hôpital receveur, il faudrait pencher vers une autre option.

4.2 L'implémentation et la validation

L'ensemble des paramètres ainsi que la logique présentés à la section précédente ont été implantés au sein d'Arena, un logiciel de simulation d'évènements discrets. Afin de

Paramètre	Valeur
Le nombre d'avions	1 avion
Vitesse de(s) l'appareil(s)	850 km/h
Capacité de patients alités	4
Base de(s) appareil(s)	Québec (YQB)

Tableau 4.1 – Caractéristiques de la flotte d'avion de départ, un Challenger 601-3A

s'assurer qu'un modèle de simulation peut mener à des résultats utiles en pratique, deux étapes sont cruciales : la vérification et la validation. La vérification a pour objectif de s'assurer que le simulateur fait ce qu'il est censé faire et qu'il n'y a pas de bogue présent. La validation quant à elle a pour objectif de s'assurer que le portrait dressé par la simulation est représentatif de ce qui se passe dans la réalité. L'ensemble des demandes des patients ont été enregistrées dans un fichier Excel et ont servi de base à la génération des demandes dans Arena.

Dans un premier temps, des vérifications ont été faites à différentes étapes de la conception de l'outil. Les différentes sections du modèle, divisées par décision et moyen de transport, ont été bâties indépendamment, dans différents fichiers, pour permettre des vérifications avant l'assemblage final. Plusieurs demandes ont été sélectionnées au hasard et suivies à travers le système afin de vérifier que les bons attributs étaient assignés, que les entités empruntaient les bonnes boucles de décisions et que le chemin parcouru était cohérent avec le trajet de la vraie demande présente dans les données. Une fois toutes les sections vérifiées, un modèle complet incluant l'ensemble du processus a été bâti et vérifié avec d'abord un mois de données, puis une année entière.

Afin d'effectuer une validation de l'outil, les données présentées au tableau 4.1 ont été entrées comme paramètres. L'objectif était de représenter le plus fidèlement possible les caractéristiques du Challenger, soit l'avion présentement utilisé. Selon l'information fournie par le SAG, la vitesse moyenne est évaluée à 850 km/h et la capacité est de 4 patients, dont 3 civières et une isolette. De plus, toutes les missions débutent et se terminent à Québec, puisque que c'est à l'aéroport YQB qu'est situé le hangar des appareils.

La variabilité présente dans les opérations a été représentée par les distributions sui-

vantes au sein de la simulation. La première source d'incertitude se situe au niveau de la météo. Dans certains cas, la météo empêche d'effectuer le transfert, car l'avion ne peut pas se poser dans la région touchée. Une analyse statistique des données de l'année 2019 a permis de faire ressortir les demandes présentant des temps de réponse significativement plus élevés que la moyenne pour leur région ou leur niveau de priorité. Une lecture des justifications de retards, telle que notée dans les documents de transferts par l'infirmière, a permis d'estimer que 5% des demandes présentent des délais d'une durée variable causés par la météo (brume, tempête, etc.). Le temps associé à ses délais est basé sur les données de 2019 et sur des estimations des acteurs du milieu. Une tempête empêchant d'accéder à une piste dure minimalement 4 heures, avec un mode de 12 heures et un maximum de 24 heures. Nous avons émis l'hypothèse que le transport ne peut se faire autrement qu'en avion, ce qui est particulièrement vrai pour les régions les plus éloignées du Québec, comme les Îles-de-la-Madeleine ou le Nunavik. La même logique a ainsi été appliquée pour l'ensemble des régions.

Une autre source de variation se situe au niveau du transbordement, soit l'étape où le patient est transféré de l'ambulance à l'avion et vice versa. Cette étape est délicate et le temps de transbordement varie selon plusieurs critères, mais principalement le nombre d'appareils rattachés au patient. Lorsque le patient est intubé (patient de priorité 1, critique), il faut compter entre 45 à 50 minutes pour embarquer le patient dans l'avion. Le temps de transbordement des autres patients dépend du poids du patient, parmi d'autres facteurs, et suit une distribution triangulaire avec un minimum de 20, un maximum de 40 minutes et un mode de 30 minutes. Le temps moyen de transbordement a été estimé par les spécialistes du milieu en fonction de leur expérience. Les données n'incluent pas le détail du délai de cette étape et les conditions épidémiologiques ne permettaient pas la prise de mesures sur place.

Le temps de transport terrestre vers l'hôpital receveur a été calculé à partir des coordonnées GPS de ceux-ci et des aéroports receveurs. En moyenne, il faut 20 minutes à l'ambulance pour se rendre de l'aéroport à l'hôpital receveur. En utilisant l'outil de Google Map qui permet d'estimer le temps de déplacement selon différentes heures de

Météo (%)	95% conditions favorables; 5% conditions défavorables
Météo (en heures)	Triangulaire (4, 12, 24)
Transbordement (en minutes) - P1	Uniforme (min=45, max=50)
Transbordement (en minutes) – P2 à P5	Triangulaire (20, 30, 40)
Transport vers l’hôpital receveur (en minutes)	Triangulaire (15, 20, 30)
Mise en tension (minutes)	Uniforme (min=50, max=60)

Tableau 4.2 – Fonctions utilisées pour représenter l’incertitude au sein du modèle

la journée, il a été déterminé que le temps minimal de transport est de 15 minutes, et un maximum de 30 minutes lorsque le trafic est dense.

Le temps de mise en tension de l’avion entre chaque mission varie uniformément entre une valeur de 50 à 60 minutes. Cette donnée a été estimée et confirmée par les acteurs du milieu.

Les résultats pour chacune des entités du simulateur ont été notés dans le logiciel Access afin de permettre une validation. La validation de l’outil de simulation a été effectuée afin de s’assurer que celui-ci représentait la réalité de façon suffisamment précise et permettre l’obtention de résultats crédibles pour l’organisation. Pour la validation, 50 répliques d’un an ont été effectuées. Plus précisément, chaque réplique inclut l’ensemble des demandes de 2019 pour lesquels les attributs sont générés selon les distributions mentionnées à la figure 4.2. Les résultats obtenus à la fin des 50 répliques pour l’ensemble des indicateurs de performance définis incluent la moyenne de chaque réplique, la moyenne des moyennes, c’est-à-dire sur l’ensemble des 50 répliques, la moyenne minimale et maximale pour les 50 répliques, ainsi que l’intervalle de confiance à 95 %. Les résultats ainsi obtenus ont été comparés aux données réelles.

Parmi tous les indicateurs mesurés, deux méritent une attention particulière. Le premier indicateur est le nombre de missions effectuées. Cet indicateur permet de vérifier si les décisions associées à l’élaboration des trajets, c’est-à-dire le choix des arrêts supplémentaires afin d’embarquer plusieurs patients, reflètent bien la réalité. Le nombre de missions moyen obtenu pour l’ensemble des 50 répliques est de 1 140,75 missions, tel

	Données réelles	Simulation (Moyenne)	Simulation (Écart-Type)	Simulation (Intervalle de confiance)	
Nombre de missions	1328	1140.75	6.44	1134.31	1147.19

Tableau 4.3 – Statistiques sur le nombre de missions

que présenté au tableau 4.3.

En observant les résultats, on constate que le nombre de missions effectuées dans l'année par simulation est significativement inférieur au nombre total de missions réelles puisque cette dernière n'est pas incluse dans l'intervalle de confiance. On peut donc conclure que, pour un même nombre de patients, le simulateur effectue moins de missions et inclut donc plus de patients par mission. Les missions de nuit et les limites d'heures de travail effectuées par les pilotes sont parmi les explications plausibles de cet écart. En effet, lorsque des demandes sont reçues de nuit, si le patient n'est pas dans un état critique, il est probable que la demande soit transmise au lendemain, et ce, même si l'avion est déjà en mission, car l'ajout d'heures de vol en plein milieu de la nuit augmente le risque d'accident pour les avions. De plus, les pilotes ne doivent pas dépasser les 10 heures de travail consécutives, ce qui signifie qu'avec deux équipes de pilotes, il est uniquement possible de voler un total de 20 heures par jour. Le modèle est cependant basé sur l'hypothèse qu'il n'y a pas de limite au niveau des ressources humaines, et donc, si une équipe de pilotes a épuisé son nombre d'heures, une autre équipe est disponible pour la remplacer. Malgré le fait qu'en 2019, les pilotes étaient difficiles à recruter, la pandémie et l'arrêt des vols commerciaux ont permis à l'EVAQ d'élargir son bassin de pilotes disponibles pour le transport aéromédical. L'organisation n'anticipe pas de pénurie de pilotes dans les années à venir.

Un second indicateur important à la validation est le temps total de traitement d'une demande patient, soit le temps entre la réception de la demande de transport à l'EVAQ et l'arrivée du patient à l'hôpital receveur. La figure 4.4 présente la valeur moyenne du temps total calculée à partir des données réelles de même que l'intervalle de confiance

Niveau de priorité	Moyenne Données (h)	Intervalle de confiance 95%		Écart moyen
P1	6.56	7.16	7.44	-10.1%
P2	8.09	8.15	8.35	-2.0%
P3	10.64	10.42	10.74	0.6%
P4	13.88	11.82	12.36	14.08%
P5	13.13	9.86	12.28	18.6%

Tableau 4.4 – Comparaison des temps totaux entre les données et le résultat du simulateur

à 95% pour le temps total moyen obtenu pour les 50 réplifications, et ce, par niveau de priorité. L'écart entre les deux moyennes, simulées et réelles, est également présenté. Il est possible de constater que parmi les cinq niveaux de priorité, seule la différence entre le temps total de traitement pour les patients classés P3 obtenus par simulation n'est pas significativement différente de la moyenne calculée à partir des données réelles, puisque la moyenne des données réelles se retrouve à l'intérieur de l'intervalle de confiance. Les résultats obtenus pour les patients classés P2 sont significativement différents, mais la moyenne calculée à partir des données réelles demeure très près de la borne inférieure de l'intervalle de confiance, à 0,06 heure soit à 4 minutes pour des transferts d'une durée moyenne de 8,09 heures.

En comparant les temps totaux, on constate que le temps de traitement total pour les patients les plus urgents (P1 et P2) est significativement plus long dans la simulation que dans les données réelles, alors que l'inverse se produit pour les priorités moindres (P4 et P5). Il est important de noter que les patients de priorité P4 et P5 ne représentent que 7,41% des demandes. En remplissant davantage les avions, il est aisé d'embarquer un patient de plus, bien qu'il ne soit pas prioritaire, et de l'apporter plus rapidement à bon port.

En résumé, en comparant les résultats obtenus par simulation et ceux calculés à partir des données réelles, on peut noter une tendance à la baisse quant au nombre de missions. On note aussi que les temps totaux de traitement des patients moins critiques (P4 et P5) sont significativement plus bas, alors que l'inverse se produit pour les patients critiques (P1 et P2). Dans ce cas, on constate que le temps total de transfert est 10% plus grand que

les temps réels. Le simulateur est ainsi jugé valide, malgré la présence d'écarts significatifs. Puisque les patients P2 et les P3 représentent 82% des demandes et ont obtenus de bons résultats au simulateur, il a été jugé que cela était suffisamment robuste pour continuer la suite du projet. Puisque l'ensemble des scénarios seront comparés sur la base des résultats obtenus par simulation, il sera important de prendre en compte les tendances que présente le modèle de simulation original lors de leur interprétation.

Chapitre 5

Expérimentations et résultats

Les scénarios de simulation sont présentés dans cette section, suivi des expérimentations et de l'analyse des résultats. Ceux-ci sont séparés par groupe selon le type de décision : premièrement le choix de l'appareil, suivi de l'emplacement des bases, terminant avec le niveau de la demande. En décortiquant chacun des indicateurs de performance, l'objectif est de déterminer quels facteurs influencent le plus la performance de la flotte au niveau des opérations. Tout comme lors de la validation, les résultats présentés ont été obtenus à la suite de 50 répliques.

Le tableau 5.1 résume l'ensemble des scénarios et les modifications effectuées au simulateur pour les réaliser. Ces changements se situent tant au niveau des paramètres de la flotte, que du profil de la demande et de l'accessibilité aux pistes. Chaque scénario est présenté de manière détaillée dans les sous-sections suivantes. Pour des raisons de confidentialité, les noms des modèles d'avion ne seront pas divulgués et on été remplacés par une description sommaire de l'appareil.

Scénario	Demande	Flotte	Accessibilité aux pistes
A – 1 avion Moyen	Aucun changement	Vitesse : 537 km/h Capacité : 3	Accès à toutes les pistes
B – 1 avion-hélicoptère	Facteur météo touche 2% des demandes	Vitesse : 510 km/h Capacité : 2	Transfert sans déplacement par ambulance
C – 2 avions Petit	Aucun changement	Vitesse : 574 km/h Capacité : 2 Nombre d'appareils : 2	Accès à toutes les pistes
D – Nouvelles bases à Val D'Or et Mont-Joli Appareils Petit	Aucun changement	Vitesse : 574 km/h Capacité : 2 Nombre d'appareils : 2	Accessible aux pistes de 5 000 pieds Bases des avions à YVO et YYY
E – Augmentation de 50% de la demande avec 1 Challenger	Augmentation de 50% de la demande	Aucun changement	Aucun changement
F – Augmentation de 50% de la demande avec 1 avion Moyen	Augmentation de 50% de la demande	Vitesse : 537 km/h Capacité : 3	Accès à toutes les pistes
G - Diminution de 30% de la demande avec 1 Challenger	Diminution de 30% de la demande	Aucun changement	Aucun changement
H - Diminution de 30% de la demande avec 1 avion Moyen	Diminution de 30% de la demande	Vitesse : 537 km/h Capacité : 3	Accès à toutes les pistes

Tableau 5.1 – Modifications apportées au modèle de simulation pour chacun des scénarios

5.1 Scénarios sur le choix d'appareil et la taille de la flotte

Le premier élément étudié dans la simulation concerne la flotte d'avion elle-même, soit le modèle d'avion choisi et le nombre d'appareils nécessaires à la conduite des opérations. L'objectif étant de départager les différents avantages des nombreux modèles disponibles sur le marché, tout en comparant leur performance, lorsqu'utilisée dans le contexte de l'EVAQ.

Le simulateur peut, à toutes fins pratiques, tester n'importe quel type d'appareil, à condition de savoir sa capacité, sa vitesse moyenne, sa portée et la longueur de piste nécessaire pour permettre un décollage ou atterrissage. Il serait également possible de tester deux différents modèles en même temps, mais cette option a été mise de côté par les acteurs du milieu, car les pilotes devraient alors être certifiés pour piloter à la fois le Dash de la navette multipatients, en plus des deux appareils d'avion-hôpital. Une triple certification pourrait compliquer le recrutement et la rétention des pilotes, ce qui est un enjeu que l'EVAQ souhaiterait éviter.

5.1.1 Scénario A : Un appareil Moyen

Les discussions avec les acteurs du processus ont permis d'identifier les avions turbopropulseurs comme une alternative intéressante au Challenger utilisé actuellement. Les turbopropulseurs sont de plus petits avions permettant une meilleure accessibilité au patient, car ils peuvent atterrir sur de plus petites pistes. Il est important de rappeler que présentement, 11% des pistes utilisées par l'EVAQ ne sont pas accessibles par le Challenger en fonction, mais uniquement par la navette multipatients qui est plus petite. De plus, il existe de nombreuses pistes au Québec qui ne font pas partie du réseau de l'EVAQ, à cause de la longueur de la piste ou de l'absence de station de dégivrage ou d'essence, mais que l'EVAQ aimerait pouvoir utiliser. En incluant ces pistes, 111 aéroports potentiels seraient alors accessibles soit le double du réseau actuel de l'EVAQ.

Un appareil de ce type, que nous surnommerons ici Moyen, a la capacité d’atterrir sur toutes les pistes au Québec, incluant les non-pavés, tout en offrant assez d’espace pour transporter trois patients en même temps. L’appareil permet d’atteindre une vitesse moyenne de 537 km/h, ce qui est une réduction importante par rapport au Challenger qui a une vitesse moyenne de 850 km/h. Il est intéressant de noter que le Moyen est l’appareil utilisé pour des évacuations aéromédicales en Océanie. L’appareil a ainsi été défini comme le premier scénario à évaluer (scénario A). Afin de prendre en compte la vitesse et l’accessibilité, différentes modifications ont été apportées au simulateur. Tout d’abord, certains paramètres, soit la vitesse et la capacité, ont été modifiés afin de prendre en compte les caractéristiques de l’avion choisi. De plus, le module où s’effectue le choix de l’aéroport demandeur a été modifié afin d’inclure toutes les pistes faisant présentement partie du réseau de l’EVAQ, et ce, peu importe leur longueur. Les modifications principales effectuées sont résumées au tableau 5.1.

5.1.2 Scénario B : Un appareil avion-hélicoptère

Un autre appareil a retenu l’attention des acteurs du milieu, particulièrement des SAG. Il s’agit d’un avion-hélicoptère, soit un appareil bimoteur dont les rotors peuvent basculer pour passer du mode avion au mode hélicoptère (voir l’image à la figure 5.1). Le mode hélicoptère permet un décollage et un atterrissage à la verticale ne nécessitant donc pas de piste d’atterrissage particulière. L’appareil peut donc se poser directement à l’hôpital et ainsi éliminer le transport terrestre vers l’aéroport. Cela permet aussi d’atteindre des hôpitaux dont les pistes les plus proches sont trop courtes et ainsi sauver du temps précieux. Une fois décollé, l’appareil passe en mode avion et atteint une vitesse supérieure à la moyenne des hélicoptères. Il permet aussi un vol à une altitude supérieure aux hélicoptères et possède un système de dégivrage et d’aide à la vision, permettant les vols même lors de mauvais temps. Sa vitesse est toutefois inférieure à celle des Challenger présentement utilisés avec une moyenne à 510 km/h. Sa capacité est également limitée à deux patients alités. Ainsi, l’utilisation d’un appareil avion-hélicoptère représente le deuxième



FIGURE 5.1 – Appareil avion-hélicoptère

scénario étudié (scénario B).

Afin de prendre en compte ce nouvel appareil, les paramètres de vitesses et de capacité ont été modifiés. Ces nouveaux paramètres sont résumés au tableau 5.1. De plus, compte tenu de la fiabilité de l'appareil lors des intempéries, notamment dans des conditions de givre et de visibilité réduite, le pourcentage de transferts reportés par de mauvaises conditions météorologiques a été diminué de 3%, passant de 5% à 2%. Finalement, afin de prendre en compte la possibilité d'atterrir directement aux hôpitaux demandeurs, les modules qui génèrent le déplacement de l'entité depuis l'hôpital demandeur jusqu'à l'aéroport receveur par ambulance ont été retirés. Les patients attendent ainsi l'appareil à l'hôpital. Le transbordement et la suite des opérations demeurent les mêmes que le scénario original.

5.1.3 Scénario C : Deux appareils Petit

Une autre hypothèse posée par l'équipe de travail du MSSS et de l'EVAQ lors des rencontres suppose que l'utilisation de deux petits appareils permettrait de réduire le temps total pour le transfert des patients. En effet, posséder deux avions éviterait de devoir at-

tendre le retour de l'appareil à Québec afin de lancer une deuxième mission. Cela paraît particulièrement intéressant lorsque l'avion est partie pour une longue mission au Nunavik ou à Blanc-Sablon, par exemple. Il est important de noter que, dans ce cas, la capacité totale demeurerait la même, car plutôt que d'avoir un avion à quatre places, la flotte comporterait deux avions à deux places. Un des désavantages de ce type d'appareil est leur rapidité. Les plus petits avions-turbomoteurs, tel que le Moyen et le Petit, se déplacent plus lentement et prennent donc plus de temps pour effectuer les déplacements.

Comme défini dans la description du cas de l'EVAQ, les avions sélectionnés se doivent de posséder un gravelkit pour atterrir sur du gravier, les pistes non asphaltées étant nombreuses en région, ainsi qu'une portée de 1 700 km minimum afin de franchir l'ensemble des trajets sans arrêt supplémentaire pour mettre de l'essence. Parmi la liste des appareils fournie par le SAG, un modèle d'appareils en particulier répondait à l'ensemble de ces critères, que nous appellerons le Petit avion. D'une vitesse moyenne de 574 km/h, cet avion a l'avantage, tout comme le Moyen, d'avoir déjà fait ses preuves. Le Petit est le modèle en fonction dans d'autres provinces du Canada pour les évacuations aéromédicales. Le scénario C prend donc en compte deux appareils de type Petit. Afin de prendre en compte ces nouveaux appareils, la vitesse, la capacité ainsi que le nombre d'appareils utilisés ont été modifiés. Ces nouveaux paramètres sont résumés au tableau 5.1. De plus, les listes d'aéroports disponibles lors du choix de l'aéroport demandeur ont été mises à jour, de la même façon que pour l'appareil Moyen.

5.1.4 Discussion des résultats obtenus pour les scénarios A, B et C

Le tableau 5.2 présente les résultats obtenus pour le scénario de base, soit l'utilisation d'un appareil Challenger, pour les trois scénarios représentant de changement d'appareils. Plus concrètement, le tableau inclut l'intervalle de confiance pour le temps total de transfert d'un patient, le nombre de patients en attente ainsi que le temps d'attente moyen des patients avant l'arrivée de l'EVAQ. Le nombre de missions moyen obtenu à travers les 50 réplifications est également présenté, de même que le taux d'utilisation des appareils, soit

le nombre de patients divisé par le nombre de missions. Les autres scénarios présentés seront discutés plus bas et sont présentés ici pour des fins de comparaison.

	Réalité	Choix d'appareil et taille de flotte				Bases YVO et YYY	Changement dans la demande			
		1 Moyen	1 avion-hélicoptère	2 Petit			+50% demande SO	+50% demande SA	-30% demande SO	-30% demande SA
	1 Challenger	Scénario A	Scénario B	Scénario C	Scénario D	Scénario E	Scénario F	Scénario G	Scénario H	
	Simulation originale	[15.7, 16.3]	[17.9, 18.3]	[9.7, 9.8]	[8.4, 8.5]	[16.6, 17.5]	[80.2, 91.0]	[7.5, 7.6]	[10.7, 10.9]	
Intervalle de confiance du temps total (heures)	[9.7,9.9]									
Intervalle de confiance du nombre de patients en attente	[0.87, 0.91]	[1.7, 2.0]	[2.4, 2.6]	[0.16, 0.24]	[0.10, 0.17]	[3.2, 3.5]	[24.5, 29.4]	[0.35, 0.37]	[0.62, 0.66]	
Intervalle de confiance du temps d'attente (heures)	[4.1, 4.3]	[8.8, 9.4]	[11.3, 12.2]	[0.83, 1.13]	[0.58, 0.91]	[10.3, 11.1]	[65.3, 75.0]	[2.4, 2.5]	[4.3, 4.5]	
Nombre de mission moyen	1141	1003	1031	1465	1316	1206	879	956	886	
Taux d'utilisation de/des appareil(s)	61,72%	76.63%	79.83%	64.55%	49.86%	82.54%	96.62%	46.13%	58.24%	

Tableau 5.2 – Résultats obtenus pour l'ensemble des scénarios étudiés

Les résultats obtenus pour les scénarios A et B permettent de constater qu'une augmentation de l'accessibilité au détriment de la vitesse n'offre pas une performance intéressante. En effet, le principal avantage du Moyen et de l'avion-hélicoptère est de pouvoir se rapprocher de l'hôpital demandeur en accédant soit à un aéroport plus proche, ou en annulant complètement cet arrêt et en dirigeant l'appareil directement à l'hôpital. Néanmoins, l'accessibilité accrue ne permet pas de contrebalancer la vitesse moyenne réduite de ces appareils. En effet, le temps total du transfert a presque doublé par rapport au scénario original, passant d'un peu moins de 10 heures, à plus de 18 heures pour l'appareil avion-hélicoptère. De plus, il est important de rappeler que la capacité de ces appareils est également réduite, mais permet toujours d'embarquer trois patients pour le Moyen et deux patients pour l'avion-hélicoptère. Ainsi, il est intéressant de noter que le nombre de missions a diminué d'environ 10% avec les scénarios A et B, signifiant que même si la capacité de ces appareils était moindre, le même nombre de patients ont été transportés dans un nombre inférieur de missions, et donc, avec en moyenne plus de patients par vol. L'explication se trouve dans la configuration du processus décisionnel. Le modèle, tout comme la réalité, fonctionne de façon à arrêter pour embarquer tout patient en attente qui ne constitue pas un détour (dont le numéro de zone est inférieur et relié au bon aéroport receveur), tant que son niveau de priorité respecte les règles du protocole (présentées précédemment). On constate que le nombre de patients en attente augmente lorsque la vitesse des appareils diminue, laissant donc davantage de demandes en attente donc les caractéristiques correspondent aux critères pour les arrêts supplémentaires.

Le scénario C présente des améliorations significatives tant au niveau du temps total que du temps d'attente. Premièrement, le temps d'attente diminue, passant d'un peu plus de quatre heures lors du scénario original, à environ une heure. Cette diminution s'explique par l'ajout d'une ressource supplémentaire. Il est toutefois important de noter que le taux d'utilisation des appareils demeure similaire au scénario de base, et ce, à cause de la vitesse de l'appareil Petit qui allonge considérablement le temps de vol.

En considérant le scénario C, l'EVAQ a donc deux fois plus d'avions dans le ciel en moyenne, ce qui permet de déployer rapidement l'un des appareils lorsqu'une demande

est effectuée, ce qui se traduit par un temps d'attente réduit. De plus, le nombre de missions a augmenté de près de 30%. Ainsi, avoir deux avions de capacité réduite de moitié ne double pas le nombre de vols à faire pour transporter l'ensemble des patients. En effet, puisque les missions à quatre patients constituent seulement 3% des missions dans les données réelles pour l'année 2019, il est donc cohérent qu'une diminution de la capacité en deçà de quatre ne créent pas un écart marqué en termes de nombre de missions effectuées pour un même nombre de patients. Par contre, cela nécessitera plus d'arrêts d'entretiens, puisque l'avion doit être mis en tension entre chaque mission, et au final, le temps total pour l'arrivée du patient à l'hôpital receveur est le même, soit un peu moins de 10 heures. La répartition des temps totaux de transfert selon le niveau de priorité tel qu'illustré à la figure 5.2 est particulièrement intéressante pour ce scénario. Plus concrètement, la figure 5.2 présente le temps total de transfert pour chaque niveau de priorité assignée aux patients, et ce, pour le scénario original et C.

En observant la figure, on peut constater que l'utilisation de deux avions à vitesse réduite augmente significativement le temps de réponse pour les patients critiques P1 et P2, ce qui n'est pas souhaitable en pratique, tout en diminuant le temps de réponse pour les niveaux de priorité moins urgents. Ainsi, malgré un temps total moyen similaire (toutes priorités confondues) tel qu'illustré au tableau 5.2, cette diminution ne semble pas se traduire de la même manière selon les niveaux de priorité. En effet, on observe à la figure 5.2 que les différents niveaux de priorité ont des temps totaux presque identiques. En effet, puisque les intervalles de confiances se recoupent, la différence au niveau des temps totaux de transfert n'est pas significative. La tendance observée lors de la validation est ainsi accentuée, se rapprochant de la ligne horizontale entre les niveaux de priorité présentés. Cela va à l'encontre d'un système de priorité tel que celui implanté à l'EVAQ. En effet, l'EVAQ a mis sur pied un protocole de décision basé sur le niveau d'urgence afin de permettre aux patients les plus critiques d'être traités en priorité, c'est-à-dire plus rapidement. Dans ce cas-ci, en ajoutant des patients pour remplir les vols, à une vitesse de vol réduite, tous les patients arrivent dans des temps similaires, et ce peu importe leur niveau de priorité.

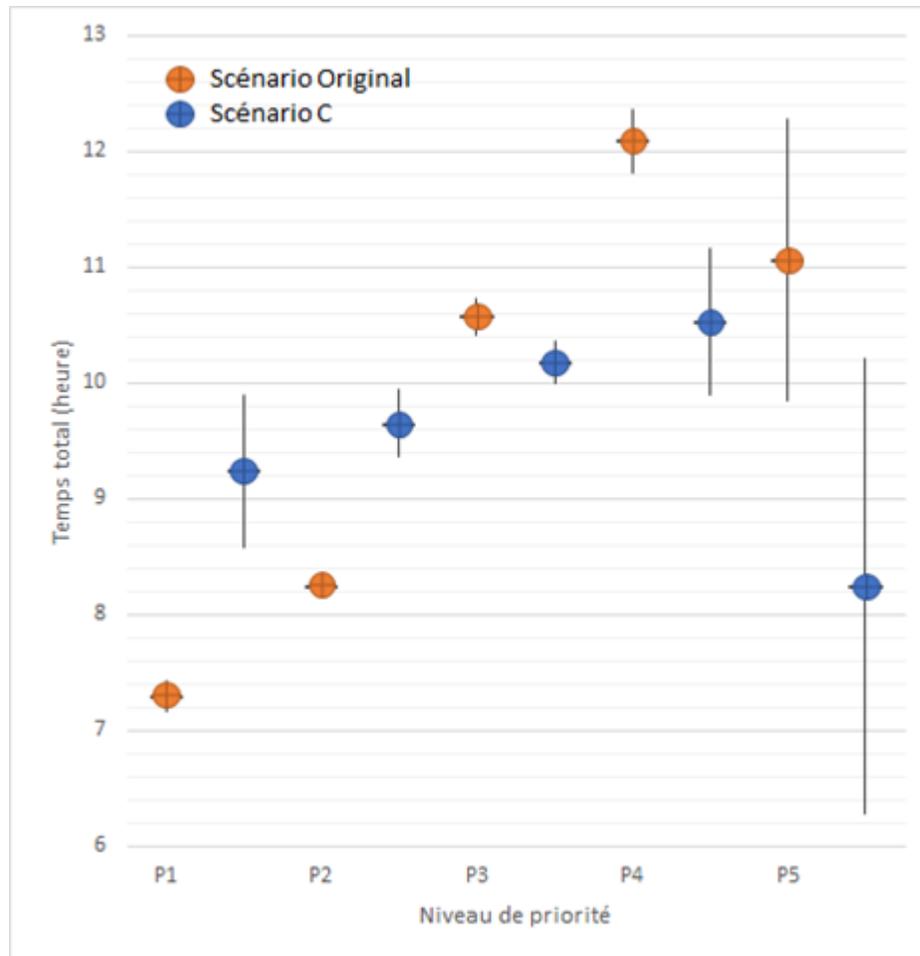


FIGURE 5.2 – Temps total par niveau de priorité pour les scénarios O et C

5.2 Scénarios avec de nouvelles bases

Le scénario C a démontré que d’avoir deux appareils permet de réduire le temps d’attente pour la prise en charge du patient à l’aéroport. Ainsi, l’équipe de l’EVAQ arrive plus rapidement au chevet du patient. En contrepartie, les avions étant plus lents, le temps total jusqu’à l’arrivée du patient à destination ne s’en trouve pas réduit. Ces résultats, jumelés à des discussions avec des acteurs du milieu, ont mené au scénario D, c’est-à-dire de rapprocher les bases de départ des avions de la demande afin de diminuer la distance à parcourir lorsque le patient est en attente. En réduisant le temps d’attente, on peut poser l’hypothèse que cela aura un impact positif sur le temps total de traitement.

5.2.1 Scénario D : Deux Petit avec bases à YVO et YYY

Le scénario D concerne le positionnement des appareils, c'est-à-dire la localisation de l'aéroport de base. Ce scénario considère que les appareils ne sont plus basés à l'aéroport de Québec, mais attendront plutôt, entre deux missions, dans des bases situées en Abitibi et au Bas-St-Laurent. Les aéroports choisis pour la simulation sont ceux de Val-d'Or (YVO) et de Mont-Joli (YYY), car les deux possèdent une station pour le carburant, le dégivrage et une piste de plus de 5 000 pieds.

Afin de prendre en compte cette alternative, des modifications ont été apportées au simulateur. Premièrement, entre chaque mission après avoir déposé les patients à l'aéroport receveur, les appareils sont redirigés vers leur base. Chaque appareil s'est vu attribuer l'un des deux bases, soit YVO et YYY. Ils sont ensuite libérés et prêts à être redirigés vers la prochaine demande. Les caractéristiques de l'appareil sont les mêmes que pour scénario C, soit les deux Petit.

En observant les résultats rapportés au tableau 5.2, rapprocher les avions de leurs destinations en les stationnant à des aéroports en région a pour effet de diminuer le temps total d'environ 15%, et de près de 30% du temps d'attente quand on le compare au scénario C. Les patients sont donc pris en charge par l'équipe spécialisée de l'EVAQ à l'aéroport en moins d'une heure en moyenne ce qui représente un échelon important quant à la qualité des soins offerts. Le taux d'utilisation des appareils diminue également, passant de 64,55% à 49,86%. Ainsi, les appareils sont maintenant utilisés seulement la moitié du temps, ouvrant ainsi la porte à d'autres utilisations pour ces avions, ainsi qu'une plus grande marge de manœuvre en cas de bris ou d'augmentation de la demande.

5.3 Scénarios avec une demande variable

Le troisième groupe de scénarios s'intéresse à l'analyse de l'impact des variations dans la demande annuelle sur la performance. En effet, une configuration avec un certain type d'appareil peut être appropriée présentement, mais pas nécessairement dans 10 ans,

puisque la situation peut être amenée à changer dans les prochaines années. Il est donc important de valider la robustesse des décisions en présence de variation de la demande de manière à ce que la flotte puisse perdurer dans le temps.

5.3.1 Scénario E et F : Augmentation de la demande de 50% avec Challenger et Moyen

Bien que la demande ait été relativement stable dans les 10 dernières années, les facteurs ayant le plus d'influence sur la demande, soit le vieillissement et la pauvreté, sont présentement en hausse. Le nombre de personnes âgées est appelé à passer de 1,2 million (valeur de 2016) à 2,2 millions en 2030 (CHU de Québec, 2016), en plus des facteurs de pauvreté qui ont également augmenté avec la pandémie. Les scénarios E et F visent donc à analyser les performances dans le contexte d'une augmentation de la demande, qui a été estimée à 50% en fonction des données récoltées et des discussions avec les partenaires. Un appareil de type Challenger (Scénario original) et un appareil de type Moyen (Scénario A) ont été choisis pour ces nouveaux tests, car ce sont les deux scénarios les plus près de la réalité, et les seuls ne nécessitant pas de changement au niveau des installations ou du nombre de ressources nécessaires.

Afin de prendre en compte l'augmentation de la demande, le générateur de demande a été modifié en utilisant le Scale factor inclus dans Arena, permettant de multiplier le nombre d'entités afin d'en créer des nouvelles en se basant sur l'horaire des temps inter-arrivées répliquant les données de 2019. Les paramètres utilisés demeurent les mêmes que pour le scénario de base et le scénario A.

5.3.2 Scénario G et H : Réduction de la demande de 30% avec Challenger et Moyen

Une seconde variation de la demande mérite une attention particulière. L'EVAQ et le MSSS envisagent présentement la possibilité d'ajouter un service d'avion-ambulance à

l'EVAQ. Cela signifie que les patients ne nécessitant pas le support d'un médecin lors d'un vol pourront être transportés par un autre appareil, accompagnés d'une infirmière et/ou d'un paramédic. Deux évaluations ont été faites par le passé par l'EVAQ afin de mesurer l'impact sur la demande de l'avion-hôpital, le sujet de notre étude. Les acteurs du milieu ont estimé que 30% des demandes présentement traitées par l'avion-hôpital pourraient être pris en charge par un avion-ambulance. On estime donc que l'ajout de ce service ferait diminuer de 30% la demande de transports pour l'avion-hôpital. Les scénarios G et H visent donc à analyser la performance en considérant une réduction de la demande, et ce, pour les appareils Challenger et Moyen. Afin de prendre en compte la réduction de la demande, le simulateur a également été modifié à l'aide du Scale factor puisque les intervenants ont spécifié que les 30% touchés étaient distribués aléatoirement à travers la demande, diminuant ainsi le nombre d'entités générées. Les paramètres utilisés pour la flotte demeurent les mêmes que pour le scénario de base et le scénario A.

5.3.3 Discussion des résultats obtenus pour les scénarios E, F, G et H

L'ensemble des résultats obtenus pour les scénarios E, F, G et H sont présentés au tableau 5.2 avec les résultats obtenus pour le scénario de base et les autres scénarios étudiés ce qui permet une vue d'ensemble des résultats. Il est alors possible de constater que les résultats obtenus pour les scénarios E et F, soit ceux qui considèrent une augmentation de la demande, démontrent à quel point le modèle actuel ainsi que celui à un avion turbopropulseur ne sont pas adaptés pour faire face à une augmentation marquée de la demande. En effet, le modèle de décision permettant de jumeler les patients au sein d'un même avion a été bâti de façon à maximiser le nombre de patients à bord d'un même appareil en vol. Ainsi, le nombre de missions présente une augmentation de 5,7% avec le Challenger et une diminution de 23% avec le Moyen. Puisqu'il y a plus de demandes reçues, le nombre de patients en attente augmente significativement, laissant plus d'options d'arrêts pour l'avion en vol pour ajouter des patients à la mission. Le Moyen étant considérablement plus lent que le Challenger, avec une vitesse moyenne de 537 km/h, la liste de demandes

en attente s'allonge davantage entre deux arrêts, offrant plus de possibilités pour ajouter un patient à la mission. Les temps totaux atteignent toutefois jusqu'à 91 heures avec le Moyen, soit près de quatre jours, incluant une période d'attente de plus de 24h, ce qui n'est pas acceptable dans le contexte du transport d'urgence. Si la demande venait à augmenter de cette façon, il serait important d'étudier si un changement au protocole de décision permettrait d'éviter les vols trop longs pour les patients.

D'un autre côté, la diminution de la demande causée par l'ajout de l'avion-ambulance donne aussi des indications intéressantes. Jusqu'à présent, le scénario avec les meilleurs temps était le scénario D, mais on remarque que le scénario original obtient de meilleurs temps totaux de transfert lorsque la diminution est appliquée, soit environ 7 heures 30. Cependant, en ayant seulement un appareil, le temps d'attente moyen est plus élevé d'environ 1 heure 30. Le temps d'attente est cependant réduit presque de moitié en comparaison avec le scénario original, et ce, en diminuant la demande de seulement 30%. Le scénario H présente également des résultats similaires à ceux du scénario original, démontrant que même avec une vitesse réduite, il est possible de fournir un service sensiblement équivalent avec une diminution de 30% de la demande. Finalement, les deux scénarios présentent des taux d'utilisation réduits de 15 à 18%, ce qui est cohérent avec une diminution de la demande.

Les résultats obtenus grâce à la simulation ont permis de constater que le scénario D avec les deux appareils Petit installés dans des bases en Abitibi et au Bas-St-Laurent a les meilleurs résultats au niveau des indicateurs de performance, tant au niveau de l'attente de que temps total de transfert. Sur la base de ces indicateurs uniquement, il serait donc le scénario recommandé. Cependant, des résultats similaires peuvent également être obtenus avec le scénario original si sa demande venait à être diminuée de 30% par l'ajout d'un avion-ambulance (scénario G).

5.4 Discussion

Au-delà des mesures des indicateurs de performance, plusieurs autres critères sont à considérer avant de faire le choix d'un appareil, permettant ainsi de nuancer les résultats obtenus. Bien que ces paramètres ne soient pas quantifiés dans le simulateur, ils ne sont pas pour autant moins importants. Une décision réaliste et efficace doit comprendre l'ensemble des facteurs, mais également de tenir compte des impacts humains et logistiques de ces décisions.

L'étude de scénarios découle de l'hypothèse selon laquelle la flotte actuelle n'est pas bien adaptée à la situation actuelle et future et qu'il serait possible de trouver une meilleure combinaison d'appareils pouvant offrir un meilleur service aux patients. Concrètement, cela implique l'achat de nouveaux avions que le gouvernement du Québec est prêt à faire. Le changement d'appareils implique également de nouvelles certifications pour les pilotes de même que des frais pour aménager le nouvel appareil selon les recommandations des équipes médicales. De plus, advenant le cas où un scénario tel que le scénario C serait considéré, il faudrait doubler le nombre d'appareils, mais aussi le nombre d'équipes nécessaires ce qui peut représenter des coûts importants. En effet, le déplacement de la base de départ de Québec vers d'autres villes du Québec signifie que des équipes formées devront se trouver sur place, et ce, tant du côté des pilotes, des médecins, infirmières, inhalothérapeute, mécaniciens, etc. Aucune de ces décisions ne sera facile à implanter. En bref, bien que les indicateurs de performance proposent des résultats quantifiés aux questionnements des équipes de l'EVAQ et du MSSS, il est important de nuancer ces chiffres et de les mettre dans leur contexte pour permettre des recommandations qui soient valides et réalistes.

Tel que mentionné précédemment, il est important de définir avec les équipes ce qui est prioritaire entre le temps de transfert et le temps d'attente. Sans améliorer le temps de transport total, en réduisant l'attente, tel que constaté dans les scénarios C avec les appareils Petit, le patient est pris en charge par l'équipe de l'EVAQ plus rapidement. Il s'agit d'une décision stratégique importante à discuter avec les acteurs du milieu.

De plus, l'équipe de planification doit prendre en compte un autre facteur, soit celui du transport terrestre évité. En effet, avec l'appareil avion-hélicoptère (scénario B) l'équipe de l'EVAQ peut aller directement à l'hôpital, pour stabiliser le patient au besoin, et effectuer le transbordement à même l'hôpital. Cela évite les risques de complications dans l'ambulance et nécessite moins de ressources du côté de l'hôpital demandeur, puisqu'il n'est pas nécessaire de mobiliser un médecin pour accompagner le patient jusqu'à l'aéroport. Donc bien que les temps total de transfert et d'attente soient plus longs, le patient est moins chambardé par les changements de véhicules et déplacé uniquement par l'équipe de l'EVAQ. Finalement, les ressources médicales parfois rarissimes en région sont ainsi moins impliquées dans le processus. Il s'agit d'impacts qui sont difficiles à mesurer et qui ne sont pas compris dans ce mémoire, mais sur lesquels il serait pertinent de se pencher.

Il est évident par l'analyse des données que l'augmentation de la demande rendrait difficilement acceptable le niveau de service offert aux patients. Un changement est nécessaire au sein de la flotte pour le futur et puisque la navette multipatient est également au maximum et même au-delà de sa capacité, elle ne pourrait pas pallier une augmentation de la demande pour l'avion-hôpital. L'achat d'appareils supplémentaires pour faire face à une augmentation de la demande pour l'avion-hôpital nécessite aussi le recrutement de personnel supplémentaire tant du côté des pilotes que des équipes médicales, de façon similaire au scénario C avec deux Petit. La pandémie ayant ralenti le trafic aérien, il est plus aisé de recruter des pilotes présentement, mais l'embauche de médecins demeurera toujours un enjeu. Encore une fois, les indicateurs de performance permettent d'évaluer la performance des flottes, mais sans définir de choix clair, puisque de nombreux facteurs humains et monétaires sont en jeu, même s'ils ne sont pas mesurés par le simulateur.

On constate ainsi que l'accessibilité, soit un accès à un plus grand nombre de pistes d'atterrissage avec des appareils adaptés, mais moins rapides, apporte moins de bénéfices que la vitesse, tel que vu dans les scénarios A et B. Cependant, elle peut apporter beaucoup aux patients du point de vue médical, car en diminuant le transport terrestre, on réduit les risques pour le patient. La capacité des appareils influence également les temps mesurés, mais dans une moindre mesure, puisque les avions sont rarement pleins une fois dépassée

la capacité minimale de deux espaces patients au sein de l'appareil. Le principal avantage d'une capacité augmentée est celui de la flexibilité ajoutée, permettant de faire un arrêt supplémentaire dernière minute sans avoir à repasser à Québec. Les données démontrent cependant que bien que l'idée soit rassurante, il ne s'agit pas d'une nécessité, puisque lors de la simulation, peu d'appareils se sont remplis ainsi. Finalement, une réduction de la vitesse de l'avion peut faire une grande différence dans les temps obtenus, tant le temps total que d'attente. L'ensemble des scénarios démontrent qu'une vitesse réduite peut être compensée par une augmentation de la taille de la flotte, mais que cela sera davantage bénéfique pour réduire le temps d'attente que le temps total. Il est donc important de définir quel est le réel objectif du transport : prendre le patient en charge le plus rapidement possible ou l'amener auprès de son médecin receveur le plus rapidement ?

En conclusion, bien que les résultats obtenus avec la simulation indiquent que le scénario le plus adapté à la réalité du Québec soit le scénario D avec deux avions Petit et de nouvelles bases de repos à l'extérieur des grands centres, lorsque l'impact d'une telle décision est mesuré, on tend à privilégier l'utilisation d'un Challenger avec le soutien d'un avion-ambulance (scénario G). Avant de statuer sur une configuration spécifique, il serait nécessaire que l'EVAQ et le MSSS clarifient quels sont leurs objectifs en termes de qualité de service. En définissant des objectifs mesurables et en précisant ce qui est le plus urgent entre la prise en charge du patient par l'équipe de l'EVAQ ou l'arrivée du patient à l'hôpital, l'outil de simulation n'en deviendrait que plus précis.

Conclusion

La centralisation des ressources hospitalières entamée dans les dernières années au Québec continuera sa progression, augmentant ainsi la demande pour les transferts de patients vers les grands centres et du même coup la demande pour des connaissances sur les appareils aériens d'urgence (Norum et Elsbak, 2011). Il est donc important de se préparer maintenant afin de s'assurer de pouvoir offrir un service de qualité dans le futur. La nécessité de remplacer les appareils de transport aéromédical au Québec en plus d'évaluer quelle flotte répondrait le mieux à la réalité d'ici est une opportunité de se pencher sur le processus présentement en place.

Dans le cadre de ce mémoire, un outil de simulation a été bâti afin de représenter fidèlement les opérations de l'EVAQ et ainsi évaluer comment différents changements au niveau stratégique peuvent affecter le niveau de service offert au patient et l'efficacité de la flotte. Du côté de la qualité des soins, on note une diminution du temps d'attente et du temps total de transfert lors d'une configuration avec deux appareils de plus petits gabarits que celui actuellement utilisé par l'EVAQ. L'ajout d'un second appareil dédié aux transports par avion-ambulance prenant en charge 30% de la demande permet également de réduire les délais pour le patient. Cette seconde option est plus réaliste du côté logistique, car elle ne nécessite pas d'installer de nouvelles bases en région et de déplacer l'ensemble du personnel. Davantage de discussions sur les arbitrages possibles permettraient de mieux départager les scénarios possibles et ainsi faire des recommandations éclairées qui mèneront au processus d'appel d'offres que fera l'EVAQ dans quelques mois pour l'acquisition d'un nouvel appareil.

Les résultats de cette étude présentent cependant quelques limitations. Premièrement, bien que la méthodologie et les résultats soient adaptés spécifiquement pour le territoire québécois, il ne serait pas possible de répliquer directement les conclusions pour d'autres réalités. En effet, la structure de décision appliquée par l'EVAQ est assez unique par rapport à ce qui est proposé dans la littérature.

De plus, plusieurs données utilisées comme paramètres de la simulation sont des estimations par les acteurs du milieu puisqu'il n'était pas possible d'aller prendre des mesures sur place. La distribution du temps de transbordement est un exemple de ces paramètres.

Également, la composante comportementale, soit de prendre en considération la capacité des humains impliqués d'agir tel qu'on s'y attend n'a pas été étudié. Ainsi, si un acteur refuse de faire une étape du processus pour des raisons totalement personnelles, comme étirer sa pause ou éviter d'avoir à côtoyer certains types de clientèles, cela peut générer de nouveaux résultats se rapprochant encore davantage de la réalité.

Finalement, aucune analyse de coût n'a été faite dans le cadre de ce projet, car cela n'affectait pas l'objectif qui est de faire des recommandations appropriées de flottes pour les transports interhospitaliers au Québec. L'ajout de cette composante permettrait cependant de préciser l'analyse et d'offrir des scénarios possiblement plus réalistes pour les moyens disponibles.

Plus généralement, le choix d'une flotte appropriée aux besoins de la population est une tâche primordiale, il est cependant important de noter que d'autres actions peuvent être posées pour améliorer le service aux patients et mériteraient l'intérêt d'autres projets de recherche. Une perspective pertinente à étudier est l'ajout de plateaux techniques et d'équipements dans différentes régions du Québec. Depuis que les examens échographiques sont disponibles à Puvirnituq, au Nunavik, une baisse de 50% des transferts pour des appendicites a été observée (CHU de Québec, 2016). Pour mesurer l'impact d'une telle mesure, il faudrait évaluer la baisse de la demande que cela pourrait représenter, et ainsi la marge de manœuvre au niveau du service aérien que cela ajouterait. De plus, il serait pertinent de faire une étude économétrique pour comparer le coût de transport de ces patients en comparaison avec le coût des appareils de diagnostic et des technologues

nécessaires. Deux autres avenues sont également à étudier afin de faire diminuer la demande et ainsi relâcher de la pression sur les services : la prévention et la télémédecine. Ces deux suggestions visent à agir en amont afin d'éviter d'avoir besoin du transport d'urgence et peuvent être implantées à peu de coûts. Les solutions sont donc nombreuses pour contribuer à réduire les écarts dans l'accessibilité aux soins de santé pour l'ensemble de la population, et les perspectives de recherche tout aussi riches.

Bibliographie

Aboueljinane, L., E. Sahin et Z. Jemai. 2013, «A review on simulation models applied to emergency medical service operations», *Computers and Industrial Engineering*, vol. 66, n° 4, doi :10.1016/j.cie.2013.09.017, p. 734–750, ISSN 03608352. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2013.09.017>.

Brailsford, S. C., P. R. Harper, B. Patel et M. Pitt. 2009, «An analysis of the academic literature on simulation and modelling in health care», *Journal of Simulation*, vol. 3, doi :10.1057/jos.2009.10, p. 130–140. URL www.ovid.com.

Brändström, H., O. Winsö, L. Lindholm et M. Haney. 2014, «Regional intensive care transports : A prospective analysis of distance, time and cost for road, helicopter and fixed-wing ambulances», *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, vol. 22, n° 1, doi :10.1186/1757-7241-22-36, p. 1–8, ISSN 17577241.

Chen, C. et S. X. Zhao. 2014, «Modeling and Simulation Analyses of Healthcare Delivery Operations for Inter-Hospital Patient Transfers», *International Journal of Operations Research and Information Systems*, vol. 5, n° 1, doi :10.4018/ijoris.2014010106, p. 76–94, ISSN 1947-9328.

CHU de Québec. 2016, «Plan stratégique 2016-2018», cahier de recherche.

CHU de Québec. 2019, «Rapport d'activités 2018-19», cahier de recherche.

Delorenzo, A. J., J. W. Abetz, E. Andrew, A. de Wit, B. Williams et K. Smith. 2017, «Characteristics of Fixed Wing Air Ambulance Transports in Victoria, Australia», *Air*

- Medical Journal*, vol. 36, n° 4, doi :10.1016/j.amj.2017.02.008, p. 173–178, ISSN 15326497. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.amj.2017.02.008>.
- Gunes, E. et R. Szechtman. 2005, «A simulation model of a helicopter ambulance service», *Proceedings - Winter Simulation Conference*, vol. 2005, doi :10.1109/WSC.2005.1574344, p. 951–957, ISSN 08917736.
- Jernigan, J. G. 2003, «Aircraft Considerations for Aeromedical Evacuation», *Aeromedical Evacuation*, doi :10.1007/978-3-030-15903-0_5, p. 61–76.
- Katsaliaki, K. et N. Mustafee. 2011, «Applications of simulation within the healthcare context», *Journal of the Operational Research Society*, vol. 62, n° 8, doi :10.1057/JORS.2010.20, p. 1431–1451.
- Law, A. M. 2015, *Simulation modeling and analysis LK - https://hecmon-treal.on.worldcat.org/oclc/893895382*, fifth edition éd., McGraw-Hill Education, New York, NY SE - xviii, 776, [10] p. : illustrations en couleur; 25 cm., ISBN 9780073401324 0073401323.
- Norum, J. et T. M. Elsbak. 2011, «Air ambulance flights in northern Norway 2002- 2008. Increased number of secondary fixed wing (FW) operations and more use of rotor wing (RW) transports», *International Journal of Emergency Medicine*, vol. 4, n° 1, doi : 10.1186/1865-1380-4-55, p. 1–9, ISSN 18651372.
- Sethi, D. et S. Subramanian. 2014, «When place and time matter : How to conduct safe inter-hospital transfer of patients», *Saudi Journal of Anaesthesia*, vol. 8, n° 1, doi : 10.4103/1658-354X.125964, p. 104–113, ISSN 1658354X.
- Shannon, G. W., Bashshur, R. L., Metzner, C. A. 1969, «The concept of distance as a factor in accessibility and utilization of health care», *Medical Care Review*, vol. 26, n° 2, doi :10.1177/1461444810365020, p. 143–161, ISSN 1464-8849.
- Vanderburg, K. 2003, «Aeromedical Evacuation : A Historical Perspective», *Aeromedical Evacuation*, doi :10.1007/978-3-030-15903-0_5, p. 6–8.

Yale, C. L. P., M. A. d. M. Fraz, Marcia Lorena da Silva et H. T. Y. Yoshizaki. 2018, «Simulation Applications : Review litterature», *e-conversion - Proposal for a Cluster of Excellence*, p. 29–50, ISSN 1098-6596.

Annexe A – Capture d'écran d'Arena

