Dimensionnement et affectation des ambulanciers

Ce chapitre aborde la problématique du dimensionnement du nombre d'ambulanciers au SAMU et à la CA. Ce problème d'affectation des ambulanciers est fortement lié à l'activité aléatoire du SAMU. L'objectif est de trouver la meilleure organisation pour le CHRU de Tours en terme de coût mais aussi de qualité de transport (temps d'attente, d'envoi de secours, etc.). Ce chapitre est divisé en 4 sections. La première introduit le problème et rappelle la problématique. Puis, la deuxième section présente une étude approfondie du problème et une modélisation possible. La troisième section propose et argumente sur le choix de l'outil d'aide à la décision proposé pour résoudre ce problème : la simulation. Enfin, nous concluons et dressons un ensemble de perspectives de travail dans la dernière section.

8.1 Introduction au problème

Les deux acteurs principaux du problème sont la Centrale des Ambulanciers et le SAMU. Le premier doit répondre à toutes les demandes de transports, émanant des unités de soins, qui sont en partie prévisibles et donc planifiables. Alors que concernant le SAMU, les demandes de transports auxquelles il doit répondre sont quasiment imprévisibles et le temps de réponse doit être rapide. Pour la CA, les ressources nécessaires sont soit des ambulanciers avec les ambulances du CHRU, soit des ambulanciers et ambulances du privé. Le SAMU nécessite différents types de ressources selon le type du transport demandé. Dans la plupart des cas, des équipes SMUR sont envoyées avec leurs véhicules. Cependant pour transporter le patient, le SAMU doit en plus faire appel selon le type de transports soit aux pompiers, soit à ses ambulanciers, soit à des ambulanciers de la CA, soit à des ambulanciers du privé. Les règles d'utilisation des ressources selon le type de transports demandé seront décrites plus loin dans ce chapitre. A noter qu'actuellement le SAMU n'emploie aucun ambulancier, il en demande donc régulièrement à la CA. La ressource véhicules n'est pas une ressource critique pour ce problème, elle est donc négligée dans cette étude. Le point critique est la répartition du pool des ambulanciers du CHRU entre les deux acteurs. La figure 8.1 présente schématiquement les relations entre les acteurs et les ressources du

problème.

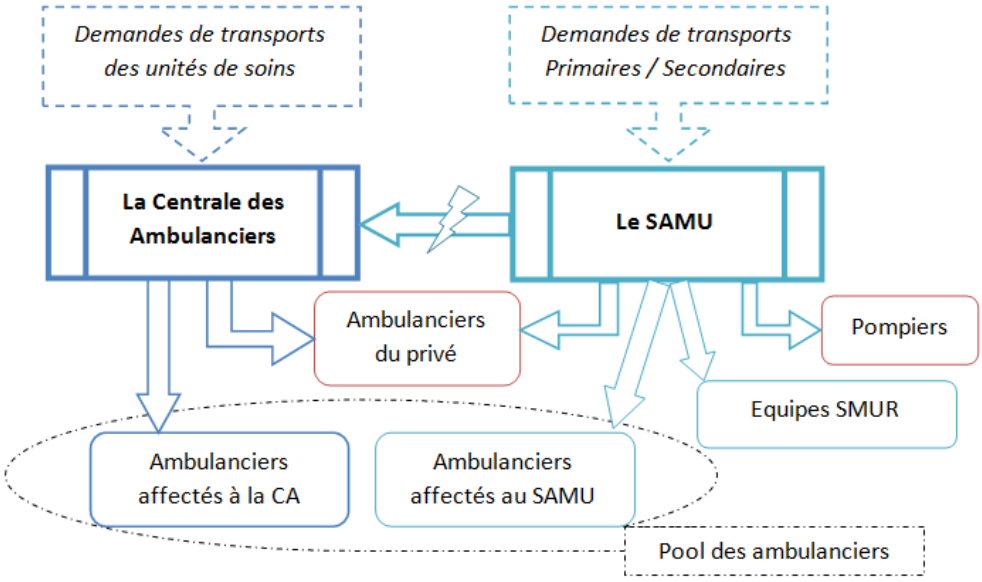

FIG. 8.1 – Acteurs et Ressources du problème de répartition des ambulanciers

Actuellement, tous les ambulanciers sont gérés par la CA. Le SAMU est donc obligé de souvent solliciter la CA pour obtenir rapidement des ambulanciers. Si des ambulanciers étaient affectés au SAMU pour répondre à ces sollicitations, le SAMU perturberait moins la CA avec ses demandes urgentes d'ambulanciers et les temps de réponses aux demandes seraient diminués. En contrepartie, réduire le nombre d'ambulancier à la CA induirait un nombre d'appels au privé plus élevé, et donc une augmentation du coût des transports du CHRU. Toutefois, le SAMU aussi réduirait les coûts de transports en diminuant les appels au privé, s'il pouvait utiliser ses propres ambulanciers. L'objectif de ce problème est donc de trouver un bon compromis entre les coûts des transports et les temps de réponses suivant la répartition des ambulanciers. Mais le dimensionnement du nombre des ambulanciers au SAMU et à la CA n'est pas simple. D'une part, cela ne se résume pas à déterminer le nombre d'ambulanciers mais aussi leurs horaires de travail, leurs périmètres d'interventions pour le SAMU (primaire et/ou secondaire), les localisations des équipes restantes à la CA (Bretonneau ou Trousseau), etc.

L'aspect aléatoire du problème n'est pas à négliger. Il est très difficile de déterminer l'heure, la durée et le type des transports à l'avance, en particulier pour le SAMU. Non seulement, ces demandes sont imprévisibles, mais les réponses doivent être immédiates et sont dictées par les circonstances. Aucune planification ni aucun ordonnancement des transports ne sont envisageables.

8.2 Etude et modélisation du problème

Dans cette section, nous allons définir et délimiter clairement le problème. Nous décrirons dans un premier temps le système constitué de la Centrale des Ambulanciers et du SAMU. Nous établirons ensuite l'ensemble des données physiques du système dans un deuxième temps. Puis, nous définirons une représentation d'une solution de ce problème de dimensionnement. Enfin, ce problème présentant un caractère fortement aléatoire, nous verrons l'ensemble des variables aléatoires du système.

8.2.1 Description du système

Suite à plusieurs visites et réunions au SAMU et à la Centrale des Ambulanciers, nous avons pu déterminer avec précision leur fonctionnement interne vis-à-vis des différentes demandes de transports (quels sont les moyens envoyés, leurs coûts, les décisions prises, etc.). Nous allons décrire dans un premier temps le fonctionnement du SAMU, puis dans un deuxième, celui de la Centrale des Ambulanciers.

8.2.1.1 Le SAMU

Le SAMU répond à deux types de demandes de transports : primaires et secondaires. La figure 8.2 présente un diagramme d'activité (UML) représentant synthétiquement le comportement du SAMU lorsqu'une nouvelle demande arrive (primaire ou secondaire). Il y a donc deux types d'interventions :

- Intervention primaire : elle consiste à aller chercher la victime sur le lieu de l'accident pour la transporter vers l'un des sites du CHRU ou un autre établissement agréé. Suite à ce type de demande, si aucun ambulancier pour une urgence primaire n'est disponible au CETRA, le SMUR (constitué d'un médecin et d'une infirmière) se rend sur place avec un VML (Véhicule Médicalisé de Liaison). La répartition des missions de rapatriement de la victime entre sapeurs pompiers et ambulanciers se fait sur des critères de lieu (voie publique ou domicile) et de pathologie (traumatologique ou non). Si un ambulancier de la centrale peut assurer le transport avec un véhicule type ambulance A de réanimation du SAMU, dite AR, la suite des opérations dépend de la distance à parcourir pour aller chercher le patient. En se basant sur une distance de référence, trois cas sont possibles :
  - le patient est proche : si un VSAV (Véhicule de Secours et d'Assistance aux Victimes) a déjà été envoyé sur place, le SMUR se rend sur place avec un VML, sinon une ambulance AR du SAMU avec une équipe SMUR est envoyée.
  - le patient est à une distance moyenne : le SMUR se rend sur place en VML.
  - le patient est loin : le SMUR se rend sur place en hélicoptère et pendant ce temps le patient sera éventuellement transporté vers le lieu d'atterrissage par un VSAV ou une ambulance privée. Au retour de l'hélicoptère au CHRU, une ambulance AR devra aller chercher le patient et le SMUR sur la piste d'atterrissage pour les emmener vers un établissement de santé.

  A noter que le cas d'un ambulancier disponible au CETRA est purement hypothétique puisqu'actuellement aucun ambulancier n'est au CETRA et les ambulanciers

de la Centrale ne font pas de transports primaires. Actuellement, le rapatriement du patient s'effectue uniquement par VSAV ou ambulance privée.
- Intervention secondaire : il s'agit du transport urgent de patients soit entre deux hôpitaux du CHRU de Tours (intra muros) soit entre un hôpital de Tours et un autre centre hospitalier extérieur (inter CH). Le cas des transports pédiatriques est inclu dans celui des transports secondaires type inter. Ces derniers peuvent nécessiter un hélicoptère, il faut alors soit récupérer le patient à la piste d'atterrissage de l'hélicoptère pour le transporter vers un hôpital du CHRU de Tours, soit l'emmener d'un hôpital de Tours vers la piste de décollage de l'hélicoptère. Dans tous les cas intra muros, inter CH et pédiatrie, il faut soit utiliser une ambulance du SAMU conduite par un ambulancier disponible au CETRA, faire appel à la Centrale des Ambulanciers pour obtenir un ou deux ambulanciers. Si aucun ambulancier n'est disponible aussi bien au CETRA qu'à la Centrale, une compagnie d'ambulances privée est appelée.

Sur la figure 8.2, chaque fin de parcours de l'arbre induit un coût pour le SAMU en plus du coût fixe de fonctionnement (frais entretien, personnel, etc.) :
- (0) : aucun coût supplémentaire hormis le coût du kilométrage,
- (1) : coût d'un appel à une ambulance privée (décrit à la section suivante),
- (2) : coût d'un appel aux sapeurs pompier (également décrit à la section suivante).

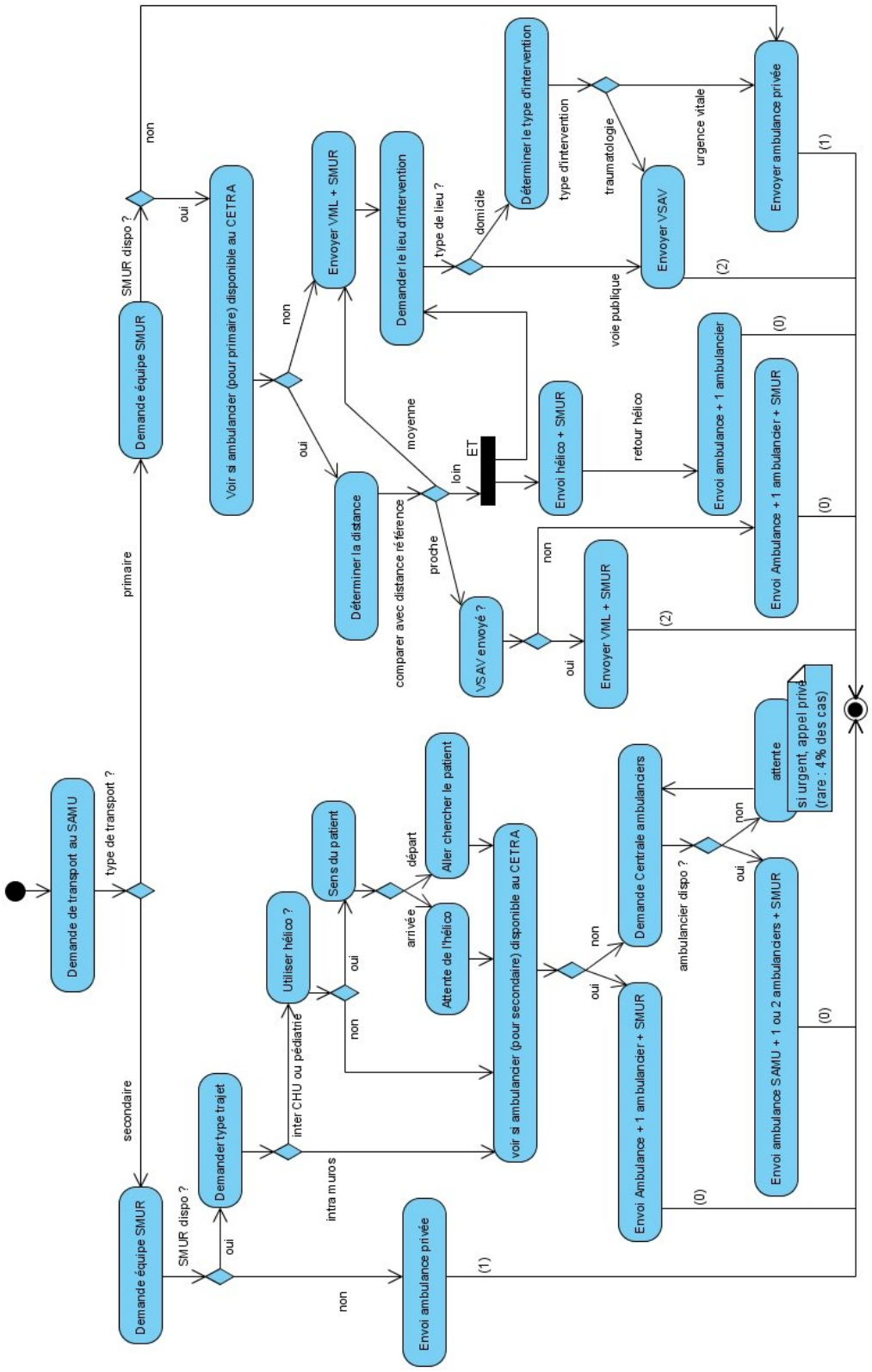

FIG. 8.2 – Diagramme d'activité du SAMU

8.2.1.2 La Centrale des Ambulanciers

La centrale des ambulanciers assure tous les transports internes au CHRU de Tours. De la même façon que pour le SAMU, la figure 8.3 présente un diagramme d'activité représentant synthétiquement le comportement de la Centrale lorsqu'une nouvelle demande arrive. A la réception d'un appel, la Centrale des Ambulanciers doit faire face à deux types de demandes, celles émanant d'un service et celles du SAMU (secondaire) :

- Si l'appel provient du SAMU, la centrale doit trouver des ambulanciers le plus rapidement possible (un ou deux). Dans ce cas, l'ambulance AR du SAMU est utilisée. S'il s'agit d'un SAMU d'un autre département (SAMU 41 par exemple), une ambulance appartenant à la Centrale est utilisée. Dans ce cas, s'il n'y a pas deux ambulanciers disponibles à la centrale, le transport est sous-traité à une ambulance privée.
- Dans le cas où la demande est faite par un service de CHRU de Tours, trois cas se distinguent : demande classique, médicalisé et contagieux (cf. les chapitres précédents). Certaines demandes peuvent être sous-traitées s'il n'y a pas assez d'ambulanciers pour effectuer tous les transports demandés.

Comme pour le SAMU, chaque fin de parcours de l'arbre de la figure 8.3 induit un coût pour la Centrale des Ambulanciers en plus du coût fixe de fonctionnement :

- (0) : aucun coût supplémentaire hormis le coût du kilométrage,
- (1) : coût d'un appel à une ambulance privée (décrit à la section suivante).

8.2.2 Les données physiques

Les données physiques du système correspondent aux données qui ne sont ni liées à la représentation d'une solution ni aléatoires dans le système. Ces données peuvent se classer en trois catégories :

- La structure de l'hôpital : le nombre de services total du CHRU de Tours, leurs répartitions dans les hôpitaux et les données de géo localisation des structures (hôpitaux, CETRA, Centrale des Ambulanciers, et la piste d'atterrissages des hélicoptères).
- Les véhicules : le nombre d'ambulances de type A et C appartenant à la centrale des ambulanciers, le nombre de VML et d'ambulances AR classiques et pédiatriques lié au SAMU, et pour chaque véhicule le lieu de départ et d'arrivé auquel il est affecté.
- Les coûts : le coût kilométrique des véhicules, les coûts d'appel au VSAV (uniquement un forfait de 105€) et les coûts d'appel aux ambulances privées (Forfait Tours = 54,08€ ; Forfait Département = 48,36€ ; et un tarif supplémentaire de 2,08€/km au delà de 5km de transport du patient).

8.2.3 Représentation d'une solution

Une solution de ce problème de dimensionnement consiste à définir l'ensemble des attributs suivants :

- Un nombre d'équipes de deux ambulanciers affectées à la Centrale, avec pour chaque équipe :
  - un horaire de travail (début, fin et pause),

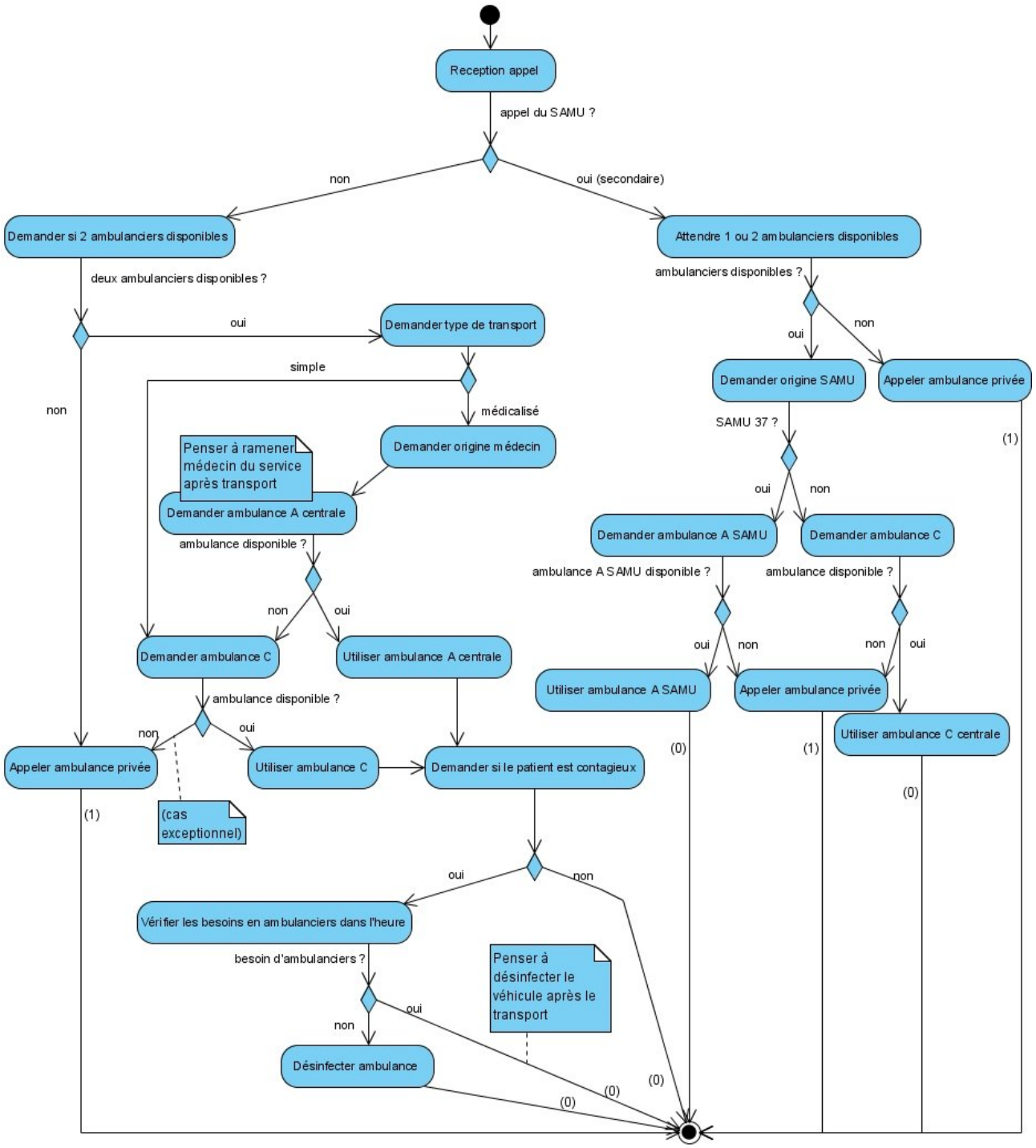

FIG. 8.3 – Diagramme d'activité de la Centrale des Ambulanciers

  - un point de départ.

- Un nombre d'ambulanciers affectés au SAMU, avec pour chaque ambulancier :
  - un horaire de travail (début, fin et pause),
  - un ensemble de missions dans lesquelles il peut intervenir ou non, parmi :
    - Transport SMUR Adulte,
    - Transport SMUR Pédiatrique,
    - Transport primaire,
    - Transport secondaire.

- Nombre d'équipes SMUR prêtes à partir pour une intervention Pédiatrique ou Adulte, avec pour chaque équipe :
  - un horaire de travail (début, fin et pause),
  - un point de départ.

- Nombre d'ambulanciers envoyé par la Centrale lors de pénurie au SAMU (1 ou 2),
- Valeurs des Distances de références pour les interventions primaires (proche, moyen et loin),
- Marge de dépassements horaires acceptables pour une équipe ambulancière à la Centrale (retard acceptable pour une équipe).

Plusieurs critères d'évaluation d'une solution sont à prendre en compte. Ces critères traduisent soit la qualité des transports (temps de réponses des interventions du SAMU et retard des demandes de transports à la Centrale), soit le coût pour le CHRU (sous-traitances aux compagnies privées, appel aux VSAV et frais kilométriques) en plus des coûts fixes de fonctionnement.

8.2.4 Les variables aléatoires du système

Le système est soumis à un ensemble d'événements aléatoires se résumant à l'apparition de demandes de transports de différents types (primaires, secondaires et liés à la Centrale). Pour les demandes de transports primaires, la première variable aléatoire est la fréquence d'apparition d'une demande de ce type (probabilité d'arrivée d'une demande du même type en fonction du temps écoulé depuis la dernière), cf. annexe C figure C.1. Ce type de demande est caractérisé par l'ensemble des variables aléatoire suivantes :

- Une durée d'intervention, cf. annexe C figure C.2.
- Une distance par rapport au lieu d'intervention afin de déterminer à quel cas appartient le transport : proche, moyen ou loin. Puis pour chaque cas, une durée totale d'intervention.
- Le type de lieu : voie publique ou domicile.
- Le type de pathologie : traumatologique ou autre.
- Et si un VSAV a déjà été envoyé.

Dans le cas d'une demande de transport secondaire, plusieurs cas, tous caractérisés par une fréquence d'apparition, doivent être distingués :

- Secondaire intra muros (cf. annexe C figure C.3), avec une probabilité de service de départ et d'arrivée ainsi qu'une durée de prise en charge du patient hors véhicule.
- Secondaire inter CH (cf. annexe C figure C.4), caractérisé par une durée de prise en charge du patient hors véhicule et divisé en deux sous-cas selon une probabilité d'utilisation d'un hélicoptère ou non :
  - Si oui, un sens doit être déterminé définissant ainsi le service de départ ou d'arrivée du patient.
  - Sinon, le patient quitte un service du CHRU de Tours pour être emmené vers un autre.
- Secondaire pédiatrique (cf. annexe C figure C.5), même si ce cas est défini par les mêmes caractéristiques que celles du cas précédent, les ressources pour le transport sont différentes (SMUR pédiatrique dédié).

Le dernier cas est lié à la Centrale des Ambulanciers. La plupart de ces demandes sont caractérisées par :
- une fréquence d'apparition,
- une heure de rendez vous (début du transport, cf. annexe C figure C.6),
- une probabilité de service de départ et d'arrivée,
- une probabilité d'être contagieux ou médicalisé,
- un type : aller simple ou aller/retour (pour un type aller/retour, un temps entre la date d'arrivée du patient au service et la date à laquelle il doit repartir est à spécifier),
- une durée de prise en charge du patient hors véhicule.

En plus de celles-ci, un type de demande est aussi à prendre en compte. Il s'agit des demandes de transports secondaires émanant d'un SAMU extérieur au 37. Seule une information sur la durée d'indisponibilité d'une équipe ambulancière pour effectuer ce transport est utile pour caractériser ce type de transport.

Enfin, l'un des derniers facteurs aléatoires du système concerne tous les temps de déplacement de ces véhicules pour effectuer ces transports.

8.3 Choix de l'outil d'aide à la décision

L'outil vers lequel nous nous dirigeons pour résoudre ce type de problème est la simulation, comme elle a été employée dans le chapitre 5. Nous menons donc le développement d'un outil pour évaluer et comparer différentes répartitions d'ambulanciers et ainsi trouver le dimensionnement convenant le mieux au CHRU.

La simulation passe par l'élaboration d'un modèle et de son utilisation expérimentale pour étudier le problème. Le modèle n'est qu'une représentation du système réel étudié, capable de reproduire son fonctionnement. Néanmoins, la simulation ne permet pas de trouver directement des solutions au problème étudié. Elle peut être vue comme une simple boîte noire qui réagit à des événements en entrée suivant le modèle défini. En sortie, elle fournit un ensemble d'indicateurs choisis judicieusement ou une visualisation graphique du résultat permettant d'observer le déroulement du système dans le temps.

Les deux entités principales de cette simulation sont la centrale des ambulanciers et le SAMU, dont les diagrammes d'états-transitions peuvent être déduits des diagrammes d'activités des figures 8.2 et 8.3. Les ressources du système sont tous les moyens nécessitant un transport de patients : les ambulanciers, les équipes SMUR, les VML, les ambulances de type A et C, les ambulances AR et l'hélicoptère. Ce sont des ressources réutilisables qui possèdent une règle commune d'utilisation et d'accès : FIFO (*First In, First Out*). Enfin, les événements sont principalement les nouvelles demandes arrivant au SAMU ou à la centrale. Leurs traitements sont résumés dans les diagrammes d'activités. Il existe cependant d'autres événements permettant la coordination entre les départs des SMUR et des ambulanciers de la centrale ainsi que ceux liés à la gestion des ressources (événement de libération d'une ressource).

Le développement de ce moteur de simulation n'est pas totalement achevé [191] et les résultats obtenus par ce simulateur ne sont pas encore interprétables. Il n'y a donc à ce jour qu'un prototype de ce simulateur.

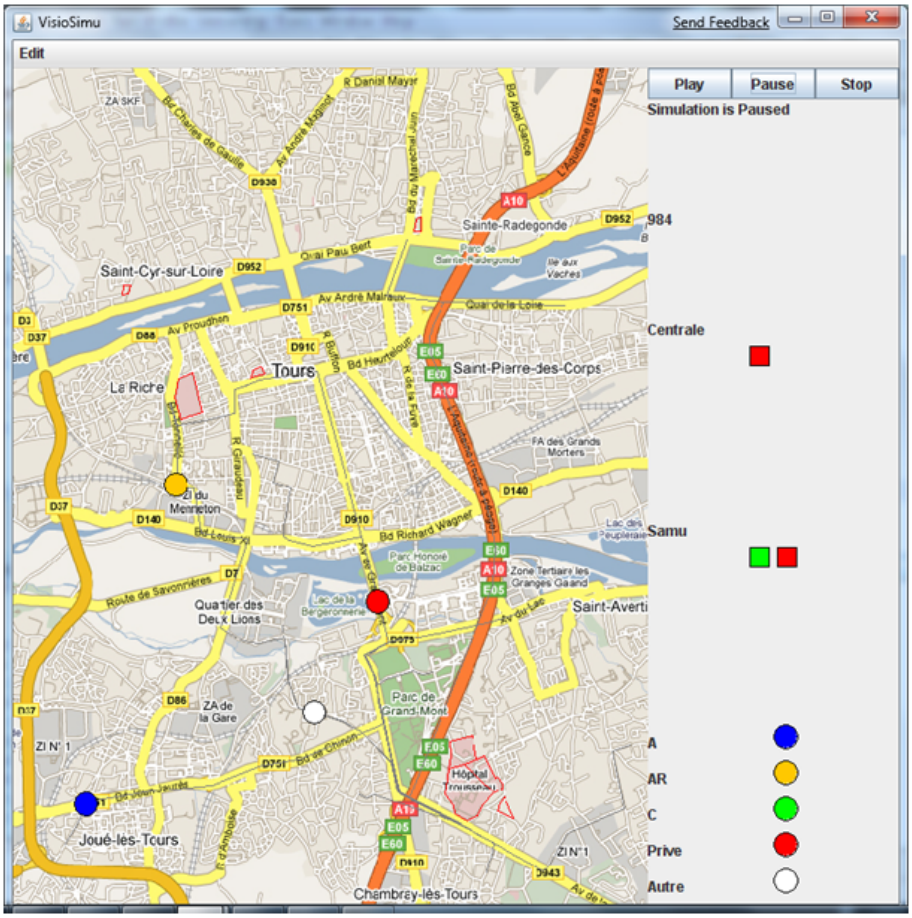

FIG. 8.4 – Prototype du simulateur

8.4 Conclusion

La problématique du dimensionnement du nombre des ambulanciers au SAMU et à la CA a été abordée dans ce chapitre. L'objectif de ce problème est de trouver la meilleure répartition des ambulanciers dans ces deux services de manière à minimiser les coûts des transports et la qualité des transports au CHRU de Tours. Ce chapitre présente une étude approfondie sur la modélisation du système constitué de la Centrale des Ambulanciers et du SAMU. Des diagrammes d'activités de ces deux services ont notamment été développés et validés par les personnes concernées. Un ensemble de données de ce système a été dégagé avec en particulier celles liées à la représentation d'une solution de répartition. Comme le système est soumis à de nombreux événements aléatoires (les différents types de demandes), une analyse sur l'ensemble des variables aléatoires du système a été réalisée. Afin de résoudre ce problème, nous proposons la simulation comme outil d'aide à la décision. Cet outil permettrait de simuler le système et de tester plusieurs solutions de répartition et d'en analyser les conséquences. Ce choix est conforté par l'état avancé de la collecte des données au SAMU sur toute une année (2008), cf. annexe C pour un aperçu graphique d'une analyse de ces données.

Conclusion générale

Les travaux de recherche développés dans cette thèse portent sur des problématiques de tournées de véhicules dans un complexe hospitalier, le CHRU de Tours. Ce CHRU est composé de plusieurs sites de soins distants dans la ville de Tours. Cette caractéristique donne lieu à une organisation importante de transports de patients et de produits entre les différents services des hôpitaux de Tours. Les principaux services concernés sont les services liés à la logistique (Blanchisserie, l'Unité Centrale de Production Alimentaire, la Logistique Hôtelière, la Pharmacie, les Archives, la Stérilisation et la Salubrité), le SAMU et la Centrale des Ambulanciers. Les travaux menés en collaboration avec ces services s'articulent autour de deux problèmes distincts : le transport de patients et les flux de matières. Nos contributions scientifiques ont été d'appliquer à ces deux problématiques des méthodes de résolution issues des techniques de la Recherche Opérationnelle.

L'étude bibliographique de cette thèse est principalement tirée de la littérature sur les tournées de véhicules et de la littérature traitant des applications de la Recherche Opérationnelle dans les systèmes de santé (conférence ORAHS, GISEH, etc.). Dans ces deux domaines, nous avons remarqué une forte augmentation en France du nombre d'études, d'articles et même de thèses. Cette augmentation devrait se poursuivre, compte tenu des enjeux économiques (réduction des coûts, économie d'échelle, etc.), politiques et sociétaux (défense du système de santé publique, soins à domicile, etc.). Au niveau de la recherche également, ces problèmes présentent un caractère attractif, non seulement en raison de leur aspect incertain (incertitudes des données, etc.) mais aussi par l'apparition de nouvelles contraintes, rendant les problèmes plus complexes que dans la littérature habituelle.

Le problème étudié dans la première partie est un problème de tournées de véhicules avec livraisons et collectes et dimensionnement du personnel. Etant tiré d'un contexte hospitalier spécifique, de nombreuses contraintes sont à prendre en compte. L'objectif du problème est de trouver une planification de tournées de véhicules sur un horizon d'une semaine ainsi que le nombre et les horaires des chauffeurs et des manutentionnaires. Le problème peut être vu sous la forme de deux problèmes de tournées de véhicules à deux niveaux qui sont interconnectés en un unique point. Le premier problème de tournées concerne les tournées des véhicules entre les différents hôpitaux de Tours et les dépôts associés à chaque flux. Le deuxième problème intervient dans un large hôpital, nommé Bretonneau, en ayant pour objectif de planifier les tournées des manutentionnaires entre les bâtiments de cet hôpital. Ce problème d'optimisation des tournées de la logistique a été abordé dans sa globalité par deux approches successives. Dans un premier temps, nous

nous sommes intéressés à ce problème de manière exploratoire et théorique, puis dans un second temps en intégrant des hypothèses émises par le service de la logistique du CHRU et d'autres contraintes, rendant le problème plus appliqué au contexte de l'étude.

Dans la première étude du problème de la logistique, nous avons commencé par développer un modèle de programmation linéaire en nombres entiers qui a permis d'identifier et de formuler clairement toutes les contraintes du problème. Cependant, les résultats expérimentaux ont montré qu'il ne peut pas résoudre des instances réelles étant donné la complexité importante du problème. Deux autres méthodes de résolution ont été alors proposées en se basant sur le même codage d'une solution : un algorithme génétique et une recherche tabou. Des résultats expérimentaux préliminaires sur ces deux méthodes ont montré que la recherche tabou est sensiblement plus performante que l'algorithme génétique. Suite à cette première étude, un ensemble de perspectives ont été établies pour améliorer ces algorithmes et prendre en compte les contraintes du problème définies au départ qui avaient été ignorées dans un premier temps, comme les durées de préparation des chariots. Toutefois, un certain nombre d'hypothèses posées au tout début de cette étude exploratoire ont été revues conjointement avec le CHRU de manière à obtenir des solutions directement applicables à la réalité. Ces considérations nous ont amené à revoir la modélisation et à proposer un modèle plus appliqué.

Dans la seconde étude du problème de la logistique, nous avons considéré l'ensemble des contraintes et hypothèses du problème afin de le rendre plus appliqué au contexte de l'étude. Les algorithmes ont été modifiés en fonction de ces nouveaux éléments et améliorés en fonction des résultats préliminaires obtenus. Nous avons proposé également un algorithme mémétique. Pour tester ces méthodes de résolution, des instances ont été générées en fonction de données réelles fournies par l'hôpital. Les résultats expérimentaux ont montré qu'appliquer l'algorithme génétique puis améliorer la meilleure solution trouvée par la recherche tabou est plus performant qu'appliquer l'algorithme mémétique, qui est pourtant une hybridation de ces deux méthodes. Cependant, des améliorations peuvent encore être apportées pour perfectionner ces différents algorithmes. L'une des améliorations les plus intéressantes serait une étude de la diversité des populations en incluant des techniques de gestion de cette diversité.

Ces méthodes de résolution permettent d'obtenir des solutions d'organisation des tournées de livraisons et de répartition du nombre de chauffeurs et de manutentionnaires à partir de données fixes. Dans le réel, plusieurs éléments peuvent varier comme les quantités des chariots de chaque demande ou les durées des trajets et des livraisons. Pour tester la robustesse des solutions face à des données stochastiques, nous avons développé un simulateur capable de tester et d'évaluer différentes organisations de la logistique du CHRU. Cette simulation à événements discrets se base sur un système représentant le modèle appliquée de ce problème de logistique. Cet outil a de plus été doté d'une interface graphique permettant d'analyser les avantages et défauts d'une solution (taux d'occupation des véhicules, temps de travail effectif des manutentionnaires, visualisation des tournées, taux d'occupation des quais, etc.). Des résultats expérimentaux ont montré qu'une des meilleures solutions trouvées par les algorithmes précédents est évaluée de la même ma-

nière que le simulateur, confirmant les résultats attendus. Enfin, ce moteur de simulation permet au travers de :

- Visualisations graphiques d'un ensemble de critères pertinents de se rendre compte des défauts d'une solution et de modifier en conséquence les méthodes de résolution,
- d'autre part, ces visualisations facilitent l'analyse des solutions par le CHRU.

Les travaux de recherche de la première partie de cette thèse consistaient donc à résoudre un problème concret de logistique par des techniques de la RO. La première difficulté fut de modéliser entièrement le problème. Contrairement à des travaux menés sur un problème théorique où les données et contraintes du problème restent constantes tout au long de l'étude, les données et contraintes des travaux menés sur un problème concret peuvent être revues à tout moment. Un codage et une implémentation générique et modulable peuvent aider à palier ce problème. Les méthodes de résolution proposées dans cette thèse sont donc dédiées à ce cas d'étude, mais peuvent être exportées vers d'autres cas similaires dans d'autres CHRU, les contraintes étant souvent les mêmes quelque soit le lieu. Enfin, même si l'intérêt scientifique de cette thèse est focalisé sur les méthodes de résolution, la simulation est un outil efficace dans un cas d'étude concret, même si elle ne permet pas de résoudre ce problème. Tout d'abord, elle a permis d'obtenir une analyse plus précise sur les solutions et d'approfondir les interprétations que l'ont peut faire pour améliorer les méthodes de résolution. Une visualisation graphique des déplacements des tournées des véhicules a autant d'avantage que, par exemple, une visualisation d'une solution d'un problème d'ordonnancement sous forme de Gantt. Enfin, cet outil a été principalement réalisé pour permettre au CHRU de tester leurs propres solutions. Mais nous nous sommes rendus compte que l'outil permet de valoriser les travaux effectués dans le cadre d'une collaboration.

Ces outils développés dans cette première partie de thèse ont été réalisés pour répondre au problème de logistique du CHRU de Tours, mais sont suffisamment génériques pour être adaptés à d'autres environnements. Ils peuvent calculer des tournées à deux niveaux sur plusieurs jours mettant en jeu plusieurs produits ou flux, une flotte hétérogène de véhicules, plusieurs dépôts, des incompatibilités entre certains flux, des véhicules dédiés ou inversement une mutualisation de certains véhicules pour certains flux, des fenêtres de livraisons préétablies, ou au contraire des jours de livraisons laissés libres, des lieux et des taux de production, des quais de tailles limités. En ce qui concerne le niveau des manutentionnaires, il faut prendre en compte des flux différents que le niveau des véhicules et on pourrait très bien adapter la méthode au cas où chaque hôpital aurait sa propre équipe de manutentionnaires, ce qu'on pourrait décrire comme un VRP à deux niveaux en étoile.

Des perspectives de ces travaux de recherche, autre que l'amélioration des méthodes de résolution, sont prévues. Tout d'abord, la collecte de toutes les données liées à la logistique de ce problème est à terminer, de manière à obtenir des instances totalement réelles. Enfin, la simulation permet d'évaluer avec précision une solution lorsqu'elle est soumise à des incertitudes. Cette évaluation pourrait être couplée avec les méthodes de résolution. Evaluer par la simulation toutes les solutions générées durant la résolution des algorithmes présentés précédemment, risquerait d'augmenter considérablement le temps de

résolution. Cependant, une évaluation par la simulation de la meilleure solution trouvée par un algorithme permettrait de déduire automatiquement certains éléments à changer dans l'algorithme, afin de relancer la résolution vers de meilleures solutions. Par exemple les éléments comme le nombre de tournées inter-hôpitaux et intra-Bretonneau se déroulant au même moment peut être changé en fonction de la charge de travail ou des retards. Ou encore, les fenêtres de temps des demandes avec un retard de livraison important peuvent être réduites de manières à tester la réaction de l'algorithme vis-à-vis de ces demandes.

La deuxième partie de cette thèse traite du problème général de transports de patients aussi bien urgents que planifiés. Les transports urgents primaires et secondaires sont gérés par le CETRA regroupant le SAMU et les pompiers. Les transports planifiés ne correspondent pas à des urgences mais à des transports prévus à l'avance de patients entre différentes unités de soins nécessitant une ambulance. Ils sont gérés par la Centrale des Ambulanciers.

La problématique majeure de la seconde partie concerne la planification des tournées d'ambulances en temps réel. L'objectif du problème est d'assurer tous les transports de patients demandés à la centrale en minimisant le coût total pour le CHRU. Certaines demandes émanent du SAMU et doivent être traitées dans les plus courts délais. Ce problème a été étudié en deux temps. Dans un premier temps, nous considérons une version statique et générique du problème. Puis, dans un second temps, le problème est étudié en considérant l'ensemble des contraintes spécifiques au contexte de l'étude et dans sa version dynamique. Pour les deux approches, une modélisation et des méthodes de résolution sont présentées. Dans la première approche, une méthode basée sur la Programmation Linéaire en Nombres Entiers en utilisant certaines techniques de pré-processing et des coupes permettant d'améliorer dans certain cas le temps de résolution, est proposée. Puis, une recherche tabou avec mémoire adaptative a été développée. Des résultats expérimentaux ont montré la performance de cette heuristique à trouver des solutions de bonne qualité pour un temps de résolution acceptable. Dans une deuxième approche où les demandes de transports arrivent en temps réel, nous avons proposé une adaptation de cet algorithme tabou, celle-ci étant assez générique pour prendre en compte les nouvelles contraintes comme les différents types de transports (classiques, médicalisés et contagieux). Les résultats expérimentaux sur des instances dynamiques ont montré qu'une fois encore l'algorithme de la recherche tabou avec mémoire adaptative permet d'obtenir des solutions de bonne qualité en un temps très raisonnable. Elle permet notamment de sous-traiter moins de demandes au privé, ce qui réduit les coûts. De plus, grâce à sa mémoire adaptative, la recherche tabou présente l'avantage d'être à la fois flexible pour prendre en compte un ensemble de pré-affectation par les régulateur et robuste face aux nouvelles demandes critiques du SAMU.

Dans cette seconde partie de thèse, nous abordons également une problématique de dimensionnement du nombre d'ambulanciers au SAMU et à la CA. L'objectif de ce problème est de trouver une répartition d'ambulanciers pour que le nombre de demandes d'ambulanciers émanant du SAMU diminue tout en gardant un effectif d'ambulanciers à la centrale suffisant pour assurer les demandes de transports planifiés. Une analyse précise du fonctionnement de ces deux services ainsi que leurs modélisations ont été proposées de

manière à concevoir un moteur de simulation permettant de tester et d'évaluer les impacts de différentes répartitions d'ambulanciers. Actuellement, un prototype de simulateur a été développé. Il nécessite pour être utilisable d'achever la collecte des données, en particulier celles manquantes au niveau des demandes de la Centrale des Ambulanciers.

Ces travaux de recherche ont permis de montrer que certains algorithmes de la littérature peuvent être adaptés pour résoudre d'autres problèmes différents et réels même si ces derniers sont plus complexes. D'autre part, dans le cas dynamique d'optimisation des transports de patients, nous nous sommes intéressés à un problème de transports assez peu étudié dans la littérature dans lequel les chauffeurs, ici les ambulanciers, peuvent changer de véhicules plusieurs fois dans une journée pour répondre aux différentes demandes. Une étude d'un problème théorique similaire à celui-ci pourrait donner lieu à des travaux de recherche innovants.

Enfin, d'autres problématiques de transports peuvent être abordées au sein d'un milieu hospitalier. Avec le CHRU de Tours, nous avons comme perspective de travailler sur la livraison des chimiothérapies dans les unités de soins de Bretonneau réparties dans différents bâtiments mais également au sein des domiciles des patients à l'extérieur des hôpitaux. De plus, ce problème paraît innovant car le calcul des tournées de livraisons doit être couplé au calcul d'ordonnancement de production de ces chimiothérapies (contraintes de stabilité des préparations chimiothérapies). En effet, depuis quelques années, nous menons un projet qui consiste à définir les spécifications et à encadrer le développement d'un logiciel d'aide à la décision, pour la planification de la production de chimiothérapies et leur traçabilité complète, depuis la prescription du médecin jusqu'à l'administration au patient (Kergosien et al. [123] et Tournamille et al. [192]). Ce travail s'est déroulé avec l'Unité de Biopharmacie Clinique Oncologique (UBCO) et nous continuons à travailler sur l'optimisation de la livraison des préparations dans les bâtiments de Bretonneau dans un premier temps.

Annexes

Annexe A

Etude complète des flux

A.1 Préambule

Cette étude de l'existant a été menée en début d'année de thèse suite à de nombreuses visites en fin d'année 2007 et début d'année 2008. Certains éléments s'y trouvant peuvent éventuellement ne plus être d'actualité. Cette étude avait donné lieu à un rapport dont voici le contenu.

A.2 Introduction

La Logistique Hospitalière du CHU de Tours est un point clé au bon fonctionnement de tous les services du CHU, regroupé sur 6 sites : Trousseau, Bretonneau, Clocheville, Ermitage, Centre Psychothérapique de Tours Sud (CPTS), et Centre Psychiatrie Universitaire (CPU). Pour avoir une idée de l'activité, le CHU de Tours soigne par an plus de 80 000 patients en hospitalisation complète (>24h) avec une durée de séjour en moyenne de 6 jours, et 100 000 patients en hospitalisation de jour (<24h). Il y a actuellement plus de 7 500 personnes travaillant au CHU, qui possède une capacité de plus de 2 000 lits et places. Chaque service émet un besoin en produits : linges, médicaments, repas, etc. La logistique du CHU a pour rôle de satisfaire tous ces besoins en temps et en heure.

Pour essayer d'améliorer la performance de tous ces flux logistiques, deux idées ont été émises par le CHU : une nouvelle planification des tournées de véhicules entre les hôpitaux, et la mise en place d'une équipe de manutention au sein d'un même hôpital : Bretonneau. L'objectif du projet est donc l'optimisation des flux logistiques du CHU de Tours et plus particulièrement ceux concernant le site de Bretonneau. L'étude porte particulièrement sur l'intérêt de créer une équipe dédiée à la manutention et une éventuelle zone de transit sur le bâtiment B2A.

Le premier objectif est de **mutualiser** et de **replanifier** les transports de produits pour gagner un maximum de temps-agent tout en gardant des tournées flexibles et robustes. Le temps-agent ainsi gagné devrait permettre la création d'une équipe de manutention sur Bretonneau afin que les transporteurs puissent livrer (uniquement) à un ou deux points seulement sur Bretonneau. Puis, la livraison des produits aux services de Bretonneau serait

assurée par une (ou plusieurs) équipe(s) de manutention. Ainsi, les véhicules effectueraient uniquement des allers-retours entre leur service et Bretonneau et ne resteront plus stationnés un long moment sur Bretonneau. Ces deux actions sont à réaliser conjointement. En effet, ces navettes influenceraient clairement la charge de travail de l'équipe de manutention sur Bretonneau, en fonction de ce qu'elle apporte et donc de ce qu'il faut livrer aux services. Ainsi, le chargement de cette navette sera fortement corrélé aux tournées que l'équipe de manutention effectuera. Enfin, si suffisamment de temps-agent est dégagé, l'équipe de manutention pourrait se voir attribuer de nouvelles missions au sein de Bretonneau visant à alléger certaines tâches du personnel de soins, et liées à la logistique.

L'idée de tester de nouvelles organisations directement sur le terrain n'est pas envisageable. C'est pourquoi la simulation paraît être un outil parfaitement adapté pour tester et analyser différentes organisations afin de décider de la meilleure.

Ce document achève une première partie du projet *flux logistique* : l'analyse et l'étude de l'existant. En préambule, un premier état des lieux a donc été réalisé pour connaître l'organisation de chaque service concerné par la logistique : les archives, la blanchisserie, le logicourses, la logistique hôtelière, la pharmacie, la salubrité, la stérilisation, l'UCPA, et les unités de soins à Bretonneau. Ce document résume le fonctionnement actuel de ces différents services en termes de flux de produits. Il présente leurs missions au sein du CHRU, leurs méthodes d'organisation, leurs contraintes, etc., mais aussi les éventuels changements possibles pour ré-organiser ces flux et créer cette équipe de manutention.

A.3 Les Archives

Les archives ont pour mission de gérer les dossiers des patients du CHRU de Tours, ainsi que quelques documents administratifs. Nous négligerons ces derniers en raisons de leur faible quantité en comparaison avec le nombre de dossiers patients. Actuellement, les dossiers patients sont conservés au *point central* à Trousseau (23km d'étagères), dans une annexe à St Avertin (6km d'étagères), et dans des stockages de proximité[1] (7km) (cf. Annexe A.12). Chaque année, plus de 2km de dossiers sont créés et seulement 600m sont détruits. Il y a un dossier par service et par patient. Lorsqu'un patient arrive dans un service plusieurs cas peuvent se produire :

- le patient n'est jamais venu dans ce service auparavant, son dossier est donc créé,
- le patient est déjà venu :
  - soit son dossier est daté de moins de deux ans et dans ce cas il se trouve encore dans l'unité de stockage de proximité (la date du dossier sera actualisée),
  - soit son dossier est daté de plus deux ans et dans ce cas il se trouve dans les archives de Trousseau, il faut donc le rapatrier.

Du point de vue du projet, deux types de tournées de véhicules sont effectués par les archives : les tournées quotidiennes et les tournées annuelles. Ces deux types de tournées transportent les dossiers dans des armoires grises en métal sous une très haute confidentialité. Cependant, il existe aussi une navette pour les dossiers à transférer en urgence. Ces demandes non prévisibles, qui doivent être justifiées par le service demandeur, sont traitées par les archives avec un véhicule qui se déplace uniquement pour ce type de demande.

[1] Stocks près des services.