2025, Vol.39, No. 1, 15-27

Revue Française de Gestion Industrielle

article en open accès sur www.rfgi.fr

https://doi.org/10.53102/2025.39.01.1172

ISSN: 0242-9780
eISSN:2804-9284

Optimisation d'un circuit de distribution des repas dans un hôpital : Problème de tournées de véhicules

Wided Harzalli [1], *Jihène Jlassi*[2], *Ines Reik* [3]

[1]*ISGI SFAX - Institut Supérieur De Gestion Industrielle De Sfax, Tunisie, harzalliwided@gmail.com*

[2]*OLID, ISGI SFAX - Institut Supérieur De Gestion Industrielle De Sfax, Tunisie, jihene.jlassi@isgis.usf.tn*

[3]*OLID, ISGI SFAX - Institut Supérieur De Gestion Industrielle De Sfax, Tunisie, ines.rekik@isgis.usf.tn*

Résumé : Les établissements sanitaires présentent de nombreux problèmes d'aménagement, de dimensionnement, et surtout d'optimisation des flux logistiques. Dans le cadre d'une étude sur la réorganisation de la logistique hospitalière, nous mettons l'accent sur la distribution des plateaux de repas entre les différents secteurs comme étant un problème de tournées de véhicules (VRP : Vehicles Routing Problem). Nous nous focalisons sur la restauration puisqu'elle tient une place indispensable dans le bon déroulement du séjour du patient à l'hôpital. Le repas prend une dimension toute particulière, compte tenu de la situation fragilisée des personnes hospitalisées. Dans le présent article, nous proposons une modélisation mathématique de ce problème permettant d'améliorer les performances du processus étudié à l'aide d'un solveur Cplex.

Mots clés : Logistique hospitalière ; distribution des repas ; Problème de tournées de véhicules (VRP) ; Optimisation

Optimization of a Meal Distribution Circuit in a Hospital: Vehicle Routing Problem

Abstract : Healthcare establishments present many problems of layout, sizing, and especially optimization of logistics flows. As part of a study on the reorganization of hospital logistics, we focus on the distribution of meal trays between the different sectors as a vehicle routing problem (VRP: Vehicles Routing Problem). We focus on catering since it plays an essential role in the smooth running of the patient's stay in the hospital. The meal takes on a very special dimension, given the fragile situation of hospitalized people. In this article, we propose a mathematical modeling of this problem to improve the performance of the process studied using a Cplex solver.

Keywords : Healthcare management; meal distribution; Optimization; Vehicle Routing Problem (VRP).

Citation : Harzalli, W. ; Jlassi, J. & Rekik,I. (2025). Optimisation d'un circuit de distribution des repas dans un hôpital : Problème de tournées de véhicules. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 39(1), 15-27. https://doi.org/10.53102/2025.39.01.1172

Historique : reçu le 14/01/2023, accepté le 13/01/2025, en ligne le 10/03/2025

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), permitting all non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. INTRODUCTION

La logistique hospitalière est une nouvelle approche qui a principalement pour mission de maîtriser et d'optimiser les flux physiques. Il s'agit d'une fonction transversale qui permet à l'hôpital de satisfaire ses objectifs généralement contradictoires. C'est un outil primordial pour la réorganisation, qui est l'un des leviers importants pour moderniser les établissements sanitaires. La commission hospitalière de l'ASLOG 2002 définit la logistique hospitalière comme :« La gestion des flux de patients, produits, services et des informations qui s'y rapportent depuis le fournisseur jusqu'au bénéficiaire, à un niveau défini de performance, au service de la qualité et de la sécurité des soins prodigués aux patients ».

Le transport gère trois types de flux dans l'établissement sanitaire :

- Les flux de patients : Le transport d'un patient entre deux sites peut intervenir pour diverses raisons : transfert d'un service vers un autre, consultation, urgence, réalisation d'examens, suivi d'un traitement. Les modalités dépendent alors essentiellement de l'état du malade.
- Les flux de personnels : Les personnels médicaux et non médicaux de l'établissement peuvent être amenés à se déplacer d'un site à l'autre, d'une manière régulière, dans le cadre de leur activité habituelle, ou d'une manière particulière, pour répondre à un besoin particulier.
- Les flux logistiques : Le fonctionnement d'un hôpital induit la consommation quotidienne de matériels, de fournitures et de marchandises extrêmement variées, en quantités considérables. Les services de soins s'appuient sur des unités logistiques et techniques qui réceptionnent, traitent, transforment et distribuent ces produits. Les déchets rejetés sont collectés et acheminés vers des centres de traitement.

Les transports logistiques hospitaliers concernent des biens et des marchandises de natures très variées, directement ou indirectement liés aux activités de soins. Cinq grandes catégories peuvent être identifiées :

1) les biens et les marchandises directement nécessaires à la réalisation des activités de soins : médicaments et stupéfiants, prélèvements, dispositifs stériles, poches de sang, matériels de rééducation…
2) les biens et les marchandises liés aux activités administratives et aux échanges d'information : courriers, dossiers des patients, matériels et fournitures de bureau, formulaires…
3) les biens et les marchandises liés marchandises liés aux activités techniques, de maintenance et d'entretien : déchets, consommables, produits d'entretien, matériels techniques…
4) les biens et les marchandises liées aux infrastructures : mobiliers et équipements.
5) les biens et les marchandises liés aux activités hôtelières : repas, linges, produits alimentaires, petits matériels hôteliers… Il est à noter que cette catégorie est la plus importante en volume.

Dans notre étude, nous mettrons l'accent sur la dernière catégorie du transport hospitalier et plus précisément sur la distribution des repas tout en essayant d'optimiser les tournées des chariots au niveau d'un même secteur aussi bien entre les différents secteurs, en considérant ce problème comme un problème de tournées de véhicules.

Dans la suite de cette étude nous discutons d'abord de l'état de l'art des travaux dans le domaine, puis nous présentons l'approche proposée enfin, après une brève présentation du service étudié et du modèle proposé nous interprétons les résultats obtenus et nous terminons par une conclusion.

2. REVUE DE LA LITTERATURE

Dans les environnements sanitaires, on rencontre de nombreux problèmes

d'optimisation similaire à celui de l'industrie : production, affectation de ressources, gestion de stocks et tournées de véhicules (VRP) (Dantzig et Ramser, 1959).

Dans le cadre de ce travail, nous traitons le problème de distribution des plateaux de repas dans le Centre Traumatologie et des Grands Brulés (CTGB). Nous avons considéré ce problème comme étant un problème des tournées des véhicules.

L'amélioration et la réorganisation des processus logistiques est primordiale pour le bon fonctionnement d'un système. Ceci est vrai pour les établissements sanitaires tels que les hôpitaux dont son processus logistique général se présente comme un réseau de distribution. Une revue littérature sur ce sujet permet de cerner les enjeux du milieu hospitalier qui sont complexes d'une part et de l'amélioration des processus d'un réseau de distribution d'autre part. De plus elle permet d'avoir une vue globale sur les différentes méthodes qui existent, des méthodes analytiques aux méthodes pratiques.

2.1 Système de distribution des repas

Dans ce travail, nous mettons l'accent sur le processus de distribution. En effet l'utilisation du concept de processus, activité, tâche connaît une grande diversité due à des interprétations variées (Ben Moussa, Derrouiche, & Bouras, 2009). De ce fait l'entreprise, tel qu'un hôpital, a pris conscience que son développement n'est plus seulement lié à ses propres facteurs internes et que l'unité de compétition n'est plus l'entreprise, mais un ensemble d'acteurs liés entre eux dans ce qu'on appelle «la chaîne logistique » (Derrouiche, 2008).
La distribution constitue l'une des étapes importantes de la chaîne logistique. Ainsi le processus de distribution mène les entreprises à entamer une profonde réflexion sur leurs pratiques managériales et particulièrement sur leurs capacités à honorer leurs engagements vis-à-vis leurs clients en termes de délais, de lieu de livraison et de conformité en qualité et en quantité des produits ou des services vendus, tout en garantissant la profitabilité de l'entreprise (Fernandes & White, 2001).

Dans cette recherche, nous mettons l'accent sur un maillon de la chaîne logistique hospitalière : la distribution des repas au sein des hôpitaux.

Lors de la distribution de repas, de nombreux facteurs sont à prendre en compte. D'une part le temps d'attente des plats ainsi que la qualité du service, d'autre part, les tarifs qui doivent rester le plus bas possibles.

Le repas est un moment « fort » de la journée des hospitalisés et du personnel hospitalier. Manger c'est se procurer les nutriments indispensables au bon fonctionnement de l'organisme mais c'est aussi prendre du plaisir, s'inscrire dans le cadre social, relationnel et affectif, autant de facteurs indispensables au processus de guérison. La restauration doit alors être considérée non plus seulement comme une fonction logistique marginale, mais comme un service essentiel à rendre au patient. La restauration a une double mission dans un établissement de santé :

- Elle participe à l'acte de soins proprement dit : répondre aux besoins nutritionnels de chaque patient, appliquer une prescription médicale, adapter un régime pour un patient donné, intervenir dans le processus d'éducation nutritionnelle du patient.
- Elle participe directement au confort du patient. La qualité de la production et de la distribution des repas est le préalable à la prise en charge nutritionnelle des patients pour aboutir à une prise en charge de qualité.

2.2 Etat de l'art

Le problème de distribution des repas est considéré dans ce travail comme un problème de tournées de véhicules. Dans la littérature, le problème de tournées de véhicules a été traité dans différents types de problèmes liés à la logistique hospitalière.

Dans l'article de Shih et Chang (2004), le flux étudié est celui des déchets infectieux dans les centres hospitaliers de Taiwan. Puisque ce type de déchet nécessite un traitement spécifique, des tournées périodiques pour collecter les déchets et les

amener à une ou plusieurs usines de traitements sont à établir. Les chercheurs proposent une heuristique à deux phases pour résoudre ce problème. Une phase consiste à trouver les jours de collectes en utilisant la programmation linéaire en nombres entiers mixte. Une autre phase consiste à résoudre un problème de tournées de véhicules dont les jours de collectes pour chaque client sont connus.

Le problème de tournées de véhicules a été étudié aussi dans des problèmes liés à la logistique de distribution de matériels médicales comme par exemple la collecte et la distribution de poches de sang (Florez et al., 2008), la distribution du linge sale et la distribution des bouteilles d'oxygène (Banerjea-Brodeur et al., 1990).

Kergosien et al (2010) s'intéressent aussi à l'étude de la Logistique hospitalière et plus précisément sur les tournées de véhicules afin de dimensionner l'équipe de manutention et de trouver une planification des tournées de véhicules entre les différents hôpitaux. Les circuits pris en compte dans leur étude sont les plus importants sept nœuds du groupe hospitalier : pharmaceutique, logistique hôtelière, blanchisserie (linge propre et sale), restauration, archives, et salubrité. Les spécificités et l'originalité de l'étude résident dans le fait que deux problèmes de tournées de véhicules multi-produits interagissent. Etant donné l'ampleur du problème, l'auteur propose différents algorithmes de résolution et d'optimisation comme la PLNE (programmation linéaire en nombres entiers), la recherche taboue et un algorithme génétique pour déterminer la meilleure solution. Sur l'instance théorique, l'algorithme génétique a fourni une solution constituée de 154 tournées inter-hôpitaux avec 10 chauffeurs et 14 manutentionnaires, pour un cumul de 25 autorisée. L'algorithme proposé a montré son efficacité à travers la réduction des retards liés aux demandes de 631 demandes en retard à 68 (pour un total de 1468 minutes de retard).

Cet algorithme permet de trouver une bonne solution à partir de données statiques. Cependant, un certain nombre de paramètres aléatoires interviennent dans le réel, et ces aléas peuvent dégrader la solution. Pour tester la robustesse d'une solution, un moteur de simulation à événement discret a donc été développé pour évaluer et valider la solution renvoyée dans un environnement incertain.

Virginie André (2011) s'intéresse à la réorganisation des activités de transport dans un contexte hospitalier : de repas, de linge et de médicaments entre les sites de production et les unités de consommation. Dans son travail, l'auteur propose des méthodes d'optimisation et leur couplage avec un modèle de simulation pour résoudre les problèmes de tournées et réaliser la re-planification et la réorganisation du processus de distribution. Ce travail se distingue par la diversité des ressources et des contraintes. Son objectif est de proposer une nouvelle organisation de l'ensemble des transports, et ceci en minimisant les retards et les heures supplémentaires. La première partie de cette recherche s'intéresse au transport d'un seul type de produit. L'auteur traite ce problème comme un problème de gestion de projet (RCPSP : Resource-Constrained Project Scheduling Problem) avec profil de demande en ressources variables. Elle modélise les transports à vide comme des temps de montage dépendant de la séquence. L'auteur recourt à l'utilisation de deux programmes linéaires en nombres entiers. La deuxième partie concerne le transport de plusieurs types de produits. Ce type de problème présente une double complexité qui est résolue par le couplage d'une recherche locale itérée avec un modèle de simulation. La troisième partie intègre la définition des horaires de travail des chauffeurs. Une approche itérative incluant un modèle de simulation, un programme linéaire en nombres entiers et le couplage précédemment présenté et proposé. Les résultats obtenus misent en évidence l'importance de travailler sur les plannings journaliers des chauffeurs et par la suite de remettre en cause ceux imposés par l'hôpital. La détermination des plannings journaliers des chauffeurs, l'affectation des activités aux chauffeurs et l'ordonnancement permettent de dégager un processus itératif mettant en œuvre plusieurs couplages entre un modèle

mathématique, deux modèles de simulation et une recherche locale itérée.

Kergosien et al. (2013) abordent un problème logistique réel dans le complexe hospitalier de Tours comme un problème de routage des véhicules à deux niveaux. Le premier niveau concerne le problème d'acheminement d'une flotte de véhicules desservant plusieurs unités hospitalières : médicaments, linge propre, repas, fournitures diverses, dossiers de patients, ramassage des déchets et du linge sale. Le deuxième niveau concerne le problème de routage des employés entre les bâtiments d'une grande unité hospitalière. Les deux niveaux sont interconnectés. De plus, des décisions concernant le dimensionnement et la planification des équipes de chauffeurs et d'employés d'entrepôt doivent être prises. Deux algorithmes méta-heuristiques sont proposés pour résoudre l'ensemble du problème : un algorithme génétique et une recherche taboue. Les algorithmes sont testés sur 100 instances, générées aléatoirement sur la base d'instances réelles. Les expériences prouvent que les meilleurs résultats sont donnés par l'algorithme génétique. Ces résultats aideront la logistique hospitalière, dans la mise en place d'une nouvelle organisation.

Ruohonen et Nakari (2013) étudient et améliorent la logistique hospitalière en utilisant la simulation à évènements discrets. Ils démontrent le fait que si un département logistique planifie la distribution du matériel et réorganise l'utilisation de ses ressources, il peut sauver jusqu'à 30% sur ses dépenses totales. Ceci est très significatif parce que ces dépenses représentent une part non négligeable dans les dépenses générales d'un hôpital.

Autre que ces flux de distribution, les flux liés au traitement des déchets infectieux dans des centres hospitaliers a été étudié dans la littérature comme par exemple Hachicha et al. (2014) qui étudient la gestion des déchets de soins de santé puisqu'elle est l'un des problèmes environnementaux les plus importants dans le monde et en particulier en Tunisie, en raison des risques potentiels sur l'environnement ainsi que sur la santé publique. La collecte des déchets de soins de santé infectieux est un service très visible et important qui implique des dépenses importantes. Cette étude traite le problème de transport de déchets de soins de santé infectieux depuis les 12 hôpitaux du gouvernorat de Sfax (Tunisie) vers un centre de stockage prévu pour la stérilisation à la vapeur. Ce problème de transport est modélisé comme un problème de tournées de véhicules avec capacité (CVRP : Capacitated Vehicle Routing Problem).

D'autres travaux, comme par exemple le travail de (Zahra Naji-Azimi et al., 2016) considère que le transport des échantillons biomédicaux des hôpitaux ou des cliniques sont un élément intéressent. Ces échantillons sont collectés dans des glacières, puis distribués pour être analysés dans un laboratoire spécialisé. Étant donné que de nombreux hôpitaux et points de collecte d'échantillons sont affectés au même laboratoire, il est important de gérer le flux des échantillons arrivant au laboratoire afin d'éviter les embouteillages, puisque le transport est effectué par une flotte de véhicules effectuant plusieurs itinéraires au cours de la journée. Dans leur article, les auteurs résolvent un problème de routage lors du transport d'échantillons biomédicaux, ils abordent ce problème comme un VRP à déplacements multiples avec fenêtres de temps tout en proposant un modèle mathématique et une heuristique à démarrages multiples pour minimiser les durées de trajet et le nombre maximal de boîtes d'échantillons arrivant au laboratoire, ils utilisent dans leur résolution des données réelles qui sont fournies par le ministère de la Santé et des services sociaux de Québec.

Mehmet Soysal et al. (2017) abordent le problème de distribution urbaine, en particulier le problème de planification entre un entrepôt pharmaceutique et un ensemble de pharmacies. Ce problème a été traité comme un problème de tournées de véhicules vertes avec une capacité de temps. Ce problème a été formulé et résolu en utilisant une approche de programmation dynamique afin de minimiser les distances totales parcourues. Ils proposent ensuite une approche heuristique générique basée sur un échantillonnage aléatoire pondéré. Les résultats des expériences numériques

montrent que l'heuristique peut fournir des résultats prometteurs dans des temps de calcul relativement courts par rapport à la programmation dynamique restreinte classique.

Mustapha Ahlaqqach et al. (2017) étudient le problème d'Optimisation des tournées de collecte et de desserte des déchets médicaux transitant par un entrepôt commun. A travers cette étude, les auteurs ont proposé un modèle mathématique de centralisation des déchets collectés des centres hospitaliers, permettant à la fois d'optimiser les tournées en amont et en aval de l'entrepôt central, tout en respectant les contraintes de capacité, les fenêtres de temps et l'hétérogénéité de la flotte. Ensuite, ils ont évalué l'impact de l'intégration du facteur risque sur le modèle. Cette étude a permis de conclure que grâce à ce modèle, on peut chercher un compromis entre les différentes parties prenantes dans le projet de professionnalisation du traitement des déchets médicaux. L'expérimentation des résultats a révélé que les grandes instances renforcent la complexité du modèle, d'où le temps de traitement devient long. En plus, à partir d'un certain nombre d'incinérateurs (40 dans ce cas), la résolution avec le calculateur ou le logiciel disponible, n'arrive plus à avoir des résultats efficaces. Pour mieux cerner cette problématique de la taille du problème, ils proposeront dans une étude future un traitement via les méta-heuristiques connues par leur efficacité en temps de résolution, même pour les grandes instances.

Les tests biomédicaux jouent un rôle crucial en aidant les médecins à poser des diagnostics précis. Pour effectuer ces tests, des milliers d'échantillons sont transportés quotidiennement de plusieurs établissements de santé où ils sont prélevés chez des patients vers des laboratoires où ils vont être analysés. MartaToschi et al. (2018) examinent ce problème complexe de transport qui est considéré comme une variante du problème de tournées de véhicules avec fenêtres de temps, où le nombre de visites et les heures d'ouverture et de fermeture des centres de collecte sont des variables de décision, l'objectif est de minimiser la durée totale des itinéraires. Ils proposent une formulation de programmation linéaire et développent une méta-heuristique pour résoudre ce problème avec des instances de taille réelle, consistant en une décomposition couplée à un algorithme de recherche par voisinage variable (VNS). Cette décomposition est basée sur une méthode de regroupement spatio-temporel, qui prend en compte à la fois les temps de trajet entre les centres et leurs périodes de collecte. Ensuite, un VNS Fix-and-Optimize est appliqué pour améliorer la solution décomposée. La performance de la méthode proposée est évaluée sur un grand nombre d'instances réalistes, basées sur le réseau de laboratoires de la province de Québec, Canada. Les résultats obtenus montrent la capacité de l'approche proposée à résoudre des problèmes de taille réelle dans un délai adéquat.

Gabriel Madelin (2018) indique aussi que la réduction des couts logistiques est une nécessité indispensable pour l'amélioration d'un système de santé telle que les hôpitaux, et surtout le réseau de distribution de flux de produits. Elle aborde le problème de tournées de véhicules tout en essayant de déterminer les meilleurs itinéraires de distribution. Sa recherche permet d'améliorer les processus logistiques d'un hôpital grâce à la proposition d'une méthode basée la simulation. La simulation est utilisée pour le test de scénarios qui contribuent à cette amélioration. Les résultats du test mettent en évidence des améliorations abstraites qui pourraient être appliquées par des entreprises, particulièrement, la diminution du nombre de livraison pour certaines unités de soins, l'utilisation de mêmes chariots pour différents types de matériel et l'utilisation de routes optimisées qui permettent de réduire le nombre de routes.

Osaba et al. (2018) présentent le problème de tournées de véhicules pour distribuer les médicaments et collecter les déchets pharmacologiques afin de minimiser la distance parcourue. Afin de répondre correctement à toutes les restrictions du monde réel qui composent ce problème complexe, les auteurs modélisent ce problème comme un problème de tournées de véhicules à attributs multiples (RVRP). Ils utilisent des positions géographiques réelles situées à Biscaye, en Espagne. De plus, afin de bien utiliser le

RVRP, les auteurs développent un algorithme de chauve-souris discret. La principale caractéristique de cette adaptation est l'utilisation de la fameuse distance de Hamming pour calculer les différences entre les chauves-souris.

Raphael Kramera et al. (2018) présentent le problème de distribution pratique rencontré par un prestataire logistique tiers, dont le but de livrer des produits pharmaceutiques aux établissements de santé installations en Toscane et il vise à concevoir un ensemble de routes à coûts minimaux. Ce problème se caractérise par la présence de dépôts multiples, un système hétérogène de véhicules, des demandes périodiques, incompatibilités entre véhicules et clients, une durée maximale pour les itinéraires et un nombre maximal de clients par itinéraire. Ils considèrent ce problème comme un problème de tournées de véhicules dans lequel ils utilisent un algorithme de recherche locale itératif à démarrages multiples pour le résoudre. L'algorithme a été testé sur un grand nombre d'instances et donne de bons résultats, à la fois sur l'étude du cas réelle et sur un certain nombre de variantes d'itinéraires rencontrées dans la littérature.

Pedro Campelo et al. (2018) développent un modèle mathématique pour traiter un problème de tournées de véhicule dans une étude de cas réelle d'une entreprise de distribution pharmaceutique portugaise, qui prend en compte les clients ayant plusieurs livraisons quotidiennes et différents accords de niveaux de service tels que des fenêtres temporelles, et les dates de sortie, afin d'obtenir des plans d'itinéraires cohérents. Les résultats indiquent que la méthode résout des instances de grande taille, ce qui permet son application à des scénarios de la vie réelle. Un modèle de simulation évalue la performance des plans de routes générés. Des améliorations significatives en termes de distance totale parcourue et de temps de déplacement sont obtenues par rapport au processus de planification actuel.

La plus part de problèmes de transport étudiés dans cette littérature, présentent des caractéristiques similaires (fenêtres de temps, flotte hétérogène sur plusieurs dépôts, contraintes de planification de personnel, point de transfert, multi-périodes, multi-produits, etc.) et des objectifs aussi similaires (minimisation de distance, minimisation de cout, maximisation des gains, maximisation de la satisfaction des patients…etc), cependant ils différent au niveau de la méthode abordée : des méthodes exactes (programmation linéaire en nombres entiers), des heuristiques (algorithme glouton, recherche tabou avec et sans mémoire adaptative, algorithme génétique, algorithme mémétique) tout en respectant les contraintes imposées.

3. ETUDE DE CAS

La présente étude concerne les unités de restauration du Centre Traumatologie et des Grands Brulés (CTGB).

3.1 Présentation du centre traumatologie et des grands brulés

Ce centre a été ouvert en 2008, il propose des services de santé d'urgence avec une spécialisation dans le traitement des blessures et des brûlures graves qui résultent des accidents routiers et de travail.

Il se situe à Ben Arous, près de l'autoroute, à l'entrée sud de la ville de Tunis. Il couvre une surface de six hectares, dont 2,2 bâtis pour une capacité de 168 lits, et comporte sept étages et dix salles opératoires.

Il comprend plusieurs départements, parmi lesquels ceux d'orthopédie, de réanimation de brûlés, de chirurgie esthétique, de médecine d'urgence, de médecine générale, de neurochirurgie et d'anesthésie, auxquels s'ajoutent des départements de physiothérapie, d'imagerie médicale, de biologie médicale, de banque du sang et de pharmacie.

Dans la section suivante, nous allons détailler davantage le service sur lequel notre étude a principalement porté sur : le service de la restauration.

3.2 Le service de la restauration

De manière plus large, la restauration hospitalière et sociale, ou encore la restauration scolaire et la restauration d'entreprises, est appelée la restauration collective. Celle-ci peut être définie comme la fourniture de repas aux personnes travaillants ou vivant dans une collectivité.

La restauration hospitalière « recouvre les repas aux malades, au personnel et aux enfants du personnel, en cas d'existence d'une crèche. Toute la gamme des repas est concernée, du petit déjeuner au diner en incluant les collations au personnel de nuit » (Benanteur et al, 2000).

« La restauration tient une place indispensable dans le bon déroulement du séjour du patient à l'hôpital. Une analyse personnelle permet de lui accorder quatre rôles :

- un rôle d'alimentation : C'est l'objectif premier de la restauration, il consiste à nourrir chaque patient, malgré les obstacles que peuvent constituer l'état physique initial ou encore les modifications alimentaires induites par la pathologie
- un rôle d'accompagnement du traitement médical : Il s'agit d'un rôle encore parfois mésestimé. Mais il est désormais prouvé qu'une bonne alimentation réduit la durée moyenne de séjour et réduit les risques de maladies nosocomiales.
- un rôle de bien-être : Entouré par un univers médical étranger à son univers personnel, éprouvant souvent des douleurs, un repas réussi est celui qui rassérène et fait plaisir au patient.
- un rôle de sensibilisation à une alimentation équilibrée » (Ockenga, 2005).

Dans le CTGB, la politique de restauration est orientée vers l'externalisation puisqu'elle est conçue comme un moyen de diminuer l'enveloppe budgétaire consacré ainsi que les entreprises spécialisées sont plus efficientes et qu'elles leur épargnent le temps nécessaire à former convenablement un agent.

3.3 Le système de distribution des plateaux de repas dans le CTGB

La restauration hospitalière dans le CTGB présente un système de distribution des repas qui lui est spécifique : déchargement des commandes demandés du traiteur, assemblage et constitution des plateaux de repas dans un local dédié (dit d'allotissement), transport des plateaux de repas vers les neufs services de l'hôpital à l'aide de trois chariots et trois serveurs. La présente étude concerne le suivi du temps de distribution de ces repas tout en essayant de le minimiser afin de satisfaire les patients.

L'organisation de la restauration servit près de 640 repas en ce milieu chaque jour tout en garantissant quatre objectifs : sécurité sanitaire, qualité de service, qualité organoleptique et nutritionnelle, productivité. La durée de la distribution des plateaux de repas aux patients est relativement identique quel que soit le service. Elle est comprise entre 20 et 30 min, avec une médiane de 25 min.

4. METHODOLOGIE

Afin de modéliser notre problème, nous nous basons sur plusieurs recherches assez récentes qui ont recourt à la programmation linéaire pour optimiser leurs flux avec des contraintes qui varient d'un programme à un autre selon les buts fixés auparavant. Selon nos connaissances, ce travail est le premier abordant le problème de distribution des repas comme un problème de routage à contraintes spécifiques. Dans ce travail, nous avons proposé dans un premier temps une formulation mathématique du problème de distribution des repas. Dans un deuxième temps, nous avons proposé de résoudre ce problème en se basant sur le modèle suggéré.

Pour pouvoir aborder notre problème, notre étude doit apporter les informations suivantes :

- Analyse des besoins
- Mode de déclenchement des commandes,
- Nombres des références
- Volumes des produits

- Délais de livraison aux services
- Trajets de transport des produits
- Capacités des véhicules

4.1 Modèle mathématique proposé

Dans cette section, nous présentons le modèle mathématique proposé pour formuler le problème de distribution des repas dans un centre hôspito-universitaire. Pour ce faire, nous définissons dans ce qui suit les variables de décision ainsi que les paramètres fixés. Nous supposons dans cette étude que chaque secteur ne sera servi que par un seul chariot.

4.1.1 Variables de décision

$$X_{ij}^{rt} = \begin{cases} 1, \text{si le chariot r passe du secteur i au secteur j à l'instant t} \\ 0, \text{sinon} \end{cases} \quad (1)$$

4.1.2 Paramètres

TP_{ij} : Temps de parcours du secteur i au secteur j

S_i^t: Temps de service chez le secteur i à l'instant t

$q_{i,j}^r$: Quantité totale de plats livrée par un chariot r du secteur i vers secteur j.

$Q_{i,j}^r$: La capacité du chariot r en termes de nombre de plats et qui se déplace entre secteur i et j.

$de_{i,j}^r$: Demandes du secteur i, j livré par le chariot r.

T_{max} : Temps maximum de service

4.1.3 Indices

TP_{ij} : Temps de parcours du secteur i au secteur j

S_i^t: Temps de service chez le secteur i à l'instant t

$q_{i,j}^r$: Quantité totale de plats livrée par un chariot r du secteur i vers secteur j.

$Q_{i,j}^r$: La capacité du chariot r en termes de nombre de plats et qui se déplace entre secteur i et j.

$de_{i,j}^r$: Demandes du secteur i, j livré par le chariot r.

T_{max} : Temps maximum de service

4.1.4 Fonction Objectif

$$\min \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{r=1}^{m} \sum_{t=1}^{T} (TP_{ij} + S_j^t) X_{ij}^{rt} \quad (2)$$

L'objectif du modèle proposé est de minimiser le temps total de distribution des repas aux différents services pour satisfaire les patients.

4.1.5 Contraintes

Les différentes contraintes qu'on doit tenir en compte et respecter pour modéliser notre problème sont synthétisées comme suit :

La contrainte (1) assure que chaque secteur doit être visité au moins une fois chaque instant t :

$$\sum_{r \in m} \sum_{i \in n} X_{ij}^{rt} \geq 1 \,, \forall\, j \in n, t \in T \quad (3)$$

La contrainte (2) garantit que chaque chariot entrant à un secteur doit y quitter :

$$\sum_{j=0}^{n} \sum_{r=1}^{m} X_{ji}^{rt} = \sum_{j=0}^{n} \sum_{r=1}^{m} X_{ij}^{rt} \,, \ \forall\, i \in n, t \in T \quad (4)$$

La contrainte (3) assure que la quantité totale de plats livrée par un manutentionnaire (chariot) à tous les secteurs ne doit pas dépasser la capacité du chariot correspondant :

$$\sum_{j=1}^{n} q_j^t X_{ij}^{rt} \leq Q_r, \forall\, r \in m, t \in T \quad (5)$$

La contrainte (4) assure que la durée totale d'une tournée ne dépassera jamais sa durée totale maximale :

$$\sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{n} S_j^t X_{ij}^{rt} + \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{n} TP_{ij} X_{ij}^{rt} \leq T_{max}, \forall\, r \in m, t \in T \quad (6)$$

La contrainte (5) garantit que chaque secteur est servi par un seul chariot :

$$\sum_{r=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} X_{ij}^{rt} = 1, \forall\, j = \{1, \dots, n\}, t \in T \quad (7)$$

La contrainte (6) assure que chaque chariot utilisé doit commencer sa tournée à partir du restaurant (secteur 0) :

$$\sum_{j=1}^{n} X_{0j}^{rt} \leq 1, \forall r \in m, t \in T \quad (8)$$

La contrainte (7) assure que chaque chariot doit retourner à son point de départ (le restaurant d'indice 0) :

$$\sum_{i=1}^{n} X_{i0}^{rt} \leq 1, \forall r \in m, t \in T \quad (9)$$

La contrainte (8) garantit que les variables de décision sont de type binaire :

$$X_{ij}^{rt} \in \{0,1\}, \forall r \in m, t \in \mathrm{T} \quad (10)$$

La contrainte (9) garantit que pour chaque chariot le point de départ diffère du point d'arrivé :

$$i \neq j, \forall r \in m, t \in T \quad (11)$$

4.2 Outil de résolution CPLEX

Nous résolvons notre modèle à l'aide du solveur Cplex. CPLEX est, à la base, un solveur de programmes linéaires. Il est commercialisé par la société ILOG depuis la version 6.0. La dernière version, à ce jour, est la version 11.0.

CPLEX a été initialement développé par l'équipe de Robert Bixby pour disposer d'un solveur performant pour résoudre des instances du problème de voyageur de commerce (TSP : Traveling Salesman Problem) de grande taille. Jusqu'à la version 6.0, il a été commercialisé par la société CPLEX. En 1996, cette société a été rachetée par ILOG pour étoffer son éventail de produits destinés à l'Aide à la Décision.

Actuellement, CPLEX est un des solveurs les plus performants disponibles. Les problèmes traités par la suite d'optimisation ILOG CPLEX sont : les programmes linéaires en nombres entiers, les programmes linéaires en nombres entiers mixtes, les programmes quadratiques et quadratiques mixtes, les programmes avec contraintes quadratiques et avec contraintes quadratiques mixtes.

5. RESULTATS OBTENUS ET INTERPRETATIONS

Dans cette partie nous commençons d'abord par une brève présentation du mécanisme de distribution de l'hôpital. Ensuite, nous présentons les nouvelles tournées dégagées à l'aide du logiciel, et enfin nous terminons par une conclusion.

La collecte des données auprès du CTGB étant toujours en cours, une instance théorique aussi réaliste que possible a été créée. Il y a au total 630 demandes par jour, 3 chariots, 3 serveurs qui sont les manutentionnaires. Les emplacements des services, le nombre de chariots, les durées de déplacements entre les services, le temps nécessaire pour servir un repas sont des données fournies par le CTGB.

Nous avons utilisé le solveur CPLEX afin de résoudre notre problème d'optimisation qui cherche à déterminer le plan de routage de chaque chariot afin de minimiser le temps de distribution total, ce solveur montre son pouvoir de résoudre le programme linéaire proposé et garantir l'amélioration du résultat dans un délai raisonnable (15 secondes).

Nous avons testé le modèle proposé en appliquant 3 cas réels. Les résultats obtenus ont montré l'efficacité et l'adaptabilité du modèle proposé.

La figure 1 présente l'amélioration et la diminution du temps de distribution de repas dans le CTGB de 51.37 min à 44.47 min, ce qui montre le pouvoir de notre modèle à dégager des meilleurs résultats et proposer des nouvelles répartitions satisfaisantes pour les patients aussi bien que pour les personnels.

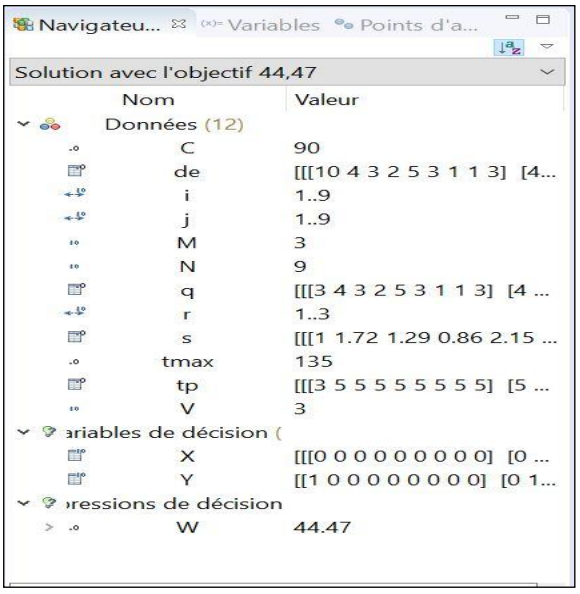

Figure 1: titre Temps total de distribution donné par le solveur Cplex

En se basant sur les résultats obtenus par la Figure 1, nous présentons une amélioration notable et par la suite nous dégageons une meilleure répartition et un dimensionnement des chariots satisfaisants pour les patients en termes de temps de distribution.

Dans ce qui suit, nous allons comparer le mécanisme réel de l'hôpital et les résultats obtenus par le solveur CPLEX.

Ainsi, nous commençons par la présentation des demandes des neufs secteurs à l'aide du Tableau 1:

Tableau 1: demande de chaque secteur

Secteur	Demande
1	10
2	20
3	10
4	50
5	10
6	26
7	10
8	10
9	50

les secteurs n° 1, 3, 7 et 8 demandent 10 plateaux de repas, le secteur n° 2 demande 20 repas, tandis que le secteur n° 6 demande 26 repas, par contre les secteurs n° 4 et 9 demandent 50 repas.

Les modèles mathématiques ont été résolus en utilisant le solveur commercial CPLEX 12.6 et deux Intel Xeon 12 cœurs avec 60 Go de RAM machine avec un maximum délai de 15 secondes.

Les résultats indiquent que le solveur commercial est capable d'obtenir des meilleurs résultats et de bien maitriser les flux pour chaque variation au niveau de la demande ou bien de la quantité livrée.

A partir des données présentées par le Tableau 2 nous constatons que le flux de distribution au sein de ces secteurs est fixé sur une orientation bien précise : le chariot n°1 sert à servir les secteurs 1, 2 et 3, tandis que le chariot n°2 visite les secteurs 4, 5 et 6, par contre le troisième chariot sert à servir les secteurs 7,8 et 9.

Tableau 2: Orientation des chariots dans le CTGB

Chariot 1	Chariot 2	Chariot 3
Secteur : 1-2-3	Secteur : 4-5-6	Secteur : 7-8-9

Le tableau 3 présente la répartition établie dans l'hôpital (illustré aussi dans la Figure 2). A partir de ces données, nous pouvons remarquer un déséquilibre remarquable au niveau de la répartition des repas par les chariots : le premier chariot sert 40 repas alors que le deuxième sert 86 repas, par contre le troisième sert 70 repas.

Tableau 3: Répartition des repas par les chariots

Chariot 1	Chariot 2	Chariot 3
40	86	70

La Figure 2 confirme l'existence d'un déséquilibre considérable entre les répartitions des repas et du coup un déséquilibre au niveau du temps de distribution.

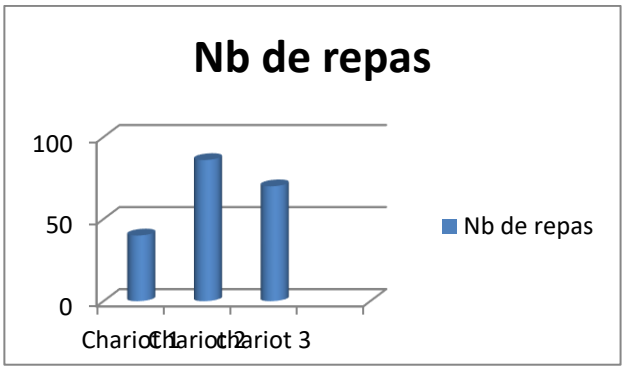

Figure 2 : Répartition des repas par les chariots

Le Tableau 4 présente des instances générées à partir des données historiques de l'hôpital au bord du mois d'octobre 2019.

A partir de ce tableau, nous remarquons que la répartition déséquilibrée des chariots fait une croissance en termes de temps de service qui vaut auprès de 37 min (le premier chariot termine sa tournée dans 17 min). Nous abordons ce problème comme un problème de tournées tout en essayant à minimiser ce temps de service par la recherche d'une nouvelle répartition qui garantit l'amélioration du circuit. A l'aide de notre solveur, nous obtenons la répartition résumée dans le Tableau 5.

Tableau 4: Temps de service chez les patients par min

Chariot 1	Chariot 2	Chariot 3
17.2	36.98	30.1

Le Tableau 5 étudie la nouvelle orientation fournie par notre modèle tout en essayant d'équilibrer et d'améliorer la répartition des repas ainsi que le temps de service.

Nous pouvons noter que notre modèle a dégagé une nouvelle orientation distinguée : le premier chariot visite les secteurs 3, 8 et 9, alors que le deuxième sert les secteurs 2, 5et 6, par contre le troisième visite les secteurs 1, 4 et 7.

Tableau 5: Orientation des chariots obtenue par le modèle proposé

Chariot 1	Chariot 2	Chariot 3
Secteur : 3-8-9	Secteur : 2-5-6	Secteur : 1-4-7

Ce nouveau circuit nous fournit une nouvelle répartition des repas (voir Tableau 6).

Tableau 6: Répartition des repas par les chariots

Chariot 1	Chariot 2	Chariot 3
70	56	70

Le Tableau 7 montre globalement une vaste variation au niveau de la répartition des repas par les chariots, cette variation a une influence positive sur le temps maximum de service qui varie de 37 min à près de 30 min (voir Tableau 7).

Tableau 7: Temps de service chez les patients obtenu par le modèle proposé (par min)

Chariot 1	Chariot 2	Chariot 3
30.1	24.08	30.1

Le Tableau 7 nous confirme la réalisation d'un équilibre notable au niveau de temps qui varie de 17.2 min à 30.1 min pour le premier chariot, de 36.98 min à 24.08 min pour le deuxième et reste 30.1 min pour le troisième. Cette répartition semble être beaucoup plus performante que l'ancienne.

Cette nouvelle répartition confirme le pouvoir du modèle proposé d'améliorer le circuit et de satisfaire les besoins des patients tout en minimisant le temps total de distribution qui varie de 51.37 min à 44.47 min (voir Figure 3).

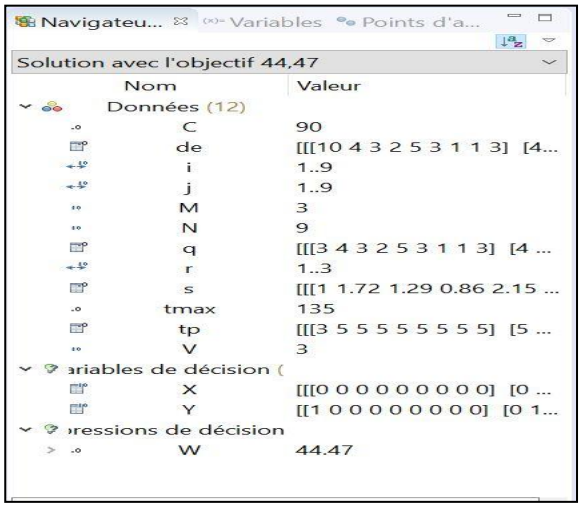

Figure 3: Présentation du temps de distribution des repas à l'aide du solveur Cplex

Pour expliquer davantage nous recourons à une présentation graphique afin de montrer l'amélioration réalisée par le modèle mathématique proposé par rapport au plan de distribution élaboré par le CTGB.

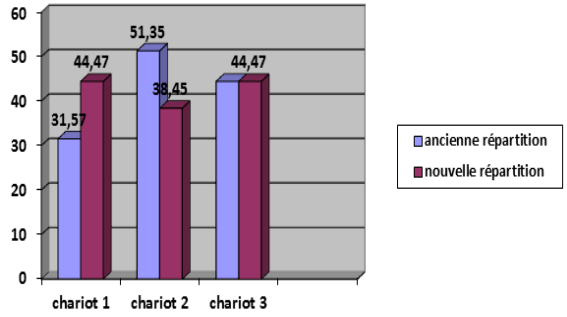

Figure 4: Présentation de l'ancienne et de la nouvelle répartition

A partir de la figure 4, Nous pouvons confirmer que la répartition élaborée par le CTGB avait un déséquilibre éclatant qui agit sur le gonflement du temps de distribution à cause de la répartition mal planifiée et gérée, par contre la nouvelle répartition donnée par notre solveur réduit ce déséquilibre entre les chariots et par la suite engendre un temps de distribution satisfaisant.

6. CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons traités le problème de distribution des repas dans le CTGB. Nous avons considéré ce problème logistique comme un problème d'optimisation des tournées de véhicules. Un programme linéaire a été proposé pour modéliser ce problème afin de trouver la meilleure répartition des tournées de véhicules entre les différents services. Le modèle proposé a été résolu en utilisant le solveur ILOG CPLEX. Les résultats obtenus montrent une amélioration des tournées des chariots qui minimise le temps de distribution afin de satisfaire les besoins des patients, ce qui prouve l'efficacité et la performance du modèle proposé.

7. REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Ben Moussa, R., Derrouiche, R., & Bouras, A. (2009). Méthode pratique pour le déploiement de l'approche processus au sein d'une chaîne logistique. Revue

Française de Gestion Industrielle , 28 (3). https://doi.org/10.53102/2009.28.03.760

Cronk, C., & Deborah, J. (2013). Medeiros Development of Operational Strategies for On-Demand Meal Delivery in Healthcare. Proceedings of the 2013 Industrial and Systems Engineering Research Conference. Researchgate.net/publication/286607625_Development_of_operational_strategies_for_on-demand_meal_delivery_in_healthcare/stats

Derrouiche, R. N. (2008). Les facteurs clés de réussite de la relation client dans les chaînes logistiques. 7ème Conférence Internationale de MOdélisation et SIMulation - MOSIM'08. Paris- France. https://hal.science/hal-00442714v1

Fernandes, V., & White, T. (2001). Intéractions Marketing/Supply Chain Management et E-Business: les processus- ces pour des opérateurs de niche dans le secteur des biens périssables. Revue Française de Gestion Industrielle , 20 (4). https://doi.org/10.53102/2001.20.04.364

Hartwell, H. J., Edwards, J. S., & Beavis, J. (2007). Plate versus bulk trolley food service in a hospital: comparison of patients' satisfaction. Nutrition , 211-218. https://doi.org/10.1111/j.1745-4506.2006.00040.x

Nettles, M. F., Canter, D. D., & Gregoire, M. B. (1997). Analysis of the decision to select a conventional or cook-chill system for hospital foodservice. Journal of the American Dietetic Association , 97 (6), 626-631. https://doi.org/10.1016/s0002-8223(97)00159-4

Safarian, M., Alinezhad-Nameghi, M., Vafisani, F., Asadi, Z., & Seyedhamzeh, S. (2018). Patient Satisfaction with Hospital Food in the Hospitals Affiliated to Mashhad University of Medical Sciences. Iran J Nutrition Fasting Health , 6 (4), 191-197. 10.22038/JNFH.2019.32579.1141

Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints. Operations Research , 35 (2), 254-256. https://www.jstor.org/stable/170697

8. BIOGRAPHIE

Wided Harzalli est étudiante en master en Sciences du Transport et de la Logistique à l'Institut Supérieur de Gestion Industrielle de Sfax (ISGIS).

Jihène Jlassi est maître-assistante en sciences de la logistique et du transport à l'Institut Supérieur de Gestion Industrielle de Sfax (ISGI Sfax, Université de Sfax). Elle a obtenu son doctorat en ingénierie industrielle à l'Université Paris 8. Elle a également été membre des comités scientifiques de nombreuses conférences et a assuré l'évaluation pour plusieurs conférences et revues à comité de lecture dans son domaine. En tant que membre du laboratoire de recherche OLID, ses principaux axes de recherche portent sur la logistique et l'optimisation. Elle a publié plusieurs articles dans des revues internationales et présenté de nombreuses communications.

Ines Rekik est professeure associée en sciences de la logistique et du transport à l'Institut Supérieur de Gestion Industrielle de Sfax (ISGI Sfax, Université de Sfax, Tunisie). Elle a obtenu son doctorat en informatique à l'Université de Sfax (Tunisie). Ses recherches portent sur la prise de décision en temps réel dans les systèmes logistiques et de transport. Elle applique des techniques issues de l'intelligence artificielle pour développer des systèmes de prise de décision décentralisée et intelligente pour la gestion des chaînes d'approvisionnement.

[1] ***Wided Harzalli***, *ISGI SFAX - Institut Supérieur De Gestion Industrielle De Sfax, Tunisie, harzalliwided@gmail.com*

[2] ***Jihène Jlassi,*** *OLID, ISGI SFAX - Institut Supérieur De Gestion Industrielle De Sfax, Tunisie, jihene.jlassi@isgis.usf.tn*

[3] ***Ines Reik , OLID***, *ISGI SFAX - Institut Supérieur De Gestion Industrielle De Sfax, Tunisie, ines.rekik@isgis.usf.tn*
https://orcid.org/0000-0002-8892-8473